



LESNÉ SEMENÁRSTVO, ŠKÔLKARSTVO A PESTOVANIE LESA 2025



Zborník referátov z medzinárodnej konferencie,
ktorá sa konala v dňoch 18. - 19. 06. 2025 v Liptovskom Jáne



**ZDRUŽENIE LESNÝCH ŠKÔLKAROV SR LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ
NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM - SEKCIA PRE VEDU A VÝSKUM ZVOLEN
CENTRUM EXCELENTNOSTI LESNÍCKO-DREVÁRSKEHO KOMPLEXU – LIGNOSILVA
MINISTERSTVO PÔDOHOSPODÁRSTVA A ROZVOJA VIDIEKA SR
LESY SR, Š. P. BANSKÁ BYSTRICA, OZ SEMENOLES
SAPV – ODBOR LESNÍCTVA
SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ PRE POĽNOHOSPODÁRSKE, LESNÍCKE, POTRAVINÁRSKE
A VETERINÁRSKE VEDY PRI SAV
SLOVENSKÁ LESNÍCKA SPOLOČNOSŤ – ČLEN ZSVTS**

LESNÉ SEMENÁRSTVO, ŠKÔLKARSTVO A PESTOVANIE LESA 2025

Zborník referátov z medzinárodnej konferencie,
ktorá sa konala v dňoch 18. – 19. 06. 2025 v Liptovskom Jáne

Táto publikácia bola spolufinancovaná:



Európskou komisiou v rámci projektu Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci akcie Horizon Europe Teaming for Excellence.



z kontraktu uzavretého medzi MPRV SR a NLC č. 1170/2024/MPRVSR-710, úlohy č. 15 Kontrola LRM, prvok 0900E02 „Odborná pomoc pre udržateľné lesné hospodárstvo“.



výborom Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave

Recenzenti:	Dr. Ing. Ján Ďurský, CSc. Mgr. Gabriela Luptáková, PhD. Ing. Vladimír Mačejovský, PhD. Ing. Miroslav Ondruš, PhD. Ing. Miriam Sušková, PhD. Ing. Elena Takáčová
Editor:	Ing. Dagmar Bednárová, PhD. Ing. Miriam Sušková, PhD.
Vydavateľ:	Národné lesnícke centrum – SVV Zvolen v spolupráci s Centrom excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva a Združením lesných škôľkarov SR Liptovský Mikuláš
Náklad:	140 kusov
Rozsah:	162 strán
Vydanie:	Prvé
Tlač:	Národné lesnícke centrum Zvolen
Autori fotografií:	Predná strana obálky Ing. D. Bednárová, PhD., prof. Ing. V. Čaboun, CSc. Zadná strana obálky Ing. Eduard Greppel, Ing. Martin Belko, PhD.

Neprešlo jazykovou úpravou.

Copyright© Národné lesnícke centrum – SVV Zvolen

ISBN 978 – 80 – 8093 – 377- 7

EAN 9788080933777

OBSAH

VLIV HYDROABSORBENTU NA VZCHÁZIVOST SEMEN JEDLE BĚLOKORÉ

*Lena Bezděčková, David Dušek, Kamila Brožovičová, Pavel Kotrla,
Josef Cafourek, Dušan Kacálek* 5

KVALITA ZÁVLAHOVÉ VODY – MOŽNOSTI SNÍŽENÍ UHLIČITANOVÉ TVRDOSTI

Martin Dubský 15

BUK LESNÝ: FYZIOLOGICKÉ LIMITY VO VZŤAHU K TEPLOTÁM A SUCHU A ČO Z TOHO VYPLÝVA PRE LRM

Dušan Gömöry, Daniel Kurjak, Alena Sliacka-Konôpková 25

VÝSKYT BOROVICE LIMBOVEJ NA LHC DEMÄNOVÁ

Eduard Greppel, Dagmar Bednárová 32

VPLYV BACTÉRIOSOLU NA VLASTNOSTI PÔDY V POROVNANÍ S KVALITOU SEMENÁČIKOV JEDLE BIELEJ PO TREŤOM ROKU APLIKÁCIE

*Ivan Horvát¹, Elena Takáčová¹, Dagmar Bednárová¹, Ing. Vladimír
Mačejovský¹, Pavel Pavlenda², Karol Chvála³* 40

POTENCIONÁLNÍ ZMĚNY V LEGISLATIVĚ S OHLEDEM NA PROBÍHAJÍCÍ NOVELIZACE PŘEDPISŮ EU A ČR

Vlasta Knorová 48

PRODUKČNÍ POTENCIÁL BŘÍZY PŘI RŮZNÉM PĚSTEBNÍM POSTUPU NA POST-KALAMITNÍCH PLOCHÁCH

Jan Leugner, Antonín Jurásek 53

KLIMATICKÁ VODNÁ BILANCIA SEMENÁRSKÝCH OBLASTÍ SLOVENSKA PRE DREVINU SMREK

*Jozef Mindáš, Ivan Barka, Dagmar Bednárová,
Elena Takáčová, Ján Ďurský* 61

POSTCONT – TECHNOLOGICKÝ SYSTÉM PRO OBALOVÁNÍ SADEBNÍHO MATERIÁLU

*Kateřina Pešková, Ivan Kuneš, Martin Baláš, Marek Štádler,
František Lopot, Zdeněk Havránek, Jaromír Štancl, Pavel Burda,
Tomáš Jiráček, Alena Hlídková, Vilém Podrázský* 71

ZHODNOCENÍ VLIVU DUBU ČERVENÉHO NA STAV LESNÍCH PŮD V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY	
<i>Vilém Podrázský, Ivo Kupka, Stanislav Miltner, Martin Baláš</i>	83
KVALITA VÝSEVŮ PO SÍJI NAKLÍČENÝCH BUKVIC	
<i>Kateřina Houšková, Eliška Skuhrová, Martin Baláš, Petra Kadlecová, Milan Kubiček</i>	91
VÝBER A CHARAKTERIZÁCIA KVALITNÉHO REPRODUKČNÉHO MATERIÁLU DUBA ČERVENÉHO (QUERCUS RUBRA L.) V NEMECKU S OHĽADOM NA ODOLNOSŤ VOČI STRESU ZO SUCHA	
<i>Ute Tröber, Marie Brückner, Matthias Meyer, Ralf Kätzl, Charalambos Neophytou</i>	105
REAKCIE REPRODUKČNÉHO MATERIÁLU NA PRÍTOMNOSŤ DREVNÉHO POPOLA A CELULÓZNEHO KALU	
<i>Vladimír Mačejovský, Elena Takáčová, Martin Belko, Ivan Horvát, Slavomír Strmeň, Slávka Tóthová, Dagmar Bednárová</i>	114
NAJČASTEJŠÍ ŠKODCOVIA V LESNÝCH ŠKÔLKACH A VÝSADBÁCH V SÚVISLOSTI S OTEPLOVANÍM	
<i>Valéria Longauerová, Milan Zúbrik, Andrej Kunca</i>	124
OCHRANA LESA Z POHĽADU LEGISLATÍVY PRÍPRAVKOV NA OCHRANU RASTLÍN	
<i>Bronislava Škarbová</i>	132
SUITABILITY OF FAGUS SYLVATICA L. AND QUERCUS ROBUR L. SEEDLINGS FOR FOREST CROPS ESTABLISHMENT ASSESSED BY GROWTH AND QUALITY INDICATORS	
<i>Jacek Banach, Karolina Staszal-Szlachta, Mariusz Kormanek, Weronika Salwa, Stanisław Małek</i>	142
EFFECT OF PRODUCTION METHOD ON ROOT SYSTEM DEVELOPMENT AND CONTENT OF SELECTED MACRONUTRIENTS IN SCOTS PINE	
<i>Karolina Staszal-Szlachta, Mariusz Kormanek, Dawid Kupka, Stanisław Małek</i>	154

VLIV HYDROABSORBENTU NA VZCHÁZIVOST SEMEN JEDLE BĚLOKORÉ

**Lena Bezděčková, David Dušek, Kamila Brožovičová, Pavel
Kotrla, Josef Cafourek, Dušan Kacálek**

Abstrakt

Umělá obnova lesa může výrazně pomoci zvýšit podíl jedle bělokoré. Proces začíná sběrem a zpracováním šišek a semen. V této studii byl hledán způsob, jak podpořit vzcházení semenáčků jedle a tím efektivně využít semena pro pěstování sadebního materiálu. Semena byla stratifikována po dobu 7 týdnů při teplotě 3°C. Hydroabsorbent byl přidán do substrátu s cílem zvýšit jeho obsah vody. Obě úpravy substrátu (čistý substrát a substrát plus hydrogel) prošly následujícími režimy závlivky: 0 – bez závlivky, 1 – závlivka 1 x týdně, 2 - závlivka 2 x týdně. Iniciační závlivka v den výsevu byla 5 l vody na jednu přepravku u všech testovaných variant. Rychlost vzcházení rostlin byla monitorována 1 x týdně po dobu 5 týdnů. Pozitivní účinek přidaného hydroabsorbentu byl zjištěn pouze v případě s počátečním zvlhčením substrátu bez dalšího zavlažování. Nejvyšší vzcháživost byla zaznamenána u varianty s čistým substrátem bez hydroabsorbentu se závlivkou 1 x týdně.

Klíčové slová

hydroabsorbent, meliorace substrátu, závlaha

Úvod

Jedle bělokorá patřila k významným dřevinám našich lesů, ale zhruba od 18. století docházelo k výrazné redukci jejího zastoupení, a to především v důsledku přechodu na pasečné hospodaření (Zakopal 1970, Vinš 1974, Bernadzki 2008). Ústup jedle byl dále umocněn její negativní reakcí na znečištění ovzduší po rozmachu těžkého průmyslu (Hynek a kol. 1997, Černý 2016, Łuszczzyńska a kol. 2018, Bošela a kol. 2018). V současnosti se zastoupení jedle v našich lesích opět zvyšuje. Zlepšení zdravotního stavu a regenerace jedle byla zaznamenána v celé střední Evropě a podle recentních poznatků většinou lépe odolává suchým epizodám než doposud dominantní smrk (Bošela a kol. 2014, Vitasse a kol. 2019, Vitali a kol. 2017, Marozau a kol. 2021, Vencurik a kol. 2022).

Vzhledem k nízkému zastoupení a ostrůvkovitému výskytu plodící jedle v našich lesích nelze všude účinně dosáhnout relevantního zvýšení jejího zastoupení pouze prostřednictvím přirozené obnovy. Umělá obnova tak bude hrát při zvyšování zastoupení jedle významnou úlohu minimálně ve střednědobém

horizontu. Pro úspěšné vypěstování dostatečného množství sazenic je potřeba kvalitní osivo. Jelikož se semena jedle vyznačují fyziologickou dormancí (Black a kol. 2006), je nutno u osiva před výsevem provést předosevní přípravu. Dalším problémem může být vysoké procento prázdných semen v oddíle osiva, neboť ani při využití současných moderních technologií nelze oddělit semena prázdná od plných. Mnohdy ani životnost či klíčivost vyluštěných semen nedosahuje hodnot normy (ČSN). Všechny jmenované problémy mohou při výsevech způsobit nerovnoměrné vzcházení semenáčků, navíc v období sucha může dojít k vysokým ztrátám.

Jedním z řešení se jeví použití půdních kondicionérů – hydroabsorbentů, a to buď aplikací do půdy (Lošák 2018) nebo aplikací na osivo (Novák 2014, Cihlář a kol. 2015). U sazenic mohou být také použity na ochranu kořenového systému (Sarvaš, Tučková 2003). Jsou to pomocné půdní látky, které ve vodním prostředí silně bobtnají a vytváří stabilní gel. Tyto melioranty jsou považovány za jedno z velmi perspektivních řešení pro zvýšení dostupnosti vody rostlinám.

Jsou totiž schopny absorbovat vodu o hmotnosti 100násobku hmotnosti hydroabsorbentu, některé moderní až 400násobku (Macků 2022). Voda je poté uvolňována rostlinám v době sucha a hydroabsorbent zůstává efektivní po dobu několika let (Wilske a kol. 2014).

Materiál a metodika

Před začátkem předosevní přípravy, tj. studené stratifikace bez média, byly testované oddíly osiva 48 hodin hydratovány ve vodě při 3°C. Stratifikace osiva v délce 7 týdnů byla realizována v plastových boxech s víčky při teplotě 3°C. Po celou dobu stratifikace bylo osivo 1× týdně provzdušňováno a kontrolováno z důvodu možného předčasného klíčení semen.

Zkouška vzcháživosti byla provedena na třech oddílech osiva, které byly sbírány v rámci jedné uznané jednotky: CZ-2-2B-JD-00029-16-5-C-G024-1.1. Zálivka (faktorová proměnná) byla realizována ve třech úrovních: 0 - bez zálivky, 1 - zálivka 1× týdně a 2 - zálivka 2× týdně. Substrát (faktorová proměnná) byl použit buď čistý, nebo s přídavkem hydroabsorbentu. Každá kombinace byla realizována ve čtyřech opakováních, tedy celkově na 72 experimentálních jednotkách: 4×3 (oddíl) $\times 3$ (zálivka) $\times 2$ (substrát). Do každé experimentální jednotky (plastové nádoby) bylo vyseto 100 ks semen.

Semena byla vyseta do plastových nádob (60×40×10 cm) s komerčním substrátem AGRO CZ (pH 5-7), zasypána slabou vrstvou substrátu a umístěna do skleníku. Do každé přepravky bylo dáno 10 litrů komerčního substrátu pro jehličnany AGRO CZ (pH 5-7). Do přepravek, ve kterých se testoval hydroabsorbent, bylo přidáno kromě stejného množství totožného substrátu navíc 60 g hydroabsorbentu jemnější frakce od výrobce EVONIK Nutrition & Care GmbH. Pro rovnoměrné vpravení meliorační látky do substrátu byla použita stavební míchačka. Iniciační zálivka v den výsevu byla 5 l vody na jednu přepravku a týkala se i té skupiny, která se v průběhu pokusu dále již nezalévala. Další zálivky

(vždy po 5 l) byly prováděny tak, aby substrát v přepravce plně nasál a přebytečná voda samovolně otekla. Každý týden byly počítány vzešlé klíčící rostliny a celková vzházivost byla ukončena 5 týdnů po síji. Obsah vody v substrátu byl měřen analyzátozem vlhkosti KERN DLB_A.

Analýza dat

Analýza dat byla provedena v prostředí statistického jazyka R 4.2.2. (R Core Team 2022). Data o celkové vzházivosti a průměrném počtu dnů vzházení byla statisticky analyzována dvoufaktorovým modelem (1. faktor – zálivka, 2. faktor – substrát) s interakcí a blokovým uspořádáním (oddíl osiva jako blok). Pro analýzu průměrného počtu dnů vzházení byl použit lineární model („klasická“ dvoufaktorová ANOVA s blokovým uspořádáním). Pro analýzu celkové vzházivosti byl použit zobecněný lineární model R knihovny nlme (Pinheiro a kol. 2021) s quasibinomickým rozdělením, protože model s binomickým rozdělením vykazoval mírnou overdisperzi (s disperzním parametrem 1,58). Analýza pro vzházivost byla také provedena za použití bayesovského přístupu pomocí R knihovny brms (Bürkner 2017) zobecněným lineárním modelem s betabinomickým rozdělením. Oba přístupy poskytly konzistentní výsledky, ale bayesovská analýza umožnila větší flexibilitu při tvorbě výstupů. Například umožňuje korektně uvažovat o pravděpodobnostním rozdělení parametrů, které není u frekventistické interpretace možné. Intervaly spolehlivosti jsou zde nahrazeny tzv. kredibilními intervaly i s jejich posteriorní hustotou pravděpodobnosti (graf 1).

Výsledky

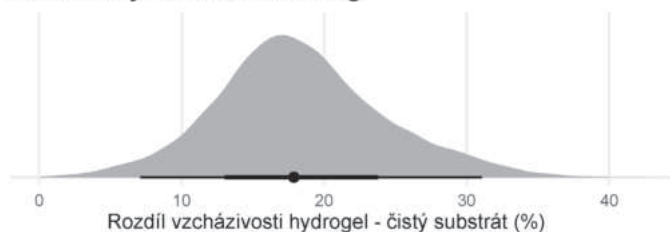
Aplikace hydroabsorbentu do substrátu vedla k vyšším hodnotám vlhkosti substrátu v porovnání s vlhkostí čistého substrátu (tabulka 1). Tam, kde byl vylepšený substrát zaléván 2× týdně, dosahovala vlhkost substrátu během vzházení semen kolem 80 %. Ta se projevila masivním výskytem porostnice mnohotvaré (*Marchantia polymorpha*), která na substrátu v přepravkách s menší frekvencí zálivky buď zcela chyběla, nebo se vyskytovala výrazně méně.

Vzházivost jednotlivých oddílů osiva byla nevyrovnaná, ale reakce na varianty experimentálního zásahu byla konzistentní u všech tří oddílů (tabulka 2). Ze signifikantní interakce mezi zálivkou a aplikací hydroabsorbentu (faktor „substrát“) je zřejmé, že jeho účinek byl silně závislý na intenzitě zálivky (tabulka 3). Pozitivní vliv hydroabsorbentu se projevil na celkové vzházivosti pouze na variantě bez aplikace zálivky, kde byla vzházivost o ca 17 % vyšší v porovnání s čistým substrátem (graf 1). Při zálivce 1× a 2× týdně již působil spíše negativně a vzházivost byla o 4-5 % nižší. Nejvyšší vzházivosti bylo dosaženo v čistém substrátu při zálivce 1× týdně (graf. 2). U této varianty neklesla vlhkost substrátu během vzházení semen pod 50 % (tabulka 1), což bylo pro vzházení zřejmě optimální. Zálivka 2× týdně již vedla k příliš vysoké vlhkosti i u čistého substrátu s následkem poklesu vzházivosti (graf. 2).

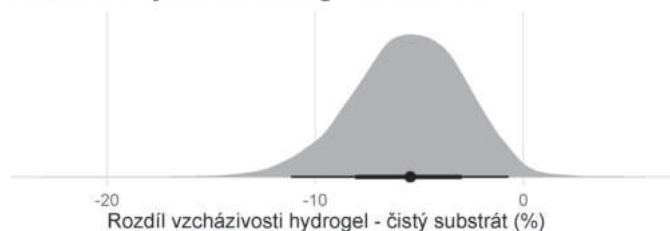
Substrát	Vlhkost substrátu bez záливky (%)	Záливka 1× týdně		Záливka 2× týdně	
		Vlhkost substrátu před záливkou (%)	Vlhkost substrátu po záливce (%)	Vlhkost substrátu před záливkou (%)	Vlhkost substrátu po záливce (%)
Bez přidaného hydrogelu	24	48	71	70	77
S přidaným hydrogelem	39	68	77	79	82

Tabulka 1: Průměrná vlhkost substrátu během vzcházení tří oddílů osiva podle bělokoré

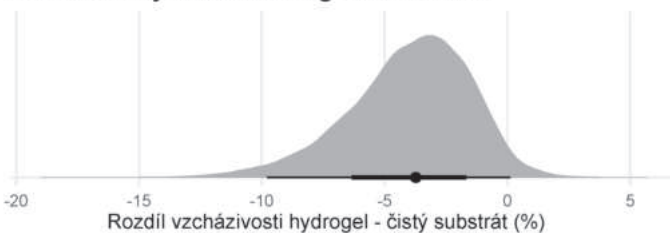
Bez záливky / without watering



Záливka 1 × týdně / watering once a week



Záливka 2 × týdně / watering twice a week



Graf 1: Rozdíly ve vzcháživosti při aplikaci hydrogelu a čistého substrátu v závislosti na záливce s 80 % a 95 % kredibilními intervaly rozdílu a jejich posteriorní pravděpodobnostní hustotou

Substrát/Zálivka	Vzcházivost (%)		
	Oddíl č. 14	Oddíl č. 16	Oddíl č. 20
Čistý substrát/zálivka 0	14	7	7
Čistý substrát/zálivka 1	40	20	34
Čistý substrát/ zálivka 2	30	15	15
Substrát plus hydrogel/zálivka 0	39	13	31
Substrát plus hydrogel/zálivka 1	31	18	29
Substrát plus hydrogel/zálivka 2	29	11	10

Tabulka 2: Vzcházivost semenáčků tří oddílů jedle bělokore

	DF	Deviance	Resid. DF	Resid. Dev.	F	p-hodnota
Nulový model			71	556,92		
Oddíl	2	200,166	69	556,92	63,4436	< 0,001
Substrát	1	9,418	68	347,33	5,9701	0,017
Zálivka	2	105,639	66	241,69	33,4829	< 0,001
Substrát × Zálivka ⁵	2	139,498	64	102,2	44,2145	< 0,001

DF – stupně volnosti, Resid. DF – residuální stupně volnosti, Resid. Dev. – residuální deviance, F – hodnota testové F statistiky, Deviance – analogie rozptylu v zobecněných lineárních modelech

Tabulka 3: Tabulka rozkladu deviancí pro celkovou vzcházivost

	DF	SS	MS	F	p-hodnota
Oddíl	2	18,841	9,4206	3,5647	0,034
Substrát	1	5,723	5,7235	2,1657	0,146
Zálivka	2	39,708	19,8539	7,5126	0,001
Substrát × Zálivka	2	43,021	21,5106	8,1394	0,001
Rezidua	64	169,136	2,6428		

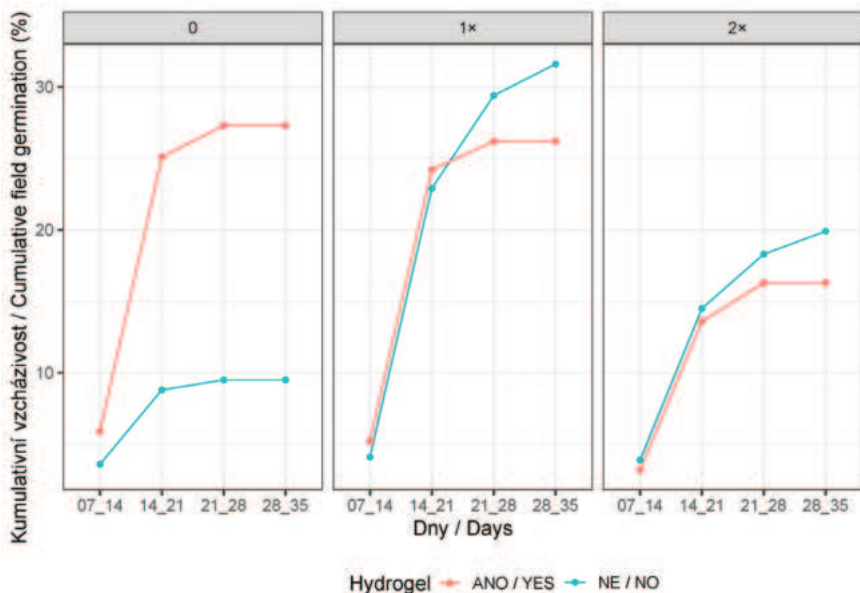
DF – stupně volnosti, SS – suma čtverců, MS – průměrné čtverce, F – hodnota testové F statistiky

Tabulka 4: Tabulka ANOVA pro počet dnů vzcházení

Také analýza průměrného počtu dnů vzcházení vykazovala signifikantní interakci mezi faktory (tabulka 4). Varianta s čistým substrátem a zálivkou 1× týdně dosáhla nejvyšší hodnoty průměrného počtu dnů vzcházení (tabulka 5), protože zde docházelo ke vzcházení ještě ve čtvrtém a pátém týdnu (graf 3), kdy vzcházivost při aplikaci hydroabsorbentu byla malá (4. týden) nebo žádná (5. týden). Nejrychleji vzešly semenáčky v čistém substrátu, který byl zalit pouze v den výsevu (tabulka 5, graf 3). U této varianty při absenci další zálivky substrát vyschnul ca na 24 % (tabulka 1) a semena dále již nevzcházela. Nevyklíčená semena buď odumřela anebo se znovu stala dormantními.

Substrát/Zálivka	Průměrný počet dnů vzházení		
	Oddíl č. 14	Oddíl č. 16	Oddíl č. 20
Čistý substrát/zálivka 0	18,1	20,4	19
Čistý substrát/zálivka 1	23	21,7	22,4
Čistý substrát/zálivka 2	21,3	21,6	24,1
Substrát plus hydrogel/zálivka 0	19,7	22,9	19,6
Substrát plus hydrogel/zálivka 1	19,7	22,1	19,4
Substrát plus hydrogel/zálivka 2	20,8	21,2	21

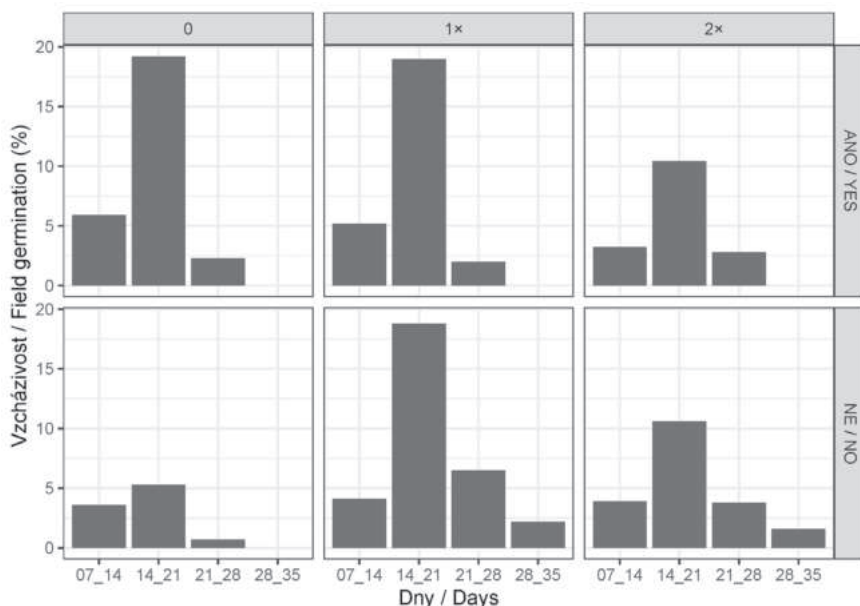
Tabulka 5: Průměrný počet dnů vzházení semen tří oddílů jidle bělokore



Graf 2: Vývoj vzházivosti v závislosti na zálivce (0 bez zálivky, 1× týdně, 2× týdně) a substrátu (ANO – s hydroabsorbentem, NE – čistý substrát).

Diskuse

Pozitivní vliv hydrogelu na procento vzházivosti ve variantě bez pokračující zálivky (jen iniciační zálivka na počátku pokusu) je slibným výsledkem, který naznačuje potenciál zvládnání podmínek sucha. Zadržení vody v blízkosti klíčících semen je ostatně základním efektem očekávaným od hydroabsorbentu přimíšeného do růstového substrátu (Landis, Haase 2012). Je tomu tak proto, že svým superabsorbčním účinkem předchází odtoku a výparu srážkové nebo závlahové vody (Kaur a kol. 2023). Pozitivní vliv těchto meliorantů na klíčivost



Graf 3: Průměrný počet vzešlých semen v jednotlivých týdnech od výsevu v závislosti na zálivce (0 bez zálivky, 1x týdně, 2x týdně) a substrátu (ANO – s hydroabsorbentem, NE – čistý substrát)

semen konstatovali např. Sarvaš, Tučeková (2003) nebo Yang a kol. (2014). Pozitivní význam ukázalo také přidání hydroabsorbentu do antropozemí (Miller, Naeth 2019). Tyto hydrofilní látky totiž fungují jako „umělý humus“ (Hüttermann a kol. 2009). Schopnosti hydroabsorbentů zlepšovat růstové prostředí jsou také velmi často hodnoceny ve vztahu k prosperitě semenáčků. Velkou rešerši této problematiky provedl Crous (2016), který konstatoval lepší přežití rostlin v nádobových pokusech než u výsadeb v terénu. Zlepšení doby klíčení semen i růstu rostlin (*Paulownia tomentosa*, *Cupressus sempervirens*) v nádobovém pokusu po aplikaci hydroabsorbentu konstatovali Prisa, Guerrini (2023). Dobré výsledky lze po jeho přidání do substrátu nebo půdy očekávat v sušších podmínkách. Je-li k dispozici možnost závlahy, aplikace hydroabsorbentu a zejména předávkování substrátu těmito půdními kondicionéry je nevhodné; nabobtnání může vytlačovat substrát a s ním i rostlinný materiál (např. Sarvaš a kol. 2007). Při užití hydroabsorbentů v substrátu je tedy nutné přizpůsobit zálivku a dávku kondicionéru.

Závěr

1. Aplikace 60 g hydroabsorbentu do 10 litrů substrátu se projevila na zvýšení vlhkosti substrátu. Při této dávce měl gel jednoznačně pozitivní vliv na vzcházivost semen pouze u varianty bez zálivky, kde byla vzcházivost o ca 17 % vyšší než při

výsevu do čistého substrátu. Hydroabsorbent tak prokázal svou schopnost vázat vodu a uvolňovat ji rostlinám v období sucha.

2. Při zálivce 1× týdně a 2× týdně již aplikace hydroabsorbentu v dávce 60 g na 10 litrů substrátu vedla k příliš vysoké vlhkosti substrátu, jež se projevila snížením vzházivosti o 4-5 % v porovnání s čistým substrátem.

3. Nejvyšší vzházivost byla zaznamenána na variantě s čistým substrátem bez hydroabsorbentu se zálivkou 1× týdně. Zálivka 2× týdně vedla k přílišné vlhkosti i čistého substrátu a k poklesu vzházivosti.

4. Pro dosažení optimální účinnosti hydroabsorbentu na vzházivost jedlového osiva je zásadní nalézt správnou kombinaci dávky a závlahového režimu.

Poděkování

Článek vznikl v rámci řešení projektu NAZV QK1910292 „Postupy pro podporu jedle bělokoré v lesním hospodářství ČR“

Literatura

Bernadzki E. 2008: Jodła pospolita – ekologia-zagrozenia-hodowla [Silver fir – ecology-threatens-silviculture]. Warszawa, PWRiL: 210 s.

Black et al. 2006: The encyclopedia of seeds: science, technology and uses. CAB International:828s. ISBN-10: 0-85199-723-6.

Bošela M., Petras R., Sitková Z., Priwitzer T., Pajtik J., Hlavata H., Sedmák R., Tobin B. 2014: Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environmental Pollution*, 184: 211–221.

Bošela M., Lukac M., Castagneru D., Sedmák R., Biber P., Carrer M., Konôpka B., Nola P., Nagel T. A., Popa I., Roibu C. C., Svoboda M., Trotsiuk V., Büntgen U. 2018: Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of the Total Environment*, 615: 1460–1469. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.092

Bürkner P. C. 2017: Brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *Journal of Statistical Software*, 80(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01>

Cihlář P., Tomášek J., Bečka D., Mikšík V., Vašák J. 2015: Faktory ovlivňující výnosotvorné prvky máku v roce 2015. In: Prosperující olejnin. Sborník referátů z konference katedry rostlinné výroby ČZU v Praze. Praha10. 12. 2015. Větrný Jeníkov 11. 12. 2015. Praha, ČZU v Praze:120–122.

Crous J. W. 2016: Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 79, 3: s. 197–213.

Černý D. 2016: Jedle bělokorá na horní hranici svého výskytu v PLO 13 – Šumava a záchrana jejího genofondu. In: Černý, D. (ed.): Jedle bělokorá, páteř evropských lesů. Sborník referátů z mezinárodní konference. 12. a 13. 10. 2016, Olšina u Horní Plané. Kostelec nad Černými lesy, Šumavský Králováci v nakladatelství Lesnická práce: 33–37.

ČSN 48 1211. 2006. Lesní semenářství – sběr, kvalita a zkoušky kvality semenného materiálu lesních dřevin. Praha, Český normalizační institut: 56 s.

- Hüttermann A., Oriquiriza 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.
- Hynek V., Markes J., Vydra J. 1997: Jedle bělokorá v Krušných horách. Současný stav a perspektivy pěstování. *Lesnická práce*, 76 (6): 211–213.
- 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: s. 3701–3718.
- Landis T. C., Haase D. L. 2012: Applications of hydrogels in the nursery and during outplanting. In: Haase DL, Pinto JR, Riley LE, technical coordinators. *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2011*. Fort Collins (CO): USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. *Proceedings RMRS-P-68*: s. 53–58.
- Lošák M. 2018: Vliv aplikace pomocných půdních látek na vývoj botanického složení extenzivního trávníku na výsušném stanovišti. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): *Hospodaření s vodou v krajině*. Třeboň 21 – 22. 6. 2018. ISBN 978-80-87361-83-2
- Łuszczńska K., Wistuba M., Malik I. 2018: Reductions in tree-ring widths of silver fir (*Abies alba* Mill.) as an indicator of air pollution in southern Poland. *Environmental & Socio-economic Studies*, 6 (3): 44–51.
- Macků J., Resnerová K., Tomášková I., Holeček T., Hájková K., Trombik J. 2022: Způsoby aplikace hydrogelu a možnosti jeho využití v lesnickém provozu s inovovanými možnostmi dávkování – certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce* 7/2022: 55 s.
- Marozau A., Mielcarek M., Krok G., Paluch R., Chiliński K. 2021: European silver fir – an alternative for the dying Norway spruce in Białowieża Forest? *Folia Forestalia Polonica*, 63 (2): 150–166.
- Miller V. S., Naeth M. A. 2019: Hydrogel and Organic Amendments to Increase Water Retention in Anthroposols for Land Reclamation. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 4768091, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/4768091>
- Novák M. 2014: Využití přípravku Agrisorb při pěstování vybraného druhu zeleniny. Diplomová práce. Brno, Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta v Lednici, Ústav zelinářství a květinářství.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D., & R Core Team. 2021: nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- 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.
- R Core Team. 2022: R: Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Sarvaš M., Tučeková A. 2003: Aplikácia hydrogelov rady Stockosorb® v škôlkarskej výrobe. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48, 2-3: 71–74.

- Sarvaš M., Pavlenda P., Takáčová E. 2007: Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamation. *Journal of Forest Science*, 53, 2007 (5): 204–209.
- Vencurik J., Sedmáková D., Bača M., Jaloviar P., Kuchel S. 2022: Rastové reakcie ihličnatých drevín na meniace sa klimatické podmienky vo výberkovom lese: prípadová štúdia. *Zprávy lesnického výzkumu*, 67 (3): 203–212.
- Vinš B. 1974: Ústup jedle z hľadiska výzkumu. In: *Současný stav a perspektivy pěstování jedle v ČSR. Sborník referátů z celostátní konference*. České Budějovice, květen 1974. České Budějovice, Dům techniky ČVTS II/1-II/12.
- Vitali V., Büntgen U., Bauhus J. 2017: Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in southwestern Germany. *Global Change Biology*, 23: 5108–5119.
- Vitasse Y., Bottero A., Rebetez M., Conedera M., Augustin S., Brang P., Tinner W. 2019: What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research*, 138: 577–560. DOI: 10.1007/s10342-019-01192-4
- Wilske 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.
- Yang L., Yang Y., Zhang Ch., Chunxiao G., Shaocai L. 2014: Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. *Ecological Engineering*, 62: 27–32.
- Zakopal V. 1970: Pěstování jedle s ohledem na její chřadnutí a ústup. *Lesnická práce*, 49 (9): 402–411.

Kontaktní adresa

Ing. Lena Bezděčková

Ing. Kamila Brožovičová, Bc.

Ing. Pavel Kotrla, PhD.

Ing. Josef Cafourek, PhD.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Kunovice, Na Záhonech 601, 686 04 Kunovice, Česká republika

Ing. David Dušek, PhD.

Ing. Dušan Kacálek, PhD.

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika

e-mail: bezdeckova@vulhmuh.cz

e-mail: dusek@vulhmop.cz

e-mail: kacalek@vulhmop.cz

KVALITA ZÁVLAHOVÉ VODY - MOŽNOSTI SNÍŽENÍ UHLIČITANOVÉ TVRDOSTI

Martin Dubský

Abstrakt

Z jakostních parametrů závlivkové vody ovlivňuje nejvíce přípravu hnojivých roztoků a chemické vlastnosti substrátů v průběhu pěstování obsah hydrogenuhlíčanů, hodnota pH a hodnota elektrické vodivosti (EC), která charakterizuje obsah rozpustných solí ve vodě. Dalšími důležitými ukazateli kvality závlahové vody je obsah vápníku, hořčíku a sodíku, dále síranů a chloridů. Voda s vyšším obsahem hydrogenuhlíčanů může nepříznivě zvyšovat hodnotu pH substrátu a tím snižovat přijatelnost fosforu a většiny stopových prvků. Při zvýšeném obsahu hydrogenuhlíčanů 220 mg HCO_3^-/l (3,6 mmol HCO_3^-/l), resp. uhličitánové tvrdosti $>10^\circ\text{N}$) je vhodné, podle citlivosti pěstovaných rostlin, obsah uhličitánů snižovat mícháním s vodou dešťovou, případně přidavkem minerálních kyselin v kombinaci s hnojením dusíkem v amonné formě. Z minerálních kyselin se nejčastěji používá technická kyselina dusičná, v období mimo hlavní vegetační období se využívá kyselina fosforečná nebo sírová. Živiny dodané ve formě kyselin je nutné započítat do celkové bilance dodaných živin.

Klíčové slová

Kvalita vody, hnojivý roztok, minerální kyseliny, obsah hydrogenuhlíčanů, uhličitánová tvrdost, závlahová voda

Úvod

Znalost kvality závlahové vody a kapacitní vydatnosti vybraného vodního zdroje je v soudobých školkařských provozech, které jsou orientované na pěstování krytokořenné sadby lesních dřevin, nutností. V lesních školkách bývá nejčastěji zdrojem vody pro závlahy podzemní voda čerpaná z vrtů, voda z akumulčních nádrží na vodních tocích nebo také voda čerpaná přímo z tekoucích povrchových vod.

Význam hodnocení chemických vlastností závlahové vod spočívá nejen v posouzení její vhodnosti, ale i k případné úpravě vody a posouzení jejího potenciálního vlivu na chemické vlastnosti pěstebních substrátů, především hodnotu pH. Složení vody a kvalitativní zastoupení živin musí být respektovány a zakalkulovány do systému hnojení při přípravě hnojivých roztoků (Dušek 1997).

Kritéria kvality závlahové vody

Z jakostních parametrů závlivkové vody ovlivňuje nejvíce chemické vlastnosti substrátů obsah hydrogenuhlíčanů. Obsah hydrogenuhlíčanů (hodnota uhličitánové tvrdosti), spolu s hodnotou pH a elektrické vodivosti (EC), by

měla být u závlahové vody průběžně sledována. Uhličitanovou tvrdost lze ve školkařském podniku kontrolovat rychlotestem (např. AQUAMERC), hodnoty pH a EC přenosným kombinovaný pH metrem s konduktometrem.

Pro optimalizaci složení živných roztoků je dobré znát obsah vápníku, hořčíku a síranů, případně stopových prvků železa, manganu, bóru a zinku. Při vysoké hodnotě EC je vhodné ve specializované laboratoři ověřit obsah sodíku a chloridů. Pokud je obsah síranů ve vodě kolem 125 mg SO₄-/l (42 mg S/l), sírany se nemusí přidávat ve formě hnojiv. Totéž platí o hořčíku při jeho obsahu ve vodě kolem 12 mg Mg/l. Optimální obsah vápníku v hnojivém roztoku (např. při hydroponickém pěstování) je 140 mg Ca/l.

Při vyšších koncentracích manganu v závlahové vodě (>0,25 mg Mn/l) by se tato stopová živina neměla do koncentráту přidávat. Toxicita Mn se u substrátů s nižší hodnotou pH může projevit okrajovými chlorózami a nekrózami mladých listů. Při vyšším obsahu Mn ve vodě je účelné zvýšit koncentraci Fe v roztoku, tak aby poměr Fe:Mn byl 3:1. Pokud je koncentrace bóru ve vodě >0,3 mg B/l, neměla by se používat hnojiva s touto živinou. Zvýšené koncentrace B v hnojivém roztoku mohou způsobovat okrajové nekrózy listů (Dubský 2025).

Obecné požadavky na kvalitu závlahových vod při pěstování krytokořenného sadebního materiálu dřevin pod umělými kryty a na úložištích v lesních školkách uvádí přehled v tabulce 1. V tabulce je uveden i přepočítaný součet Ca a Mg na celkovou tvrdost. Mezní hodnoty pro závlahovou vodu nemají být překročeny v případě, že je voda používána pro krytokořennou sadbu a pro pěstování dřevin v kontejnerech. Pro doplňkovou závlahu prostokořenných sazenic nemusí být voda tak kriticky hodnocena (Dušek 1997).

Příklad přepočtu uhličitanová tvrdost:

KNK_{4,5} v mmol/l $\times 2,78$ = uhličitanová tvrdost v °N ($5,1 \times 2,78 = 14,2$ °N)

KNK_{4,5} v mmol/l $\times 61$ = obsah uhličitanů v mg HCO₃⁻/l ($5,1 \times 61 = 311$ mg HCO₃⁻)

Příklad přepočtu celková tvrdost:

Vápník -185 mg/l = 4,6 mmol/l (mg/l : molekulová hmotnost 40,08)

Hořčík 21,5 mg/l = 0,9 mmol/l (mg/l : molekulová hmotnost 24,31)

Suma Ca + Mg mmol $\times 5,6$ (desetina molekulové hmotnosti CaO) = celková tvrdost v °N ($5,5 \times 5,6 = 30,8$ °N)

Jednotkou tvrdosti vody v soustavě SI je mmol/l. V praktických návodech na snížení uhličitanové tvrdosti se používají jednotky mg HCO₃⁻/l a °N (Harm 1999). Tyto jednotky jsou použity i v praktických příkladech v tomto článku.

Příklad závlahové vody použitelné pro závlahu dřevin představuje vodu se zvýšeným obsahem hydrogenuhličitanů (311 mg HCO₃⁻), uhličitanovou tvrdostí 14,2 °N a zvýšenou hodnotou EC (0,87 mS/cm). Voda má i vysoký obsah vápníku, síranů, manganu a železa. Uhličitanovou tvrdost je v rámci přípravy hnojivých roztoků účelné snížit aplikací minerálních kyselin, příklady jsou uvedeny

jakostní ukazatel	jednotka	hodnota			příklad – voda	
		bezpečná*	mezní*	vysoká**	použitelná	nevhodná
pH		5,5–7,0	<5,5 nebo >8,0	>7,5	7,0	7,5
EC	mS/cm	<0,40	>0,75	>1,5	0,87	1,36
Ca	mg/l	<100	>100	>140	185	35
Mg	mg/l	<25	>50	>35	22	27
Na	mg/l	<15	>30	>40	22	279
KNK4,5	mmol/l	2,8–3,5	>3,5	>5,4	5,1	16,9
uhličitaný (HCO ₃ ⁻)	mg/l	171–214	>214	>329	311	1032
uhličitanová tvrdost	°N	8–10	>10	>15	14,2	47,3
Ca + Mg	mmol/l	<2,2	>3,6	>5,4	2,1	2,0
celková tvrdost	°N	<13	>20	>30	30,8	11,1
chloridy (Cl ⁻)	mg/l	<15 (20)	>30 (50)	>80	57	38
síraný (SO ₄ ²⁻)	mg/l	<200	-	>180	305	<10
Fe	mg/l	<0,3	>2 (5)	>0,5	1,06	2,8
Mn	mg/l	<0,2	>0,5	>0,5	0,55	<0,02
Zn	mg/l	<0,3	>0,5 (1,0)	>1	-	-
B	mg/l	<0,1	>0,1 (1,0)	>0,5	0,15	1

Tab. 1: Kritéria kvality závlahové vody pro pěstování krytokořenných semenáčků a sazenic lesních dřevin ve školkách (Dušek 1997; Behrens 1997; Szabla a Pabian 2009), obecné parametry pro závlahovou vodu** (Šrámek a Volf 1989).*

v tabulkách 4 a 5. Druhý příklad představuje vodu nevhodnou pro zalívku s extrémně vysokým obsahem hydrogenuhlíkatů (vysokou alkalitou), která je tvořena především hydrogenuhlíkaty sodíku. Alkalita je v tomto případě dána obsahem všech zásaditě reagujících látek a přepočten na uhličitanovou tvrdost ve °N, která je podle definice tvořena hydrogenuhlíkaty vápenatými a hořečnatými, neodpovídá realitě.

Způsoby udávání uhličitanové tvrdosti

Tvrdost vody je definována jako obsah solí kationtů s větším oxidačním stupněm (mocností) než 1, především vápníku a hořčíku. Dříve se tvrdost vody měřila v tzv. německých stupních (°N, °dH). Podle současných norem se vyjadřuje jako suma vápníku a hořčíku v mmol/l. Rozeznáváme tvrdost uhličitanovou (karbonátovou), která je tvořena hydrogenuhlíkaty vápenatými a hořečnatými, a tvrdost trvalou (nekarbonátovou), která je tvořena jinými typy solí, především síranů, dále chloridů a dusičnanů. Vzhledem k převládajícímu obsahu síranů, se

někdy označuje jako tvrdost síranová. Celková tvrdost je součet karbonátové a nekarbonátové tvrdosti.

Hydrogenuhlíčitany vápenaté a hořečnaté jsou soli za normálních podmínek ve vodě velmi dobře rozpustné, ale v důsledku změny rovnováhy mezi oxidem uhličitým a hydrogenuhlíčitany, např. při zahřívání, se mohou snadno změnit na nerozpustné uhličitany. Uhličitanová tvrdost vody bývá označována také jako alkalita, která je dána obsahem všech zásaditě reagujících látek. Alkalita se stanovuje jako kyselinová neutralizační kapacita (KNK), je mírou acidobazické stability vody. Charakterizuje její pufrací (tlumivou) kapacitu, schopnost neutralizovat kyseliny a udržovat hodnotu pH.

Pro kvalitu závlahové vody je rozhodující její uhličitanová tvrdost, resp. alkalita daná obsahem hydrogenuhlíčanů. Síranová tvrdost má spíše příznivý vliv, je zdrojem Ca a Mg, případně síry a neovlivňuje hodnotu pH substrátu. Uhličitanová tvrdost působí příznivě, podle citlivosti jednotlivých skupin rostlin, pouze do tvrdosti 5–10 °N, 110–220 mg HCO_3^- (KVK4,5 = 3,6–5,4 mmol/l).

Voda s vyšší uhličitanovou tvrdostí může nepříznivě zvyšovat hodnotu pH substrátu a tím snižovat přijatelnost fosforu a většiny stopových prvků (Fe, Mn, B, Zn i Cu). Poškození se projevuje hnědnutím kořenů a chlorózami. Nepříjemné je také vytváření bělošedých skvrn na listech po aplikaci závlahové vody nebo hnojivého roztoku. Přesahuje-li uhličitanová tvrdost 10–15 °N (220–330 mg HCO_3^-), měla by se pro rostliny pěstované ve sklenících a fóliových krytech i pro některé citlivé venkovní druhy upravovat.

Nejjednodušším a nejlevnějším způsobem je míchání tvrdé vody s vodou dešťovou. Řada zahradnických i školkařských podniků používá pro závlivku vodu z vlastních vrtů s vysokou uhličitanovou tvrdostí a je nucena pro její snížení používat minerální kyseliny v kombinaci s hnojením dusíkem v amonné formě.

Podle ČSN EN ISO 9963-1:1996 se obsah hydrogenuhlíčanů ve vodě stanovuje titrací vzorku vody kyselinou do pH 4,5 a udává se v mmol HCO_3^- /l jako celková alkalita, nebo též kyselinová neutralizační kapacita (KNK4,5). Jeden mmol HCO_3^- /l odpovídá 61 mg HCO_3^- /l. Správně by se tedy uhličitanová tvrdost měla vyjadřovat jako obsah HCO_3^- v mmol/l nebo mg/l. Vzhledem k tradici se stále používají i °N (°dH), kde jeden stupeň odpovídá 10 mg CaO/litr nebo 7,2 mg MgO/litr. Agrochemické laboratoře, které provádějí rozbor vody v rámci poradenské činnosti, hodnotu KNK4,5 přepočítávají na mg HCO_3^- /l i na °N. Převod jednotek uhličitanové tvrdosti je uveden v tabulce 2.

V hodnocení závlivkové vody laboratoře někdy uvádějí i tvrdost celkovou. Stanovují ji komplexometrickým stanovením sumy kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} (ČSN ISO 6059:1996) nebo výpočtem po stanovení vápníku a hořčíku metodou atomové absorpční spektrometrie (ČSN ISO 7980:1994). Pro výpočet celkové tvrdosti ve °N se obsah vápníku a hořčíku v mg/l se přepočítá na mmol/l a suma Ca a Mg se vynásobí 5,6 (desetina molekulové hmotnosti CaO).

Vyjádření uhličitánové tvrdosti	jednotka	mmol HCO ₃ ⁻ /l	mg HCO ₃ ⁻ /l	°N (°dH)
Kyselinová kapacita (KVK4,5)	1 mmol/l	–	61,0	2,8
Obsah hydrogenuhlíčanů (HCO ₃ ⁻)	1 mg/l	0,016	–	0,046
Německý stupeň	1°N (°dH)	0,36	21,8	–

Tab. 2 Převod jednotek uhličitánové tvrdosti.

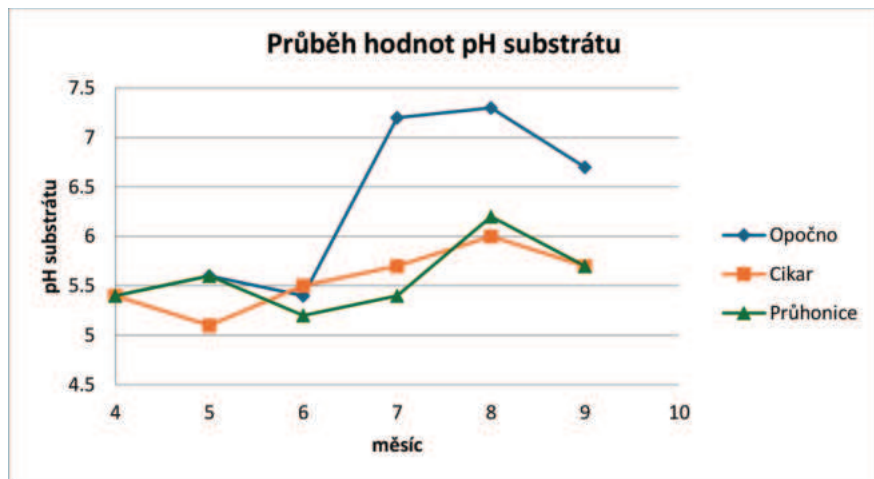
Úprava vody podle citlivosti rostlin

Při úpravě závlahové vody musíme počítat s tím, že citlivost k obsahu hydrogenuhlíčanů není u všech rostlin stejná (Šrámek a Volf 1989). Citlivé rostliny (mladé rostliny obecně, vřesovité) vyžadují vodu s tvrdostí 7–8 °N (154–176 mg HCO₃⁻), většina dřevin pěstovaných v obalech nebo kontejnerech snáší vodu s tvrdostí 12–15 °N (264–330 mg HCO₃⁻), při vyšších hodnotách 17–20 °N (374–440 mg HCO₃⁻) se mohou vyskytnout poruchy ve výživě rostlin.

Hodnota pH substrátu zůstává stabilní při používání vody s uhličitánovou tvrdostí 5 °N (110 mg HCO₃⁻/l) a hnojení hnojiv s nízkým podílem dusíku v amonné formě. Negativní vliv vody s uhličitánovou tvrdostí do 10 °N (220 mg HCO₃⁻/l) lze eliminovat používáním hnojiv s obsahem dihydrogenfosforečnanu draselného a části dusíku v amonné formě (např. Kristalon) nebo hnojiv s obsahem kyseliny citronové (např. Universol). Při uhličitánové tvrdosti >15 °N je vhodné tuto vodu ředit s vodou dešťovou nebo upravovat minerálními kyselinami, případně v kombinaci s aplikací dusíku v amonné formě.

Při uhličitánové tvrdosti >10 °N (220 mg HCO₃⁻/l) je nutné používat substráty s hodnotou pH na spodní úrovni doporučených hodnot (Dubský et al. 2016), např. hodnota pH 5,5–6,0 pro listnáče. V grafu 1 je uveden průběh hodnot pH substrátu při pěstování semenáček buku ve třech školkách s odlišnou uhličitánovou tvrdostí, školka Cikar 4 °N (88 mg HCO₃⁻), Průhonice 11 °N (242 mg HCO₃⁻) Opočno 19 °N (418 mg HCO₃⁻). V Opočně vysoká uhličitánová tvrdost zvyšovala hodnoty pH nad optimum v letním období při intenzivní závlivce, snížení hodnot pH vlivem srážek je patrné až ke konci vegetace. V Průhonicích byly hodnoty pH substrátu ovlivněny (sníženy) srážkovou vodou po přesunutí rostlin na venkovní plochu na konci měsíce června. V Cikaru byly rostliny pěstovány po celou dobu v prostoru krytém před dešťovými srážkami a hodnota pH je ovlivněna pouze závlivkovou vodou a systémem hnojení, který mírně snižoval hodnotu pH na počátku vegetace.

Při uhličitánové tvrdosti nad 220 mg HCO₃⁻/l (10 °N) je vhodné stanovit množství iontů H⁺ potřebných pro eliminaci iontů HCO₃⁻. Zdrojem iontů H⁺ jsou minerální kyseliny a amonné ionty (NH₄⁺) z hnojiv. Minerální kyseliny snižují uhličitánovou tvrdost přímo v roztoku používaném pro závlivku, amonné ionty působí v substrátu, v půdním roztoku.



Graf 1: Průběh hodnot pH_{H_2O} substrátu (ČSN EN 13037:2012) při pěstování semenáčků buku lesního s použitím závlivkové vody s odlišnou uhlíčitanovou tvrdostí: Opočno 19 °N, Průhonice 11 °N, Cikar 4 °N (Dubský et al. 2016).

Zásady aplikace minerálních kyselin

Obecně se snížení uhlíčitanové tvrdosti provádí na cílovou tvrdost 110 mg HCO_3^-/l (5 °N). Vzhledem k používání technických kyselin (tab. 3) s kolísavou koncentrací doporučujeme výpočty provádět na cílovou tvrdost 132–176 mg HCO_3^-/l (6–8 °N), aby se zamezila možnost přílišného okyselení roztoku. Z minerálních kyselin se nejčastěji používá 53% kyselina dusičná, která obsahuje 156,4 mg N/l (dávka 0,032 ml/l vody sníží tvrdost o 1 °N, tedy o 22 mg HCO_3^-/l). Pro přípravu roztoků s nízkým nebo nulovým obsahem dusíku v období, kdy mají rostliny nižší požadavky na tuto živinu, se využívá kyselina fosforečná nebo sírová. Z bezpečnostních důvodů se doporučuje kyselina sírová o nižší koncentraci (35 %), která je určena do autobaterií. Hodnota pH hnojivého roztoku po aplikaci kyselin by měla být 5,5–6,0. Při hodnotách pH pod 5,0 se v hnojivém roztoku vyskytují volné kyseliny a může docházet k výraznému snižování hodnoty pH substrátu.

Dávkování kyselin se může kombinovat s používáním dusíku v amonné formě, množství 10 mg $N-NH_4/l$ vody eliminuje 2 °N (Harm 1999). Oba postupy jsou rovnocenné. Podíl dusíku v amonné formě se většinou pohybuje v rozmezí 20–30 % obsahu celkového dusíku v živném roztoku, tyto hodnoty jsou uváděny jako optimální pro růst rostlin.

Příklady přípravy hnojivých roztoků

Při sestavování hnojivého roztoku je nutné zahrnout živiny dodané kyselinami do celkové bilance. Příklady úpravy závlivkové vody pomocí kyseliny dusičné jsou uvedeny pro modelovou vodu s uhlíčitanovou tvrdostí 14,2 °N, 311 mg HCO_3^- - (viz

kyselina	vzorec	koncentrace			dávka ml/l vody	dodané živiny mg/l roztoku
		% hmotn.	mol/l	mol H+/l**		
dusičná	HNO ₃	53 %	11,2	11,2	0,032	N - 5
		65 %	14,5	14,5	0,025	N - 5
fosforečná	H ₃ PO ₄	75	12,1	12,1	0,030	P - 11,2
sírová	H ₂ SO ₄	98 %	18,3	36,6	0,0098	S - 11,5 (34,8 SO ₄ ²⁻)
		35 %*	4,5	9,0	0,04	S - 11,5 (34,8 SO ₄ ²⁻)

* kyselina do autobaterií, ** koncentrace účinných disociovaných vodíkových iontů

Tab. 3: Dávka minerální kyseliny pro snížení uhličitánové tvrdosti o 22 mg HCO₃⁻/l (1 °N).

tab. 1). Ideální je používat upravený slabý hnojivý roztok při každé zálivce (tab. 4). Pokud se nepřihnojuje při každé zálivce, snížení uhličitánové tvrdosti vody se počítá pouze z dávky kyseliny (tab. 5). U amonných iontů se předpokládá působení v substrátu při následné zálivce neupravenou vodou.

Obsahy živin v hnojivech jsou uváděny v oxidech, případně i v prvcích, obsahy živin hnojivých roztocích jsou, obdobně jako obsahy přijatelných živin v substrátech, uváděny výhradně v prvcích.

Pro snadnou aplikaci směsi kyselin a hnojiv dávkovacím čerpadlem se z jednotlivých komponentů připravuje koncentrát, který se pro snadnou aplikaci přidává v množství 10 ml/l vody. Při používání okyselených živných roztoků je nutná občasná kontrola hodnot pH a elektrické vodivosti (EC) roztoku.

Pokud je potřeba snížit uhličitánovou tvrdost závlahové vody a eliminovat tvorbu bělošedých skvrn na listech a jehlicích rostlin na úložištích lesních školek nebo plochách, kde jsou rostliny umístěny kratší dobu, můžeme použít speciální čerpadlo pro dávkování koncentrovaných kyselin (např. Dositec). Ve vegetačním období aplikujeme 53% kyselinu dusičnou, v podzimním období lze použít 35% kyselinu sírovou. Při snížení uhličitánové tvrdosti modelové vody o 9 °N (198 mg HCO₃⁻) se na litr přidá 0,25 ml kyseliny dusičné, což představuje koncentraci dusíku 39 mg/l, při delším období zálivky okyseleným roztokem je nutné aplikovat i draselné hnojivo.

Pro přípravu koncentráту (tab. 4) je možné použít jedno a dvousložková hnojiva (obsah živin v %), především dusičnan draselný - 36 % K₂O, 13 % N, dihydrogenfosforečnan draselný (34 % K₂O, 52 % P₂O₅), dusičnan amonný (35 %N) a koncentrát stopových prvků, např. Tenso cocktail (0,52 % B, 0,53 % Cu, 3,84 % Fe, 2,57 % Mn, 0,13 % Mo, 0,53 % Zn). Při vysokém obsahu Mn, resp. B ve vodě se doporučuje připravit vlastní koncentrát bez této stopové živiny.

Pro jednodušší přípravu mohou školkaři použít i rozpustná NPK hnojiva se stopovými prvky (obsah živin v %), např. Kristalon Modrý (19 % N, 6 % P₂O₅, 20 % K₂O, 3 % MgO, 3 % S, Kristalon Oranžový (6/12/36/3) nebo Kristalon Žlutý (13/40/13/0), která jsou ve školkách většinou k dispozici (tab. 5).

Pokud je k dispozici voda s nízkou uhličitánovou tvrdostí (např. dešťovou), je vhodné při přípravě hnojivých nebo hydroponických roztoků doplnit i vápník ve formě dusičnanu vápenatého (Calcinit, 15,5 % N, 19 % Ca), hořčík ve formě síranu hořečnatého (Krista MgS, 17 % MgO, 13 % S) a draslík a síru ve formě síranu draselného (Krista SOB, 51 % K₂O, 18 % S). Při přípravě tohoto hnojivého roztoku je nutné použít speciální dávkovací zařízení, které používá dva zásobníky (tanky) pro přípravu koncentráту hnojivých roztoků. V rámci tanků se odděluje vápník od fosforu, ze stopových prvků železo od fosforu. Je uveden modelový příklad (tab. 6) přípravy dvou koncentrátů při dávkování 10 ml/litr vody s mírným okyselením roztoku kyselinou dusičnou na pH 5,5.

hnojivo dávka na l vody	obsah živin v mg/l				úbytek ° N	dávka na 10 l koncentrátu
	celk. N	N-NH ₄	P	K		
0,25 ml kyselina dusičná 53 %	39	-	-	-	-8	250 ml
0,04 g dihydrogenfosforečnan draselný	-	-	9,2	11,6		40 g
0,1 g dusičnan draselný	13	-	-	29,9		100 g
0,005 g Tenso cocktail**						5 g
suma	49	-	9,2	41,5	-8*	

* uhličitánová tvrdost vody 14 °N (208 mg HCO₃⁻), zbytková 6 °N (132 mg HCO₃⁻),

** 0,005 g Tenso cocktail obsahuje obdobné množství stopových prvků jako 0,25 g Kristalonu.

Tab. 4: Hnojivý roztok pro aplikaci při každé zálivce připravený z jednosložkových a dvousložkových hnojiv s nízkým obsahem dusíku 50 mg N/l (obdobný jako u 0,025% roztoku Kristalonu Modrého), poměr N:P:K = 1:0,2:0,85.

hnojivo dávka na l vody	obsah živin v mg/l						úbytek ° N	dávka na 10 l koncentrátu
	celk. N	N-NH ₄	P	K	Mg	S		
0,25 ml kys. dusičná 53 %	39	-	-	-			-8	250 ml
1,3 g Kristalon Modrý	247	93	34,3	215,8	23,4	39		1300 g
0,1 g Kristalon Oranžový	6	1	5,3	29,9		-		100 g
suma	291	94	39,6	245,7	23,4	39	-8*	

* uhličitánová tvrdost vody 14 °N (208 mg HCO₃⁻), zbytková 6 °N (132 mg HCO₃⁻), při přihnojování v delším intervalu (např. 10–15 dní) se snížení uhličitánové tvrdosti počítá pouze z dávky kyseliny.

Tab. 5: Hnojivý roztok pro přihnojování připravený z hnojiv Kristalon, obsah dusíku 290 mg N/l (obdobný jako u 0,15% roztoku Kristalonu Modrého), poměr N:P:K = 1:0,14:0,85.

hnojivo dávka na 1 vody	obsah živin v mg/l							dávka na 10 l koncentrátu
	celk. N	N-NH ₄	P	K	Mg	Ca	S	
Tank A								
0,1 ml kys. dusičná 53 %*	15,6	-	-	-				100 ml
0,65 g Calcinit	100,8	7,2				123,5		650 g
0,1 g Krista K	13,7	-	-	38,4		-		100 g
0,01 g Tenso cocktail**								10 g
Tank B								
0,15 g Krista MKP			34,1	42,6				150 g
0,15 g Krista MgS					15,0		19,5	150 g
0,08 g Krista SOB				35,9			14,4	80 g
suma	130,1	12,7	34,1	116,9	15,0	123,5	33,9	

* okyselení roztoku na pH 5,5 (teoretické snížení uhličitánové tvrdosti o 3 °N, 66 mg HCO₃-

** při dávce 0,01 g Tenso cocktail na litr vody živný roztok obsahuje v mg/l: 0,38 Fe, 0,25 Mn, 0,053 Zn, 0,053 Cu, 0,052 B, 0,13 Mo, 005 g Tenso cocktail obsahuje obdobné množství stopových prvků jako 0,25 g Kristalonu.

Tab. 6: Hnojivý – hydroponický roztok pro aplikaci při každé zálivce s obsahem dusíku 130 mg/l a optimálním obsahem všech hlavních a stopových živin, poměr N:P:K = 1:0,26:0,9.

Závěr

Pro kvalitu závlahové vody je rozhodující její uhličitánová tvrdost. Voda s vyšší uhličitánovou tvrdostí může nepříznivě zvyšovat hodnotu pH substrátu a tím snižovat přijatelnost fosforu a většiny stopových prvků. Přesahuje-li uhličitánová tvrdost 10–15 °N, 170–215 mg HCO₃-/l (3,6–5,4 mmol HCO₃-/l), měla by se pro rostliny pěstované ve sklenících a fóliových krytech i pro některé citlivé venkovní druhy upravovat. Hodnota uhličitánové tvrdosti, spolu s hodnotou pH a elektrické vodivosti, by měla být u závlahové vody průběžně sledována.

Literatura

- Behrens, V. 1997: Bewässerung und Kulturflächenaufbau. In: Krüssmann, G.: Die Baumschule. Ein praktisches Handbuch für Anzucht, Vermehrung, Kultur und Absatz der Baumschulpflanzen. 6. Auflage. Berlin, Parey Buchverlag: 623–645.
- ČSN EN ISO 9963-1 1996: Jakost vod – Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (KNK) – Část 1: Stanovení KNK_{4,5} a KNK_{8,3}.
- ČSN ISO 7980 1994: Jakost vod – Stanovení vápníku a hořčíku – Metoda atomové absorpční spektrometrie.

- ČSN ISO 6059 1996: Jakost vod – Stanovení sumy vápníku a hořčíku – Odměrná metoda s EDTA.
- ČSN EN 13037 2012: Pomocné půdní látky a substráty – Stanovení pH. 12 s. [ÚNMZ, Praha].
- DUBSKÝ M. 2025. Tvrdost závlahové vody – měření a možnosti její eliminace. In: Kostelníková J. (ed.): Aktuální problematika lesního školkařství ČR v roce 2025. Sborník příspěvků. Třemošnice – Starý Dvůr, 11. – 12. února 2025. Sdružení lesních školkařů ČR: 7–11.
- Dubský, M., ŠRÁMEK, F., NÁROVEC, V., NÁROVCOVÁ, J. 2016. Rašelinové substráty s podílem tmavé rašeliny – jejich vlastnosti a použití. Certifikovaná metodika č. 1/2016-053, TAČR TA03020551, ISBN 978-80-87674-19-2, 34 s.
- Dušek, V. 1997: Lesní školkařství. Základní údaje. Vydání první. Písek, Matice lesnická: 139 s.
- Harm, U. 1999: Stickstoffdüngung und Härte des Gießwassers, Deutsche Gartenbau, 19/1999: 25–27
- Szabla, K., Pabian, R. 2009: Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. Wydanie II, poprawione. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych: 250 s.
- Šrámek, F., Volf, M. 1989: Závlaha květin ve sklenících. Aktuality VÚOZ Průhonice: 55 s.

Kontakt

Ing. Martin Dubský, Ph.D.
Výzkumný ústav pro krajinu, v. v. i.
Květnové nám. 391
252 43 Průhonice
e-mail: dubsky@vukoz.cz

Dedikace

Příspěvek byl vypracován s institucionální podporou (VUK-IP-00027073).

BUK LESNÝ: FYZIOLOGICKÉ LIMITY VO VZŤAHU K TEPLOTÁM A SUCHU A ČO Z TOHO VYPLÝVA PRE LRM

Dušan Gömöry, Daniel Kurjak, Alena Sliacka-Konôpková

Abstrakt

Buk lesný je príkladom dreviny, o ktorej sa tradične tvrdilo, že vďaka mohutnému a hlbokému koreňovému systému je odolná voči suchu a teda ani v podmienkach prebiehajúcej klimatickej zmeny nie je potrebné obávať sa o jej budúcnosť. Výrazné fyziologické oslabenie bukových populácií na xerickej hranici rozšírenia naznačuje opak. V príspevku sú uvedené dva mechanizmy fyziologického poškodenia buka v dôsledku klimatických zmien: poškodenie fotosystému II ako základnej súčasti fotosyntetického aparátu vysokými teplotami a embólia vodivých zväzkov xylému spôsobujúca narušenie príjmu vody v dôsledku sucha. Ako z hľadiska termostability PSII, tak aj z hľadiska odolnosti voči kavitácii xylému existuje u buka významná vnútro populačná aj medzipopulačná premenlivosť, pričom rôzne populácie reagujú rozdielne v závislosti na podmienkach prostredia. Príspevok stručne rozoberá aj otázku implikácií pre prenos a získavanie lesného reprodukčného materiálu.

Kľúčové slová

Buk lesný, embólia xylému, fenotypová plasticita, genetické variabilita, lesný reprodukčný materiál, termostabilita fotosystému II

Úvod

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je jedným z ekologicky aj hospodársky najvýznamnejších druhov listnatých drevín v Európe s areálom prirodzeného rozšírenia viac ako 910 000 km², a je jednoznačne najvýznamnejšou listnatou drevinou Slovenska. Ako kompetitívne silný dominantný druh viacerých lesných spoločenstiev vytvára za optimálnych rastových podmienok rovnorodé porasty, v ktorých konkurenčné druhy potláča zatienením (Leuschner a Ellenberg, 2017). Areál buka pokrýva široký rozsah teplotných podmienok (priemerná ročná teplota 6,6–13,5°C, zrážkových pomerov (ročné zrážky 470–2000 mm) aj pôdnych vlastností (pH <3–>7) (Leuschner 2020). Napriek tomu, že jeho areál zasahuje pomerne ďaleko do východnej Európy s kontinentálnou klímou, je závislý od dostatočnej vlhkosti v lete a miernych teplôt v zime (Bolte et al., 2007). Zmena klímy vedúca k rastu evapotranspirácie pri súčasnom úbytku letných zrážok môže spôsobiť rastúci stres zo sucha. Výrazné zrážkové deficity a nárast teplôt vo vegetačnom období v rokoch 1976, 2003, 2019 a naposledy 2022 viedli v rôznych oblastiach Európy k defoliácii, odumieraniam konárov v konečnom

dôsledku zvýšenej mortalite buka. Predovšetkým v južnejších krajinách na xerickej hranici rozšírenia to vyvolalo obavy ohľadom miery tolerancie sucha a teplotného stresu u buka, a teda aj ohľadom jeho budúceho zastúpenia v lesných ekosystémoch a jeho úlohy v lesnom hospodárstve v teplejšom a suchšom svete (Mátyás et al. 2009, Stojanović et al. 2013). Takže buk môže poslúžiť ako model pre odhad zmien v zložení lesných spoločenstiev v dôsledku zmien klímy.

Potenciálne fyziologické dopady antropogénnych zmien klímy sa odrážajú vo viacerých procesoch – fotosyntéze a respirácii, transpirácii, stabilite bunkových a vnútrobunkových membrán, osmotickej regulácii atď. Vysoké teploty narušajú fotosyntézu disrupciou tylakoidných membrán v chloroplastoch, na ktoré sú viazané proteíny a enzýmy sprostredkujúce prenos elektrónov pri fotosyntéze a viazanie CO₂ (bielkoviny fotosystému II, Rubisco a i.). Zvýšená priepustnosť bunkových membrán spôsobená oslabením väzieb medzi lipidovými molekulami, ktoré ich tvoria, a zvýšením ich fluidity, vedie k úniku bunkového elektrolytu a strate látok z cytoplazmy. Akumulácia reaktívnych foriem kyslíka (peroxidy, atomárny kyslík, hydroxylové radikály a i.) vedie k oxidačnej degradácii lipidov, enzýmov a iných proteínov. Vodný deficit vedie k dehydratácii buniek a rovnako narušá fotosyntézu, keďže voda okrem poskytovania prostredia pre priebeh reakcií je aj jednou z jej vstupných látok (Zhao et al. 2021).

Tento príspevok ilustruje adaptáciu buka na zmeny klimatických pomerov na príklade dvoch fyziologických procesov súvisiacich s teplotným stresom a stresom zo sucha.

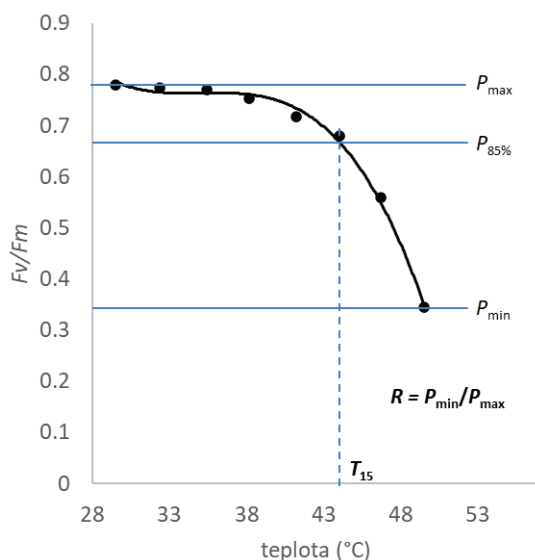
Fyziologické odozvy na stres suchom

Fotosyntéza

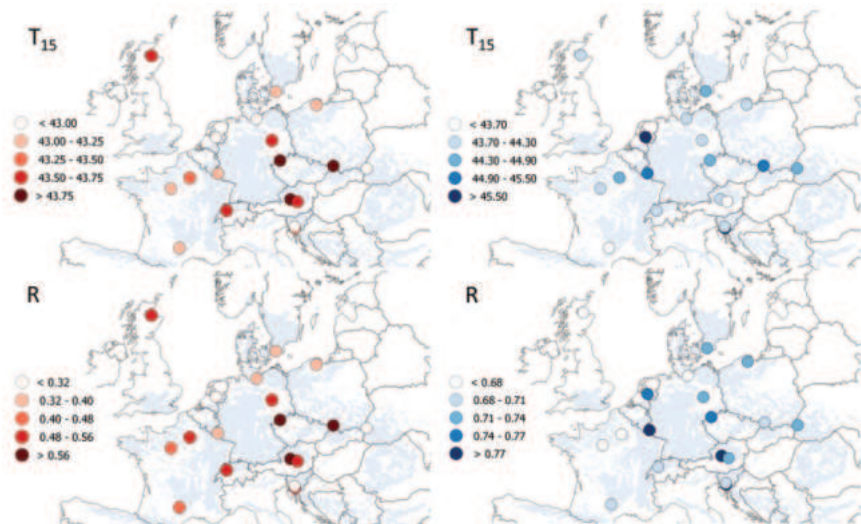
Sumárnu rovnicu reakcie fotosyntézy v tvare $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energia} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ si každý pamätá zo základnej školy (aj keď treba pripomenúť, že je krajným zjednodušením, keďže fotosyntézou vznikajú aj iné jednoduché sacharidy než glukóza). V skutočnosti fotosyntéza predstavuje komplexný systém biologických procesov konvertujúcich svetelnú energiu na chemickú, ktorú uskladňujú v organických zlúčeninách, predovšetkým sacharidoch. Celý proces začína absorpciou slnečnej (alebo inej svetelnej) energie v reakčných centrách tylakoidoch v chloroplastoch, ktoré predstavujú komplexy proteínov viazaných s fotosyntetickými pigmentmi (u rastlín ide o chlorofyl absorbujúci červené a modré svetlo a teda odrážajúci zelené). Svetelná energia je využitá na rozklad vody na vodíkové ióny, elektróny a molekulárny kyslík. Vytvorený vodík sa využíva pri syntéze ATP a NADPH, dvoch molekúl slúžiacich ako zdroj energie v mnohých procesoch metabolizmu, elektróny prebiehajú celým reťazcom reakcií fotosyntézy a na konci sú využité pri redukcii CO₂ na sacharidy. Tie vznikajú v rámci Calvinovho cyklu, reťazca reakcií nezávislých na svetle, v rámci ktorého je CO₂ včlenený do existujúcich menších monosacharidov ako ribulózo bifosfát (Stirbet et al. 2020).

Účelom tohto (krajne zjednodušeného) popisu nie je školenie v biochémií, ale poukázanie na skutočnosť, že proces fotosyntézy je sprostredkovaný celým radom

enzýmov, teda bielkovinných molekúl. Ústrednú úlohu v nich zohráva fotosystém II (PSII), proteínový komplex na ktorý sú viazané fotosyntetické pigmenty (35 molekúl chlorofylu a, beta-karotény, feofytín) a ďalšie kofaktory. Proteíny sú spravidla citlivé na vysoké teploty, ktoré môžu viesť k ich denaturácii, teda rozpadu vodíkových väzieb v nich, zmene priestorovej konformácie a strate schopnosti vykonávať biologickú funkciu. Dobrým ukazovateľom schopnosti PSII vykonávať svoju funkciu je fluorescencia chlorofylu a vyvolaná svetelným impulzom. Priebeh fluorescence sleduje typickú krivku, ktorej parametre odrážajú výkonnosť PSII. Pomer variabilnej fluorescence (rozdiel medzi maximom a minimom) k maximálnej (F_v/F_m) je najbežnejšie využívaným indikátorom stavu PSII. V našom prípade sme ho použili na hodnotenie výkonnosti PSII v podmienkach simulovaného teplotného stresu 18 proveniencií buka pokrývajúcich takmer celý areál vysadených lokalite Tále pri Železnej Breznici (okr. Zvolen). Zber listov pre meranie sa uskutočnil v 2 rokoch v rôznych obdobiach, v júli 2013 po období vysokých teplôt a v júni 2016 ešte pred výskytom teplého obdobia. Teplotný stres bol simulovaný vodným kúpeľom – listy boli uzavreté v Erlenmayerových bankách, ktoré boli ponorené do vodného kúpeľa pri teplotách 30–51 °C (teploty vnútri banky sa pohybovali v intervale 29,5–49,5 °C) na 30 minút. Horná hranica experimentálnej teploty nie je nerealistická, pre stres je rozhodujúca teplota listu, nie teplota vzduchu. Po expozícii boli listy vybrané a fluorescencia chlorofylu bola meraná fluorometrom Handy PEA, Hansatech. Pre hodnotenie teplotného stresu boli použité dva parametre: i) T_{15} , teplota, pri ktorej F_v/F_m klesá o 15 % oproti maximu; tento parameter popisuje schopnosť PSII odolávať teplotnému stresu (Froux et al. 2004), a ii) R , pomer medzi minimálnou a maximálnou hodnotou F_v/F_m ; R je mierou závažnosti teplotného stresu, vysoká hodnota znamená menšiu zmenu a teda menší stres (obr. 1).



Obr. 1 Ilustrácia parametrov teplotného stresu T_{15} a R



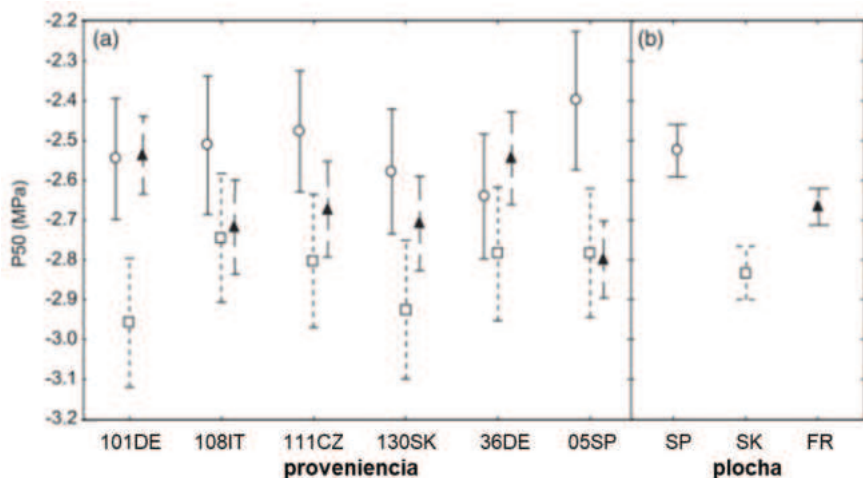
Obr. 2 Geografické trendy parametrov termotolerancie v populáciách buka vystavených (červené symboly), resp. nevystavených (modré symboly) prirodzenému teplotnému stresu

Reakcie proveniencií zjavne súvisia s tým, či pred meraním boli vystavené prirodzenému teplotnému stresu a vykazujú aj geografické trendy (obr. 2). Po vystavení prirodzenému teplotnému stresu sú rozdiely v termotolerancii medzi provenienciami pomerne malé, najvyššiu toleranciu teplôt vykazujú stredoeurópske populácie, u ktorých je aj následná reakcia po prekročení tolerovanej teploty najslabšia. Nízke hodnoty T_{15} a R sa ukázali v periférnych populáciách, obzvlášť na severozápadnom, ale aj východnom okraji areálu. Na druhej strane pri meraní pred výskytom prirodzeného stresu (v neaklimatizovaných populáciách) sú rozdiely medzi populáciami väčšie, ale geografické rozdelenie je chaotické, žiadny trend sa v ňom pozorovať nedá. V priemere vyššie hodnoty T_{15} naznačujú, že absencia prirodzeného stresu zachovala PSII v lepšom stave, a podstatne vyššie hodnoty R indikujú, že reakcia po prekročení tolerovanej teploty nie je výrazná. Výskyt vysokých teplôt ireverzibilne poškodí PSII a zároveň ho pripraví o schopnosť reagovať na budúci stres. Nekonzistentnosť geografických trendov pri stresovaných a nestresovaných populáciách dokumentuje silnú interakciu genotyp $\times$ prostredie, a teda vysokú mieru fenotypovej plasticity, ktorá je charakteristickou vlastnosťou buka (Kurjak et al. 2019).

Vedenie vody xylémom

Voda v rastline, okrem toho, že je vstupným materiálom pre fotosyntézu, predstavuje zároveň rozpúšťadlo, v ktorom sa odohrávajú (takmer) všetky biochemické reakcie a ktoré rastlina musí byť schopná dopraviť všetkým živým bunkám. V cievnatých rastlinách transport vody sprostredkovávajú cievne zväzky xylému, v ktorých voda

vytvára súvislý stĺpec a pohybuje sa vďaka kohézii. Vytvorenie vzduchovej bubliny v cieve (kavitácia) má rovnaký následok ako embólia v ľudskej cieve – transpiračný prúd v nej sa preruší. Pokiaľ embólie zasiahnu veľkú časť vodivých pletív, zásobovanie rastliny vodou môže skolabovať. Aj jedinci rovnakého druhu môžu vykazovať rozdielnu mieru odolnosti voči embólii xylému, ide o adaptívny, geneticky podmienený znak (Maherali et al. 2004), ktorý významnou mierou spolurozhoduje o schopnosti stromu prežiť extrémne suchu.



Obr. 3 Priemerné hodnoty ($\pm 95\%$ IS) parametra P_{50} sledovaných proveniencií buka lesného na jednotlivých plochách

Na meranie odolnosti voči kavitácii xylému existuje technika založená na meraní poklesu hydraulической vodivosti v segmente konára vystaveného odstredivej sile (Cavitron; Cochard 2022). Hodnotený parameter P_{50} je podtlak vyvolaný centrifugáciou, pri ktorom dochádza k poklesu hydraulической vodivosti o 50 % (väčšia absolútna hodnota znamená vyššiu rezistenciu). V rámci tejto štúdie (Wortemann et al. 2011) bolo hodnotených 6 proveniencií buka v medzinárodnom provenienčnom pokuse BFH 1993/95 na 3 plochách v kontrastných teplotných a zrážkových pomeroch (Burgette/Španielsko, Vrchdobroč/Slovensko, Lyons-la-Forêt/Francúzsko). Výsledky hodnotenia ukázali významný efekt pokusnej plochy (jedince na slovenskej ploche Vrchdobroč vykazovali v priemere najvyššiu rezistenciu voči embólii), a aj keď rozdiely medzi priemermi proveniencií boli nevýznamné, prejavila sa významná interakcia proveniencia $\times$ plocha, čiže rôzne proveniencie vykazovali rozdielne reakcie na podmienky jednotlivých pokusných plôch (obr. 3). V každej populácii však existuje veľká vnútorná premenlivosť v odolnosti proti embólii, ktorá predstavuje najväčšiu časť (>80 %) celkovej variability. Výsledky ukázali, že lokálny materiál ani lokálne stanovište nemusia byť nutne najvhodnejšie – príkladom je španielska proveniencia

Anguiano (05SP), ktorá na španielskej ploche Burgette s podobnou nadmorskou výškou a s podobným úhrnom zrážok nielen vykazuje najhoršiu odolnosť voči embólii xylému zo všetkých testovaných proveniencií, ale zároveň lepšie prosperuje na vzdialených plochách vo Francúzsku a na Slovensku. Naopak, slovenská proveniencia Trenčín (130SK) najlepšie prosperuje „doma“, na slovenskej ploche Vrchdobroč, ale vzdialená bavorská proveniencia Kaufbeuren (101DE) sa na nej javí ešte odolnejšia.

Čo z toho vyplýva pre získavanie a prenos LRM?

Príklady uvedené vyššie ilustrujú len dva z celej plejády mechanizmov, ktorými fenomény spojené s klimatickou zmenou (teplotný stres a stres zo sucha) ovplyvňujú dreviny, v tomto konkrétnom prípade buk lesný. Čo je v oboch prípadoch spoločné, je vyšší význam aklimatizácie pred genetickou adaptáciou. Rozdiely medzi provenienciami, či už v termotolerancii PSII alebo v odolnosti voči embólii xylému nie sú dramatické (napriek skutočnosti, že použité populácie pokrývajú podstatnú časť areálu a teda sú adaptované na výrazne odlišné podmienky prostredia), naopak, významný komponent premenlivosti predstavuje variabilita medzi jedincami v rámci populácie. Hodnotené parametre (obzvlášť v prípade termotolerancie PSII) však zároveň významne závisia od podmienok prostredia, ktorým bola populácia vystavená, pričom rôzne proveniencie nereagujú na prostredie jednotným spôsobom. Jedince s rovnakým genetickým základom (v našom prípade reprezentovaným rovnakou provenienciou) na rôzne podmienky prostredia reagujú rozdielnym fenotypovým prejavom. Táto schopnosť rovnakého genotypu exprimovať sa do rôznych fenotypov v závislosti na prostredí je označovaná ako fenotypová plasticita, je typickou vlastnosťou dlhožijúcich organizmov a do istej miery tlmí evolučnú odozvu populácií na zmeny prostredia prostredníctvom prírodného výberu.

Napriek významnému podielu vnútropopulačnej variability a fenotypovej plasticite rozdiely medzi provenienciami existujú a často vykazujú geografické trendy, aj keď je kvôli značnej G×E interakcii niekedy problém ich predikovať. Samozrejme, prezentované výsledky vychádzajú z materiálu pochádzajúceho z veľkej časti areálu buka, a je otázne, či analogické trendy existujú aj menšej mierke krajiny, ako je Slovensko. Obe štúdie však spochybňujú lokálnu adaptáciu ako hlavný výsledok mikroevolučných procesov u buka (a zrejme aj u iných drevín) – lokálny materiál nemusí byť nutne najvhodnejšou voľbou. V každom prípade odolnosť voči klimatickým fenoménom spojeným s klimatickou zmenou je v geografickom kontexte premenlivá, a je nutné venovať jej pozornosť pri výbere vhodného LRM, a to aj v kontexte asistovanej migrácie.

Podakovanie

Práca bola podporená grantami Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-21-0270 a Vedeckej grantovej agentúry MŠVVŠ a SAV VEGA 1/0091/24.

Literatúra

Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. 2007: The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry* 80: 413–429.

- Cochard H. 2002. A technique for measuring xylem hydraulic conductance under high negative pressures. *Plant Cell & Environment* 25: 815–819.
- Froux F., Ducrey M., Epron D., Dreyer E. 2004: Seasonal variations and acclimation potential of the thermostability of photochemistry in four Mediterranean conifers. *Annals of Forest Science* 61: 235–241.
- Kurjak D., Konôpková A., Kmeť J., Macková M., Frýdl J., Živčák M., Palmroth S., Ditmarová L., Gömöry D. 2019: Variation in the performance and thermostability of photosystem II in European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances is influenced more by acclimation than by adaptation. *European Journal of Forest Research* 138: 79–92.
- Leuschner C. 2020: Drought response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) – A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 47: 125576.
- Leuschner C., Ellenberg H. 2017: Ecology of Central European non-forest vegetation: coastal to alpine, natural to man-made habitats: vegetation ecology of Central Europe, Vol. 2. Springer.
- Maherali H., Pockman W.T., Jackson R.B. 2004: Adaptive variation in the vulnerability of woody plants to xylem cavitation. *Ecology* 85: 2184–2199.
- Mátyás C., Božić G., Gömöry D., Ivanković M., Rasztoivits E. 2009: Juvenile growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. *iForest* 2: 213–220.
- Stirbet A., Lazár D., Guo Y., Govindjee G. 2020: Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of Botany* 126: 511–537.
- Stojanović D.B., Kržić A., Matović B., Orlović S., Duputic A., Djurdjević V., Galić Z., Stojnić S. 2013: Prediction of the European beech (*Fagus sylvatica* L.) xeric limit using a regional climate model: An example from southeast Europe, *Agricultural and Forest Meteorology* 176: 94–103.
- Wortemann R., Herbette S., Barigah T.S., Fumanal B., Ducousso A., Gömöry D., Roeckel-Drevet P., Cochard H. 2011: Genotypic variability and phenotypic plasticity of cavitation resistance in *Fagus sylvatica* L. across Europe. *Tree Physiol* 31:1175–1182
- Zhao J., Lu Z., Wang L., Jin B. 2021: Plant responses to heat stress: Physiology, transcription, noncoding RNAs, and epigenetics. *International Journals of Molecular Science* 22: 117.

Kontakt

prof. Ing. Dušan Gömöry, DrSc.

doc. Ing. Daniel Kurjak, PhD.

Mgr. Alena Sliacka-Konôpková, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Lesnícka fakulta

T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

e-mail: gomory@tuzvo.sk, kurjak@tuzvo.sk, konopkova@tuzvo.sk

VÝSKYT BOROVICE LIMBOVEJ NA LHC DEMÄNOVÁ

Eduard Greppel, Dagmar Bednárová

Abstrakt

Článok sa zaoberá problematikou výskytu borovice limbovej (*Pinus cembra* L.) mimo areálu prirodzeného rozšírenia, konkrétne na LHC Demänová. Zaoberá sa históriou zvyšovania hornej hranice lesa v 70 – tých rokoch v Nízkych Tatrách touto drevinou z Vysokých Tatier a popisuje stav a jej výskyt v súčasnosti.

Kľúčové slová

borovica limbová, Demänová, horná hranica lesa, Nízke Tatry

Úvod

Lesnícka história na Slovensku už od polovice 19. storočia zaznamenala neúspešné aj úspešné snahy našich lesníckych predchodcov o umelú obnovu borovice limbovej (ďalej len „limba“) mimo oblastí jej prirodzeného rozšírenia (Vysoké, Belianske a Západné Tatry).

K takémuto konaniu viedol lesníkov záujem o úpravu stáročnou pastvou dobytká a oviec zníženej hornej hranice lesa, ale aj na základe odpozorovania výskytu limby vo Vysokých a Belianskych Tatrách, pričom takéto konanie nebolo limitované žiadnymi právnymi úpravami a legislatívnymi normami.

V Nízkych Tatrách sa nachádza limba len z umelej obnovy, ktorá sa podľa archívnych materiálov začala vysádzať po roku 1870, kedy Uhorská štátna majetková správa (erár) pristúpila v oblastiach Slovenska s antropogénne zníženou hornou hranicou lesa k zalesňovaniu vysokohorských pastvín – holí. Uplatňovali sa dreviny smrek, smrekovec, kosodrevina a v nadmorských výškach nad 1400 m n. m. aj limba, avšak výhradne len na pozemkoch vo vlastníctve štátu. Významná časť vysokohorských pasienkov v Nízkych Tatrách od Kráľovej Lehoty až po Liptovskú Lúžnu nebola touto činnosťou dotknutá, nakoľko bola vo vlastníctve neštátnych subjektov – urbárov. Napr. v Demänovskej doline sa na holiach páslo až do roku 1964.

Snahy štátnych orgánov o nápravu stavu holí po pastve bolo možné uplatňovať postupne. Z praktického pohľadu sa táto činnosť začala rozbiehať a nadobudla reálne kontúry po prevzatí neštátnych pozemkov do správy štátu po roku 1952 a po úspešnom riešení a ukončení výskumu, ktorý realizoval bývalý významný pracovník SAV a VÚLH vo Zvolene Dr. Ing. Ladislav Kňazovický, CSc.. Výsledky boli uverejnené v publikácii „Západné Tatry“ vydané SAV Bratislava v roku 1970. Pre usmernenie

a praktickú realizáciu kampane na zvyšovanie hornej hranice lesa, ktorá trvala ďalších 10 rokov bola návodom kapitola „Spôsoby rekonštrukcie hornej hranice lesa“, pričom pásmo rekonštrukcie bolo identifikované v rozpätí 1400 až 1660 m n. m.. Okrem plôch degradovaných vplyvom pastvy boli riešené aj lesné porasty dlhodobo ponechané nepriaznivým vplyvom trvalého bezzásahového starnutia a postupného odumierania s výrazne znemožnenou až vylúčenou prirodzenou obnovou lesa. Takýto postup bol ideovo a ekonomicky riadený MLVH SSR.

V územnom obvode LZ Liptovský Mikuláš bol prvý pokus o vnášanie limby v oblasti Demänovskej doliny vykonaný výsadbou okolo 20 ks na Priehybe (súčasná stanica lanovky Chopok) v roku 1960. Bez náležitej ochrany bola výsadba zničená pastvou (Jamnický, 1971).

Začiatky vnášania limby na LHC Demänová

Impulzom pre umelé vnášanie limby do lokalít v Demänovskej doline bol v roku 1970 nástup pána Ladislava Černotu do funkcie vedúceho poľesia, ktorý bol predtým dlhoročným zamestnancom TANAP-u v oblasti Podbanské (o. o. Kôprová dolina) a odtiaľ si priniesol rokmi vypestovaný vzťah k limbe. Myšlienku zavádzať limbu podporila aj skutočnosť, že v tomto období do blízkych lokalít (Lomnístá dolina 1969) boli vypustené tatranské kamzíky.



Obr. 1 Limbový porast v doline Hlboká

Plošná umelá obnova limby bola pod vedením pána Černotu realizovaná v rokoch 1974 – 1975 v lesnom poraste 302a nad dolinou Hlboká a v lesnom poraste 297b od hrebeňa na Bory do doliny Kobylá. Pri výsadbe boli použité 4 – 5 ročné sadenice limby a kosodreviny v počte 500 – 1000 ks/ha tatranskej proveniencie.

V dielci 302a bol zalesňovaný JV svah od doliny Hlboká smerom k hrebeňu Bory na



Obr. 2 Pohľad na porast limby v poraste 302b a 301b



Obr. 3 Celkový pohľad na výskyt limby v doline Hlboká a Kobylá v dielkoch 302a a 297b

bývalom pastvisku erodovanom prťami. V doline Kobylá (297b) bol limbou zalesnený južný svah od doliny okolo chodníka na pastvou erodovanej kamenistej ploche. Ďalšia umelá obnova pastvou narušených svahov pokračovala v rokoch 1976 – 1977 v bralnatej lokalite Zálôm v dielkoch 298b a 298c na SZ svahu pod vedením lesníka pána Jána Vyšného. Výsadba bola vykonaná len drevinou limba jednotlivo a v hlúčkoch do biologickej ochrany medzernatej kosodreviny, ktorá sa postupne zapájala.



Obr. 4 Výskyt limby v porastoch 298b, 298c

Ďalšie pokračovanie vo vnášaní limby v Kotline pod Derešmi bolo vedením LZ zastavené z dôvodu námietok orgánov ochrany prírody a krajiny proti zavádzaniu limby mimo areálu jej pôvodného výskytu, takže ďalšie snahy o vnášanie limby do prostredia NAPANT-u vyhláseného Nariadením vlády č. 119/78 Zb. neboli realizované.

Súčasný stav lokalít s výskytom limby na LHC Demänová

Urbár Vrbica, PS

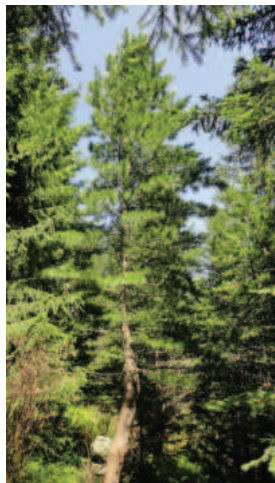
Výmera (ha)	Expozícia	Nadmorská výška (m n. m.)	HSLT	SOP*
4,48	JV	1440 - 1520	719 Vysokohorské smrečiny	3

*SOP – stupeň ochrany prírody

Dielec 302a

Jedince limby sú tu v rastovom štádiu žrdoviny v južnej štvrtine porastu medzi smrekmi sú vyššieho vzrastu s výškou 12 – 13 m a priemer v d1,3 majú 16 cm. Pri chodníku sú poškodzované medveďom. Prevažujúca časť súvislého limbového hája je v štádiu žrdkoviny zastúpenie je LB 80, SM 20 a dosahuje výšku 5 – 6 m a priemer d1,3 10 – 12 cm. Na okrajových stromoch sú zreteľné znaky starého poškodzovania zverou a limba má tu trsovitý rast. Stromy s uvoľnenou korunou už plodia. Zdravotný stav je priaznivý bez väčšieho poškodzovania snehom a vetrom. Ročný výškový prírastok je 10 – 15 cm. Limba zaberá plochu okolo 1,80 ha s počtom jedincov 300 – 400 ks vo veku 55 rokov. Z pohľadu HÚL nie je porast správne v teréne určený a popísaný, nakoľko 3/4 súvislého výskytu limby sa nachádza v lesnom poraste 301b smerom ku hrebeňu.

Lokalita je ťažko prístupná, je mimo turistických trás a v medveďom teritóriu. Širšej verejnosti nebude prístupná ani v budúcnosti.



Obr. 5 Limby v J 1/4 porastu 302a



Obr. 6 Medvedie teritórium



Obr. 7 Trsovitý vzrast limby

Výmera (ha)	Expozícia	Nadmorská výška (m n. m.)	HSLT	SOP*
24,98	J	1480 - 1560	830 Smreková kosodrevina	3

*SOP – stupeň ochrany prírody

Dielec 297b

Limba je v tomto dieleci zastúpená jednotlivo, v hlúčkoch, ale aj v skupinkách do 30 jedincov v rastovom štádiu žrdkovina až žrdovina nad súvislým porastom kosodreviny. Samostatne rastúce limby majú výšku 10 – 13 m, najhrubší jedinec má priemer d1,3 24 cm. Väčšina límb dosahuje výšku 5 – 6 m a hrúbku 10 – 14 cm. Ročný výškový prírastok 15 – 20 cm. Porast bol po založení okolo 10 rokov, kým nedošlo k súvislému zapojeniu kosodreviny, atakovaný jeleňou zverou, na límbách sú viditeľné zárazy po ohryze, ale aj trsovitý vzrast. Vyskytujú sa dvojaky v korunách v dôsledku tlaku namrznutého snehu a západným vetrom ošlahávané koruny. Celkový stav porastu limby je priaznivý, limba pokrýva plochu okolo 2 ha s výskytom 250 – 300 jedincov vo veku 55 rokov.

Limbový porast sa nachádza v ťažko prístupnom teréne medvedieho teritória mimo turisticky navštevovaných lokalít. V PSL je lokalizácia výskytu limby nesprávne uvedená v dieleci 301a, ktorý sa nachádza za hrebeňom vo vedľajšej doline.

Po neúspechu výsadby limby v polovici minulého storočia na Priehybe sa pozornosť obhospodarovateľov lesa sústredila na lokalitu Zálôm na SZ skalnatom svahu riedko porastenom kosodrevinou medzi Otupným a masívom Chopku. Podľa dobového usmernenia bola limba vnášaná do biologickej ochrany kosodreviny



Obr. 8 Limba - d1,3 24 cm, v 13 m



Obr. 9 Limba poškodená snehom



Obr. 10 Limba poškodená ohryzom

Výmera (ha)	Expozícia	Nadmorská výška (m n. m.)	HSLT	SOP*
7,16	SZ	1660 – 1780	830 Smreková kosodrevina	3

*SOP – stupeň ochrany prírody

Dielec 298b

Výmera (ha)	Expozícia	Nadmorská výška (m n. m.)	HSLT	SOP*
22,34	SZ	1480 – 1660	830 Smreková kosodrevina	3

*SOP – stupeň ochrany prírody

Dielec 298c



Obr. 11 Limba v poraste 298c



Obr. 12 Solitér v poraste 298b

jednotlivo 4 – 5 ročnými sadenicami. V súčasnom stave sa limba vyskytuje po celej ploche porastu 298c. V dielci 298b sa nachádza len 30 jedincov. Škody zverou boli s ohľadom na frekventovaný turistický chodník využívaný celoročne minimálne. Škody sa prejavili po zimnom využívaní zjazdovej trate „Spravodlivá“, kde sa vyskytujú jedince s trsovitým vzrastom. Limba v súčasnosti vykazuje dobrý zdravotný stav, sú však badateľné vplyvy prepadového južného vetra a ošľahané koruny. Limba dosahuje výšku 4 – 7 m, s priemerom d1,3 9 – 13 cm a výškovým ročným prírastkom 15 – 20 cm vo veku 53 – 55 rokov v rastovom štádiu žrdkoviny až žrdoviny. Počet jedincov limby sa v dielci 298c sa pohybuje od 250 – 300 jedincov.



Obr. 13 Škody spôsobované prepadovým južným vetrom v dielci 298c

Výskyt limby na tejto lokalite je viditeľný ako okolo turistického chodníka aj z trasy lanovky, ale už dnes limba a smrek tým, že vertikálne členia súvislé monotónne pole kosodreviny, vytvárajú estetický pohľad, ktorý sa bude umocňovať pribúdajúcim vekom a mohutnosťou hlboko zapojených korún.

Záver

S ohľadom na skutočnosť, že limba sa na území Slovenska nachádza aj v iných orografických celkoch, bolo by vhodné uvedené informácie rozšíriť aj o výskyt tejto dreviny na celom Slovensku a výsledky porovnať s obdobným materiálom pána Ing. Júliusa Jamnického, CSc. z roku 1971 (Les 2/1971). V budúcnosti by bolo vhodné overiť aj genetický pôvod limby mimo prirodzeného areálu jej rozšírenia.



Obr. 14 Limba ako estetický prvok v krajine

Literatúra:

- Jamnický, J. 1971: Prehľad o výskyte borovice limby. Odborný časopis pre lesné hospodárstvo Les 2/1971, ročník XXVII. Vydáva MLVH v Pôdohospodárskom vydavateľstve Bratislava, s. 51 – 57
- Kňazovický, L. 1970: Západné Tatry. Štúdiá o prírodných pomeroch Západných Tatier so zvláštnym zreteľom na rekonštrukciu hornej hranice lesa a protilavínové opatrenia. Vydavateľstvo SAV Bratislava, ISBN 71-074-69, 209 s.
- Nariadenie vlády SSR o Národnom parku Nízke Tatry č. 119/1978 účinný od 19. 10. 1978 do 30. 06. 1997

Kontakt

Ing. Eduard Greppel, Liptovský Mikuláš

mobil: +421903773118

Ing. Dagmar Bednárová, PhD.

Národné lesnícke centrum – SVV Zvolen

Odbor pestovania lesa a semenárskej kontroly

T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen

e-mail: dagmar.bednarova@nlcsk.org, mobil: +421902999301

VPLYV BACTÉRIOSOLU NA VLASTNOSTI PÔDY V POROVNANÍ S KVALITOU SEMENÁČIKOV JEDLE BIELEJ PO TREŤOM ROKU APLIKÁCIE

**Ivan Horvát, Elena Takáčová, Dagmar Bednárová,
Ing. Vladimír Mačejovský, Pavel Pavlenda, Karol Chvála**

Abstrakt

Cieľom práce je analyzovať rozdiely v biometrických parametroch rastu medzi semenáčikmi jedle bielej, ktoré sú pestované na záhone bez použitia Bactériosolu a s použitím Bactériosolu. Tiež boli vyhodnotené hlavné prvky vo vzorkách pôdy a asimilačných orgánoch. Vzorky boli odobrané v jeseni roku 2022, 2023 a 2024. Predbežne je možné konštatovať, že pravidelná aplikácia Bactériosolu má pozitívny vplyv na kvalitu pôdy aj na rast semenáčikov jedle bielej, ale pre posúdenie ďalšieho vývoja je potrebné vo výskume ďalej pokračovať.

Kľúčové slová

Bactériosol, biometrické parametre, jedľa biela, lesná škôlka, pôda, TMM

Úvod

Príspevok sa venuje vplyvu aplikácie Bactériosolu na rast semenáčikov jedle bielej. Prípravok, obsahuje štyri základné druhy mikroorganizmov (autotrofné, rizosférne, dekompozitné, humíniové) vyselektované na kompostoch technológiou TMM (TMM – Technológia Marcela Mézyho).

Vďaka týmto mikroorganizmom sú živiny v pôde transformované do využiteľnej organickej formy pre rastliny a uskladnené v humuse. Následne sú rastlinami a drevinami využívané podľa potreby. Nedochádza k ich strate vyplavovaním a úniku do atmosféry.

Použitie tejto technológie umožňuje:

- optimalizovať biometrické parametre sadbového materiálu;
- prestať používať P, K a Ca, postupne znižovať N o 25 %;
- sprístupniť v akejkoľvek pôde P, K, Ca a ostatné minerály;
- zlepšiť kvalitu pôdy, na ktorej je pestovaný sadbový materiál.

Zlepšenie štruktúry pôdy napomôže:

- lepšie odolávať suchu a privalovým zrážkam, vyššia vrstva aktívneho humusu lepšie zadržiava vodu, podporuje tvorbu koreňového systému;
- obmedziť straty živín (aj dusičnanov) do atmosféry a vyplavovaním do podzemných vôd.

TMM v roku 2020 získala označenie Solar Impulse. Značka sa celosvetovo udeľuje riešeniam chrániacim životné prostredie a zároveň prispievajúcim k znižovaniu produkcie skleníkových plynov do atmosféry. Spomínaná technológia je registrovaná v Slovenskej republike v ÚKSÚP- e v produktoch **Bactériosol koncentrát a Bactériolit koncentrát**.

Táto technológia je jeden z prírodných biotechnologických vstupov nielen pre lesné škôľkarstvo, ale aj iné súčasti lesného hospodárstva, prípadne v agrolesníctve a v súčasných klimatických podmienkach si zasluhuje nielen pozornosť, ale aj jej intenzívne využívanie.

Cieľ

Cieľom práce je analyzovať rozdiely v biometrických parametroch rastu semenáčikov jedle bielej, ktoré sú pestované na záhone bez použitia Bactériosolu (K – kontrolný variant) a s použitím Bactériosolu (B – variant s použitím Bactériosolu).

Metodika

Prvé použitie technológie TMM bolo v mesiaci júl 2021 v Lesnej škôlke Vislavce, ktorú obhospodaruje spoločnosť Milan Rajniak LES-POL, Liptovská Porúbka.

Lesná škôlka bola založená v roku 1964. Nachádza sa na severnej strane Nízkyh Tatier v nadmorskej výške 755 m n. m.. Celková plocha je 0,27 ha, produkčná plocha je 0,19 ha, ostatná plocha je 0,08 ha.

V rámci lesnej škôlky sa použila táto technológia na ploche 45 m² so semenáčikmi jedle bielej. Kontrolná plocha bez použitia technológie je tiež o výmere 45 m². Počas vegetačného obdobia boli obe plochy aj prihnojené rovnakým spôsobom a to hnojivom Kompakt.

Bactériosol sa aplikoval 4x posypom na záhon so sumárnym dávkovaním 300 kg/ha v termínoch 16. 07. 2021, 08. 10. 2021. V nasledujúcich obdobiach sa Bactériosol aplikoval nasledovne: 30. 05. 2022, 19. 08. 2022. V termínoch 08. 06. 2023, 09. 09. 2023 a 28.05.2024 bol Bactériosol aplikovaný s dávkovaním 200 kg/ha.

Vzorky semenáčikov a pôdy sa odobrali 10. 10. 2022, 18. 10. 2023 a 11. 10. 2024 (obrázok 1).

Hodnotili sa 1- 2- a 3-ročné semenáčky jedle bielej aal214RK-021, SK/002-2020-RK-L v kontrolnom variante 50 ks a pre variant Bactériosol taktiež 50 ks (jednoročné v roku 2022 a dvojročné v roku 2023 a trojročné v roku 2024). Hodnotené boli nasledovné parametre:

- výška nadzemnej časti, ktorá sa merala od vrcholového púčika po koreňový krčok v mm (V),

- priemer koreňového krčka v mm (H),
- dĺžka hlavného koreňa sa merala od koreňového krčka po koniec hlavného koreňa v mm (Dk),
- hmotnosť sušiny nadzemnej časti v g (Hnč)
- hmotnosť sušiny koreňového systému v g (Hk)
- hlavné prvky vo vzorkách pôdy a asimilačných orgánoch, rozboru boli vykonané v akreditovanom Centrálnom lešníckom laboratóriu.

Získané namerané hodnoty sa vyhodnotili štatistickým softvérom TIBCO Softvér Inc. Verzia 14.0.0.15. Na hodnotenie sa použila One – way ANOVA. Hypotézy sú testované na 95 % - nej hladine významnosti ($\alpha=0,05$).



Obrázok 1 Odoberanie vzoriek pôdy a semenáčikov jedle bielej v októbri 2024

Výsledky

Cieľom tejto kapitoly je zhodnotenie údajov zo vzoriek získaných 11. 10. 2024, čiže trojročných semenáčikov jedle bielej.

Výsledky meraní aplikácie Bactériosolu 3-ročných semenáčikoch jedle bielej sú uvedené v tabuľke č. 1 a 2.

Variant	výška nadzemnej časti			priemer koreňového krčka			dĺžka hlavného koreňa		
rok	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
kontrola	109	158	272	1,6	2,8	3,1	145	233	158
Bactériosol	118	155	317	1,8	2,9	3,1	136	204	153
Štatistická významnosť	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
F	7,32	0,134	14,444	11,34	0,667	0,004	4,44	19,76	0,477
p	0,008*	0,715	0,000*	0,001*	0,416	0,952	0,038*	0,000*	0,492

*štatisticky významné hodnoty

Tabuľka 1: Porovnanie biometrických parametrov po prvom až treťom roku aplikácie Bactériosolu.

Variant	hmotnosť sušiny nadzemnej časti			hmotnosť sušiny koreňov		
rok	2022	2023	2024	2022	2023	2024
kontrola	0,26	0,94	2,03	0,15	0,61	0,75
Bactériosol	0,33	0,92	2,26	0,18	0,63	0,58
Štatistická významnosť	2022	2023	2024	2022	2023	2024
F	11,343	0,018	0,605	4,409	0,042	1,997
p	0,001*	0,894	0,439	0,038*	0,839	0,161

*štatisticky významné hodnoty

Tabuľka 2: Porovnanie biometrických parametrov po prvom až treťom roku aplikácie Bactériosolu.

Možno konštatovať, že:

Priemerná výška nadzemnej časti trojročných semenáčikov jedle pestovaných s použitím Bactériosolu (317 mm) je v roku 2024 vyššia ako v kontrolnom variante (272 mm), tento rozdiel je pri 95 % spoľahlivosti štatisticky významný (p = 0,000 <0,05) (Tabuľka 1).

V roku 2022 bola výška semenáčikov jedle na kontrolnej ploche 109 mm a v roku 2024 bola 272 mm, čo je 148 % nárast. Na ploche ošetrenej Bactériosolom bola priemerná výška semenáčikov 118 mm, v roku 2024 bola 317 mm, čo je 168 % nárast.

V relatívnom vyjadrení intenzita rastu semenáčikov bola v roku 2024 na ploche

ošetrenéj Bactériosolom o 20 % vyššia ako na kontrolnej ploche.

Priemerné hodnoty priemerov koreňového krčka trojročných semenáčikov jedle pestovaných s použitím Bactériosolu a v kontrolnom variante je v roku 2024 rovnaká (3,1 mm) (Tabuľka 1).

Priemerné hodnoty dĺžky hlavného koreňa trojročných semenáčikov jedle pestovaných s použitím Bactériosolu (153 mm) sú menšie ako v kontrolnom variante (158 mm), tento rozdiel nie je pri 95 % spoľahlivosti štatisticky významný ($p = 0,492 > 0,05$) (Tabuľka 1).

Priemerné hodnoty hmotností sušiny nadzemnej časti trojročných semenáčikov jedle pestovaných s použitím Bactériosolu (2,26 g) je vyššia ako v kontrolnom variante (2,03 g), tento rozdiel nie je pri 95 % spoľahlivosti štatisticky významný ($p = 0,439 > 0,05$) (Tabuľka 2).

Priemerné hodnoty hmotností sušiny koreňov trojročných semenáčikov jedle pestovaných s použitím Bactériosolu (0,58 g) sú vyššie ako v kontrolnom variante (0,75 g), tento rozdiel nie je pri 95 % spoľahlivosti štatisticky významný ($p = 0,038 > 0,05$) (Tabuľka 2).

Stav pôdných vlastností a úroveň výživy

Pôdne vlastnosti a úroveň výživy boli stanovené na základe analýz vzoriek pôdy a ihličia.

Laboratórne protokoly obsahovali údaje o pôdach a ihličí pre dva varianty: s aplikáciou Bactériosolu (B) a kontrola (K).

Pre rozšírenie poznatkov a porovnanie výsledkov sme odobrali vzorky pôdy a asimilačných orgánov jedle aj zo škôlky Flóra, lesná a okrasná škôlka, Púchov. Aplikácia bola vykonaná počas dvoch vegetačných období v r. 2023 a 2024 v dávke 200 kg/ha. Vzorky na rozbor boli odobraté v jeseni 2024.

Pôda

Z výsledkov laboratórnych analýz vyplýva, že pôda má priaznivú textúru: podľa podielu jednotlivých zrnitostných frakcií (íl, prach, piesok) je klasifikovaná ako piesčitá až prachovitá hlina.

Pre lokalitu Vislavice sú vzorky pôdy pre oba varianty veľmi podobné.

Pre lokalitu Púchov je vzorka s aplikáciou Bactériosolu viac piesčitá, čo však samozrejme nesúvisí s aplikáciou. Určitým problémom pre porovnateľnosť je fakt, že vo vzorke bez Bactériosolu je výrazne vyšší obsah karbonátov, čo ovplyvňuje najmä obsah prístupného vápnika.

Na základe stanovenia obsahu organického uhlíka, resp. humusu, je pôdny materiál klasifikovaný ako silne humózný. Zásobenie živinami (makroživinami aj mikroživinami) je priaznivé, pre niektoré živiny je úroveň zásobenia veľmi vysoká

(Ca, Mg), najmä na lokalite Púchov. Súvisí to s tým, že sú tu prítomné karbonáty, čo sa odráža aj na hodnote pH. Nameraná hodnota pH v hydrosuspenzii je 7,36, v suspenzii roztoku CaCl₂ 6,83. Tu je teda pôda neutrálna až mierne alkalická.

Na lokalite Vislavice je pôda kyslá. Nameraná hodnota pH v hydrosuspenzii bola pre oba varianty veľmi podobná (hodnoty aktívnej reakcie 4,68, resp. 4,65, hodnoty výmennej reakcie, meranej v CaCl₂ boli 4,04 resp. 3,83.

Porovnaním údajov o pôdach medzi variantmi môžeme konštatovať určité rozdiely, keďže k dispozícii nie sú namerané hodnoty z viacerých opakovaní pokusu (viacerých vzoriek), nie je možné komentovať prípadné signifikantné rozdiely.

V pôde na lokalite Púchov je vo vzorke s aplikáciou Bactériosolu pomerne výrazné vyšší obsah horčíka, draslíka a fosforu, pri ostatných mikroživinách sú pre tento variant skôr o niečo nižšie hodnoty.

V pôde na lokalite Vislavice je vo vzorke s aplikáciou Bactériosolu vyšší obsah všetkých hlavných živín (vápnika, horčíka, draslíka a fosforu), pri mikroživinách sú len malé rozdiely v obsahu podľa porovnávaných variantov.



Obrázok 2 Pohľad na záhony jedle bielej – horný kontrolný, spodný s Bactériosolom (Vislavice)

Asimilačné orgány (ihličie)

Podľa výsledkov analýz vzoriek ihličia je zrejmé, vo všeobecnosti, veľmi dobré zásobenie sadeníc živinami. Zároveň je viditeľný vplyv rôznych vlastností pôdy na lokalitách. Vysoký obsah karbonátov a vápnika v pôde na lokalite Púchov sa prejavil na výrazne vyššom obsahu vápnika aj v ihličí.

Porovnaním obsahu živín pre varianty na lokalite Vslavice vidíme, že ihličie v pôde s aplikáciou Bactériosolu má o niečo vyššie hodnoty obsahu dusíka, fosforu, vápnika a draslíka. Pre ostatné živiny sú namerané hodnoty veľmi podobné.

Záver a diskusia

Pri vyhodnotení vzoriek odobratých po 15 mesiacoch od prvej aplikácie Bactériosolu a jeho následnom pravidelnom dodávaní do pôdy, porovnaní kontrolnej vzorky a vzorky na pôde pravidelne ošetrovanej, pri jednotlivých parametroch môžeme konštatovať, že predpoklad o lepšom raste pri použití tohto organického hnojiva sa ukázal ako správny už po prvom roku jeho aplikácie vo všetkých meraných znakoch s výnimkou dĺžky hlavného koreňa, ktorý je tak typický pre túto drevinu.

Merania a analýza po druhom roku (2023) aplikácie však pozitívny vplyv Bactériosolu u všetkých skúmaných rastových parametrov nepotvrďuje. Potvrďuje sa ale konštatovanie z roku 2022, že dĺžka hlavného koreňa je väčšia na kontrolnej ploche. Pričom u oboch variantov sa priemerná dĺžka hlavného koreňa zmenšila. Je možné, že kratší hlavný koreň pri vzorkách pestovaných v Bactériosole je preto, že na takejto ploche je lepšia pôda pri povrchu, preto sa hlavný koreň neťahá hlbšie, ale rastlina vytvára viac vlásočnicových koreňov, čo potvrdzuje aj parameter hmotnosť sušiny podzemnej časti, ktorá je väčšia práve pri vzorkách z Bactériosolu. Toto by mohlo potvrdzovať hypotézu o lepšom vývine vlásočnicových koreňov ako dôležitých nosičov výživy pre rastlinu, čo má za následok väčšie dĺžkové a objemové parametre rastlín z pôdy ošetrovanej Bactériosolom ako z kontrolnej plochy.

Výhoda kratšieho hlavného koreňa pre prax môže byť v tom, že nie je potrebné pred výsadbou skracovať hlavný koreň, resp. je tu pravdepodobnosť jeho menšej deformácie pri samotnej výsadbe. Zároveň porovnanie parametra „priemerná hrúbka koreňového krčka“ ukazuje, že je väčší pri semenáčikoch ošetrovaných Bactériosolom, čo pri sadenicích jedle je významným znakom posudzovania kvality sadeníc aj na úkor nižšej priemernej výšky, čo potvrdzuje porovnanie parametra „priemerná výška nadzemnej časti“.

Merania a analýzy po treťom roku (2024) aplikácie Bactériosolu ukázali, že intenzita rastu nadzemnej časti ošetrenej plochy v relatívnom vyjadrení je o 20 % vyššia ako kontrolná pri porovnaní s výškou v roku 2022 čo spôsobilo, že výška semenáčikov na ploche ošetrenej Bactériosolom je štatisticky významne vyššia ako na kontrolnej ploche.

Priemer koreňového krčka je rovnaký pri oboch variantoch. Rozdiel v hmotnosti sušiny nadzemnej časti nie je štatisticky významný.

Doterajšie merania ukazovali, že dĺžka hlavného koreňa je na ošetrenej ploche menšia ako na kontrolnej, dokonca v oboch predchádzajúcich analýzách (2022,

2023) štatisticky významne. Analýzy vzoriek z roku 2024 ukazujú stále dlhší hlavný koreň na kontrolnej ploche (štatisticky nevýznamný), ale priemerná dĺžka hlavného koreňa sa znížila pri oboch variantoch (Bactériosol 33 %, kontrola 47 %). Keď sa pritom pozrieme na hmotnosť sušiny koreňov, pri Bactériosole sa znížila, ale pri kontrole zvýšila. Aktuálny pokles nie je možné momentálne vysvetliť. Na objasnenie tohto javu by boli potrebné ďalšie merania, keďže na skracovanie koreňového systému môže mať vplyv viacero faktorov alebo ich kombinácia (klimatické faktory, škodcovia, ochorenia, apod.)

Laboratórne analýzy pôdy ukázali vo všeobecnosti veľmi dobré zásobenie živinami v oboch variantoch na lokalite Vislavice.

Podakovanie

Táto práca bola podporená v rámci projektu TreeAdapt, financovaného z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301) a kontraktu uzavretého medzi MPRV SR a NLC č. 1170/2024/MPRVSR-710, úlohy č. 15 Kontrola LRM, prvok 0900E02 „Odborná pomoc pre udržateľné lesné hospodárstvo“.

Literatúra

www.UrodnaPoda.sk

Leták Bactériosol

Kontakty

¹ Ing. Ivan Horvát, Ing. Elena Takáčová, Ing. Dagmar Bednárová, PhD., Ing. Vladimír Mačejovský, PhD., NLC Zvolen, SVV, Odbor pestovania lesa a semenárskej kontroly
ivan.horvat@nlcsk.org, elena.takacova@nlcsk.org, dagmar.bednarova@nlcsk.org,
vladimir.macejovsky@nlcsk.org

² Ing. Pavel Pavlenda, PhD.
NLC Zvolen, SVV, Odbor ekológie lesa
pavel.pavlenda@nlcsk.org

³ Ing. Karol Chvála
Loben, s. r. o.
chvala@loben.sk

POTENCIONÁLNÍ ZMĚNY V LEGISLATIVĚ S OHLEDEM NA PROBÍHAJÍCÍ NOVELIZACE PŘEDPISŮ EU A ČR

Vlasta Knorová

Abstrakt

Od loňského roku probíhá v České republice rozsáhlá novela zákona č. 289/1995 Sb. o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), (dále jen „zákon“). Důvodem novelizace byla modernizace zákona a jeho přizpůsobení současným podmínkám lesního hospodářství a stavu poznání v této oblasti. Zcela neopominutelným důvodem byla také liberalizace předpisu a poskytnutí větší volnosti vlastníkům lesů v rozhodování. Na základě rozhodnutí Rady (EU) 2019/1905 přistoupila Evropská komise (dále jen „EK“) k vypracování studie o možnostech Unie aktualizovat stávající právní předpisy o produkci rostlinného reprodukčního materiálu (dále jen "studie PRM") a reprodukčního materiálu lesních dřevin (dále jen „studie FRM“) a jeho uvádění na trh. Na základě studií bylo EK přikročeno ke zpracování návrhu nového legislativního předpisu, který by měl více reflektovat současné potřeby kontroly a obchodu s reprodukčním materiálem.

Klíčové slova

Lesní zákon, nařízení, novela, reprodukční materiál, směrnice

Úvod

V současné době probíhají pro české lesnictví, a patrně nejen pro něj, dvě zásadní změny v legislativě jak národní, tak evropské.

V loňském roce bylo v České republice přistoupeno k patrně nejrozsáhlejší novele zákona za dobu jeho platnosti.

V listopadu 2019 Rada rozhodnutím Rady (EU) 2019/1905 vyzvala Komisi, aby vypracovala studii o možnostech Unie aktualizovat stávající právní předpisy o produkci rostlinného reprodukčního materiálu (dále jen "studie PRM") a reprodukčního materiálu lesních dřevin (dále jen „studie FRM“) a jeho uvádění na trh. Rada dále uložila Komisi, aby připravila právní návrh, jestliže to bude s ohledem na výsledky studií potřebné. EK si stanovila za cíl studie identifikovat stávající problémy v oblasti rozmnožovacího materiálu rostlin a jejich důsledky. Studie měla dále za cíl prozkoumat, jaký dopad má na problematiku rozmnožovacího materiálu rostlin současný technický vývoj, nová nařízení (nařízení o úředních kontrolách, nařízení o zdraví rostlin), rostoucí obava ohledně změn klimatu, snižování biologické rozmanitosti a udržení

produkce bezpečných potravin. Dále se studie zaměřila na otázky spojené s kritikou předchozího návrhu z roku 2013, který byl v roce 2014 Komisí stažen z důvodu odmítnutí návrhu Evropským parlamentem.

Novela lesního zákona v České republice

Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), nabyl účinnosti dnem 1. ledna 1996. Lesní zákon byl od roku 1996 již mnohokrát z různých důvodů a v různých souvislostech částečně novelizován. Tím však nebyly odstraněny jeho nedostatky, a navíc se v průběhu posledních několika let projevily další skutečnosti, které je nutné ošetřit v zákoně. Podstatným způsobem se projevila změna podmínek pro lesnické hospodaření v souvislosti s rozsáhlou kůrovcovou kalamitou, která zasáhla lesy na velké části území České republiky. Poslední tři novelizace lesního zákona byly zaměřeny pouze účelově na akutní řešení změny právní úpravy reagující speciálně na vrcholící kalamitu (zákony č. 90/2019 Sb. a č. 314/2019 Sb.) a na implementaci předpisů Evropské unie v oblasti invazních nepůvodních druhů (zákon č. 364/2021 Sb.). Uvedené skutečnosti znamenaly odsunutí komplexnější novely lesního zákona na dobu pozdější.

Praktické zkušenosti z posledních let a poznatky orgánů státní správy lesů na všech úrovních, odborné veřejnosti i zájmových sdružení apod., svědčí jednoznačně o tom, že je nezbytné zpracovat komplexnější novelu lesního zákona, která přinese změny odstraňující nejasnosti jeho aplikace (doplnění pojmů, zpřesnění ustanovení apod.), vypuštění povinností, které nejsou nezbytné z hlediska zachování lesa a plnění jeho funkcí (liberalizace) a dále nastavení zákonných povinností tak, aby nebylo nutno ze strany vlastníků lesů žádat o výjimky z ustanovení lesního zákona v nepřiměřeně vysokém počtu případů a v konečném důsledku snížení byrokratické zátěže. Uvedené změny by měly přispět k tomu, aby adaptace našich lesů na nové podmínky v důsledku změny klimatu byla z hlediska administrativního pro vlastníky lesů co nejsnazší. V neposlední řadě je též třeba řešit i otázky související s působením zvěře na les a se zadržováním vody v lesích. Současně dochází k odstranění existujících chyb, nepřesností a výkladových nejednoznačností, k úpravě a změně základních pojmů úpravou ustanovení, která jsou v dnešní době již nadbytečná, případně neživotná, a to zejména v důsledku vývoje souvisejících právních předpisů. Dále budou upravena znění těch ustanovení, která mohou přinášet problémy při jejich praktické interpretaci, a ustanovení, jejichž stávající textace v sobě zahrnuje zjevné nepřesnosti.

K hlavním cílům novely patří:

- **Zjednodušení a aktualizace práv a povinností vlastníků lesů**, posílení vlastnického principu a principu odpovědnosti, posílení ochrany sousedních lesních majetků s cílem přizpůsobení právní úpravy vývoji faktické situace v oblasti státní správy lesů a lesního hospodářství.

Navrhované změny směřují ke zjednodušení problematiky lesních hospodářských plánů a osnov, závazných ustanovení a lhůt, k valorizaci výše pokut a správních

poplatků, k aktualizaci povinností vlastníků lesů. Právní úprava by tedy měla lépe regulovat současné problémy v dané oblasti, a to i prostřednictvím její koordinace se souvisejícími právními předpisy.

- **Revize a zefektivnění institutu odborného lesního hospodáře**, mimo jiné se zmocněním k hodnocení stavu poškození lesa zvěří a zvířaty a vydávání vyjádření k těžbě pro drobné vlastníky lesů.
- **Implementace platné úpravy občanského zákoníku** v oblasti nájmu a pachtu, přičemž cílem navrhované změny je uvedení lesního zákona do souladu s terminologií, resp. instituty občanského zákoníku tak, aby byla právní úprava pro adresáty srozumitelná a jednoznačná. Implementace cílů Státní lesnické politiky pro oblast adaptace lesů na změnu klimatu.

Součástí novely jsou samozřejmě body týkající se výpočtů poplatků za odnětí, nebo revize a zakotvení náplně činnosti Národního lesnického ústavu (dříve Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů).

Lze očekávat, že novela vyvolá jak pozitivní, tak negativní ohlasy, tato reakce je naprosto přirozená, nebo nelze vytvořit předpis, který by vyhovoval všem, kterých se dotýká.

V době vzniku tohoto příspěvku byl text novely Lesního zákona Poslaneckou sněmovnou parlamentu České republiky postoupen k projednání Senátu jako tisk 100, dokument 100/0. Projednávání tisku bylo zařazeno na pořad 11. schůze Senátu (od 11. 06. 2025) jako bod č. 12.

Příprava nové evropské legislativy od roku 2019

Na podzim roku 2019 požádala Rada na základě článku 241 Smlouvy o fungování Evropské unie, prostřednictvím rozhodnutí Rady (EU) 2019/1905 ze dne 8. listopadu 2019, aby Evropská komise předložila studii o možnosti aktualizace stávajících právních předpisů o výrobě a uvádění rostlinného rozmnožovacího materiálu na trh, případně také návrh na aktualizaci této legislativy s ohledem na výsledky požadované studie. Komise si stanovila za cíl studie identifikovat stávající problémy v oblasti rozmnožovacího materiálu rostlin a jejich důsledky. Studie měla dále za cíl prozkoumat, jaký dopad má na problematiku RM současný technický vývoj, nová nařízení (nařízení o úředních kontrolách, nařízení o zdraví rostlin), rostoucí obavy ohledně změny klimatu, biologické rozmanitosti a bezpečnosti potravin. Dále se studie zaměřila na otázky spojené s kritikou předchozího návrhu z roku 2013. Práce na studii byla prováděna interně ve spolupráci s externím dodavatelem (ICF).

Studie identifikovala 5 problematických klíčových oblastí:

- Právní rámec je složitý a roztříštěný
- Složitost a nepružnost postupů
- Problém vnitřního trhu
- Chybějící harmonizovaná pravidla pro úřední kontroly
- Překážky inovacím

V návaznosti na provedenou studii Evropská komise v termínu od 15. června do 13. července 2021 umožnila všem zainteresovaným subjektům i veřejnosti se v rámci veřejné konzultace vyjádřit k uveřejněným výsledkům. Hlavními problémy zjištěnými při vstupním posouzení dopadů byla nejednotnost a nepružnost stávajících zastaralých právních předpisů, obtíže při sladování právních předpisů s cíli „Zelené dohody“ a souvisejících strategií a překážky pro inovace.

Na základě toho Komise za konkrétní cíle navrhované revize legislativy označila:

- Zvýšit soudržnost právních předpisů odstraněním roztržičnosti požadavků
- Harmonizovat pravidla pro úřední kontroly
- Podporovat zachování „in situ“ a udržitelné využívání rostlinných a lesních genetických zdrojů
- Podporovat inovace a rozvoj digitálních technologií a biomolekulárních technik v oblasti rozmnožovacího materiálu rostlin
- Vytvořit vhodné podmínky pro rozvoj ekologických odrůd vhodných pro ekologickou produkci
- Přezkoumat rozsah legislativy ve vztahu k neziskovým aktivitám systémů pro zachování osiv, uvádění do oběhu pro neprofesionální pěstitele a výměnu rozmnožovacího materiálu mezi zemědělci v naturáliích

Na základě výše uvedeného přistoupila Komise ke zpracování návrhů nových Nařízení pro reprodukční materiál (osivo a sadbu) rostlin obecně (PRM) a pro reprodukční materiál lesních dřevin (FRM). Návrh Nařízení pro reprodukční materiál lesních dřevin byl koncipován odděleně, vzhledem k významným specifikům zrání, získávání a uplatnění tohoto reprodukčního materiálu. Návrhy obou Nařízení byly prezentovány 06. 07. 2023 a členským státům byly návrhy předloženy v anglickém jazyce, oficiální překlady do jazyků jednotlivých členských států byly přislíbeny k datu 04. 09. 2023, bohužel tyto překlady byly poskytnuty až o měsíc později.

Jednání o návrzích nového nařízení probíhala paralelně na úrovni Evropského parlamentu a jeho výborů (AGRI, ENVI), a zároveň v pracovní skupině Evropské komise. Návrh, který byl projednáván ve výborech Evropského parlamentu byl na konci dubna odhlasován s tím, že další postup legislativního procesu zajistí již nově zvolený parlament. Zatímco text Evropského parlamentu byl odsouhlasen v nejzazším možném termínu funkčního období, tak projednávání na úrovni Evropské komise probíhala i nadále. Přestože si maďarské předsednictví dalo za cíl posunout text návrhu k obecnému přístupu a závěrečnému procesu přijetí nového předpisu, tak se jednání k návrhu posunula až do předsednictví Polska.

Během poměrně dlouhého projednávání textu v pracovní skupině EK došlo k významné změně jeho podoby. Byly zpřesněny veškeré definice, které byly prvním sporným bodem návrhu. Nejdelší diskuse byla vedena o zařazení reprodukčního materiálu lesních dřevin pod Nařízení o úředních kontrolách. Dá se říci, že se členské státy rozdělily na dva tábory. První od počátku zařazení podporoval, sem patřilo například Finsko, Francie, Nizozemí a další. Druhý zařazení pod nařízení o úředních

kontrolách odmítal spolu s Rakouskem, Německem a Španělskem do tohoto tábora patřit i Slovensko a Česká republika. Část textu věnovaná zařazení reprodukčního materiálu pod nařízení o úředních kontrolách doznala od uvedení první verze návrhu Nařízení největší změny. Část o úředních kontrolách byla výrazně zkrácena a na maximální míru zjednodušena. Návrh je v této části koncipován hybridní formou, kdy jsou některé body z Nařízení o úředních kontrolách přímo vtěleny do textu návrhu a obecná ustanovení jsou řešena odkazem na příslušné paragrafy v Nařízení o úředních kontrolách. Přes nesporný pokrok i k současné podobě textu zaznívají určité výhrady, a to i ze strany Evropské komise.

V době, kdy vzniká tento příspěvek je na 02. 06. 2025 připravováno projednávání textu na úrovni attaché, které je jakýmsi předstupněm projednávání návrhu v triologu Evropský parlament – Evropská komise – Evropská rada, což je vlastně finální bod tvorby předpisu. Zde je však nutné připomenout, že v této finální fázi proti sobě budou stát dva texty návrhu. Text schválený Evropským parlamentem, je ve své podstatě spíše politickým textem odrážejícím zaměření předcházejícího Evropského parlamentu. Při vší úctě bohužel obsahuje z odborného hlediska významné nedostatky, včetně takřka nezměněného textu o zařazení reprodukčního materiálu pod úřední kontroly. V souhrnu je tento text velmi těžce uchopitelný pro praxi a jeho podoba zavdává obavy s neakceptovatelného zvýšení finanční a administrativní zátěže v členských státech, a to jak pro provozovatele lesních školek, tak pro státní správu. Naproti tomu bude předložen text Evropské komise, který vznikl na jednáních odborníků z jednotlivých členských států s důrazem na snadnou aplikovatelnost a použitelnost v praxi.

Nyní je tedy skutečně otázkou, v jaké podobě bude nakonec nové Nařízení pro reprodukční materiál lesních dřevin přijato, protože se projednávání posouvá do roviny politických vyjednávání.

Literatura

ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 149/2003 Sb., ze dne 18. dubna 2003, Zákon o uvádění do oběhu reprodukčního materiálu lesních dřevin lesnický významných druhů a umělých kříženců, určeného k obnově lesa a k zalesňování, a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky. 2003, částka 57, s. 3279-3294. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-149>

ČESKÁ REPUBLIKA. Novela zákona o lesích (lesní zákon), sněmovní tisk č. 814. dostupné z <https://www.psp.cz/sqw/historie.sqw?o=9&t=814>

Kontakt

Ing. Vlasta Knorová, DiS.

Ministerstvo zemědělství

Sekce lesního hospodářství, Odbor státní správy, hospodářské úpravy a ochrany lesů

Oddělení ochrany lesů

Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1

e-mail: Vlasta.Knorova@mze.gov.cz

PRODUKČNÍ POTENCIÁL BŘÍZY PŘI RŮZNÉM PĚSTEBNÍM POSTUPU NA POST-KALAMITNÍCH PLOCHÁCH

Jan Leugner, Antonín Jurásek

Abstrakt

V důsledku kůrovcové kalamity vzniklo v posledních několika letech obrovské množství holin, které vedlo k hledání a realizaci alternativních postupů obnovy lesa na těchto plochách. Současně se lesnictví nejen ve střední Evropě musí vyrovnávat s důsledky globální klimatické změny, které způsobují především zvýšený výskyt klimatických extrémů. Proto je téměř nutností, aby současná obnova kalamitních holin byla realizována tak, aby nově vznikající porosty měly vyšší předpoklady odolnosti a stability do budoucna. Častým a doporučovaným postupem obnovy kalamitních holin je využití přípravných dřevin v podmínkách ČR nejčastěji břízy. Na základě měření na velkém souboru výzkumných ploch v různých ekologických podmínkách (celkem 47 ploch) byly vytvořeny tři základní managementy pěstebních postupů v různých typech porostů s významným zastoupením břízy. Následně byly také kalkulovány potenciální produkční charakteristiky.

Klíčové slová

Bříza, kalamitní holina, pěstební modely, produkční potenciál

Úvod

V důsledku kůrovcové kalamity, která neměla v historii České republiky ani Československa obdoby, vzniklo v posledních několika letech obrovské množství holin, které vedlo k hledání a realizaci alternativních postupů obnovy lesa na těchto plochách. Při obnově různých typů kalamitních holin, probíhající v posledních 10 letech, byly využívány různé způsoby, včetně plného nebo částečného využití přirozené obnovy dřevin s pionýrskou strategií růstu (Součet et al. 2016). Tyto dřeviny v lesnické terminologii nazýváme přípravné dřeviny. V našich podmínkách se nejčastěji jedná o břízu bělokorou (*Betula pendula* Roth), jejíž značný potenciál byl během obnovy kalamitních holin v posledním období potvrzen. Tato bříza často doplňuje svou přirozenou obnovou také výsadby cílových dřevin a při vhodném pěstebním postupu ji lze využít jako výchovnou i produkční dřevinu. V horských polohách je, z hlediska prosperity a stability vhodnější bříza pýřitá (*Betula pubescens* Ehrh.). Pozitivním výsledkem využití pěstebních postupů využívajících „přípravné dřeviny může být jak zlepšení podmínek prostředí, tak i diferenciací a tím stabilizace následných porostů v širším měřítku.

Obecná doporučení pro porosty s využitím přípravných dřevin (břízy)

Základním parametrem vitality jedinců většiny přípravných dřevin je délka zelené koruny. Udržování této délky tak, aby nedošlo k jejímu zkrácení pod 50 % výšky stromu, je nezbytným požadavkem u většiny listnatých dřevin. Pokud je porost dominantně přípravný, doba jeho funkce nebude delší než 30 let. V polovině obmýetí je proředěn za účelem vnášení cílových dřevin pod clonu. Po dalším decenniu jsou tyto prosadby uvolněny silným zásahem nebo odstraněním clony, a to na základě typu stanoviště (především v závislosti na dostupnost vody). V případě dobrého zásobení stanoviště vodou lze využít způsoby s vícevrstevnou strukturou. V opačném případě je vhodné porostní strukturu alespoň částečně zjednodušit, případně využít intenzivnější výchovné zásahy. V případě souběžné produkční funkce přípravných i cílových dřevin se zásady výchovy orientují na vypěstování cílových stromů intenzivními negativními zásahy nejpozději v 10–15 letech a následně ve 20. roce; poté jsou v 10–15letých pěstebních intervalech uvolňovány nadějně stromy od konkurentů. Z nich se rekrutuje cca 100 cílových stromů na hektar. Přípravné dřeviny mohou splnit svoji funkci zároveň s produkcí také tehdy, budou-li pěstovány jako součást budoucí směsi s dřevinami základními cílovými v různých typech smíšení a časovém postupu výsadby (podsadby, souběžná výsadba apod.).

Pěstební postupy s využitím břízy

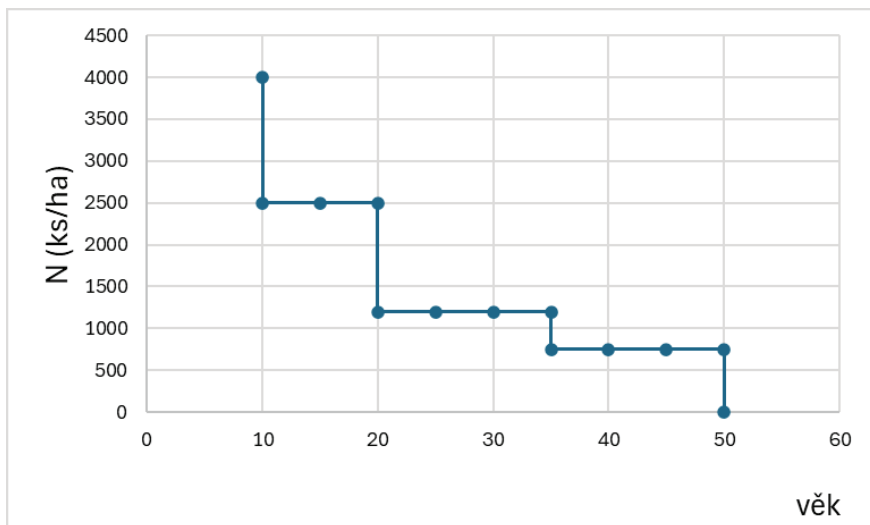
Březové porosty s cílem produkce cenných sortimentů – model A:

probírkou ca 8–10 metrů vysokých bříz (věk 10–15 roků) redukuje jejich hektarový počet na 2 000–2 500 stromů. U ponechaných úrovnových stromů je třeba udržet délku živé koruny na úrovni 50 % výšky stromu. Následuje zásah po 10 letech redukující hustotu na polovinu; zelená koruna musí mít stále ca 50 % výšky stromu. Později v intervalu 10 let odstranit vždy ca polovinu stromů (eliminujeme největší konkurenty dominantních stromů), čímž získáme finální hustotu maximálně 100 cílových stromů na hektar ve věku 50 let. V porostech na nejchudších stanovištích lze s výchovou začít později, kdy lze dosažené dimenze dřeva zpeněžit nebo ponechat porosty bez výchovy pouze k produkci biomasy a plnění ostatních funkcí lesa. Klest je třeba ponechat na stanovišti k zetlení. Model výchovy březových porostů s intenzivní výchovou a obmýetím 50 let je zobrazen na obr. 1. Modelový vývoj počtu jedinců byl pro zobrazení vztážen k věku porostu, ale pro přesné plánování a realizaci především prvního výchovného zásahu je rozhodující horní porostní výška (3 - 8m v závislosti na počáteční hustotě).

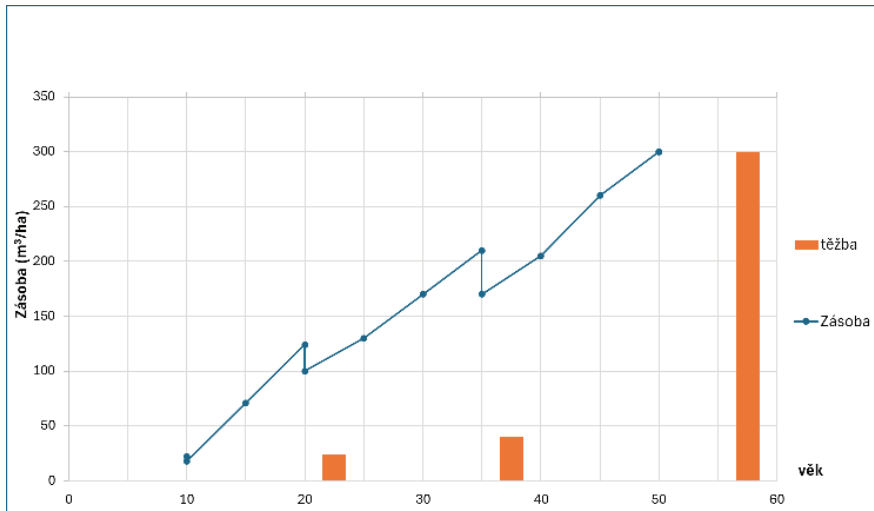
Modelová (teoretická) produkce březových porostů podle Modelu A pro kyselé stanoviště středních poloh, která byla kalkulována na základě měření na trvalých výzkumných plochách (Souček et al. 2019) a modifikace růstových tabulek IFER - Černý M., Pařez J. (1998) je znázorněna na obr. 2.

Porosty přípravné – model B

v tomto případě je krycí efekt břízy hlavní funkcí porostu. Obmýetí je maximálně 30 let. V 10 letech začínáme velmi silným zásahem umožňujícím vnášení cílových



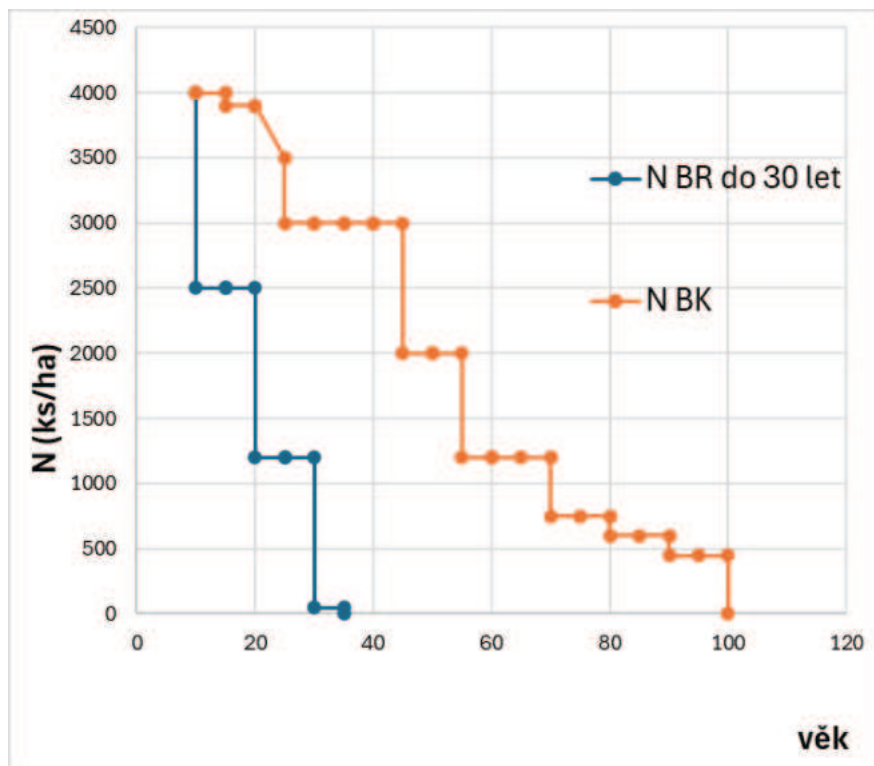
Obr. 1: Vývoj počtu stromů podle pěstebního modelu A – nesmíšené březové porosty s cílem produkce cenných sortimentů. N – počet stromů na hektar plochy (ks/ha).



Obr. 2: Modelová produkce březových porostů podle postupu A, kde jsou březové porosty pěstovány s cílem produkce cenných sortimentů pro kyselá stanoviště středních poloh.

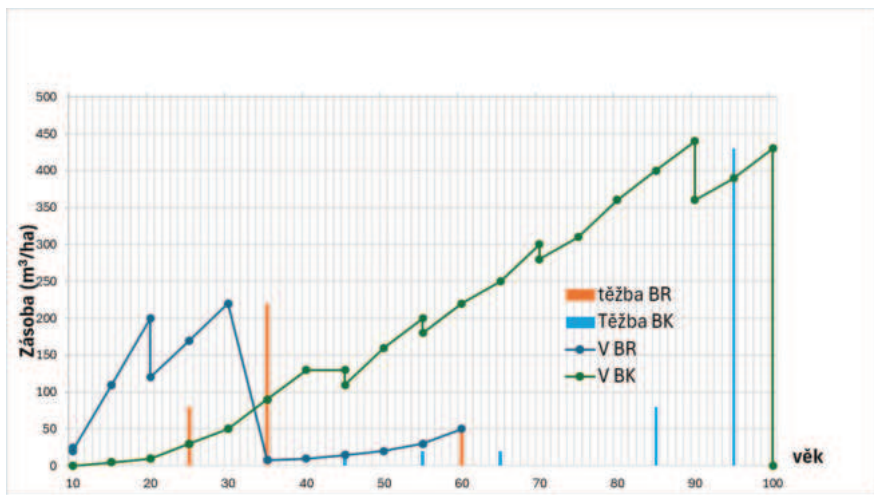
dřevin prosadbami. Ve 30 letech je březová clona odstraněna. U mladých bříz můžeme očekávat výraznou pařezovou výmladnost, která může produkovat konkurenty cílovým dřevinám. Tato výmladnost je výrazně omezena po začlenění pařezů odrůstajícími stromy původní podúrovně. Pokud od břízy očekáváme i produkční funkci, uplatníme širší rozestup řad břízy s cílovými dřevinami.

Modely výchovy březových porostů s využitím břízy především jako přípravné dřeviny (do věku 30 let) jsou znázorněny na obr. 3. Pro kyselá stanoviště je modelovou cílovou dřevinou buk lesní.



Obr. 3: Vývoj počtu stromů podle pěstebního modelu B – březové porosty s využitím břízy (BR) především jako přípravné dřeviny (do věku 30 let) a buku (BK) jako dřeviny cílové. N – počet stromů na hektar plochy (ks/ha).

Modelová (teoretická) produkce březových porostů podle postupu B (BR jako přípravná dřevina pro BK a JD), která byla kalkulována na základě měření na trvalých výzkumných plochách (Souček et al. 2019) a modifikace růstových tabulek IFER - Černý M., Pařez J. (1998) je znázorněna na obr. 4.



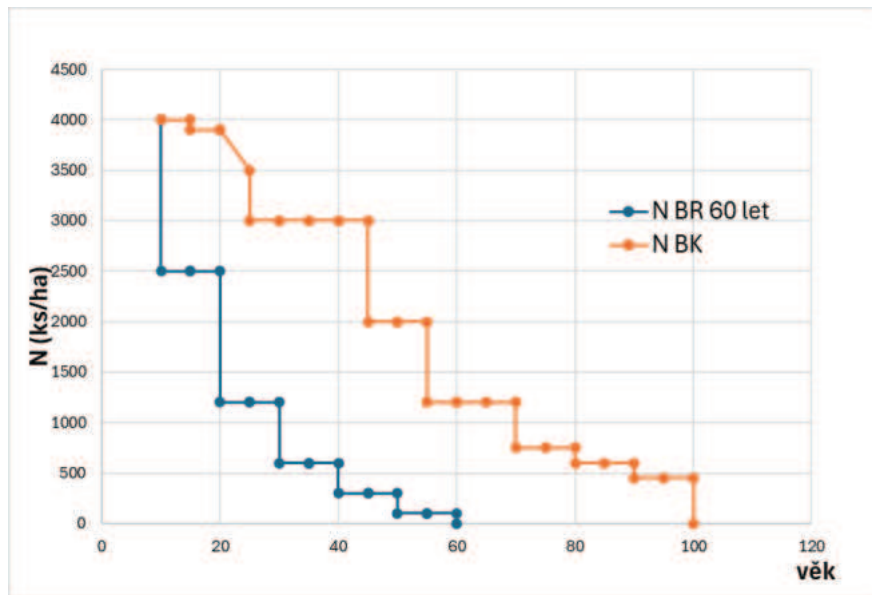
Obr. 4: Modelová produkce smíšených březových porostů podle pěstebního modelu B – březové porosty s využitím břízy (BR) především jako přípravné dřeviny (do věku 30 let) a buku (BK) jako dřeviny cílové pro kyselá stanoviště středních poloh.

Použití nižšího počtu jedinců při výsadbě a absence výchovného zásahu pro podsadby by mělo snížit náklady na pěstování. Poznatky o rozrůstání korun cílových dřevin v březových porostech se sníženými počty prozatím nejsou dostatečně ověřeny, předpoklad je možnost vnášení podsadů do porostních mezer. Podklady o růstu jednotlivých vychází z tabulkových hodnot IFER - Černý M., Pařez J. (1998). Hodnoty produkce cílových dřevin jsou tak dle současných poznatků pouze orientační, protože nejsou k dispozici dlouhodobě sledované porosty při tomto pěstebním managementu.

Porosty smíšené – model C

– cílem je vytvoření směsi produkčně funkční břízy s cílovými dřevinami. Prvním silným zásahem v 10letém porostu břízy vytvoříme podmínky pro prosadbu či nálet cílových dřevin. Podobně jako v dominantně březových porostech pečujeme o cílové stromy břízy s dlouhými živými korunami, které jsou vytěženy po dosažení cílové tloušťky ve věku 40–60 let. Cílové dřeviny mají obmýti 100 let, celkové obmýti porostu je 110 let. Intenzitu zásahů spoluurčují dřeviny a jejich tolerance k zastínění. Udržení více etážových porostů může narážet na problémy v oblastech ohrožených suchem, kde může být znevýhodněna především spodní etáž (podsadba). Také kvůli využití podobných hloubek půdy kořeny je riziková pro vzájemně těsně smíšené jedince břízy a smrku (Dušek et al. 2022). Řešením je jednak prostorová separace dřevin v pruzích (smrk na 15 m široké náseky), ale také důsledná včasná výchova porostů (Dušek et al. 2020) zamezující vzniku přehoustlých mlazin. Méně kvalitní jedinci břízy by měli být šetřeni v porostních mezerách, kde se nevyskytují vhodnější dřeviny. Naopak musí být důsledně odstraňována z blízkosti preferovaných dřevin z důvodu jejich ošlehávání břízou.

Modely výchovy březových porostů s využitím břízy jako přípravné dřeviny s delším pěstováním v porostní směsi (do věku 60 let) jsou znázorněny na obr. 5. Pro kyselá stanoviště je modelovou cílovou dřevinou buk lesní.



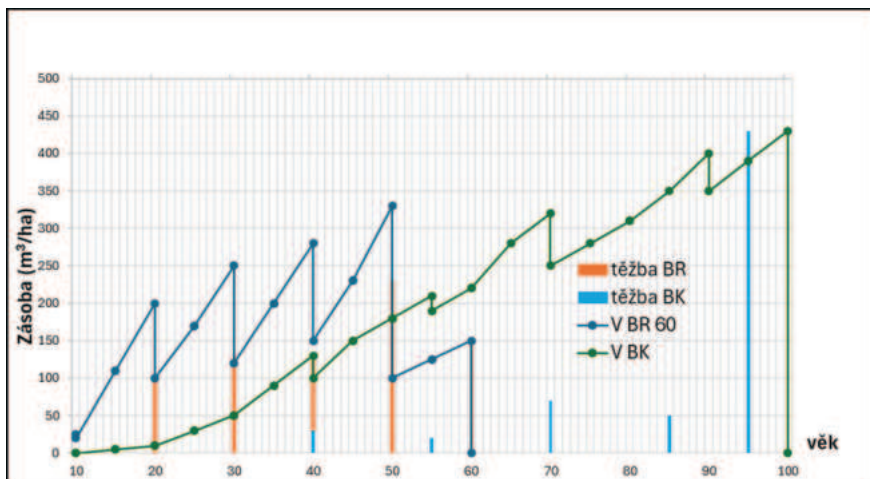
Obr. 5: Vývoj počtu stromů podle pěstebního modelu C – březové porosty s využitím břízy (BR) jako přípravné dřeviny s delším pěstováním v porostní směsi (do věku 60 let) a buku (BK) jako dřeviny cílové pro kyselá stanoviště středních poloh. N – počet stromů na hektar (ks/ha).

Modelová (teoretická) produkce březových porostů podle postupu C (BR jako přípravná dřevina pro BK a JD), která byla kalkulována na základě měření na trvalých výzkumných plochách je znázorněna na obr. 6.

Použití nižšího počtu jedinců při výsadbě a absence výchovného zásahu pro podsadby by mělo snížit náklady na pěstování. Poznatky o rozrůstání korun cílových dřevin v březových porostech se sníženými počty prozatím nejsou dostatečně ověřeny, předpoklad je možnost vnášení podsadby do porostních mezer. Podklady o růstu jednotlivých dřevin vychází z tabulkových hodnot IFER - Černý M., Pařez J. (1998). Hodnoty produkce cílových dřevin jsou tak dle současných poznatků pouze orientační, protože nejsou k dispozici dlouhodobě sledované porosty při tomto pěstebním managementu.

Závěr

Využití přípravných dřevin při obnově, zejména kalamitních holin může významně snížit náklady na obnovu lesa. Již při obnově lesa na kalamitních



Obr. 6: Modelová produkce smíšených březových porostů podle postupu dle pěstebnímu modelu C – březové porosty s využitím břízy (BR) jako přípravné dřeviny s delším pěstováním v porostní směsi (do věku 60 let) a buku (BK) jako dřeviny cílové pro kyselá stanoviště středních poloh.

plochách po současné kůrovcové kalamitě bylo těchto úspor dosaženo. Současné lze při optimálním pěstebním postupu dosáhnout ekonomického zhodnocení produkce přípravného porostu. Na základě modelových výpočtů (metodou hrubého zisku lesní výroby) bylo zjištěno, že u jednotlivých pěstebních modelů s břízou lze očekávat kladný hospodářský výsledek v rozmezí 140 – 8 000 Kč/ha/ročně dle stanovištních a porostních podmínek. Porovnání ekonomických modelů dokládá, že „březové“ modely jsou srovnatelné s „klasickými“ postupy cílových dřevin. V některých ekologických podmínkách může využití přípravných dřevin dokonce „klasické“ postupy překonat.

Z pohledu hrubého zisku lesní výroby jsou na tom lépe modelové porosty v kombinaci břízy a cílové dřeviny (především model C) než porosty s převažujícím zastoupením břízy (Dudík et. al 2021). Pěstební model C na živném stanovišti s bukem dosáhl při 60-letém obmýtí břízy a 100-letém obmýtí buku dokonce nejlepší úroveň ze všech kalkulovaných variant, včetně standardních variant s cílovými dřevinami.

Dedikace

Příspěvek vznikl díky institucionální podpoře na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZE-RO0123.

Literatura

- Černý M., Pařez J. 1998: Růstové tabulky dřevin České republiky. Modřín, jedle, jasan, bříza, olše černá, topol, habr, akát, douglaska. Jílové u Prahy, Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, 119 s.
- Dudík R., Šišák L., Remeš J., Zahradník D., Šálek D., Dvořák J., Riedl M., Bukáček J., Leugner J., Souček J., Vejpustková M. Martiník A., Adamec J., Vavrčík H. 2021: Ekonomika a pěstování březových porostů jako alternativa obnovy chřadnoucích smrkových porostů v České republice. Závěrečná zpráva z řešení projektu Grantové služby LČR 177 s.
- Dušek D., Leugner J., Novák J., Slodičák M., Černohous V., Kacálek D. 2020: Pěstební postupy v lesích ohrožených suchem na stanovištích s převahou nepůvodních smrkových porostů. 29 s. Lesnický průvodce 5/2020: 29 s.
- Dušek D., Leugner J., Souček J., Novák J., Kacálek D. 2022: Využití přípravných dřevin ve směsích a zásady pro první výchovné zásahy v těchto porostech. Lesnický průvodce 11/2022. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM, 34 s.
- Souček J., Špulák O., Leugner J. 2019: Vývoj porostu s dominancí břízy a osiky na kalamitní holině. Zprávy lesnického výzkumu 64 (4): 191–197.
- Souček J., Špulák O., Leugner J., Pulkrab K., Sloup R., Jurásek A., Martiník A. 2016: Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin. Lesnický průvodce 10/2016. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM, 35 s.

Kontakt na autora

Ing. Jan Leugner, Ph.D.

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

leugner@vulhmop.cz, 602783429

KLIMATICKÁ VODNÁ BILANCIA SEMENÁRSKYCH OBLASTÍ SLOVENSKA PRE DREVINU SMREK

**Jozef Mindaš, Ivan Barka, Dagmar Bednárová,
Elena Takáčová, Ján Ďurský**

Abstrakt

Prostredníctvom skríningových metód priestorového modelovania sa vytvorili finálne GIS vrstvy mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok (aj ďalších klimatických parametrov) a to v rastri 30 x 30 m pokrývajúc celé územie Slovenska pre obdobie rokov 1991 - 2020. Na základe prekrytia týchto údajov so semenárskymi oblasťami smreka obyčajného (ďalej len „smrek“) prezentujeme výsledky analýzy klimatických podmienok, v tomto prípade atmosférické zrážky a aktuálnu klimatickú vodnú bilancia semenárskych oblastí Slovenska pre túto dôležitú hospodársku drevinu, ktorá má svoje opodstatnenie pre trvalo udržateľné hospodárenie v podhorských a horských oblastiach.

Kľúčové slová

klimatická vodná bilancia, lesný reprodukčný materiál, regionalizácia klímy, semenárske oblasti, smrek obyčajný

Úvod

Klimatické podmienky zohrávajú zásadnú úlohu pri rozšírení drevín v Karpatoch. Zmeny teploty, zrážok a extrémnych poveternostných javov ovplyvňujú rast, rozmnožovanie a celkovú vitalitu lesných ekosystémov. V posledných desaťročiach sa pozoruje nárast teploty vzduchu, častejšie obdobia sucha a intenzívnejšie búrky, čo môže viesť k posunu hornej hranice lesa, zvýšenej mortalite stromov a premnoženiu škodcov. Modelovanie dopadov klimatických zmien ukazuje, že ekologická amplitúda hlavných drevín karpatských lesov sa mení, čo ovplyvňuje ich produktivitu a schopnosť adaptácie (Mindaš 1999).

Výskum v oblasti aklimatizácie drevín, najmä na klimatickú zmenu, naznačuje, že niektoré druhy môžu byť schopné prispôsobiť sa novým podmienkam, zatiaľ čo iné môžu byť ohrozené. Preto je dôležité venovať pozornosť strategickému manažmentu lesov a ich ochrane pred negatívnymi dopadmi klimatických zmien (Mindaš, Škvareninová 2016).

Ministerstvo školstva, výskumu, vývoja a mládeže podporuje finančne na roky 2024 - 2027 výskumný projekt APVV-23-0659 (v skratke FERTILKLIM), cieľom ktorého je analyzovať interakcie medzi stavom a vývojom klimatických faktorov,

fertilitou lesných drevín, vlastnosťami ich semien, semenáčikov a sadeníc s dopadom na lesné škôlkarstvo a prenos lesného reprodukčného materiálu.

V rámci toho sa rieši aj regionalizácia klimatických charakteristík, ktoré je nevyhnutné vziať na zdroje lesného reprodukčného materiálu. Vstupom sú podklady z klimatických a zrážkomerných staníc na území Slovenska.

Prostredníctvom skríningových metód priestorového modelovania sa vytvorili finálne GIS vrstvy mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok (aj ďalších klimatických parametrov) a to v rasti 30 x 30 m pokrývajúce celé územie Slovenska a roky 2020 - 2023.

Vznikla tak možnosť prekryť tieto údaje so semenárskymi oblasťami smreka obyčajného (ďalej len „smrek“) a prezentovať aktuálnu klimatickú vodnú bilanciu semenárskych oblastí Slovenska pre túto dôležitú hospodársku drevinu, ktorá má svoje opodstatnenie pre trvalo udržateľné hospodárenie v podhorských a horských oblastiach.

Cieľom príspevku je štatisticky zhodnotiť klimatické podmienky semenárskych oblastí smreka obyčajného na Slovensku. Konkrétne sme sa zamerali na klimatickú vodnú bilanciu, pre výpočet ktorej boli taktiež zhodnotené priemerné teploty a zrážky, ako aj evapotranspirácia lesných porastov v každej semenárskej oblasti.

Semenárske oblasti smreka na Slovensku

Podľa zákona č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli pod semenárskou oblasťou rozumieme územné vymedzenie miesta pôvodu a používania lesného reprodukčného materiálu pri obnove lesa a zalesňovaní z hľadiska vytvorenia podmienok na zachovanie a zlepšenie biodiverzity lesných drevín pri rešpektovaní zásad prenosu lesného reprodukčného materiálu vo vzťahu k stanovištným podmienkam, fenotypovým znakom a genetickým vlastnostiam lesných drevín.

Vyhláškou č. 501/2010 Z. z. sú určené 4 semenárske oblasti pre drevinu smrek obyčajný:

1. Fatransko-tatranská,
2. Kysucko-oravská,
3. Pohronsko-hnilecká,
4. Územie mimo určených semenárskych oblastí.

Hranice semenárskych oblastí sú zhodné s vonkajšími hranicami lesných oblastí a podoblastí, ktoré sú do jednotlivých semenárskych oblastí zahrnuté (Obrázok 1).

Do roku 2010 mal smrek určených až 7 semenárskych oblastí, 5 v areáli prirodzeného rozšírenia a 2 mimo areálu prirodzeného rozšírenia dreveniny. K zníženiu počtu semenárskych oblastí, k ich zväčšeniu, došlo v dôsledku veternej kalamity Alžbeta vo Vysokých Tatrách v roku 2004, kedy bola zničená väčšina zdrojov v semenárskej oblasti 1 Tatranská. Tým nastal problém so zabezpečením dostatočného množstva vhodného sadbového materiálu pre umelú obnovu lesa v tejto semenárskej oblasti. V dôsledku tejto skutočnosti boli zlúčené do terajšej semenárskej oblasti 1 Fatransko - tatranská vtedajšie semenárske oblasti 1

Mapa semenárskych oblastí smreka obyčajného *Picea abies* KARST.



Vytvorilo: M. C. Zeman
2016
Semenárske oblasti: Vyhľadajte MPRV SR č. 10/2014 Z. z. Miesto sa odlišuje podľa podstaty a produkcie lesného hospodárstva, ktoré sa v ňom nachádza na území.
Lesné oblasti a podstaty: Vyhľadajte MPRV SR č. 10/2014 Z. z. o hospodárstve lesov a o ochrane lesa

Obrázok 1: Mapa semenárskych oblastí smreka obyčajného

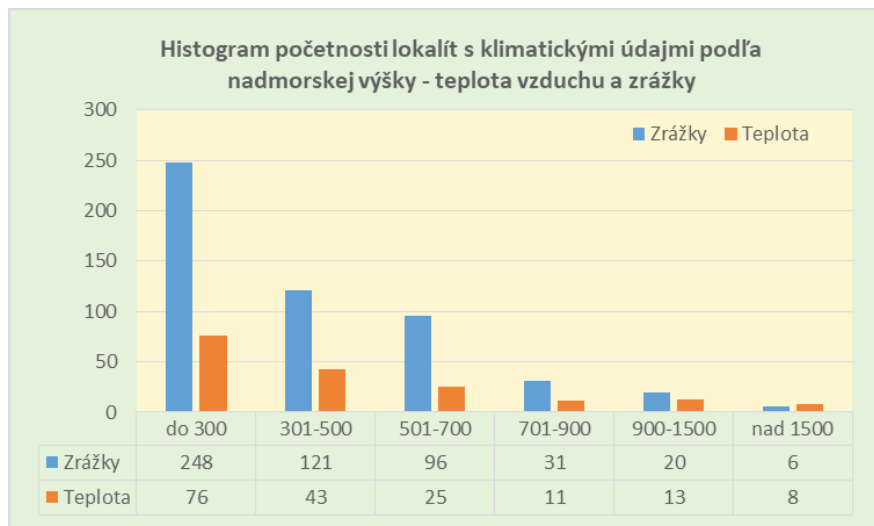
Tatranská, 2 Fatransko - podtatranská a 4 Šarišsko - spišská. Semenárska oblasť 6 Západoslvenská a 7 Juhovýchodoslovenská boli zlúčené do semenárskej oblasti 4 Územie mimo určených semenárskych oblastí. Zo semenárskej oblasti 5 Kysucko - oravská je dnešná semenárska oblasť 2 s rovnakým názvom a zo semenárskej oblasti 3 Rudohorská je dnešná semenárska oblasť 3 Pohronsko - hnilecká.

Je potrebné podotknúť, že týmto sa v podstate problém do určitej miery vyriešil, ale vznikol nový problém – globálne otepľovanie, ktoré je sprevádzané extrémami počasia, ako sú prívetrové dažde, vysoké teploty a sucho, čo významne znižuje vitalitu a odolnosť smreka.

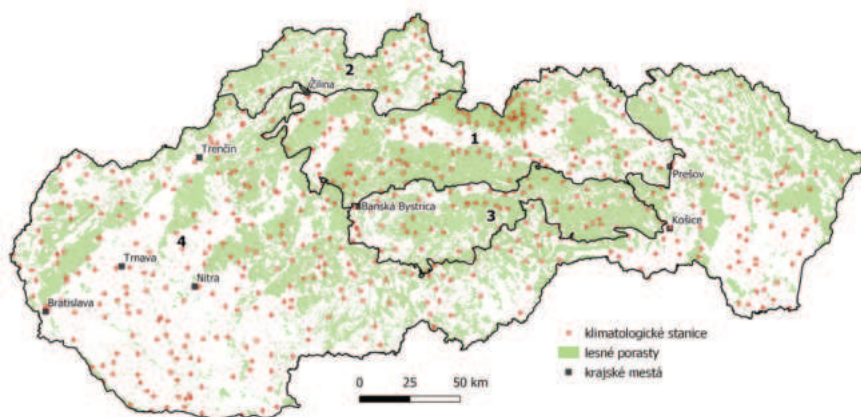
Materiál a metódy

Z dostupných zdrojov (publikácie, SHMÚ) sa vytvorila v prostredí MS Excel databáza priemerných mesačných teplôt vzduchu a priemerných mesačných úhrnov zrážok vrátane geoinformácií (zemepisné súradnice, nadmorská výška). Histogram početnosti klimatických a zrážkomerných staníc nám dáva obraz o ich reprezentativnosti z hľadiska nadmorských výšok (Obr. 2). Celkovo sa pre ďalšie analýzy použili údaje zo 176 klimatických staníc pre teplotu vzduchu a 522 zrážkomerných staníc (úhrny zrážok).

Všetky použité meracie body boli transformované do prostredia GIS. Lokalizácia celkovo 609 použitých staníc je na obr. 3. Využitie bolo softvérové prostredie QGIS a Grass GIS, ktorého výhodou je dobré prepojenie na geoštatistické analytické nástroje v jazyku R. V ňom boli údaje priestorovo interpolované



Obrázok 2: Histogram početnosti lokalít s klimatickými údajmi podľa nadmorskej výšky – teplota vzduchu a zrážky.



Obrázok 3: Lokalizácia klimatických a zrážkomerných staníc použitých pre regionalizáciu klimatických charakteristík. Číslami sú označené semenárske oblasti: 1 Fatransko-tatranská oblasť, 2 Kysucko-oravská oblasť, 3 Pohronsko-hnilecká oblasť, 4 Územie mimo určených semenárskych oblastí

V prvom analytickom kroku sa odvodili regresné lineárne vzťahy medzi hodnotami klimatických prvkov (teplota, zrážky), pomocou ktorých sa vytvorili základné GIS vrstvy priestorovej distribúcie teploty vzduchu a zrážok, a to jednotliv

pre každý mesiac v roku. V druhom analytickom kroku sa urobil priestorový výpočet odchýlok vypočítaných hodnôt (lineárna regresia) so skutočnými hodnotami v meracích bodoch: teplotná odchýlka v prípade mesačných hodnôt teploty vzduchu a podiel v prípade mesačných úhrnov zrážok. V ďalšom kroku sa tieto odchýlky/podiely priestorovo interpolovali prostredníctvom krigingových metód (ordinary kriging) a pridali k hodnotám rastrových vrstiev, vypočítaných pomocou regresných rovníc z digitálneho modelu reliéfu (DMR 3.0 s priestorovým rozlíšením 25 m). Takto boli odvodené finálne GIS vrstvy priemerných mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok.

Následne boli odvodené priemerné úhrny zrážok a priemerné teploty za jednotlivé ročné obdobia, chladný a teplý polrok ako aj ročné hodnoty (pri zrážkach ako suma a pri teplotách ako vážený priemer mesačných hodnôt).

Pre výpočet evapotranspirácie (výparu) v mm bol zvolený empirický prístup podľa Türca:

$$E = \frac{R}{\sqrt{0,9 + \frac{R^2}{E_0^2}}}$$

kde R je ročný/polročný/mesačný úhrn zrážok (v mm) a E₀ je potenciálna ročná/polročná/mesačná evapotranspirácia (v mm), vypočítaná na základe teploty T (ročnej/polročnej/mesačnej) v °C podľa vzťahu

$$E_0 = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3.$$

Výsledná klimatická vodná bilancia (KVB) v mm bola spočítaná ako rozdiel zrážkového úhrnu a evapotranspirácie:

$$KVB = R - E$$

Pre každú semenársku oblasť smreka na Slovensku boli z rastrov klimatických charakteristík odvodené priemerné, maximálne, minimálne hodnoty každej charakteristiky, ako aj ich štandardné odchýlky. Výsledky boli spracované do podoby tabuliek a grafov pre ďalšie analýzy.

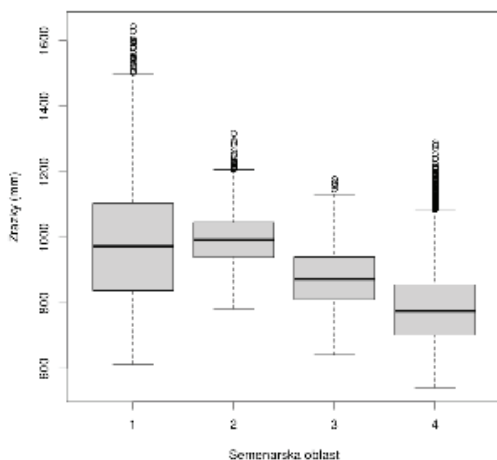
Výsledky

Ročný úhrn zrážok (priemer za roky 1981-2020)

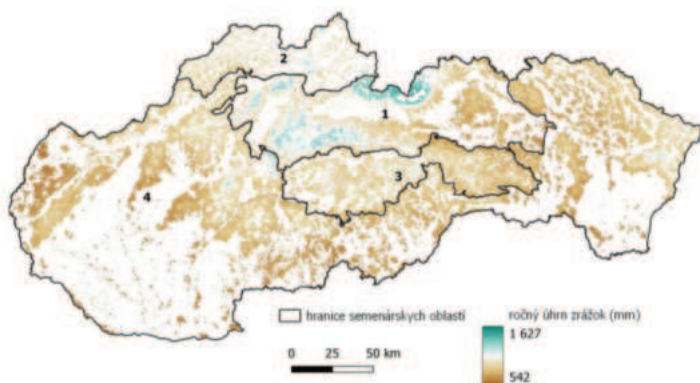
Výsledky analýzy ročného úhrnu zrážok podľa jednotlivých semenárskych oblastí sú sumarizované v tabuľke 1 a prezentované na obr. 4 a 5. Z výsledkov je zrejмый pomerne široký interval ročných zrážkových úhrnov, ktorý je zdola ohraničený hraničnou hodnotou cca 600 mm pre semenársku oblasť 1 a 3, v semenárskej oblasti 2 je spodná hranica najvyššia a to 770 mm a v územiach mimo vyznačených SO je to okolo 540 mm. Výraznejšie rozdiely sme identifikovali na hornej hranici, kde sa maximá ročných zrážok pohybujú v rozpätí hodnôt 1748 mm (SO1) až 1203 mm (SO3).

Semenárska oblasť (SO)	Priemer	Rozpätie	Minimum	Maximum	Štandardná odchýlka
1 Fatransko-tatranská	978	1152	596	1748	187
2 Kysucko-oravská	996	583	771	1354	80
3 Pohronsko-hnilecká	877	974	629	1203	92
4 Územie mimo určených sem. oblastí	786	751	541	1292	113

Tabuľka 1: Priemerný ročný úhrn zrážok (mm) podľa semenárskych oblastí



Obrázok 4: Priemerný ročný úhrn zrážok (mm) podľa semenárskych oblastí (čísla oblastí zodpovedajú tab. 1)



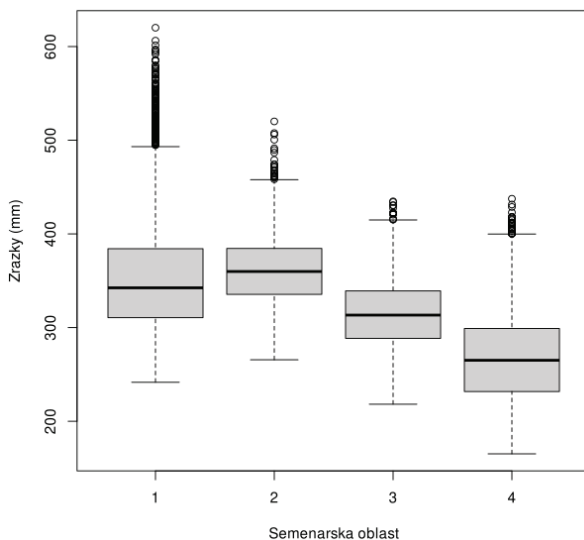
Obrázok 5: Priemerný ročný úhrn zrážok (mm) podľa semenárskych oblastí (čísla oblastí zodpovedajú tab. 1)

Suma zrážok klimatického leta - jún, júl, august (priemer za roky 1981-2020)

Výsledky analýzy úhrnu zrážok v letnom období (VI-VIII) podľa jednotlivých semenárskych oblastí sú sumarizované v tabuľke 2 a prezentované na obr. 6. Z výsledkov je zrejмый pomerne široký interval ročných zrážkových úhrnov, ktorý je zdola ohraničený hraničnou hodnotou cca 250 mm pre semenársku oblasť 1 (235 mm) a 2 (258 mm), v semenárskej oblasti 3 je spodná hranica najnižšia, na úrovni 209 mm a v územiach mimo vyznačených SO je to 165 mm. Výraznejšie rozdiely sme identifikovali na hornej hranici, kde sa maximá ročných zrážok pohybujú v rozpätí hodnôt 653 mm (SO1) až 446 mm (SO3). Za letné zrážkové optimum pre drevinu smrek môžeme považovať interval 300 až 380 mm.

Semenárska oblasť	Priemer	Rozpätie	Minimum	Maximum	Štandardná odchýlka
1 Fatransko-tatranská	353	418	235	653	61
2 Kysucko-oravská	361	278	258	536	38
3 Pohronsko-hnilecká	314	237	209	446	37
4 Územie mimo určených sem. oblastí	267	281	165	446	45

Tabuľka 2: Suma zrážok klimatického leta (mm) podľa semenárskych oblastí



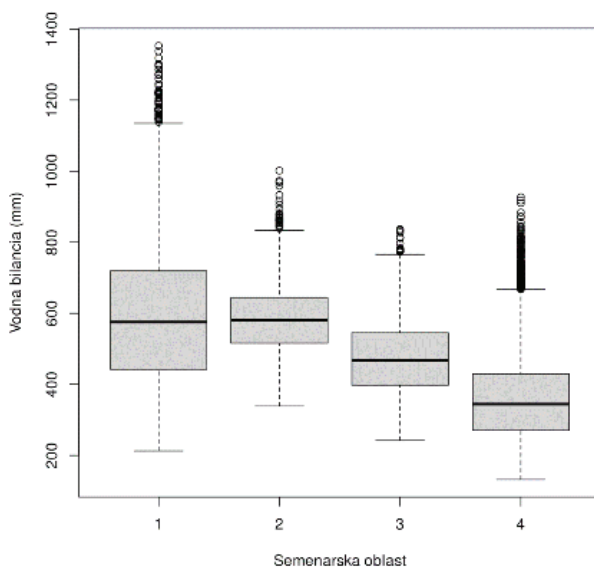
Obrázok 6: Priemerný ročný úhrn zrážok (mm) podľa semenárskych oblastí (čísla oblastí zodpovedajú tab. 1)

Ročné hodnoty klimatickej vodnej bilancie (priemer za roky 2000-2024).

Výsledky analýzy klimatickej vodnej bilancie v ročnej relácii podľa jednotlivých semenárskych oblastí sú sumarizované v tabuľke 3 a prezentované na obr. 7. Semenárska oblasť 3 Pohronsko-hnilecká je výrazne suchšia než oblasti 1 a 2. Pritom oblasť 2 Kysucko-oravská vykazuje podstatne menšiu priestorovú variabilitu v dôsledku menších rozdielov v nadmorských výškach. Najväčšiu priestorovú variabilitu vykazuje oblasť 1 Fatransko-tatranská s veľkým rozpätím výšok a tiež veľkou rozlohou. Územie mimo určených semenárskych oblastí je najsuchšou časťou Slovenska, s najnižším priemerným úhrnom zrážok a najvyššou evapotranspiráciou v dôsledku vyšších priemerných teplôt.

Semenárska oblasť	Priemer	Rozpätie	Minimum	Maximum	Štandardná odchýlka
1 Fatransko-tatranská	593,55	1268,10	194,11	1462,21	200,76
2 Kysucko-oravská	584,87	722,92	324,28	1047,19	96,87
3 Pohronsko-hnilecká	474,82	638,63	227,74	866,37	104,69
4 Územie mimo určených sem. oblastí	357,76	799,23	131,73	939,95	117,71

Tabuľka 3: Ročná hodnota klimatickej vodnej bilancie (mm) podľa semenárskych oblastí



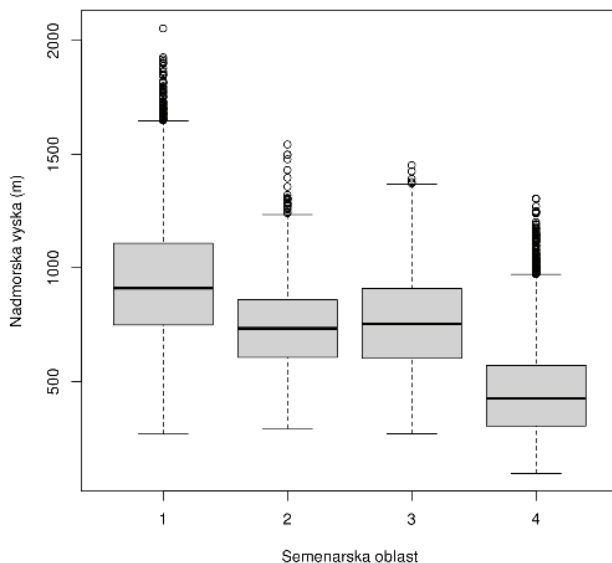
Obrázok 7: Klimatická vodná bilancia (mm) podľa semenárskych oblastí (SO)

Nadmorské výšky lesných porastov

Pre komplexnosť výsledkov prezentujeme aj doplnkové informácie o priestorovej štatistickej distribúcii nadmorských výšok v jednotlivých semenárskych oblastiach (tab.4, obr. 8), a to z dôvodu, že nadmorská výška je v prostredí Západných Karpát výrazným modifikačným faktorom pre klímu (zrážky aj teploty).

Semenárska oblasť	Minimum	5 %	25 %	Priemer	75 %	95 %	Maximum
1 Fatransko-tatranská	230	522	747	943	1108	1485	2053
2 Kysucko-oravská	273	449	608	739	859	1052	1353
3 Pohronsko-hnilecká	238	435	602	761	908	1118	1473
4 Územie mimo určených sem. oblastí	95	175	305	449	571	801	1338

Tabuľka 4: Nadmorské výšky lesných porastov (m n. m.) podľa semenárskych oblastí



Obrázok 8: Rozloženie nadmorských výšok v semenárskych oblastiach na základe ohraničenia porastových plôch v PSL. Číslo oblastí zodpovedajú tabuľke 1.

Závery

Klimatická vodná bilancia ako rozdiel zrážkového úhrnu a evapotranspirácie je významným ukazovateľom ekologických podmienok pre existenciu a reprodukciu dreviny smer. Získané poznatky nám umožnia v oveľa lepšej miere nastaviť pestovné a semenárske stratégie pre ďalšiu existenciu a pestovanie dreviny smrek na Slovensku, resp. v širšom regióne Karpát ako aj v priľahlých geografických

oblastiach v podmienkach klimatickej zmeny. Scenáre klimatickej zmeny pre oblasť západných Karpát predikujú viac-menej nezmenené úhrny zrážok prípadne ich mierny nárast, zároveň sa ale očakáva ich zvýšená variabilita (dlhšie bezzrážkové obdobia, na druhej strane krátkodobé intenzívne zrážkové udalosti). Nárast teploty vzduchu však spôsobí rast hodnôt evapotranspirácie, čo znamená, že klimatická vodná bilancia sa bude zhoršovať. Pre drevinu smrek, jeho pestovanie a reprodukciu to bude znamenať významne sa zhoršujúce podmienky na dolnej hranici jeho výskytu v sledovaných semenárskych oblastiach. Je preto namieste otvoriť diskusiu o areáloch pestovania smreka na Slovensku a zmeny stratégie jeho umelej obnovy vrátane celej stratégie v oblasti semenárstva a škôlkarstva pre drevinu smrek na Slovensku.

Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka finančnej podpore Agentúry pre podporu výskumu a vývoja MŠVVaŠ SR projektu APVV-23-0659 „Analýza vplyvu klimatických faktorov na plodnosť lesných drevín, vlastnosti ich semien a sadeníc“.

Literatúra

MINĐÁŠ J., 1999: Vertical climate ranges of forest trees in Western Carpathian Region, Acta Instituti Forestalis, 9, p. 29 – 41.

MINĐÁŠ J., ŠKVARENINOVÁ J., 2016: Biodiversity and climate change: Consequences for upper tree line in Slovakia. Lesn. Cas. For. J. 62 (2016) 181–185.

Zákon č. 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli.

Vyhláška č. 501/2010 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o produkcii lesného reprodukčného materiálu a jeho uvádzaní na trh.

Kontakt

Doc. RNDr. Ing. Jozef Mindáš, PhD.

Dr. Ing. Ján Ďurský, CSc.

Hefaistos n. o., L. Medveckého 1392/2, 960 01 Zvolen

e-mail: jozefmindassk@gmail.com, jan.dursky@azet.sk

Mgr. Ivan Barka, PhD.

Národné lesnícke centrum, Sekcia pre vedu a výskum, Odbor ekológie lesa a krajiny

e-mail: ivan.barka@nlcsk.org

Ing. Dagmar Bednárová, PhD.

Ing. Elena Takáčová

Národné lesnícke centrum - Sekcia pre vedu a výskum Zvolen

Odbor pestovania lesa a semenárskej kontroly

T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen

e-mail: dagmar.bednarova@nlcsk.org, elena.takacova@nlcsk.org

POSTCONT – TECHNOLOGICKÝ SYSTÉM PRO OBALOVÁNÍ SADEBNÍHO MATERIÁLU

**Kateřina Pešková, Ivan Kuneš, Martin Baláš, Marek Štádler,
František Lopot, Zdeněk Havránek, Jaromír Štancl, Pavel Burda,
Tomáš Jiráček, Alena Hlídková, Vilém Podrázský**

Abstrakt

Nově vyvíjený technologický systém PostCont se skládá z poloautomatického zařízení, které je schopné obalovat prostokořenný sadební materiál do kelímků z recyklovaného papíru. Jedná se o kompromis mezi prostokořenným a krytokořenným sadebním materiálem, který se snaží zkombinovat výhody obou typů pěstování. Současné ověřování kvality sadebního materiálu produkovaného touto technologií je zaměřeno na biologickou nezávadnost obalů, zjišťování jejich rozpadavosti v půdě i trvanlivosti mimo ni. Prvotní výsledky naznačují, že kořeny rostlin volně prorůstají stěnami papírových obalů a nevykazují deformace. Rychlost rozpadavosti kelímků v půdě ovlivňuje materiál, ze kterého je obal vyroben. Nepřípustné deformace nebyly zaznamenány a sadební materiál PostCont splňuje požadavky podle normy ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin.

Klíčové slová

krytokořenný sadební materiál; kvalita sadebního materiálu; PostCont; prorůstavé obaly; prostokořenný sadební materiál; recyklace

Úvod

Prostokořenný i krytokořenný sadební materiál lesních dřevin má své výhody i nevýhody (Baláš, Kuneš 2019). Výhodou prostokořenného sadebního materiálu jsou nižší náklady na jeho pěstování a malá prostorová a hmotnostní náročnost při přepravě (Jurásek et al. 2004). Nevýhodou je delší doba pěstování s pomalejší reakcí na změnu tržní poptávky, vyšší závislost na klimatických a půdních podmínkách, ale zejména značné riziko vysychání kořenového systému při manipulaci. Z toho vyplývají častá poškození a horší ujmavost (McKay 1996; Jeanickle 1999; Jurásek et al. 2010).

Nevýhodou krytokořenného sadebního materiálu jsou vyšší náklady na pěstování i vysoká technologická náročnost zázemí pro pěstování. S produkcí tohoto typu sadebního materiálu souvisí také intenzivní závlaha a s tím spojená vysoká spotřeba vody v potřebné kvalitě, řízené hnojení, vysoké nároky na ochranu rostlin, intenzivní používání chemických přípravků, atd. Jako výrazná nevýhoda se dále jeví značná prostorová a hmotnostní náročnost při přepravě ze školky do lesa a při donáše od dopravního prostředku do místa výsadby (Landis 1990; Jurásek et al.

2004). Tyto nevýhody jsou kompenzovány zásadně nižšími požadavky na šetrnost při manipulaci, neboť kořenový systém je obalen substrátem, který ho částečně chrání před vysycháním (Brissette et al. 1991). Další výhodou je snadnost výsadby (není nutné ručně rovnat kořeny v jamce), snadná možnost použití motorového vrtáku (Baláš et al. 2016; STIHL 2006), kratší čas pěstování, možnost rychlejší reakce na potřeby trhu a nižší závislost pěstování na aktuálních meteorologických poměrech (Kupka 2004). Dříve byla za významné riziko považována problematika kořenových deformací (Lindström, Rune 1999), která je v současné době uspokojivě vyřešena biologicky vhodnými obaly s ochrannými prvky proti deformacím (např. Nárovcová, Nárovec 2005; Jurásek et al. 2006; Rune 2003; Amoroso et al. 2010; Nelson 1996).

Za účelem kombinace zejména přínosných vlastností krytokořenného a prostokořenného sadebního materiálu i pro rozšíření spektra možností produkce různých druhů sadebního materiálu lesních dřevin (teoreticky i jiných rostlin) byl vyvinut technologický systém PostCont, jehož základem je poloautomatické zařízení, s pomocí kterého je možné obalovat kořeny původně prostokořenného sadebního materiálu do půdního substrátu krytého prorůstavým obalem. Název PostCont vychází z anglického „Post Containerization“, tedy následné obalování. Technologie nevyžaduje nákup předvyrobených pěstebních obalů, protože výroba papírových kelímků je součástí procesu obalování. K výrobě kelímků se používá recyklovaný papír (např. karton, ale i kancelářský papír či nasávaná kartonáž) a voda.

Výroba papírových obalů ze vstupních surovin probíhá tzv. „mokrým procesem“, který popisují Mauer et al. (2011). Technologie výroby krytokořenného sadebního materiálu mokrým procesem byla vyvíjena na počátku osmdesátých let 20. století a pokusně provozována v lesní školce Zelená bouda u Brandýsa nad Labem (Foltánek 2016). Myšlenka obalení kořenového systému rostlin do obalu z rozšlehané papíroviny a substrátu vstříknutého do zvláštní formy byla sice považována za progresivní, ale od vývoje této technologie se postupně vzhledem k složitosti a nákladnosti upustilo. V současnosti rozvoj a aplikace technologie pokračuje, za využití některých nových komponentů v konstrukci.

Obalování původně prostokořenných sazenic technologií PostCont má potenciál podpořit odolnost sadebního materiálu vůči stresům během přepravy a po výsadbě na nepříznivých lesních stanovištích. V tomto ohledu se rostliny PostCont do jisté míry blíží klasickému obalovanému sadebnímu materiálu, který zpravidla vykazuje vyšší míru ujmavosti než prostokořenný sadební materiál (např. Brissette et al. 1991; Jurásek et al. 2010; Grossnickle, El-Kassaby 2016).

Příspěvek představuje technologický systém PostCont a prezentuje předběžné výsledky hodnocení vlastností sadebního materiálu vyrobeného touto technologií.

Metodika

Testována byla rozpadavost papírových obalů sadebního materiálu PostCont vyrobených z různých materiálů v půdě po vysazení a trvanlivost mimo půdu. Rozpadavost obalů byla hodnocena na počátku roku 2024 a 2025. Vždy bylo

pomocí rýče z půdy vyzvednuto 15 jedinců různých druhů obalených v kelímcích z různého materiálu a byla vizuálně hodnocena přítomnost a míra rozložení obalu. Hodnoceny byly duby letní (*Quercus robur* L.), buky lesní (*Fagus sylvatica* L.), javory mléče (*Acer platanoides* L.), lípy srdčité (*Tilia cordata* Mill.) a jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) vysazené v obalech z kartonu v roce 2021, tedy po třech a čtyřech vegetačních sezónách v půdě. Dále byly z půdy vyzvednuty olše lepkavé (*Alnus glutinosa* L.), třešně ptačí (*Prunus avium* L.), buky lesní (*Fagus sylvatica* L.), jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) a smrky ztepilé (*Picea abies* (L.) Karst.) vysazené v roce 2023 v obalech z kartonu, kancelářského papíru i tzv. nasávané kartonáže (tyto kelímky byly vyrobeny z obalů od vajec). Bylo hodnoceno, zda se po vyzvednutí jedná o soudržný obal, nesoudržný obal s viditelným obrysem, rozložené zbytky obalu nebo zcela rozložený obal bez zbytků. Zjišťováno bylo také, zda obal netvoří překážku v prorůstání kořenů do okolní půdy a zda nedochází k deformování kořenů.

Trvanlivost papírových obalů PostCont uložených v přepravkách na vzduchu mimo půdu byla měřena penetremetrem u sadebního materiálu v obalech vyrobených z kartonu, kancelářského papíru a obalech z kartonu s přidávkou dřevěného uhlí (cca 5 % hmotnosti mokré papírové směsi). Měření tlak potřebný pro proražení stěny jednotlivých kelímků u obalů o různém stupni vyschnutí, protože zásadní roli v pevnosti obalu představuje množství vody. Měření tedy probíhalo na čerstvých (zcela mokrých) a mírně oschlých kelímcích (při běžné vlhkosti pro dopěstování sazenic s občasnou závlahou). Hodnoceny byly rovněž kelímky suché (za bodem vadnutí sazenic) a zcela vysušené, bez sazenic, které byly ponechané přes léto mimo závlahu a dešť.

Morfologická kvalita sadebního materiálu byla posuzována nedestruktivní metodou počítačové tomografie (CT) s následným ověřením destrukční analýzou kořenů. Snímkován byl sadební materiál PostCont lípy srdčité, buku lesního, třešně ptačí, jeřábu břeku (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) a modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) v kelímcích vyrobených z recyklovaného kartonu. První snímání na multidetektorovém výpočetním tomografu proběhlo před vegetační sezónou 2023 a druhé snímání v závěru vegetační sezóny.

Viditelnost kořenů na tomografických snímcích zásadně ovlivňuje obsah vody. Vyšší kontrast kořenů vůči okolnímu substrátu je nejlépe patrný na snímcích sazenic s co nejmenším množstvím vody v balu. Se snižujícím se množstvím vody ale stoupá riziko trvalého poškození sadebního materiálu. Bylo proto zapotřebí nalézt optimální vlhkost růstového substrátu, při které jsou kořeny na snímcích dobře viditelné, ale rostlina ještě není nadměrně stresována.

Na snímcích byly hodnoceny nepřipustné deformace kořenů dle ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin. V závěru vegetační sezóny byla nepřítomnost deformací ověřována destrukční analýzou kořenů. Po naskenování byly papírové obaly testovaných sazenic rozebrány. U sadebního materiálu byla změřena výška nadzemní části, přírůst, tloušťka kořenového krčku a délka kulového kořene v centimetrech. Dále byl v mililitrech změřen objem listů nebo jehlic, objem nadzemní

části a kořenového systému i jemných kořenů o tloušťce do 1 mm. Vypočítán byl poměr objemu kořenů k objemu nadzemní části a procentuální podíl jemných kořínků. Výsledné hodnoty byly porovnány s ČSN 48 2115. Prezentovaná studie je součástí diplomové práce spoluautorky (Pešková 2024).

Výsledky a diskuse

Technologický systém PostCont

Technologický systém obalování prostokořenného sadebního materiálu PostCont je založen na myšlence použít standardně pěstovanou prostokořennou sazenici nebo semenáček a během krátké doby z ní vyrobit sazenici s vlastnostmi křtokořenného sadebního materiálu. Cílem je využít levnou, kvalitní, ale na vnější podmínky citlivou prostokořennou rostlinu a vyrobit z ní sazenici tak, aby získala výhody typické pro obalovaný sadební materiál. Především vyšší odolnost při manipulaci a lepší schopnost ujmout se po výsadbě.

Před samotným obalováním je zapotřebí příprava substrátové směsi s vodou a kašovité směsi papíroviny vzniklé rozemletím sběrového papíru ve vodě. Tyto směsi jsou nejprve ze zásobníků transportovány pomocí šnekového čerpadla do formy v pracovním prostoru stroje. Princip technologie PostCont (Obr. 1) spočívá ve vstříknutí papíroviny do formy, která je rozmetadlem rozprostřena po stěně formy. Rozprostřená vrstva papírové hmoty následně tvoří vnější obal substrátového balu. Poté je sazenice ručně vložena do formy a může dojít k případnému urovnění kořenů. Jejich dorovnání do svislého směru je zajištěno následným vtlačení polotekuté substrátové směsi do formy. To je zásadní pro předcházení vzniku kořenových deformací. K zajištění odsátí přebytečné vody a zpevnění substrátového balu dochází pomocí podtlaku, který je v okolí formy během rozmetání papíroviny a natlačování substrátu do formy. Na závěr je sazenice v hotovém obalu vytlačena pohyblivým dnem formy na povrch a finální výrobek odebere obsluha. Vyrobený, dosud mokrá obal je natolik zpevněn, že s ním lze s jistou opatrností ihned manipulovat. Po částečném povrchovém oschnutí je obal dostatečně pevný na to, aby se s ním dalo manipulovat pohodlně. Obalenou sazenici (Obr. 2) je možné bez nutnosti prokořeňování balu přepravit na místo výsadby, případně ji několik týdnů až jednotek měsíců skladovat a vysadit až později.

V dostupné literatuře nebyly nalezeny žádné zmínky o existenci technologie založené na podobném principu, jako je technologie PostCont. Pro pěstování sazenic lesních dřevin i zemědělských a okrasných rostlin na trhu existuje množství typů obalů vyrobených z papírové hmoty (Cayford 1972). Lze uvést např. systém Paperpot, vyvinutý původně v Japonsku pro pěstování a výsadbu zeleniny, později používaný zejména ve Skandinávii, (Appelroth 1971). Dále je k dispozici řada více či méně biodegradabilních kelímků z papírové či rašelino-celulóзовé hmoty (např. Jiffy pots) (Nambuthiri 2015; Muriuki et al. 2014; Kuehny et al. 2011; Jurásek et al. 2004). V těchto nádobách lze pěstovat jak rostliny vzešlé z přímého výsevu, tak dopěstovávat přesazené rostliny. Vždy se však jedná o sázení (setí)



Obrázek 1 a 2: Poloautomatické zařízení PostCont na obalování prostokořenného sadebního materiálu do prorůstových obalů a sadební materiál (třešeň ptačí) v kelímku z recyklovaného kartonu vyrobeného touto technologií (foto: K. Pešková).

do předem vyrobených nádob. Našemu systému se částečně podobá technologie Ellepot® (www.ellepot.com), která spočívá ve vložení obalu z profilované papírové membrány do neprorůstavého sadbovače. Membrána má zajistit lepší zásobení plugu vodou a také boční stříh kořenů. Lze tedy konstatovat, že systém PostCont představuje patrně unikátní technologii.

Technologie PostCont, využívající standardní prostokořenný sadební materiál, je méně náročná na závlahovou vodu, hnojiva a pesticidy než produkce krytokořenného sadebního materiálu. Zařízení PostCont dokáže recyklovat přebytečnou vodu, která se z kelímků a substrátu odčerpá během výroby obalu. Čistá voda je používána pouze na přípravu papíroviny, zatímco substrát je zvlhčován recyklovanou vodou. Všechna dodaná voda tak může být v procesu výroby zcela využita.

Poloautomatické zapouzdrnění kořenů je rychlejší než ruční přesazování do kontejnerů. Vyvinuté zařízení PostCont lze přepravovat a je schopné provozu všude, kde je k dispozici zdroj vody a připojení k elektrické síti. Technologie PostCont je určena především pro menší lesní školky zaměřené na prostokořenný sadební materiál. Umožní jim obalit část sadebního materiálu tak, aby takto obalené sazenice mohly být použity na nepříznivých stanovištích nebo v méně příznivých podmínkách pro výsadbu. Vyvíjený technologický systém může být uplatněn také v dalších příbuzných odvětvích, jako je produkce sadebního materiálu okrasných dřevin, případně i květin (Kuneš et al. 2023).

Testování sadebního materiálu obaleného technologickým systémem PostCont

Papírový obal z kartonu u sadebního materiálu různých druhů vysazeného v roce 2021 byl po třech i čtyřech vegetačních obdobích zcela rozložený. Přejod mezi balem a okolní půdou byl rozpoznatelný pouze podle odstínu a konzistence zeminy. Rašelinový substrát, kterým byly kelímky naplněny, byl výrazně tmavší

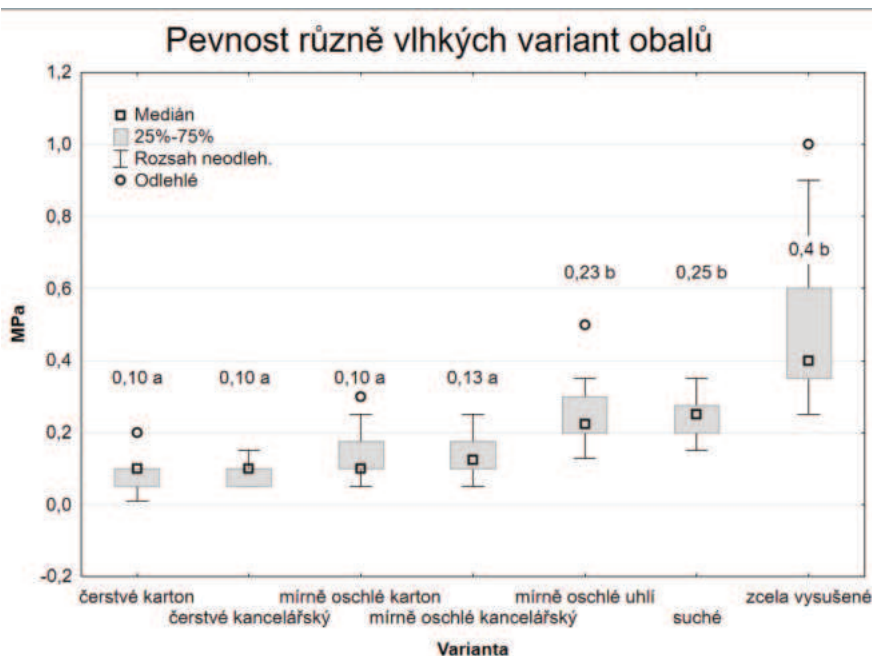
než půdní prostředí. U výsadeb z roku 2023 bylo po jedné vegetační sezóně v půdě plně rozloženo 85 % kartonových obalů i obalů z nasávané kartonáže (Obr. 3). Zbytek obalů byl zařazen do stupně s rozloženými zbytky obalů. Obaly s méně pokročilým stupněm rozkladu nebyly zaznamenány. Kelímky vyrobené z kancelářského papíru ještě zcela rozložené nebyly. U tohoto typu kelímku došlo pouze k mírnému rozpadu, a tak si většina kelímků po jedné sezóně stále držela svůj původní tvar (Obr. 4). Nesoudržný obal s viditelným obrysem byl zaznamenán u 60 % vykopaných jedinců, rozložené zbytky obalu pak u 40 % jedinců. Kořenový bal tohoto typu byl ale hustěji prokořeněný jemnými kořínky. Při hodnocení rozpadavosti po dvou vegetačních sezónách byly již i obaly z kancelářského papíru rozloženy s pouze malými zbytky obalů v podobě drobných šupinek a všechny typy obalů je tedy možné považovat za rozpadavé. U žádného zkoumaného jedince nebylo zaznamenáno, že by papírový obal bránil prorůstání kořenů a kořeny nevykazovaly nepřipustné deformace dle ČSN 48 2115.



Obrázek 3, 4 a 5: Vlevo sazenice smrku ztepilého se zcela rozpadlým obalem. Uprostřed částečně rozložený obal z kancelářského papíru po jedné vegetační sezóně v půdě (foto: K. Pešková). Vpravo sazenice borovice lesní v obalu PostCont dva měsíce po obalení, skladovaná mimo půdu (foto: M. Baláš).

Při skladování na volné ploše mimo půdu dochází ve vhodných podmínkách k postupnému prorůstání kořenů papírovým obalem bez zjevných deformací již po několika týdnech (Obr. 5). Mezi základní požadavky na rozpadavé obaly patří kromě umožnění prorůstání kořenů stěny i dnem také schopnost udržet svůj tvar a soudržnost do výsadby (Jurásek et al. 2006), aby nedocházelo k příliš brzkému rozpadání. Z tohoto důvodu byla měřena trvanlivost kelímků PostCont pomocí tlaku potřebného na proražení stěny obalu. Hodnocené obaly

z kartonu a kancelářského papíru vykazovaly podobné hodnoty potřebného tlaku (Obr. 6). Pevnost papírových obalů závisí na množství vody, spíše než na materiálu, ze kterého je obal vyroben. Pokud je kelímek čerstvě obalený, s vysokým obsahem vody, je pevnost nejnižší. Kelímky z kartonu jsou mírně pevnější než z kancelářského papíru, statisticky významný rozdíl mezi nimi ale prokázán nebyl. Po mírném oschnutí se pevnost kelímků ze všech materiálů zvětšuje, ale opět se nejedná o statisticky významný rozdíl. Ten byl zaznamenán až v případě přidání dřevěného uhlí nebo vysušení kelímků. Celkově lze trvanlivost kelímků mimo minerální půdu záhonu považovat za dostatečnou.

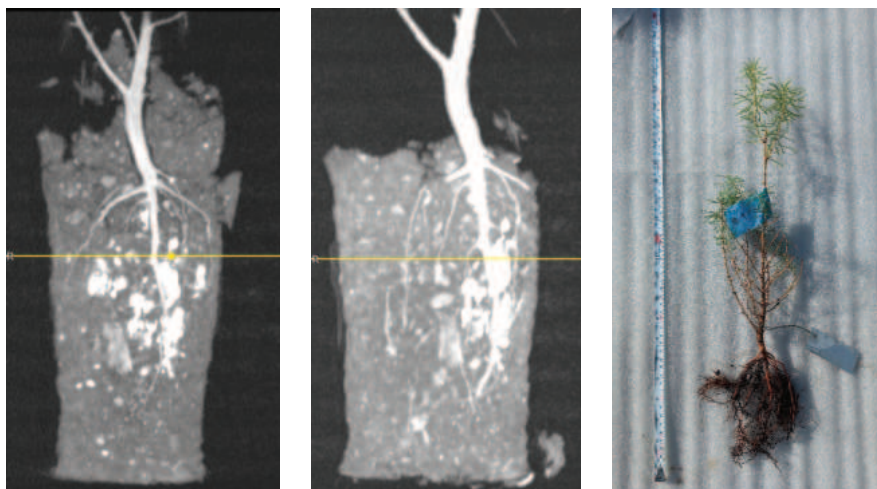


Obrázek 6: Porovnání mediánů tlaku potřebného k proražení stěny kelímku z různých materiálů dle doby od obalení (množství vody v obale). Odlišné písmenné indexy značí statisticky významný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Architektura kořenů obaleného sadebního materiálu byla zjišťována pomocí počítačové tomografie a destrukční analýzou kořenů. Předností počítačové tomografie je to, že se jedná o nedestruktivní metodu a není tak potřeba obaly pro hodnocení kořenů rozebírat. Na druhou stranu CT snímky nabízejí pouze omezený pohled na kosterní kořeny, zatímco většinu jemných kořenů nezachytí (Obr. 7 a 8). Jedná se tedy o vhodnou metodu k posuzování změny objemu kořenového systému a především deformací tlustších kořenů. Na snímcích všech zkoumaných dřevin nebyly nepřipustné deformace dle ČSN 48 2115 nalezeny. Nepřítomnost nepřipustných deformací kořenů dle ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin

byla potvrzena také destrukční analýzou kořenů (Obr. 9).

Průměrné hodnoty výšky nadzemní části, délky kulového kořene, poměr objemu kořenového systému (KS) k objemu nadzemní části (NČ) a podíl objemu jemných kořenů (JK) k objemu celého kořenového systému (Tab. 1) byly porovnány s ČSN 48 2115. U lipového, bukového, třešňového a břekového sadebního materiálu byly tyto parametry splněny v porovnání s hodnotami uvedenými v normě pro sazenice dubu, buku, javoru a jasanu. Modřínový sadební materiál má v normě vlastní hodnoty, které splňoval kromě průměrné délky kulového kořene, která byla u zkoumaných sazenic menší. To bylo dáno zvolenou velikostí formy pro tvorbu kelímků a zastřížením kořenů. Kořeny byly před obalením zastříženy všem jedincům, aby se předešlo vzniku deformací a bylo podpořeno zmnožení vertikálních i bočních kořenů (Dušek 1997).



Obrázek 7, 8 a 9: Tomografický snímek nalevo zachycuje kořenový systém sazenice modřínu opadavého na začátku vegetační sezóny a snímek uprostřed byl pořízen na konci vegetační sezóny před rozebráním obalu. Kořenový systém téhož jedince po rozebrání obalu je zachycen na snímku vpravo (foto: K. Pešková).

Testování kvality sekundárně obaleného i ze semene vypěstovaného sadebního materiálu PostCont od roku 2020 probíhá paralelně také akreditovanými postupy laboratoře Školkařská kontrola ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Účelem testování je nezávislé biologické ověřování technologického systému a poskytnutí dat morfologických znaků pěstovaného sadebního materiálu s následným zařazením obalů do Katalogu biologicky ověřených obalů. Výsledky experimentů ukázaly relativně dobrý růst u většiny testovaných dřevin. Všechny dřeviny splnily požadavky na standard dle normy ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin. Problémy s prorůstáním kořenů stěnami obalů vytvořených technologickým systémem PostCont při experimentálním pěstování nebyly

Druh		Výška nadzemní části (cm)	Přírůst (cm)	Tloušťka kořenového krčku (cm)	Délka kulového kořene (cm)	Poměr objemu KS/NČ	Podíl JK (%)
lípa	průměr	31,50	13,58	0,78	12,67	1,65	39,54
	sm. odchylka	9,859	6,152	0,147	1,211	0,276	7,297
buk	průměr	32,00	8,57	0,57	11,14	0,81	35,87
	sm. odchylka	10,536	4,158	0,095	3,934	0,193	4,523
třešeň	průměr	35,93	7,00	0,57	12,71	2,24	35,83
	sm. odchylka	6,003	5,802	0,076	1,799	1,352	20,482
modřín	průměr	33,64	12,86	0,56	8,64	0,63	46,19
	sm. odchylka	4,634	4,269	0,127	1,314	0,340	11,774
břek	průměr	45,00	13,43	5,71	16,14	1,71	48,17
	sm. odchylka	5,132	8,243	0,488	1,864	0,601	12,314

Tabulka 1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky morfologických parametrů scanovaného sadebního materiálu PostCont po jedné vegetační sezóně.

zaznamenány, stejně jako deformace kořenových systémů. Kromě buku lesního u všech dřevin dochází k rovnoměrnému rozrůstání kořenů. U většiny dřevin vysazovaného sadebního materiálu byl dva roky po výsadbě zjištěn dynamický přírůst (VÚLHM 2024).

V předběžném katalogovém listu Katalogu biologicky ověřených obalů pro pěstování sadebního materiálu je obal PostCont uveden jako vyhovující pro pěstování ve školce a 1. rok po výsadbě i jako obal pro krátkodobé dopěstování sadebního materiálu na zavlažovaném uložišti. Komplexní hodnocení 3. rok po výsadbě na trvalá stanoviště teprve proběhne. (VÚLHM 2023).

V současné době testování sadebního materiálu PostCont stále probíhá. Jedná se o výzkum různých materiálů pro tvorbu kelímků, různých typů plnicího média, zkoumání mechanických vlastností kelímků, ale také výsevů do kelímků nebo zalesňování specifických stanovišť, jako jsou výsadby na zemědělské půdě nebo v rámci podsadů akátových porostů na Cholupickém vrchu v Praze, kde dochází k porovnání biometrických parametrů i parametrů chlorofylu mezi klasickým sadebním materiálem a materiálem obaleným technologickým systémem PostCont. Pokračuje také vývoj technologie zaměřený na zefektivnění procesu obalování.

Závěr

Nově vyvíjený technologický systém PostCont pro obalování prostokořenného sadebního materiálu zahrnuje poloautomatické zařízení, ve kterém dochází k výrobě prorůstových papírových kelímků z recyklovaných materiálů. Dosud zjištěné předběžné výsledky prokazují biologickou nezávadnost procesu obalování sadebního materiálu systémem PostCont při zachování základních zásad

manipulace s rostlinami, zejména v době před vlastním obalením. Obaly je možné po jedné vegetační sezóně považovat za rozpadavé v půdě a trvanlivé mimo ni. U sadebního materiálu PostCont byla zjištěna dostatečná morfologická kvalita a tento sadební materiál splňuje požadavky ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin. Technologický systém PostCont se zdá být perspektivní alternativou klasickým typům sadebního materiálu.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci aktivit spojených s řešením projektu TAČR SS01020189 Obalování sadebního materiálu lesních dřevin technologickým systémem PostCont a projektu poskytnutém Hlavním městem Prahou, dotace č. DOT/54/12/023171/2023. Za spolupráci při nezávislém paralelním testování obalů PostCont autoři děkují pracovníkům Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno. Příspěvek vznikl s využitím zázemí Výzkumné stanice Truba, Kostelec nad Černými lesy a rámcově vychází z příspěvku uvedeného na konferenci Pěstování lesů ve střední Evropě v roce 2024 (Kuneš et al. 2024), aktualizovaného o nové poznatky z roku 2025.

Literatura

- Amoroso G. Frangi P., Piatti R. 2010: Effect of Container Design on Plant Growth and Root Deformation of Littleleaf Linden and Field Elm. *HortScience*, 45: 12: 1824–1829.
- Appelroth S. E. 1971: Planting tube makes it easy to plant Japanese paperpot planting stock in Finland. *The Forestry Chronicle*, 47: 6: 350–351.
- Baláš M., Kuneš I. 2019: Přehled vlastností prostokořenného a krytokořenného sadebního materiálu lesních dřevin. In: Pěstování sadebního materiálu pro zalesnění kalamitních holin. Sborník vědeckých prací, Nová Role, 12. 6. 2019, Houšková K., Jan D. (eds.), Mendelova univerzita v Brně a LESCUS Cetkovice, 39 s., elektronicky na CD, ISBN 978-80-7509-695-1, s. 5–9.
- Baláš M., Kuneš I., Nárovcová J. 2016: Zkušenosti s použitím přenosného motorového jamkovače při zakládání lesa. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61: 4: 262–270.
- Brisette J.C., Barnett J.P., Landis T.D. 1991: Container seedlings. In: *Forest regeneration manual* (pp. 117–141). Springer, Dordrecht.
- Cayford J.H. 1972: Container planting systems in Canada. *The Forestry Chronicle*, 48: 5: 235–239.
- ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2012. 24 s.
- Dušek V. 1997: Lesní školkařství. Matice lesnická, Písek, 139 s.
- Foltánek V. (2016): Lesní školkařství v České republice – od historie k současnosti. Praha, Národní zemědělské muzeum, 155 s. ISBN 978-80-86874-70-8.
- Grossnickle S. C., El-Kassaby Y. A. 2016: Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New Forests*, 47: 1–51.

- Jeanickle H. 1999: Good Tree Nursery Practices: Practical Guidelines for Research Nurseries. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya 93 s., ISBN 92-9059-130-7.
- Jurásek A., Martincová J., Nárovcová J. 2004: Problematika použití krytokořenného sadebního materiálu lesních dřevin z intenzivních školkařských technologií v podmínkách České republiky. In: Jurásek A. (ed.): Možnosti použití sadebního materiálu z intenzivních školkařských technologií pro obnovu lesa. Sborník z mezinárodního semináře. Opočno, 3. a 4. června 2004, Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, ISBN 80-86386-51-1. s. 6–15.
- Jurásek A., Nárovcová J., Nárovec V. 2006: Průvodce krytokořenným sadebním materiálem lesních dřevin. Lesnická práce, Kostelec n. Č. l., 56 s., ISBN 80-86386-78-3.
- Jurásek A., Martincová J., Leugner J. 2010: Manipulace se sadebním materiálem lesních dřevin od vyzvednutí ve školce až po výsadbu. Lesnický průvodce, 5/2010. VÚLHM, Strnady, 34 s. ISBN 978-80-7417-035-5
- Kuehny J. S., Taylor M., Evans MR. 2011: Greenhouse and Landscape Performance of Bedding Plants in Biocontainers. HortTechnology, 21: 2: 155–161.
- Kuneš I., Lopot F., Havránek Z., Štoček O., Štancl J., Baláš M., Burda P., Jiráček T., Hlídková A., Podrázský V. 2023: Obalování sadebního materiálu lesních dřevin technologickým systémem PostCont. Newsletter pro praxi, Lesnická práce, 102: 1: 2–3. ISSN 0322-9254
- Kuneš, I., Pešková, K., Štádler, M., Baláš, M., Lopot, F., Havránek, Z., Štancl, J., Burda, P., Jiráček, T., Hlídková, A., Šulitka, M., Podrázský, V. 2024: Obalování sadebního materiálu lesních dřevin technologickým systémem PostCont, in: Baláš, M., Gallo, J., Podrázský, V. (Eds.), Proceedings of Central European Silviculture. Volume 13: Pěstování Lesů ve Střední Evropě [Silviculture in Central Europe]. Sborník vědeckých prací u příležitosti 24. mezinárodního setkání pěstitelů lesa střední Evropy, Roztoky u Křivokláta, 3. – 4. 9. 2024, Česká zemědělská univerzita v Praze, 292 s., ISBN 978-80-213-3407-6, s.120–131.
- Kupka I. 2004: Zkušenosti s použitím krytokořenného sadebního materiálu z intenzivních technologií ve Skandinávii. Možnosti použití sadebního materiálu z intenzivních školkařských technologií pro obnovu lesa. Sborník z mezinárodního semináře. Opočno, 3. – 4. 6. 2004, 27–34.
- Landis T. D. 1990: Containers: types and functions. In: The Container Tree Nursery Manual. Volume 2, Chapter 1, Agriculture Handbook, Landis et al., USDA Forest Service.
- Lindström A., Rune G. (1999): Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. Plant and Soil, 217: 1–2: 29–37.
- Mauer O. et al. (2011): Zakládání lesů II. Učební text. ÚZPL LDF MZLU v Brně, 219 s.
- McKay H. M. 1996: A review of the effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. New Forests, 13: 363–393.

- Muriuki J. K., Kuria A. W., Muthuri C. W., Mukuralinda A., Simons A. J., Jamnadass R. H. 2014: Testing Biodegradable Seedling Containers as an Alternative for Polythene Tubes in Tropical Small-Scale Tree Nurseries. *Small-scale Forestry*, 13: 127–142.
- Nambuthiri S., Fulcher A., Koeser A. K., Geneve R., Niu G. 2015: Moving Toward Sustainability with Alternative Containers for Greenhouse and Nursery Crop Production: A Review and Research Update. *HortTechnology*, 25: 1: 8–25.
- Nárovcová J., Nárovec V. 2005: Aktuálně o testování obalů krytokořenného sadebního materiálu lesních dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 50: 1: 63–64.
- Nelson W. 1996: Container types and containerised stock for New Zealand afforestation. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 26: 1–2: 184–190.
- Pešková K. 2024: Ověřování kvality sadebního materiálu produkovaného technologickým systémem PostCont (diplomová práce). Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesů, 90 s.
- Rune G. 2003: Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots pine seedlings. *Silva Fennica*, 37: 3: 333–342.
- STIHL (2006): Stihl BT 121 – Instruction Manual. Waiblingen, Andreas Stihl AG & Co. KG: 66. Available at: <https://cdnassets.stihlusa.com/1625854458-bt121manual.pdf> (cit. 2024-02-17).
- VÚLHM 2024: Výroční zpráva 2023. VÚLHM, Strnady [cit. 20-05-2025]. Dostupné na: <file:///C:/Users/pesko/Downloads/VULHM-Vyrocní-zpráva-RUZ-2023.pdf>
- VÚLHM 2023: Katalog biologicky ověřených obalů pro pěstování sadebního materiálu lesních dřevin. VÚLHM, Opočno. Dostupné na: http://vulhm.opocno.cz/download/katalog4/kl40_PostCont_D80H140_240209.pdf, [cit. 20-05-2025].

Kontakt

Ing. Kateřina Pešková, doc. Ing. Ivan Kuneš, Ph.D., Ing. Martin Baláš, Ph.D., prof. Ing. Vilém Podrázský, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra pěstování lesů, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchdol, e-mail: peskovak@fld.czu.cz

Ing. Marek Štádler, Ing. František Lopot, Ph.D., Zdeněk Havránek, Ing. Jaromír Štandl, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze, Ústav konstruování a částí strojů, Fakulta strojní, Technická 4, Praha 6, 160 00

Ing. Pavel Burda Ph.D., Lesní školky Ing. Pavel Burda, Ph.D., Hajda 1455, 399 01 Milevsko

Ing. Tomáš Jiráček, Lesní společnost Vltava, s. r. o., Primáře Kareše 405, 264 01 Sedlčany

Ing. Alena Hlídková, Suchopýr, z. ú., 463 31 Oldřichov v Hájích 299

ZHODNOCENÍ VLIVU DUBU ČERVENÉHO NA STAV LESNÍCH PŮD V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

Vilém Podrázský, Ivo Kupka, Stanislav Miltner, Martin Baláš

Abstrakt

Dub červený (*Quercus rubra* L.) je jednou z nejvýznamnějších introdukovaných dřevin jak v domácím, tak i v evropském kontextu. Je využíván na stanovištích, která jsou pro pěstování jiných dřevin méně vhodná, je využíván i v rámci rekultivací a zalesňování nepříznivých stanovišť. Je prokázán jeho produkční potenciál, vliv na jednotlivé složky stanoviště jsou prozkoumány méně. Jeho vliv na stav svrchní vrstev lesních půd byl sledován na souboru tří dvojic ploch v nížinných polohách severních Čech a na jedné dvojici ploch v podmínkách středních Čech (majetek Lesy ČR). Srovnáván byl stav humusových forem v porostech dubu červeného a v porostech dubu zimního a buku s příměsí jiných listnatých dřevin. V každém porostu bylo kvantifikováno množství nadložního humusu a základní pedochemické charakteristiky (pH, stav půdního sorpčního komplexu, stav půdní acidity, obsah celkového uhlíku, dusíku, celkových a přístupných živin), vždy v počtu 4 opakování, holorganických horizontech a v horizontech Ah a B. Výsledky doložily mírně acidifikační vliv dubu červeného ve srovnání s ostatními listnatými dřevinami: nižší hodnoty půdní reakce, obsahu výměnných bází, nasycení půdního sorpčního komplexu a vyšší ukazatele půdní acidity. Na stanovištích listnatých dřevin má dub červený mírně degradační vliv.

Klíčové slova

dub červený; humusové formy, lesnický význam, půdotvorná funkce

Úvod

Dub červený (*Quercus rubra* L.), původem ze Severní Ameriky (Obr. 1), patří k nejvýznamnějším introdukovaným dřevinám v České republice. Při analýze národních dat bylo zjištěno, že k roku 2021 zaujímal plocha této dřeviny v ČR 6 414,41 ha (tj. cca 0,25 % z celkové plochy lesů) a celková zásoba kolem 1 348 053 m³ (Novotný et al. 2022). Porosty dubu červeného mají značný produkční potenciál, ale vzhledem k relativně nízkému zastoupení v druhové skladbě se na celkové produkci dřeva podílí spíše okrajově. Svého času měl i nahradit domácí druhy dubů ohrožené tracheomykózou (Burkovský 1985; Čapek et al. 1985; Gubka, Špišák 2010; Štefančík 2011). Jako vhodná stanoviště pro tento druh uvádějí Dressel a Jäger (2002) spíše kyselé a suché lokality, čemuž odpovídá i využití

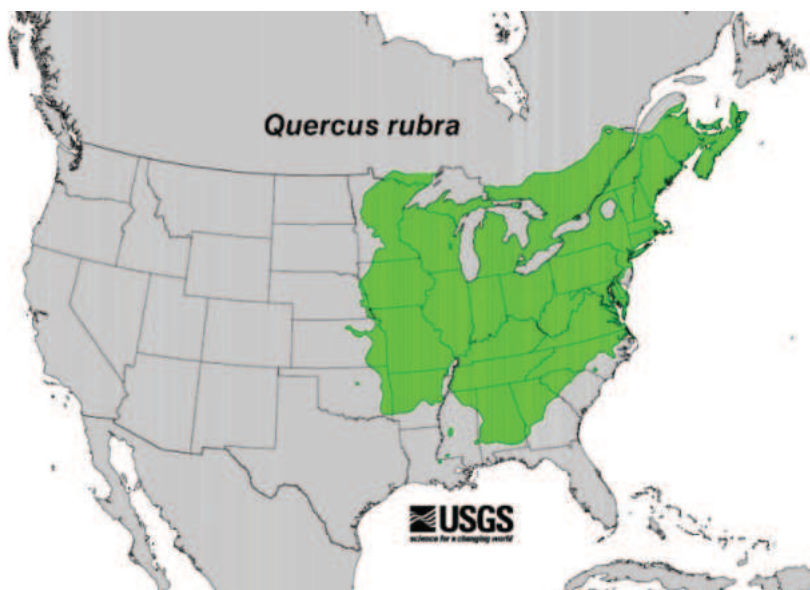
v České republice (Novotný et al. 2022). Díky dlouhému hlavnímu kořenu, který se vyvíjí u semenáčku už prvním rokem, je dub červený dřevinou, která dobře snáší jarní přísušky a je tudíž perspektivní zejména v oblastech s nižším objemem srážek (Miltner, Kupka 2016).

Jak domácí, tak i zahraniční údaje dokládají vyšší produkci dubu červeného vzhledem k domácím druhům dubů (Kouba, Zahradník 2011; Seidel, Kenk 2003). Naproti tomu analýzy vlivu na stav půd dosud neprokázaly výrazný meliorační vliv v lesních porostech (Podrázský, Štěpáník 2002), třebaže se tento druh s výhodou využívá při rekultivacích devastovaných a degradovaných ploch díky své vyšší toleranci k environmentálním stresům. Zde tak může výrazně přispět k obnově lesních půd a jejich specifickému charakteru (Holubík et al. 2014; Vopravil et al. 2014). Díky svému charakteru spíše přípravné dřeviny může velmi výrazně prospět i v případě zalesňování zemědělských půd.

Cílem předkládaného příspěvku je na širším souboru lesních porostů doložit jeho vliv na stav humusových forem (Green et al. 1993) a nejsvrchnější vrstvy minerální půdy. Přitom je jeho účinek srovnáván s porosty složených z domácích dřevin, především s dominancí dubu zimního, popřípadě i buku lesního.

Metodika

Vliv dubu červeného na stav humusových forem byl analyzován na souboru 4 dvojic ploch, a to na soukromém majetku v oblasti severních Čech (plochy Horní Beřkovice I a II, Peruc) a na území Lesů ČZU v Kostelci nad Černými lesy (Tabulka 1).



Obr. 1: Přirozené rozšíření dubu červeného (*Quercus rubra* L.) Little, Viereck (1971) + USGS (2013)

Plocha	Porost	Věk	SLT	Nadm. výška [m]	Výška [m]	Tloušťka [cm]	Dřevina
Horní Beřkovice I	733D5b	50	1K1	272 m	18	15	DBC
Horní Beřkovice II	373D5b	50	1K1	276 m	18	15	DBC
Peruc	337B10	103	1S6	300 m	24	28	DBC
Horní Beřkovice I	736A7	73	1S6	275 m	20	25	DBZ
Horní Beřkovice II	734D11b	111	1S6	280 m	19	25	DBZ
Peruc	338D15	159	1C2	329 m	21	38	DBZ
Lesy ČZU	518C8a	71	3K1	400	-	-	BK směs
Lesy ČZU	518C8a	71	3K1	400	-	-	DBC

Tabulka 1: Základní charakteristiky výzkumných ploch (na ploše na území Lesů ČZU nebyly stanoveny produkční parametry)

Sledovány byly následující půdní horizonty (Green et al 1993): L+F1, F2+H, Ah, B). Holorganické horizonty byly kvantitativně vzorkovány pomocí ocelových rámečků (25 × 25 cm), v počtu opakování 4, minerální půdní vrstvy byly odebírány bez možnosti kvantifikace. U jednotlivých typů substrátů byly prováděny následující analýzy:

- u holorganických horizontů:
 - množství sušiny při 105 °C a obsah celkových živin po mineralizaci kyselinou sírovou ve směsi se selenem (Zbírál 2001),
- u všech vzorků:
 - půdní reakce aktivní (výluh H₂O) a potenciální (1N KCl), potenciometricky,
 - výměnná acidita, obsah výměnného vodíku a hliníku,
 - základní charakteristiky půdního sorpčního komplexu podle Kappena (1929) (S – obsah bází, V – nasycení sorpčního komplexu bázemi, H – hydrolytická acidita, T – kationtová výměnná kapacita),
 - obsah uhlíku a organické hmoty (metoda Springer-Klee, např. Ciavatta et al. 1989),
 - obsah celkového dusíku (Kjeldahlova metoda, např. Kirk 1950),
 - obsah přístupných živin ve výluhu (Mehlich 1984).

Výsledky analýz byly zpracovány statistickým softwarem STATISTICA. Po ověření normality rozložení údajů byla použita metoda analýzy rozptylu ANOVA a post – hoc test Scheffého na významnost rozdílů na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Výsledky z ploch Horní Beřkovice a Peruc byly zprůměrovány a zpracovány v jednom (1) souboru dat. Výsledky z plochy na území Lesů ČZU (2) tvoří druhý soubor dat. Výsledky pro různé dřeviny byly srovnávány vždy v rámci jednoho souboru dat a stejného horizontu.

Výsledky

Množství nadložního humusu bylo stanoveno pouze v porostech na území Lesů ČZU. Zde byla zásoba holorganických vrstev v porostech s různým dřevinným složením bez významných rozdílů, přes patrnou tendenci vyšší akumulace v porostu dubu červeného (Tabulka 2). Hodnoty půdní reakce, aktivní i výměnné, indikovaly vyšší aciditu v horizontech nadložního humusu a v horizontu Ah pod dubem červeným, ve srovnání s dubem zimním, ale především s bukem. V tomto případě byly rozdíly i statisticky významné.

Dřevina	Nadložní humus	pH H ₂ O	pH KCl	Výměnná acidita	Výměnný Al	Výměnný H
Horizont	t.ha ⁻¹			mval.kg ⁻¹	mval.kg ⁻¹	mval.kg ⁻¹
1 – DBC F+H	Nestan.	4,47 a	3,54 a	44,66 a	34,96 a	9,70 a
1 – DBC Ah		4,19 a	3,39 a	62,31 a	60,11 a	2,20 a
1 – DBC B		4,34 a	3,75 a	49,78 a	48,58 a	1,20 a
1 – DBZ F+H	Nestan.	4,74 a	3,95 b	24,26 b	15,57 b	8,69 a
1 – DBZ Ah		4,25 a	3,47 a	47,57 b	44,82 b	2,75 a
1 – DBZ B		4,31 a	3,69 a	41,42 a	40,35 b	1,07 a
2 – BK L+F ₁	3,20 a					
2 – BK F ₂ +H	14,35 a	5,21 a	4,27 a	8,81 a	2,54 a	6,28 a
2 – BK Ah		5,14 a	3,96 a	13,04 a	9,39 a	3,65 a
2 – BK B		5,12 a	3,48 a	43,43 a	41,65 a	1,74 a
2 – DBC L+F ₁	3,82 a					
2 – DBC F ₂ +H	18,14 a	4,71 b	3,54 b	25,15 b	15,45 b	9,70 a
2 – DBC Ah		4,67 b	3,00 b	59,18 b	50,93 b	8,25 a
2 – DBC B		5,06 a	3,43 a	45,58 a	43,97 a	1,61 a

Tabulka 2: Zásoba nadložního humusu a charakteristiky půdní acidity ve srovnávaných porostech

Rozdílům v půdní reakci odpovídaly i statisticky významné rozdíly v hodnotách výměnné titrační acidity a obsahu výměnného hliníku, pod dubem červeným byly hodnoty významně vyšší ve srovnání s domácím dubem i bukem.

S charakteristikami půdní acidity úzce souvisí i stav půdního sorpčního komplexu. Obsah výměnných bází byl zřetelně pod dubem červeným nižší, v minerálních horizontech byly rozdíly statisticky významné (Tabulka 3), a to

v případě obou srovnávaných dřevin. Opačný trend vykazovala hydrolytická acidita. V důsledku toho byla výměnná kationtová kapacita mnohem vyrovnanější, statisticky významně nižší byla pouze v horizontu B pod dubem červeným ve srovnání s bukem. Významně nižší byly pod touto dřevinou i hodnoty nasycení sorpčního komplexu bázemi ve srovnání s bukem. Ve srovnání s dubem byly rozdíly méně výrazné.

Dřevina	S	T	V	Cox	N	C/N
Horizont	mval/100 g	mval/100 g	%	%	%	
1 – DBC F+H	27,39 a	72,15 a	37,35 a	30,3 a	1,78 a	17,1
1 – DBC Ah	1,60 a	18,23	8,56 a	6,5 a	0,72 a	18,4
1 – DBC B	0,97 a	6,96 a	13,11 a	1,3 a	0,10 a	13,0
1 – DBZ F+H	41,79 b	78,88 a	52,53 b	29,4 a	1,88 a	15,7
1 – DBZ Ah	3,84 a	23,77 a	14,28 a	8,6 b	0,61 b	15,0
1 – DBZ B	0,83 a	7,20 a	9,96 a	1,8 a	0,14 b	12,4
2 – BK L+F1						
2 – BK F ₂ +H	48,15 a	64,05 a	75,23 a	25,29 a	1,05 a	24,1
2 – BK Ah	21,28 a	32,46 a	65,40 a	8,44 a	0,51 a	16,5
2 – BK B	4,26 a	10,58 a	40,12 a	1,22 a	0,10 a	12,2
2 – DBC L+F ₁						
2 – DBC F ₂ +H	30,78 a	59,44 a	50,25 b	32,18 a	1,35 a	23,8
2 – DBC Ah	7,35 b	30,50 a	26,93 b	15,63 a	0,63 a	24,8
2 – DBC B	2,49 b	8,36 b	30,25 a	1,29 a	0,09 a	14,3

Tabulka 3: Charakteristiky půdního sorpčního komplexu, obsah celkového uhlíku a dusíku ve srovnávaných porostech

Obsah celkového uhlíku (humusu) byl v případě srovnání s dubem zimním velmi podobný, v případě srovnání s bukem byly hodnoty obsahu Cox nevýznamně vyšší pod dubem červeným. Poměr C/N byl srovnatelný v holorganickém horizontu na ploše na území Lesy ČZU; na severočeských plochách a v minerálních horizontech byl nevýznamně vyšší pod dubem červeným. To indikuje méně příznivý rozklad a transformaci opadu pod touto dřevinou.

Obsah přístupného fosforu na severočeských plochách byl významně vyšší pod DBZ v holorganických horizontech a v horizontu Ah, v horizontu B byla situace opačná. Na středočeské ploše významné rozdíly nebyly doloženy přes mírně vyšší obsah Pex v holorganickém horizontu a nižší v hlubších horizontech v porostech DBC (Tabulka 4). Obsah celkového fosforu byl nevýznamně nižší pod dubem

červeným v případě obou souborů ploch.

Obsah přístupného draslíku byl na severočeských plochách nižší pod dubem červeným, v horizontu Ah i významně; na středočeských plochách byl trend spíše opačný, s výjimkou horizontu B. Obsah celkového draslíku v holorganických horizontech byl významně nižší pod DBC. Obsah přístupného vápníku byl všeobecně nižší v porostech DBC na severočeských plochách, na druhé ploše byly rozdíly minimální. Konečně obsah přístupného hořčíku byl významně nižší v případě severočeských ploch, na ploše na území Lesů ČZU nebyly rozdíly patrné. Obsah celkového hořčíku byl na severočeských plochách nevýznamně nižší pod dubem červeným. Na středočeské ploše byl obsah Mgtot významně vyšší ve vrstvě opadu (L+F1) pod DBC, v hlubší vrstvě byla situace opět opačná.

Dřevina	P _{ex}	K _{ex}	Ca _{ex}	Mg _{ex}	P _{tot}	K _{tot}	Ca _{tot}	Mg _{tot}
Horizont	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	%	%	%	%
1 – DBC F+H	29,3 a	744 a	2453 a	443 a	0,05 a	0,15 a	0,19 a	0,05 a
1 – DBC Ah	2,9 a	107 a	280 a	80 a				
1 – DBC B	2,7 a	42 a	263 a	59 a				
1 – DBZ F+H	58,7 b	1032 a	3964 b	652 b	0,07 b	0,21 b	0,38 b	0,06 a
1 – DBZ Ah	12,6 b	201 b	527 b	127 b				
1 – DBZ B	1,6 b	71 a	280 a	67 a				
2 – BK L+F1					0,063 a	0,333 a	0,92 a	0,087 a
2 – BK F2+H	20,0 a	641,0 a	3657,5 a	453,0 a	0,086 a	0,310 a	0,96 a	0,109 a
2 – BK Ah	7,0 a	275,0 a	1705,0 a	243,0 a				
2 – BK B	1,75 a	58,7 a	309,0 a	73,3 a				
2 – DBC L+F1					0,050 a	0,243 b	0,95 a	0,128 b
2 – DBC F2+H	22,5 a	859,5 a	2090,0 b	484,0 a	0,080 a	0,210 b	0,107 a	0,079 b
2 – DBC Ah	6,0 a	299,0 a	512,5 b	230,0 a				
2 – DBC B	1,25 a	47,5 a	213,0 b	68,3 a				

Tabulka 4: Obsah přístupných a celkových živin v půdních horizontech ve srovnávaných porostech

Celkově prokázaly hodnoty pedochemických analýz méně příznivý stav v případě porostu dubu červeného ve srovnání s porostem buku s příměsí jiných listnatých dřevin a dubu zimního. Byly doloženy nižší hodnoty půdní reakce, obsahu bázi a nasycení sorpčního komplexu bázemi, naopak vyšší hodnoty výměnné acidity. Také poměr C/N byl méně příznivý, stejně jako obsah některých bázi.

Diskuze

O vlivu dubu červeného na stav lesních půd ve srovnání s jinými dřevinami je poměrně málo údajů. Zahraniční literatura spíše shrnuje ekologické nároky této dřeviny (Nicolescu et al. 2020). Literatura zpravidla popisuje požadavky dubu červeného na hlubší, čerstvé středně vlhké kyselejší půdy bez většího obsahu vápníku, bez utužených horizontů a alespoň středně bohaté, čemuž naše stanoviště odpovídají. Taková stanoviště odpovídají i růstovému optimu v oblasti původního rozšíření (Sander 1990). Na druhé straně má dub červený nižší nároky na živiny i půdní vláhu ve srovnání s domácími druhy, resp. dubem letním a zimním (Brus 2011; Miltner et al. 2016), a to přes poněkud vyšší produkci dřeva, které ovšem za domácími druhy dubů poněkud zaostává, nicméně dříví je rovněž všestranně využitelné (Kupka et al. 2018).

V domácích podmínkách je rovněž minimum relevantních údajů o půdotvorné funkci dubu červeného. Ze starších prací je k dispozici práce Kantora (1989), který srovnával kvalitu opadu v porostech náhradních dřevin na Trutnovsku. Na rozdíl od jiných listnáčů, zejména olše a břízy nebyla kvalita opadu v případě dubu červeného příznivá. Autor hodnotí dub červený ve srovnání s jinými dřevinami (osika, jíva, buk, bříza) jako dřevinu bez melioračních účinků, podobně jako borovici lesní. Jako dřeviny výrazně zhoršující stav humusových forem pak hodnotí smrky a vejmutovku. Podrázský, Štěpáník (2002) sledovali rozdíly v charakteristikách svrchních půdních horizontů na zalesněné zemědělské půdě v oblasti Českého Rudolce; srovnání se týkalo porostů dubu červeného, břízy bradavičnaté, smrku ztepilého a modřínu evropského. Dub červený vykázal sice příznivější vliv na vývoj půd ve srovnání s jehličnany, ale výrazně méně příznivý ve srovnání s břízou. U dubu červeného byly patrné vyšší nároky na odběr živin, což se na dané lokalitě projevilo poklesem obsahu celkového dusíku pod jeho porostem. Pomalejší dekompozici opadu a zhoršenou dynamiku koloběhu živin doložili také, např. Bonifacio et al. (2015). Na původním stanovišti dubu letního, dobře vyvinutých chudých půdách, došlo působením dubu červeného k akumulaci extrémnější humusové formy (mor místo dysmull-hemimoder), k pomalejšímu rozkladu opadu a ke zhoršení dostupnosti fosforu a vápníku. Jonczak et al. (2015) sledovali intenzitu rozkladu opadu olše, buku, dubu červeného a klenu pomocí opadových sáčků (litter bags). Jako výrazně meliorační dřevina se projevila olše, ostatní listnáče byly srovnatelné z hlediska rychlosti a typu rozkladu opadu.

Jako méně příznivé doložili působení dubu červeného i Miltner et al. (2018). Ve srovnání s dubem zimním vykazovaly humusové formy pod dubem červeným nižší půdní reakci, vyšší aciditu, méně příznivý stav půdního sorpčního komplexu (především nižší obsah bází a nasycení sorpčního komplexu bázemi), méně příznivý obsah humusu, dusíku a makroelementů. Na rozdíl od rekultivací a zalesňování degradovaných půd je tak nutno pohlížet na tuto dřevinu jako na druh snižující kvalitu lesního stanoviště přirozených doubrav, popřípadě porostů domácích listnatých dřevin. Na stav půd původních listnatých dřevin má spíše negativní vliv, stejně tak i na dynamiku živin. Naproti tomu díky své vyšší

toleranci k extrémnímu prostředí může hrát významnou roli v rámci rekultivací degradovaných a devastovaných půd (Dimitrovský 1999, 2001; Kupka et al. 2007; Dimitrovský et al. 2008). Další práce pak nepřímo dokládají vliv na stanoviště prostřednictvím analýzy rostlinných společenstev přízemní vegetace. Straigyte et al. (2012) a Chmura (2013) tak shodně popisují vliv dubu červeného na stav lesních fytoocenóz se stejným trendem – méně výrazný, nicméně patrný posun ke kyselejšímu a na živiny (především dusík) chudším stanovištím. Navíc dokládají poměrně výraznou schopnost přirozené obnovy, což vede k hodnocení této dřeviny až jako invazivní (Major et al. 2013; Nicolescu et al. 2020).

Závěr

Lze tak uzavřít, že s výraznými melioračními účinky dubu červeného nelze v listnatých lesích počítat. Ve srovnání s domácími klimaxovými dřevinami tak je nutno uvažovat o přinejmenším mírné acidifikaci, poklesu půdní reakce, zhoršení charakteristik půdního sorpčního komplexu a snížení obsahu živin. Méně příznivá bude především dynamika dusíku. Dub červený je tak i nadále využitelný při rekultivaci výrazně degradovaných a devastovaných stanovišť a při tvorbě porostů odolnějších k probíhajícím změnám klimatu, kde lze předpokládat jeho výraznější uplatnění. Při rostoucích problémech domácích listnáčů tak může hrát i významnější roli než doposud.

Poděkování

Príspevek vznikl v rámci řešení projektu GS LČR 125: Experimentální postupy obnovy lesa domácími a introdukovanými dřevinami v podmínkách klimatických změn.

Literatura

Prostokořenný

Úvod

Prostokořenný

KVALITA VÝSEVŮ PO SÍJI NAKLÍČENÝCH BUKVIC

**Kateřina Houšková, Eliška Skuhrová, Martin Baláš,
Petra Kadlecová, Milan Kubiček**

Abstrakt

Cílem práce bylo ověřit, kdy při výsevu bukvic v lesních školkách a v přirozené obnově vznikají nepřijatelné deformace kořenového systému. Bukvice testovaných oddílů byly rozděleny do variant dle přítomnosti, délky a poškození klíčků a byly vysety na záhon bez polohování a do sadbovačů špičkou bukvice dolů nebo podle zakřivení klíčků. Byla hodnocena jejich vzcházejivost a po 1. vegetačním období byl hodnocen tvar kořenového krčku. Kořenový krček byl rovněž hodnocen u semenáčků vyzvednutých z přirozené obnovy. Z výsledků vyplývá, že pro pěstování prostokořenného sadebního materiálu jsou naklíčené bukvice nevhodné. Semenáčky buku bez deformací v kořenovém krčku se tvoří pouze po výsevu nenaklíčených bukvic. Semenáčky z přirozené obnovy také obsahují minimum rostlin s deformací. Pokud chceme minimalizovat riziko deformací při výsevu naklíčených bukvic, je třeba je vysévat s nepoškozeným, max. 1 mm dlouhým, rovným klíčkem nebo ve stadiu puklé bukvice.

Klíčové slová

bukvice, deformace, kvalita osiva, nakličování, vzcházejivost

Úvod

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je hlavní lesní hospodářskou dřevinou, která byla v minulosti velmi často nahrazována smrkem ztepilým a která je nyní v souvislosti se změnou klimatu, chřadnutím smrku a důrazem na přírodě blízké hospodaření vnášena na svá původní stanoviště (Fuchs et al. 2024, Remeš et al. 2020, Vacek et al. 2019). Někdy se tedy založení nového porostu neobejde bez umělé obnovy a výsadby sadebního materiálu buku. Lesní školky a zpracovatelé osiva lesních dřevin se však potýkají s variabilní kvalitou bukvic a jejich problematickou předosevní přípravou. Zejména při pěstování krytokořenného sadebního materiálu je žádoucí používat osivo s co nejvyšší klíčivostí za účelem maximálního využití buněk sadbovačů. Vysoká míra nejistoty v klíčivosti bukvic a vzcházejivosti semenáčků nakonec vedou k tomu, že na konci studené stratifikace jsou bukvice cíleně nakličovány a k výsevu ve školkách vybírány pouze ty klíčící se zřetelně se vyvíjejícím klíčkem (Kalemba et al. 2019). Naklíčené bukvice se z oddílů semenného materiálu vybírají zpravidla ručně nebo např. s pomocí optického třídíče, při jehož třídění dochází k minimálnímu poškození klíčku. Opětovným tříděním a následným zmrazováním vybraných naklíčených bukvic může být oddíl bukvic sjednocen ve stejné fázi klíčení (Zeman et al. 2019).

Malinová et al. (2006) však zdůrazňují, že nelze ponechat již vyklíčená semena ve stratifikaci, neboť se potom ve větší míře tvoří deformace kořenového systému semenáčků. Důvodem dle autorů je to, že primární kořínek (radikula) se ve stratifikační nádobě otáčí směrem k zemi a vzniká zakřivení. Zabránění těchto deformací dosáhneme tehdy, pokud vybereme z oddílu osiva bukvice v okamžiku, kdy radikula proráží semenný obal (Malinová et al. 2006, Dušek 1997). Z hlediska architektiky kořenového systému nejkvalitnější semenáčky jsou potom takové, které vyrostly z bukvic vysetých směrem dolů (špičkou dolů), s rovným, velmi krátkým primárním kořínkem, který pouze proráží semenný obal a nejeví žádnou deformaci nebo pouze mírné zahnutí (Malinová et al. 2006). Bukvice, které nejsou polohovány špičkou, resp. radikulou dolů nebo je radikula příliš dlouhá či ohnutá, tvoří deformace v místě kořenového krčku, a to esovitě zahnutí nebo kličku. Klička vytvořená na kořenovém krčku je velice závažnou deformací, neboť následným tloustnutím semenáčku dochází k tvorbě tzv. strboulu, který narušuje architektiku kořenového systému, dalším tloustnutím k zaškrcování kořenů a tím narušení výživy stromu. Kultury zalesněné sadebním materiálem s takto deformovaným kořenovým systémem dávají základ labilitě budoucích porostů (Malinová et al. 2006).

K poškození klíčků může též dojít při manipulaci či výsevu semen. Volná (1975) uvádí, že bukvice s ulomeným klíčkem klíčí negativně geotropickým směrem. Také zjistila, že u těchto bukvic závisí na hloubce výsevu, neboť s přibývajícím hloubkou výsevu poškozených bukvic se snižuje procento negativně geotropicky klíčících bukvic, a tím dochází i k eliminaci následných poškození kořenového systému v oddílu sadebního materiálu. Na ztrátu klíčku podle ní buk reaguje vytvořením sotva znatelného kořínku, otočením se v zemi negativně geotropicky a vytvořením řady kořenů na kouli pahýlu a tvorbou náhradního kořene nad zemí s deformací hypokotylu s následným zakořeněním zpět do půdy (Volná 1975).

Z výše uvedených informací vyplývá, že použití naklíčených semen může být riskantní s ohledem na možné deformace kořenového systému. Cílem práce bylo tedy ověřit, do jaké míry tyto deformace vznikají 1. při výsevu naklíčených bukvic na záhon (pěstování prostokořenného sadebního materiálu, bez polohování bukvic při výsevu), 2. při výsevu naklíčených semen do sadbovačů (pěstování krytokořenného sadebního materiálu, s polohováním bukvic při výsevu), 3. při výsevu poškozené radikuly (zejména ulomená, nahnědlá, ohnutá) a 4. v přirozené obnově buku, neboť je znám i argument, že stejné deformace kořenového systému vznikají běžně i přirozeně v přírodě.

Materiál a metody

Pro splnění cílů práce byly v letech 2019–2024 realizovány 4 pokusy s výsevem naklíčených bukvic a hodnocením semenáčků z přirozené obnovy. Testovaný semenný materiál pro výsevy v lesních školkách poskytl Semenařský závod Týniště nad Orlicí (Lesy České republiky, s. p.).

Pokus č. 1

Pro pokus č. 1 byl zajištěn semenný materiál s parametry uvedenými v tab. 1.

Rok sběru	Místo sběru	Čistota semen (%)	Absolutní hmotnost (g)	Klíčivost (%)
2018	LS Strážnice (LČR s. p.)	98,9	230,475	69

Tab. 1: Základní údaje o testovaném oddílu bukvic

Bukvice byly roztríděny do 8 variant s ohledem na přítomnost, délku a poškození klíčku či semene (tab. 2).

Název varianty	Počet vyšetých bukvic (ks)
Bukvice neklíčící svěží	15
Bukvice s klíčkem nepronikajícím otvorem klovým (abnormálně klíčící)	1
Bukvice se dvěma klíčky	10
Bukvice s ulomeným klíčkem	193
Bukvice s nahnědlým klíčkem dlouhým do 4 mm	167
Bukvice s nahnědlým klíčkem dlouhým cca 5 mm (4–8 mm)	274
Bukvice s nahnědlým klíčkem dlouhým cca 10 (8–12 mm)	17
Bukvice s bílým klíčkem dlouhým do 4 mm	451
Bukvice s bílým klíčkem dlouhým cca 5 mm (4–8 mm)	159
Bukvice s plísni	36

Tab. 2: Varianty vyšetých bukvic a jejich počet

Bukvice byly na jaře r. 2019 vysety (bez polohování bukvic) na záhon v lesní školce Řečkovice Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP), Mendelovy univerzity v Brně (GPS: 49.2526183N, 16.5976836E). Byla zjišťována vzházivost 18, 28, 35 a 53 dnů po výsevu počítáním vzešlých semenáčků a na jaře r. 2020 byly jednoleté prostokořenné semenáčky ze záhonu vyzvednuty a byla hodnocena kvalita kořenového krčku dle obr. 1. Průběžný kořenový krček znamenal rovný přechod kmínku v hlavní křlový kořen; mírné S znamenalo mírné zvlnění v místě kořenového krčku, při němž podélné osy kmene a kořene ve zvlnění svíraly tupý nebo maximálně pravý úhel; u ostrého S docházelo k ostrému zlomu v místě kořenového krčku, při němž osy kmene a kmínku svíraly ostrý úhel; smyčka znamenala stočení kořene v místě kořenového krčku. Ve výsledcích je tvar průběžný a mírné S hodnocen jako přípustný a ostré S a smyčka jako nepřípustný dle ČSN 48 2115 (2006). Data byla zpracována v programu Excel MS Office



Obr. 1: Hodnocené tvary kořenového krčku (Skuhrová, 2021)

Pokus č. 2

Oddíl bukvic neznámého původu byl stratifikován a následně byla jedna jeho část předklíčena a část ponechána bez naklíčení. Bukvice byly roztríděny do 6 variant dle přítomnosti, velikosti a poškození klíčku dle tab. 3 a vysety špičkou/klíčkem dolů do sadbovačů Tubus Atro Rýmařov v Dykových školkách ŠLP (GPS: 49.3185550N, 16.7311444E) na jaře r. 2020. Každý týden po výsevu byla zjišťována vzházivost semenáčků počítáním vzešlých klíčnicích rostlin do konce června a na konci vegetačního období byly semenáčky vyzvednuty a byl hodnocen tvar jejich kořenového krčku dle obr. 1. Data byly zpracovány obdobným způsobem jako u pokusu č. 1.

Název varianty	Počet vysetých bukvic (ks)
Bukvice s malým bílým klíčkem (do 3 mm)	112
Bukvice s velkým hnědým klíčkem (nad 5 mm)	112
Bukvice s ulomeným klíčkem	112
Bukvice nenaklíčené	112
Bukvice s dvěma klíčky	23
Bukvice s klíčkem nepronikajícím otvorem klovým (abnormálně klíčíci)	1

Tab. 3: Varianty a počty vysetých bukvic

Pokus č. 3

Pro 3. testování byl použitý oddíl bukvic původem z Lesní správy Šternberk (tab. 4). Životnost tohoto oddílu po stratifikaci byla vysoká (96 %), ale klíčivost poměrně nízká (55 %).

Průvodní list			Číslo uznané jednotky	Číslo potvrzení o původu	Název dodavatele
176	2020	VL	CZ-2-2B-BK -03379-29-4-M	CZ/208/36/2020	LČR LS Šternberk

Tab. 4: Údaje o původu testovaného oddílu bukvice

Bukvice byly roztrženy do 10 variant dle přítomnosti, velikosti a poškození klíčku, přičemž ulomení klíčku bylo simulováno jeho uštěpením:

- neklíčící bukvice
- puklá bukvice (v puklině viditelná radikula, která nepřesahuje oplodí)
- bukvice s rovným klíčkem 0–1 mm
- bukvice s rovným klíčkem 1–2 mm
- bukvice s rovným klíčkem 2–3 mm
- bukvice s rovným klíčkem 3–4 mm
- bukvice s rovným klíčkem >4 mm
- s ulomeným rovným klíčkem
- s ulomeným ohnutým klíčkem
- s ohnutým klíčkem, výsev klíčkem dolů (ne špičkou bukvice, směrodatný je směr klíčku)

Neklíčící bukvice byly vybírány přímo z naklíčených, tzn., byly to ty, které v průběhu naklíčování nebyly schopny vyklíčit a mohly být převážně neživotné. Na jaře r. 2021 byly bukvice vysety špičkou/klíčkem dolů do sadbovačů Tubus Atro Rýmařov v Dykových školkách ŠLP (GPS: 49.3185550N, 16.7311444E). Každá varianta byla vyseta do 3 sadbovačů s 28 buňkami; celkem tedy bylo vyseto 84 semen v každé variantě. Na konci vegetačního období byla zjišťována vzházivost počítáním vzešlých semenáčků, které byly rovněž vyzvednuty, a byl hodnocen tvar jejich kořenového krčku dle obr. 1. Data byla zpracována obdobným způsobem jako u pokusu č. 1.

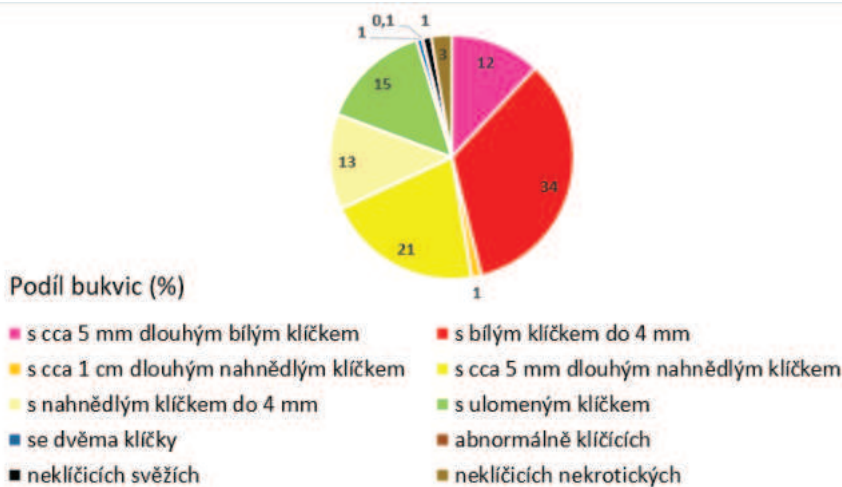
Pokus č. 4

Byly vybrány 4 plochy s přirozenou obnovou buku lesního s co nejvíce různorodými podmínkami. Dvě plochy v pohoří Jeseníky a dvě plochy na ŠLP u Brna (Česká republika). Plocha č. 1 v Jeseníkách spadá do lesního typu 5K2 (kyselá jedlová bučina – chudší) a plocha č. 2 do 5K4 (kyselá jedlová bučina – sušší). Obě se nachází v mýtních porostech s převahou smrku ztepilého. Plocha č. 3 na ŠLP je situována v lesním typu 3W1 (vápencová dubová bučina – modální) a v mateřském porostu převažuje buk lesní; plocha č. 4 patří do lesního typu 2B5 (bohatá buková doubrava) a zde dominuje dub zimní. Z náletu na těchto plochách bylo vyzvednuto 100 ks semenáčků do výšky 30 cm (ve výsledcích označovány jako malé) a 60 ks větších, cca 50 cm vysokých semenáčků (ve výsledcích označovány jako velké). U všech semenáčků byl hodnocen kořenový krček dle obr. 1 a data byly zpracovány obdobným způsobem jako v pokusu č. 1.

Výsledky

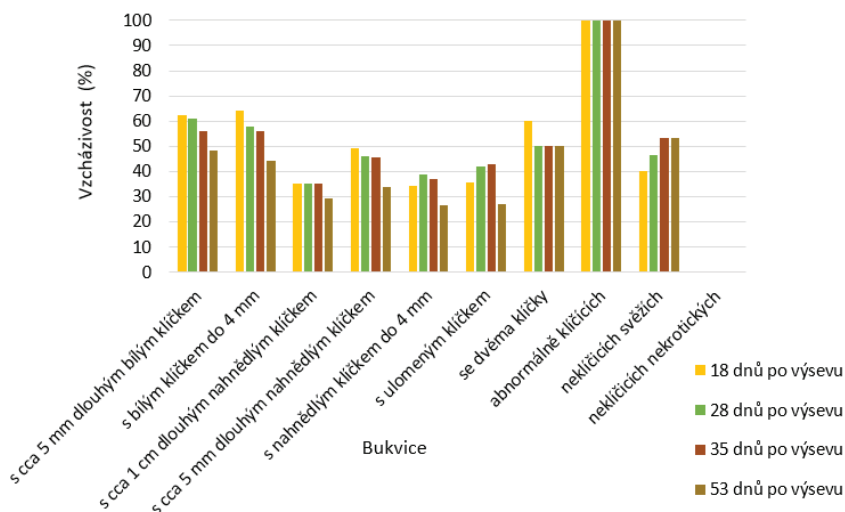
Pokus č. 1 (výsev na záhon bez polohování bukvic)

V testovaném oddílu osiva bylo 46 % bukvic s bílým nepoškozeným klíčkem, většinou do 4 mm délky; 35 % bukvic mělo nahnědlý klíček, většinou délky cca 5 mm; 15 % bukvic mělo ulomený klíček; 3 % bukvic bylo nekrotických; 1 % bukvic mělo 2 klíčky; 1 % bylo neklíčících a 1 bukvice klíčila abnormálně, tzn., že klíček nepronikal otvorem klovým (obr. 2). Z těchto výsledků vyplývá, že zhruba polovina bukvic nevykazovala známky poškození a zpravidla klíčila a polovina bukvic jevila známky poškození většinou nahnědlým klíčkem, relativně časté bylo i ulomení klíčku (15 %).



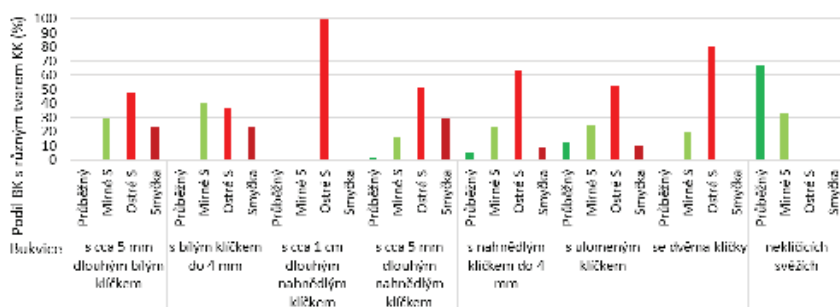
Obr. 2: Podíl bukvic v jednotlivých variantách přítomnosti, délky a poškození klíčku nebo poškození bukvice v oddílu testovaného osiva

Vzcházivost semenáčků na záhonu byla nejvyšší ve variantně abnormálně klíčících bukvic (obr. 3). Bylo to však dáno tím, že tato varianta byla zastoupena pouze jedinou bukvicí, která vyklíčila a i 53 po výsevu přežívala. Nicméně do konce vegetačního období tento semenáček odumřel. Je proto zřejmé, že abnormálně klíčící semena nejsou perspektivní pro pěstování rostlin. Druhou nejvyšší vzcházivost (více než 50 %) vykazovaly semenáčky vzešlé z bukvic, které před výsevem neklíčily. Podobná vzcházivost byla zaznamenána i u bukvic se 2 klíčky nebo bílým nepoškozeným klíčkem bez ohledu na jeho délku. Výrazně nižší vzcházivost (cca 30 %) vykazovaly semenáčky s poškozeným klíčkem, tedy nahnědlým bez ohledu na jeho velikost a s klíčkem ulomeným. Nekrotické bukvice nebyly schopny vzejít v semenáčky, zřejmě byly mrtvé (vzcházivost 0 %).



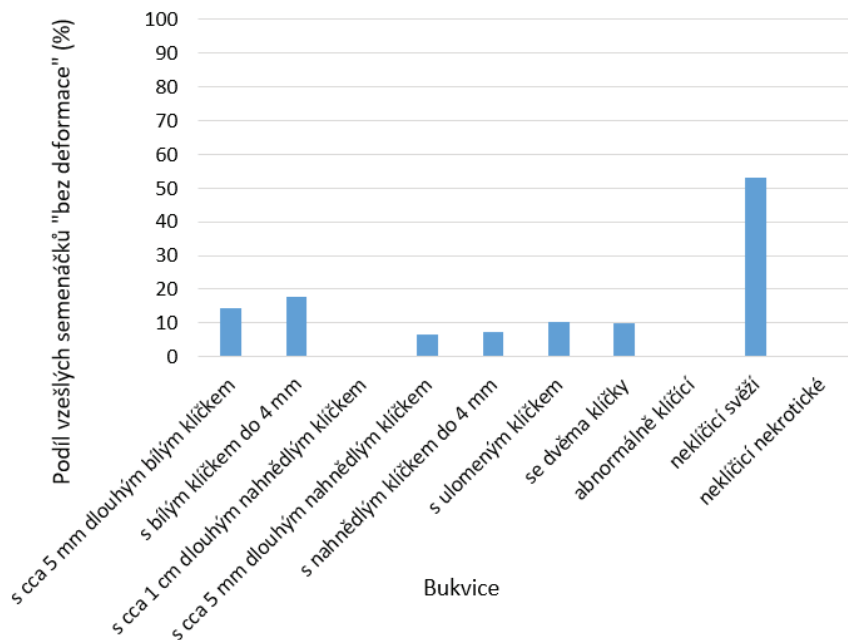
Obr. 3: Vzcházivost prostokořenných semenáčků buku lesního z bukvic v různých variantách přítomnosti, délky a poškození klíčků

Jedinou variantou, která při pěstování prostokořenného sadebního materiálu nevykazuje nežádoucí deformace v kořenovém krčku, jsou semenáčky vzešlé z bukvic, které před výsevem neklíčily (obr. 4). Vyšší podíl semenáčků s pouze mírně zvlněným kořenovým krčkem, tedy s přípustnou deformací, vykazovaly varianty bukvic s nepoškozeným bílým klíčkem oproti bukvicím s poškozeným klíčkem (nahnědlým, ulomeným či dvěma klíčky). U bukvic s nepoškozeným bílým klíčkem vzházelo více nedeformovaných rostlin ve variantě kratšího klíčku (do 4 mm) oproti delšímu klíčku (cca 5 mm).



Obr. 4: Podíl prostokořenných semenáčků buku s různým tvarem kořenového krčku vzešlých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčků

Nejvyšší podíl (více než 50 %) prostokořenných semenáčků bez deformace v kořenovém krčku byl zaznamenán ve variantě bukvic, které před výsevem neklíčily (obr. 5). V této variantě nebyly vůbec zaznamenány rostliny s deformací. V ostatních variantách vzešlo jen minimum semenáčků, které nevykazovaly deformace v kořenovém krčku (max. do 20 %), přičemž bukvice s nepoškozeným klíčkem dávaly více nedeformovaných rostlin (cca 15 %) než bukvice s poškozeným klíčkem (do 10 %).

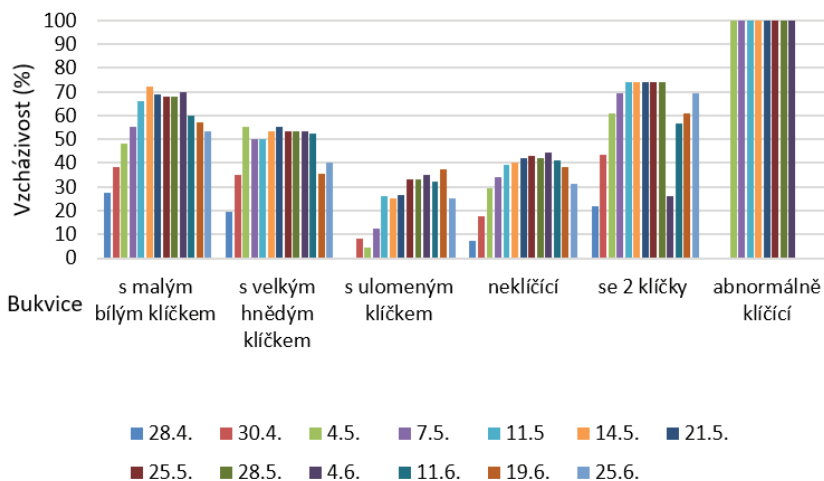


Obr. 5: Podíl prostokořenných semenáčků bez neúměrné deformace v kořenovém krčku vzešlých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčku

Pokus č. 2 (výsev bukvic do sadbovačů špičkou/klíčkem dolů)

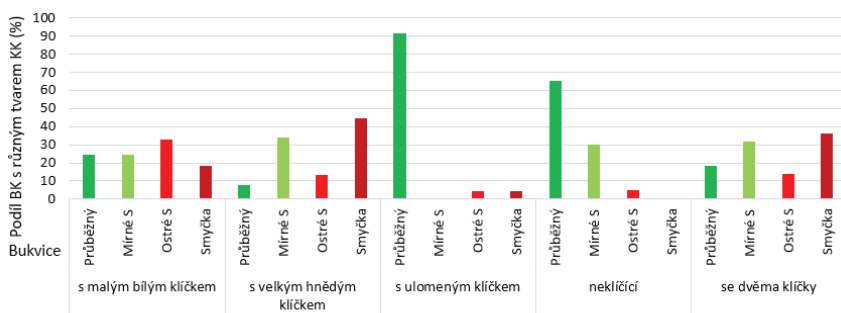
Vzcházivost semenáčků byla opět nejvyšší (100 %) ve variantně abnormálně klíčících bukvic (obr. 6). Bylo to však znovu dáno tím, že tato varianta byla zastoupena pouze jedinou bukvicí, která vyklíčila, po výsevu dlouho přežívala, nicméně do konce vegetačního období tento semenáček odumřel. Bylo tedy opět potvrzeno, že abnormálně klíčící semena nejsou perspektivní pro pěstování rostlin. Vzcházivost krytokořenných buků v sadbovačích po výsevu polohovaných (špičkou dolů) bukvic se dvěma klíčky byla vyšší (cca 70 %) oproti ostatním variantám, i když v průběhu vzcházení byla zaznamenána jejich vyšší mortalita a doplnění buňky druhou rostlinou. Vzcházivost více než 50 % byla zaznamenána u

semenáčků s malým a nepoškozeným bílým klíčkem, o 10 % nižší vzcházivost pak vykazovaly semenáčky z bukvic s poškozeným velkým hnědým klíčkem. Nejnižší vzcházivost (cca 30 %) měly rostliny vzcházející v sadbovačích z neklíčících bukvic nebo bukvic s ulomeným klíčkem.



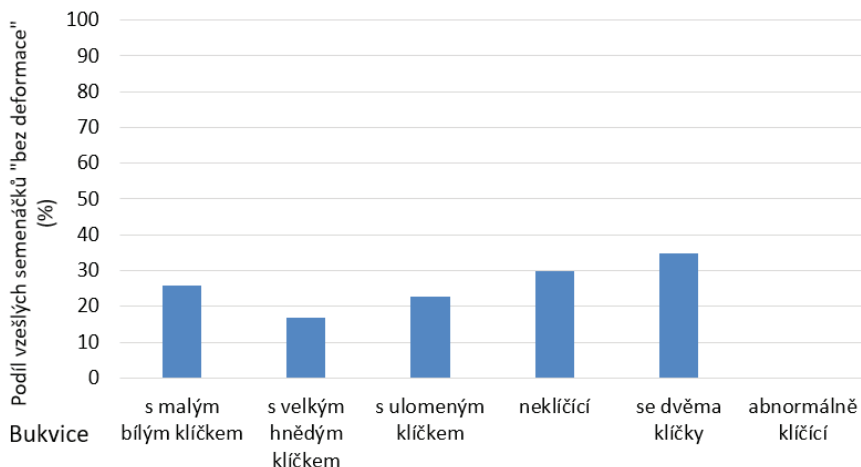
Obr. 6: Vzcházivost krytokořených semenáčků buku lesního z bukvic v různých variantách přítomnosti, délky a poškození klíčků

Variety, kde téměř všechny krytokořenné semenáčky rostly bez nepřipustné deformace v kořenovém krčku, jsou po výsevu neklíčících bukvic nebo bukvic s ulomeným klíčkem při polohování bukvice špičkou dolů (obr. 7). Varianty výsevu naklíčených bukvic vykazovaly zpravidla cca 50% zastoupení nepřipustných deformací v kořenovém krčku vzešlých semenáčků, přičemž nejlépe na tom byla varianta s malým bílým klíčkem, tedy klíčkem malé délky a bez poškození.



Obr. 7: Podíl krytokořených semenáčků buku s různým tvarem kořenového krčku vzešlých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčků

Vzhledem k tomu, že bukvice neklíčící a s ulomeným klíčkem vykazovaly malou vzcházivost semenáčků, ale velký podíl nedeformovaných rostlin a bukvice naklíčené vyšší vzcházivost, ale nižší podíl nedeformovaných semenáčků, tak výsledný podíl semenáčků odpovídající normě ČSN 48 2115 (2006) je podobný ve všech variantách vysetých bukvic (obr. 8). Přesto byl zaznamenán vyšší podíl nedeformovaných semenáčků po výsevu nepoškozených bukvic (neklíčící nebo s malým bílým klíčkem) než po výsevu bukvic s poškozeným klíčkem (nahnědlý nebo ulomený).

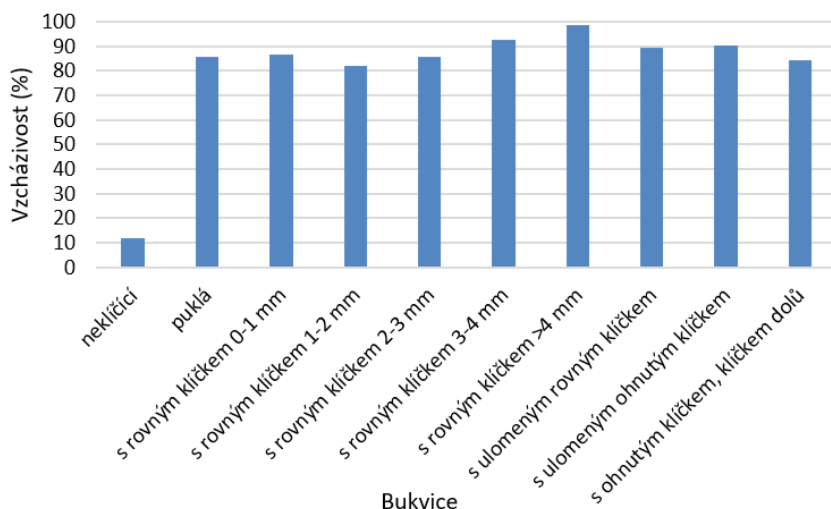


Obr. 8: Podíl krytokořenných semenáčků bez neúměrné deformace v kořenovém krčku vzešlých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčků

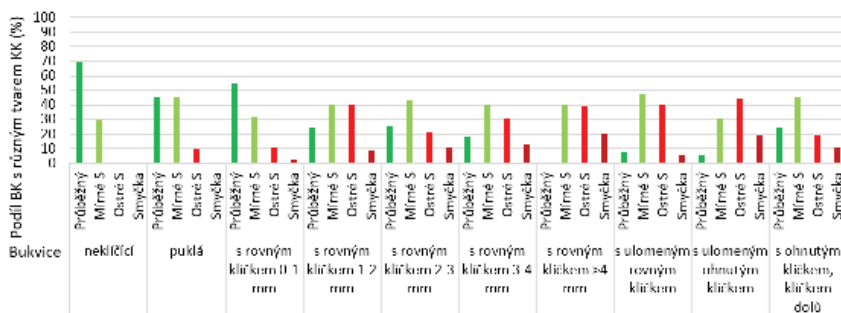
Pokus č. 3 (výsev bukvic do sadbovačů špičkou/klíčkem dolů)

Vzcházivost krytokořenných semenáčků z neklíčících polohovaných bukvic v pokusu č. 3 byla malá (obr. 9), neboť se nejedná o bukvice, která nebyly naklíčovány, ale o bukvice, které zbyly na konci naklíčování jako neklíčící, zřejmě protože většina z nich byla neživotná. Vzcházivost semenáčků z naklíčených polohovaných bukvic byla vysoká (cca 90 %) bez výrazných rozdílů v testovaných variantách délky či poškození klíčků.

Krytokořenné semenáčky bez deformace v kořenovém krčku vzešly pouze z bukvic, které před výsevem nebyly naklíčené (obr. 10). Minimální podíl deformovaných semenáčků (cca 10 %) byl zaznamenán po výsevu bukvic, které byly pouze puklé nebo rovný klíček přesahoval oplodí pouze 1 mm délky. Bukvice s klíčkem delším než 1 mm vzcházely v semenáčky s větším podílem (cca 50 %) deformací v kořenovém krčku, a to i v případě, že byl klíček ulomený. Čím delší je klíček, tím vyšší je podíl semenáčků se smyčkou v kořenovém krčku, která se tvoří ve vyšší míře i u bukvic s ohnutým klíčkem, i když byl před výsevem ulomený.

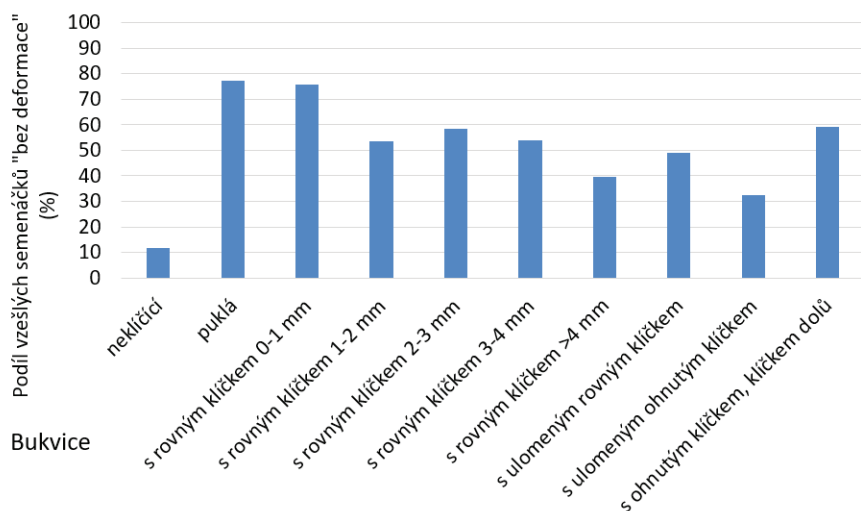


Obr. 9: Vzcházivost krytokořenných semenáčků buku lesního z bukvic v různých variantách přítomnosti, délky a poškození klíčků



Obr. 10: Podíl krytokořenných semenáčků buku s různým tvarem kořenového krčku vzešlých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčků

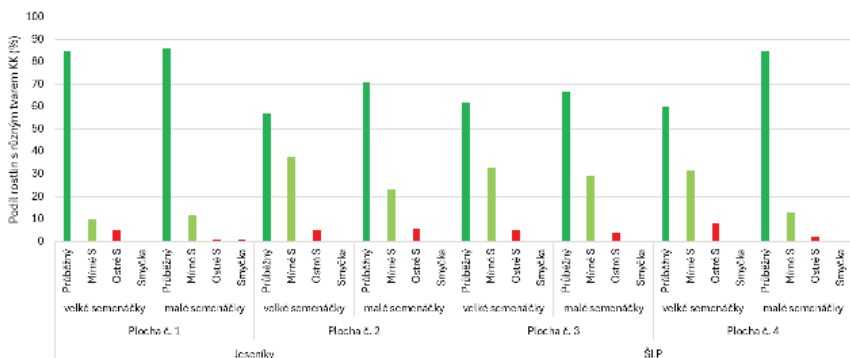
Podíl nedeformovaných rostlin byl nejnižší ve variantě neklíčících bukvic, které však zřejmě na konci naklíčování zůstaly v osivu nenaklíčené zejména pro svou nežitost (obr. 11). Nejvyšší podíl krytokořenných semenáčků buku vzešel z bukvic, které byly pouze málo naklíčené, tzn. puklé nebo s klíčkem do 1 mm délky. Delší klíček než 1 mm nebo ulomený klíček znamená, že z bukvic vzejde minimálně o 20 % méně semenáčků odpovídající normě ČSN 48 2115 (2006), tzn. nedeformovaných v kořenovém krčku.



Obr. 11: Podíl krytokořenných semenáčků bez neúměrné deformace v kořenovém krčku vzrslých z bukvic s různou přítomností, délkou a poškozením klíčku

Pokus č. 4 (hodnocení semenáčku buku z přirozené obnovy)

Většina semenáčků z přirozené obnovy na všech výzkumných plochách nevykazuje závažné deformace v kořenovém krčku; podíl semenáčků s deformací je cca 5 % (obr. 12). Nebyl potvrzen rozdíl v četnosti deformací mezi velkými a malými semenáčky, tedy že by se deformace s věkem a růstem zhoršovaly či mírnily.



Obr. 12: Podíl semenáčků buku z přirozené obnovy s různým tvarem kořenového krčku

Závěr

Výsev naklíčených semen bývá řešením pro zajištění vysoké plnosti buněk při pěstování krytokořenného sadebního materiálu, neboť často neznáme kvalitu

bukvic nebo víme, že kvalita není dostatečná. Naklíčené bukvice však také skýtají nebezpečí v tvorbě semenáčků s deformacemi v kořenovém krčku. Proto byl testován výsev naklíčených bukvic bez polohování (na záhon při pěstování prostokořenného sadebního materiálu), s polohováním špičkou či klíčkem dolů (do sadbovačů při pěstování krytokořenného sadebního materiálu), s různou délkou klíčků, s různým poškozením klíčků (nahnědlý, ulomený) a s různými abnormalitami klíčení (2 klíčky, klíček mimo otvor klovy). Z dosažených výsledků lze konstatovat, že:

- pouze nedeformované rostliny vzcházejí jen z nenaklíčených bukvic,
- naklíčené bukvice není možné vysévat na záhon bez polohování (špičkou/klíčkem dolů, pěstování prostokořenných rostlin), neboť podíl vzešlých nedeformovaných semenáčků je minimální (do 20 %),
- naklíčené bukvice je možné využít pro pěstování krytokořenného sadebního materiálu pouze u oddílů vysoké kvality, a to při délce klíčku optimálně do 1 mm bez poškození a zakřivení,
- poškození klíčku (hnědnutí, ulomení) znamená menší podíl vzešlých rostlin s nedeformovaným kořenovým krčkem,
- dlouhý a ohnutý klíček znamená vyšší podíl smyčky v kořenovém krčku, tedy následnou tvorbu strboulu (nejzávažnější deformace kořenového systému),
- nekrotické bukvice a bukvice abnormálně klíčící jsou neproduktivní,
- v přirozené obnově je tvorba rostlin s deformací v kořenovém krčku minimální (cca 5 %), většina rostlin nevykazuje závažné deformace.

Pro pěstování krytokořenného sadebního materiálu buku lesního bychom měli využívat pouze oddíly osiva s vysokou klíčivostí a optimálně vysévat bukvice nenaklíčené. To znamená dbát na jejich pečlivou manipulaci, skladování, čištění, třídění a zejména předosevní přípravu. Pokud však chceme vysévat naklíčené bukvice, tak optimálně s malým (do 1 mm dlouhým), nepoškozeným (rovným, bílým, svěžím) klíčkem nebo jen puklé bukvice. Jakékoliv poškození (hnědnutí, ulomení) nebo delší klíček znamená nižší podíl rostlin bez deformace v kořenovém krčku po vzejití.

Poděkování

Příspěvek by zpracován na základě institucionální podpory Mendelovy univerzity v Brně, osivo pro testování věnoval Semenářský závod Týniště nad Orlicí (Lesy České republiky, s. p.).

Literatura

- ČSN 48 1211. 2006: Lesní semenářství. Norma. Český normalizační institut, 56.
- Dušek, V. 1997: Lesní školkařství. Matice lesnická, 46.
- Fuchs, Z., Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., Šimůnek, V., Štefančík, I., Brabec, P., Králíček, I. 2024: European beech (*Fagus sylvatica* L.): A promising candidate for future forest ecosystems in Central Europe amid climate change. Central European Forestry Journal 70: 62–76.

- Kalemba, E., Bagniewska-Zadworna, A., Suszka, J., Pukacka, S. 2019. Dehydration sensitivity at the early seedling establishment stages of the european beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forests* 10(10): 900.
- Malinová, M., Procházková, Z., Panáčková, S. 2006: Vliv délky zakřivení primárního kořínku (radikuly) bukvic a pozice bukvic v substrátu při sázení na možnou tvorbu deformací kořenového krčku bukových semenáčků. *Zprávy lesnického výzkumu* 51(3): 157–161.
- Remeš, J., Pulkráb, K., Bílek, L., Podrázský, V. 2020: Economic and production effect of tree species change as a result of adaptation to climate change. *Forests*. 11(4): 431.
- Skuhrová, E. 2021: Vývin kořenového systému semenáčků buku (*Fagus sylvatica* L.) po výsevu bukvic s různým poškozením klíčů. *Bakalářská práce*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 97.
- Vacek, Z., Vacek, S., Slanař, J., Bílek, L., Bulušek, D., Štefančík, I., Králíček, I., Vančura, K. 2019: Adaption of Norway spruce and European beech forests under climate change: from resistance to close-to-nature silviculture. *Central European Forestry Journal* 65: 129–144.
- Volná, M. 1975: Reakce dřevin na poškození ve fázi klíčení. *Výzkumná zpráva*. Lesnická fakulta Vysoké školy zemědělské v Brně, 49–61.
- Zeman, M. 2019: Nové technologie v semenářském závodě Týniště nad Orlicí. In: Houšková, K., Jan, D. (eds.): *Pěstování sadebního materiálu pro zalesnění kalamitních holin*, Mendelova univerzita v Brně, 31–38.

Kontakt

Ing. Kateřina Houšková, Ph.D.

Ing. Petra Kadlecová

Ing. Eliška Skuhrová

Milan Kubíček

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav zakládání a pěstění lesů

Zemědělská 3, 613 00 Brno

email: katerina.houskova@mendelu.cz, petra.kadlecova.uzpl@mendelu.cz,

skuhrovi@email.cz, xkubice4@mendelu.cz

Ing. Martin Baláš, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů

Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchbát

email: balas@fld.czu.cz

VÝBER A CHARAKTERIZÁCIA KVALITNÉHO REPRODUKČNÉHO MATERIÁLU DUBA ČERVENÉHO (QUERCUS RUBRA L.) V NEMECKU S OHĽADOM NA ODOLNOSŤ VOČI STRESU ZO SUCHA

**Ute Tröber, Marie Brückner, Matthias Meyer, Ralf Kätzel,
Charalambos Neophytou**

Abstrakt

Dub červený (*Quercus rubra* L.) bol do Európy introdukovaný už pomerne dávno a v súčasnosti sa v nemeckom lesníctve ukazuje ako jeden z druhov odolných voči extrémom počasia. Možnosť rastúceho významu v rámci klimatických zmien predpokladá vedomosti o vhodnom reprodukčnom materiáli a jeho dostupnosti. Spojený projekt RubraSelect sa zaoberal charakterizáciou genetického a fyziologického potenciálu porastov duba červeného v Nemecku. Mikrosatelitové analýzy naznačujú pôvod väčšiny analyzovaných populácií z obmedzenej oblasti okolo Veľkých jazier. V priemere ukazujú vysokú genetickú diverzitu, hoci sa vyskytli značné rozdiely medzi porastmi. Na produkciu kvalitného a adaptabilného reprodukčného materiálu sa odporúča získanie osiva z veľkého počtu rôznych porastov a založenie semenných sádov.

Kľúčové slová

biomarkery, mikrosatelitové analýzy, reprodukčný materiál, *Quercus rubra* L., test potomstva

Úvod

V Nemecku, od začiatku 18. storočia, introdukovaný dub červený (*Quercus rubra* L.) sa v podmienkach klimatických zmien považuje za jeden z druhov drevín s rastúcim potenciálom do budúcnosti, okrem iného aj kvôli jeho zvýšenej odolnosti voči stresu zo sucha a požiarom. Napriek takmer 300-ročnej lesníckej histórii tejto dreviny v Európe a solídnym znalostiam vzhľadom na biologické základy, rast, stanovištné požiadavky, pestovanie, vlastnosti dreva atď. doteraz vieme len málo o európskych populáciách z hľadiska genetickej variability a fyziologickej plasticity. Spoločný projekt RubraSelect rôznych nemeckých inštitúcií má za cieľ prispieť k vytvoreniu základu pre budúce zásobovanie trhu vysokokvalitným a adaptabilným reprodukčným materiálom. Cieľom je opísať genetickú variáciu a rámec fyziologických reakcií, aby sa dali vyvodiť závery o vhodnosti reprodukčného materiálu a popísať spôsoby jeho produkcie.

Popis dreveny *Quercus rubra*, LINNÉ 1753

Prirodzené rozšírenie a požiadavky

Prirodzený areál duba červeného sa nachádza vo východnej časti Severnej Ameriky, kde je rozšírený na stanovištiach so širokou škálou klimatických a chemicko-fyzikálnych vlastností. Množstvo ročných zrážok sa pohybuje od 600 – 760 mm na severozápade až do 2030 mm južne od Apalačských vrchov (Dreßel & Jäger, 2002). Čo sa týka teplôt, dokáže rásť v podmienkach chladnej zimy (januárový priemer -14 °C), ale aj horúceho leta (júlový priemer do 26 °C). Dub červený rastie na ílovitej, hlinitej, ale aj na piesočnatej až štrkovitej pôde, vyhýba sa však stanovištiam s vysokým obsahom uhličitanov. Vyskytuje sa na stanovištiach s veľmi odlišným zásobovaním vodou. Suchým a podmáčaným miestam sa vyhýba, ale aj tam dokáže existovať.

Ekologické a biologické vlastnosti

Dub červený je 25 – 40 m vysoký, pomerne rýchlo rastúci strom s hladkou kôrou, ktorá sa vekom zdršňuje a ryhuje. Má predĺžené, 10 – 22 cm dlhé listy, s nepravidelnými zubatými lalokmi. Raší od polovice apríla do polovice mája (Bauer, 1953). V jeseni sa listy veľmi dekoratívne zafarbia do oranžovej až červenej.

Kvety sú jednodomé a objavujú sa krátko pred alebo s rašením listov. Plodenie začína od veku 25 rokov a objavuje sa v dvoj- až trojročnom cykle (Elias, 1980), pričom silnejšie plodenie jednotlivcov v porastoch nie je časovo synchronizované. Plody dozrievajú až v druhom roku od polovice septembra do novembra. Spočiatku kmeňový koreňový systém sa mení na srdcový koreňový systém, v ktorom silnejú horizontálne a diagonálne korene.

Dub červený má špeciálne morfológické a fyziologické schopnosti adaptácie na poruchy, napr. dokáže prežiť pod hustým porastom a reagovať na medzery v poraste. Keď je vystavený svetlu zboku, často rastie krivo smerom k svetlu.

V porovnaní s domácimi drevinami - dub letný a dub zimný - sa *Q. rubra* vyznačuje niektorými pozitívnymi lesníckymi vlastnosťami: rastový výkon je o 20 – 50 % vyšší s kratším rotačným obdobím 80 – 100 rokov), tolerancia voči suchu je vyššia (Kätzel et al., 2020) a nároky na živiny sú nízke, tak že sa uplatňuje na širokej stanovištnej amplitúde. Dá sa využiť pre odolné bariéry proti víchricam a lesným požiarom. Dub červený tvorí štruktúrne bohaté porasty a dobre sa uplatňuje aj v zmiešaných porastoch s inými druhmi znášajúcimi tieň. Jeho ťažké, tvrdé a stredne pevné drevo sa dá využiť na množstvo rôznych účelov.

Otázka invázivnosti a pozície v ekosystéme je v Nemecku veľmi intenzívne a aj kontroverzne diskutovaná. Potenciál stať sa invázivou drevinou bol preukázaný na niekoľkých veľmi vzácnych stanovištiach, ako sú napríklad pieskovcové skaly v Saskom Švajčiarsku (Dreßel & Jäger, 2002). Tam existuje riziko škodlivého vplyvu na domáci dub zimný, lebo rastie rýchlejšie a potom ho zatieni. Ale mimo takých miest je potenciál šírenia nízky z rôznych dôvodov: nevytvára koreňové výmladky a má ťažké plody, ktoré si klíčivosť udržujú len krátko. Často je ohryzaný zverou a preukazuje nízku konkurencieschopnosť v porovnaní s pôvodnými druhmi

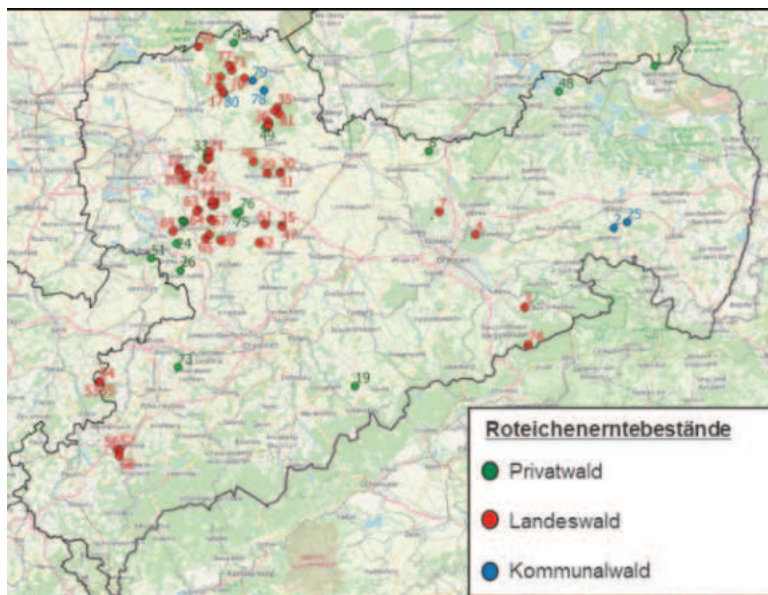
tieňomilných drevín (buk obyčajný, hrab obyčajný, lipa malolistá).

Preto, na vhodných stanovištiach, môže byť dub červený faktorom na zlepšenie odolnosti lesných ekosystémov voči narušeniam a prispievať k udržaniu základných ekosystémových funkcií lesa (Wagner, 2004).

V Sasku sa vyskytuje dub červený prevažne v nížinách v severnej časti. Existuje 82 porastov uznaných ako selektovaný zdroj podľa FoVG (nemecký zákon o LRM), s priemernou veľkosťou 2,40 ha. Hoci najväčší porast má výmeru 14,50 ha, väčšina (74) porastov má menej ako 5,00 ha. Prevažný podiel (72 %) patri štátnym lesom (1). Momentálne je, podľa pokynov pre štátnu finančnú podporu pri konverzii lesov a počiatočnom zalesňovaní, možné podporovať dub červený s podielom do 20 % v zmiešaných porastoch a do 50 % v protipožiarnych pásoch, pričom oblasti na ochranu prírodnej flóry sú vylúčené.

Projekt RubraSelect

Zabezpečenie geneticky kvalitného a vhodného reprodukčného materiálu si vyžaduje znalosť pôvodu v Amerike, ako aj genetickej štruktúry stredoeurópskych populácií. V projekte RubraSelect spolupracovali inštitúcie SRN z viacerých nemeckých spolkových krajín (<https://www.rubraselect.de>, Ardao Rivera et al., 2023) v dvoch skupinách. Skupina A (Universita Göttingen, Thünen Institut) mala za cieľ charakterizovať genetický základ rastovej výkonnosti a tolerance voči suchu u duba červeného. Skupina B (Lesnícke výskumné ústavy vo Freiburgu, Hannoversch - Münden, Eberswalde a Sachsenforst) sa sústredila na selekciu a charakterizáciu zdrojov pre produkciu vysokokvalitného a prispôsobivého reprodukčného materiálu duba červeného.



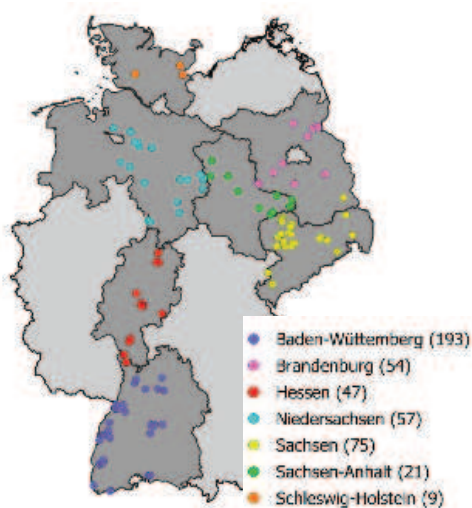
Obrázok 1: Prehľad porastov uznaných podľa FoVG (Zákon o LRM) v Sasku. Zelené: súkromné, červené: štátne, modré: komunálne lesy

Selekcia porastov a výberových stromov

Vyhľadávanie výberových stromov sa obmedzilo na porasty a výskumné plochy v Nemecku. Cieľom bolo vyselektovať 200 výberových stromov, pre ktoré sa mali založiť testy potomstiev ako séria výskumných plôch. Vzhľadom na časové obmedzenie projektu a nepredvídateľnú fruktifikáciu sa v prvom kroku vybralo oveľa viac kandidátskych stromov prejavujúcich vynikajúce fenotypické znaky (2). Porasty mali mať minimálny vek 40 rokov, minimálnu plochu dreviny 0,25 ha alebo minimálny podiel 50 % duba červeného v zmiešaných porastoch. Porasty uznané pre zber semena v štátnom vlastníctve sa zohľadňovali prednostne. Aby sa eliminovali príbuzenské vzťahy medzi vyselektovanými genotypmi, v každom poraste sa vybrali max. 3 stromy, výnimočne 5 stromov.

Zber semena, pôvodne naplánovaný na rok 2022, sa musel preložiť na rok nasledujúci, pretože v roku 2022 väčšina úrody pre veľmi suché leto nedozrela a predčasne opadala. V jeseni 2023 sa podarilo získať potomstvá z 208 výberových stromov, resp. kandidátov, pričom sa ukázala náročnosť pri zbere semien z jednotlivých stromov bez primiešania osiva zo susedných stromov. Z osiva sa vypestovali sadenice pre založenie pokusných pôch na test potomstiev (Wenzel et al., 2025).

Značná časť zo 456 celkovo vybraných genotypov sa rozmnožovala vrúbľovaním, aby sa mohli založiť dva semenné sady obsahujúce minimálne 100 klonov (Wenzel et al., 2025).



Obrázok 2: vľavo: Výberové a kandidátske stromy selektované v projekte RubraSelect (Wenzel et al., 2025), vpravo: príklad výberového stromu v uznanom poraste v revíri Horstsee (Sasko)

Charakterizácia genetickej a fyziologickej premenlivosti

Genetické analýzy

Pre analýzy sa vybralo 15 jadrových a 5 chloroplastových mikrosatelitových markerov (Neophytou et al. 2025), ktorými sa analyzovali:

- (1) všetky výberové a kandidátske stromy,
- (2) potomstvá 40-tich výberových stromov, ktoré boli súčasťou experimentu so stresom zo sucha v kontrolovaných podmienkach,
- (3) 15 nemeckých populácií po 100 dospelých jedincov,
- (4) dva malé a dva veľké porasty s intenzívnym vzorkovaním dospelej generácie a potomstiev z 20 stromov
- (5) vzorky z provenienčných pokusov zo 14-tich proveniencií z pôvodného areálu duba červeného.

Okrem informácií o pôvode populácií v Nemecku sa z výsledkov očakávajú poznatky o genetickej diverzite porastov. Odpovede na otázky, či porasty pochádzajú z rôznych častí areálu, kde sa možno prispôbili odlišným klimatickým podmienkam, či porasty v Nemecku majú dostatočne veľkú variáciu a tým aj základ na adaptáciu v meniacom sa prostredí, či sa tie porasty prvej a druhej generácie po introdukcii začnú diferencovať podľa podmienok prostredia (teplota, voda) a v akej miere odovzdávajú genetické informácie ďalšej generácii v závislosti od veľkosti porastu, sú zásadné pre rozhodnutia k získavaniu reprodukčného materiálu.

Počiatkové výsledky analýzy molekulárno-genetických markerov naznačujú, že semená duba červeného dovezené do Európy pochádzali prevažne zo severnej až severovýchodnej časti areálu rozšírenia. Podobné výsledky boli potvrdené aj v iných štúdiách (Mercero et al., 2017, Pettenkofer et al., 2019). Malá variácia medzi vzorkami naznačuje, že semená boli zozbierané v relatívne malej oblasti (4). Podľa predbežných výsledkov vykazujú skúmané porasty duba červeného v Nemecku vysokú genetickú variabilitu, ktorú výberové stromy reprezentujú (Neophytou et al., 2025). Na druhej strane, genetická diverzita v porastoch sa môže značne líšiť bez ohľadu na ich veľkosť, preto je použitie mnohých rôznych semenných porastov základom pre vysokú genetickú diverzitu v ďalšej generácii. Aby sa predišlo blízkemu príbuzenstvu a tým aj riziku inbrídingu v semenných porastoch, je vhodné založiť semenné sady s mnohými rôznymi genotypmi (Wenzel et al., 2025). Materiál vypestovaný v projekte RubraSelect tak tvorí dobrý základ pre budúcu produkciu vysokokvalitného rozmnožovacieho materiálu.

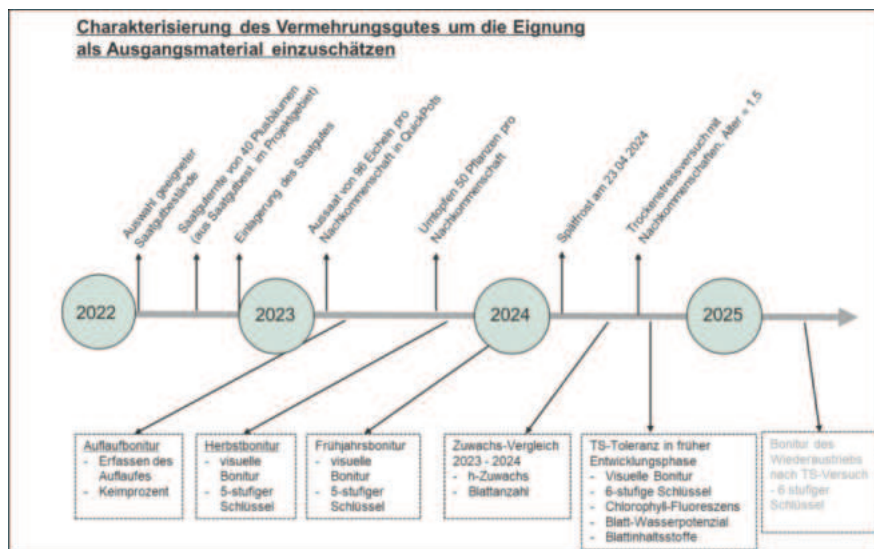
Fyziologický výskum

V rokoch 2022 a 2023 bolo 314 výberových, resp. kandidátskych stromov zo 107 porastov duba červeného v siedmych spolkových krajinách posúdených vizuálne (preriedenie koruny, obsah odumretého dreva a výmladky (vlky) v korune a kmeni, poškodenie listožravým hmyzom) a tiež boli vypracované biochemické profily na základe analýz listov. Cieľom štúdie bolo, okrem iného, vyhodnotiť vitalitu a adaptáciu výberových stromov na klímu a urobiť selekciu pre testy potomstva.

Napriek prevažne vynikajúcemu rastovému výkonu týchto stromov v minulosti, počas dvoch rokov zaznamenávania došlo u niektorých k značným stratám listov v korunách, ktoré boli často spôsobené hmyzom. Skúmané biochemické zložky listov (chlorofyly, karotenoidy, rozpustné sacharidy, škrob, Askorbát, GABA, bielkoviny, aminokyseliny, fenolové zložky atď.) a odvodené biochemické profily boli hodnotené pre jednotlivé stromy pre každý rok štúdie. Najmä suché leto v roku 2022 (n=202 jednotlivých stromov) umožnilo rozlíšenie podľa lokality, resp. federálnej krajiny. Všetky výberové stromy sa dali rozdeliť do štyroch rôznych fyziologických zhlukov (vzorcov biomarkerov), ktoré sa vyskytovali s rôznou frekvenciou v celej krajine. ďalšiu možnosť fenotypizácie výberových stromov poskytol výpočet indexu biochemickej vitality (BVI) na základe referenčných hodnôt špecifických pre drevinu, ktoré sa museli odvodiť pre každý biomarker. Na základe príslušných vzorcov biomarkerov, hodnôt BVI a vizuálneho stromového hodnotenia bolo možné hodnotiť stromy z hľadiska ich vitality (Kätzel et al., 2025).

Skúmanie morfológických a fyziologických vlastností

Výskum rastového správania, ako aj fenologických charakteristík a charakteristík stresu spôsobeného suchom u potomstva z voľného opelenia môžu odhaliť poznatky o adaptačne relevantných charakteristikách vybraných dubov červených.



Obrázok 3: Chronologické znázornenie najdôležitejších pracovných krokov a poveternostných udalostí počas pestovania potomstva výberových stromov z vybraných porastov projektu RubraSelect, ako aj sezónne po sebe idúce hodnotenia a stresový test suchom v experimentálnom skleníku (Brückner et al., 2025)

Vypestovanie sadeníc z osiva 40-tich výberových stromov a nasledujúce skleníkové pokusy umožnili komplexný opis potomstva s cieľom posúdiť vplyv viacerých stresových udalostí na materiál a jeho vhodnosť pre určité podmienky (Obrázok 3). Test potomstva v skleníku, počas ktorého sa časť rastlín vysušila a druhá časť dostala normálne zavlažovanie (kontrola), trval šesť týždňov po 14 dňovej aklimatizácii v lete 2024 (Brückner et al. 2025, Obrázok 4).

Tieto rastliny boli podrobené fenotypovému pozorovaniu. Na niektorých jedincoch sa vykonali analýzy biomarkerov podobné tým, ktoré sa použili pre výberové stromy.

Experimenty však naznačujú, že proces genetickej adaptácie populácie nebol od zavedenia duba červeného v Nemecku ukončený a že pri výbere zdrojov lesného reprodukčného materiálu je potrebné zohľadniť charakteristiky porastov. Doterajšie výsledky neposkytujú žiadny základ pre rozdelenie populácií do dvoch rôznych šľachtiteľských zón podľa ekologických kritérií ako je dostupnosť vody.



Obrázok 4: Vľavo: V projektovej oblasti bolo vybraných 18 porastov na ďalšiu charakterizáciu genetických štruktúr pomocou chloroplastových a jadrových mikrosatelitných markerov. Vpravo: Experiment s vysušovaním s 960 jedincami z viac ako 40-tich stromov v skleníku na testovanie správania pri nedostatku vody (foto SBS)

Závery

Na porovnanie potomstiev veľkého počtu výberových stromov duba červeného a na kvantifikáciu dedičných vlastností príslušných materských stromov sa vykonávajú testy potomstva. V Nemecku sa založilo na jar 2025 šesť pokusných plôch obsahujúce viac ako 100 potomstiev, jedna plocha sa nachádza v Sasku. Vyvinutý experimentálny dizajn má umožniť prenos do neskorších semenných sádov. Plán je taký, že po ukončení pokusu sa budú selektovať a odstraňovať potomstvá a jedince s nevhodnými vlastnosťami, pričom na ploche zostanú iba jedince, ktoré umožnia produkciu vhodného a vysokokvalitného rozmnožovacieho materiálu.

Podakovanie

ďakujeme všetkým kolegom v projekte RubraSelect, ktorí prispeli k zberu a spracovaniu dát, spoľahlivo pracovali v teréne a v laboratóriách. Jörnovi Erbacherovi a Eve Ardao-Riverovej ďakujeme za koordináciu aktivít v projekte.

Projekt RubraSelect (Výber a charakterizácia vysokokvalitného rozmnožovacieho materiálu pre dub červený (*Quercus rubra* L.) s ohľadom na toleranciu voči stresu zo sucha) získal finančné prostriedky od Spolkového ministerstva poľnohospodárstva a potravín a Spolkového ministerstva životného prostredia, ochrany prírody, jadrovej bezpečnosti a ochrany spotrebiteľa Spolkovej republiky Nemecko na základe uznesenia nemeckého Spolkového snemu. Financovanie poskytla Agentúra pre obnoviteľné zdroje (FNR) v rámci usmernení pre financovanie z Lesného klimatického fondu (kód financovania FKZ 2220WK03G4 pre podprojekt SBS).

Literatúra

- Ardao Rivera E., Cao X.H., Becker F., Bilela-Eckert S., Braun A., Brückner M., De Abreu I., Erbacher J., Feussner I., Feussner K., Gailing O., Hofmann M., Kätzel R., Kelly A., Kleinschmit J., Kormann J., Lamprecht N., Liepe K.J., Liesebach M., Löffler S., Neophytou C., Riedel D., Schildbach M., Steiner W., Töppe M., Tröber U., Watermeier M., Wolf H., 2023: "Roteiche im Klimawandel: Grundlagen zur Züchtung unter Berücksichtigung der Trockenstresstoleranz". Thünen Report 105:244-256, DOI:10.3220/REP1681451577000
- Bauer F., 1953: Die Roteiche zwischen schwacher und starker Durchforstung. Allgemeine Forstzeitschrift, 8, 108-109
- Dreßel R., Jäger E. J., 2002: Beiträge zur Biologie der Gefäßpflanzen des herzynischen Raumes; 5. *Quercus rubra* L. (Roteiche): Lebensgeschichte und agriophytische Ausbreitung im Nationalpark Sächsische Schweiz. Hercynia N. F. 35, S.37-64
- Elias T. S., 1980: The complete trees of North America. Field guide and natural history. Van Nostrand Reinhold Company & Times Mirror Magazines Inc.
- Göhre K., Wagenknecht E., 1955: Die Roteiche und ihr Holz. Berlin: Deutscher Bauernverlag; S.300
- Kätzel R., Schröder J., Becker F., Leinemann L., Grüll M., Hosius B., Löffler S., 2020: „Die Rot-Eiche (*Quercus rubra* L.) Von der Ersatzbank ins Spielfeld?“, Eberswalder forstliche Schriftenreihe; S. 95-106
- Pettenkofer T., Burkhardt K., Ammer C., Vor T., Finkeldey R., Müller M., Krutovsky K., Vornam B., Leinemann L., Gailing O., 2019): Genetic diversity and differentiation of introduced red oak (*Quercus rubra*) in Germany in comparison to reference native North American populations, European Journal of Forest Research, <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01167-5>.
- Roloff A., 2025: Baum des Jahres 2025: die Roteiche, AFZDerWald, 4/2025
- Wagner S., 2004: Klimawandel – einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. Forst und Holz 59, 394-398
- Neophytou C., Jansen S., Lee F., Brückner M., Bilela-Eckert S., Tröber U., 2025: Untersuchung der Herkunft und genetischen Vielfalt der Roteiche (*Quercus*

- rubra L.) in Mitteleuropa als Grundlage für zukünftige Züchtung. Thünen Report 119:123-137, DOI:10.3220/253-2025-23
- Wenzel J., Watermeier M., Ardao Rivera E., Becker F., Bilela-Eckert S., Braun A., Brückner M., Erbacher J., Kätzel R., Kleinschmit J., Löffler S., Meyer M., Neophytou C., Riedel D., Steiner W., Töppe M., Tröber U., Hofmann M., 2025: Anlage einer Pfropflings-Samenplantage zur Erzeugung von hochwertigem Vermehrungsgut am Beispiel der Roteiche (*Quercus rubra* L.). Thünen Report 119:138-147, DOI:10.3220/253-2025-23
- Kätzel R., Becker F., Frank E., Häuser H., Bing J., Löffler S., † 2025: Phänotypisierung und Differenzierung von Plusbäumen der Rot-Eiche. Thünen Report 119:148-167, DOI:10.3220/253-2025-23
- Brückner M., Meyer M., Tröber U., Lassig F., 2025: Phänologische und physiologische Bonitur von Plusbaum-Nachkommenschaften der Rot-Eiche in der Sämlingsphase. Thünen Report 119: 181-193, DOI:10.3220/253-2025-23

Kontakt

BMARIE BRÜCKNER, Dr. MATTHIAS MEYER, UTE TRÖBER

Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft,
Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Bonnewitzer Str. 34, D-01796
Pirna OT Graupa

Kontakt: ute.troeber@smekul.sachsen.de

Prof. Dr. RALF KÄTZEL

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Fachbereich Waldökologie und
Monitoring, Alfred-Möller-Str. 1, D-16225 Eberswalde

Dr. CHARALAMBOS NEOPHYTOU

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA BW),
Abteilung Waldnaturschutz, Wonnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg

REAKCIE REPRODUKČNÉHO MATERIÁLU NA PRÍTOMNOSŤ DREVNÉHO POPOLA A CELULÓZNEHO KALU

Vladimír Mačejovský, Elena Takáčová, Martin Belko, Ivan Horvát, Slavomír Strmeň, Slávka Tóthová, Dagmar Bednárová

Abstrakt

Drevná hmota na Slovensku, ktorá je prevažne využívaná na energetické účely, je zároveň používaná aj v priemysle celulózy a papiera, pričom obe spracovania sú zdrojom tvorby odpadov vo forme drevného popola a papierenského kalu. Tieto odpady (popol a kal) sa už v minulosti opätovne využívali ako hnojivo na poľnohospodárskych pôdach, kde už potvrdili svoju prospešnosť pri správnom manažmente. Predkladaná práca sa zameriava na vplyv na klíčivosť semien a počiatočný vývoj semenáčikov po opätovnom využití drevného popola a celulóзовého kalu pri druhoch *Pinus sylvestris* L., *Larix decidua* Mill. a *Fagus sylvatica* L..

Na základe získaných výsledkov sme nezistili žiadny pozitívny ani negatívny vplyv prítomnosti popola na klíčivosť či fenologický priebeh rastu semenáčikov. Rozdiely vo fenológii, ktoré sa objavili, pravdepodobne súvisia s kvalitatívnymi vlastnosťami samotného semenného materiálu.

Kľúčové slová

drevný popol, celulózný kal, fenológia, klíčenie, reprodukčný materiál

Úvod

V Slovenskej republike je drevná hmota prevažne využívaná na drevospracujúce a energetické účely, čo predstavuje jej hlavné využitie. „Čistá“ energia z obnoviteľných a neobnoviteľných zdrojov (jadrová energia, plyn, voda, vietor a ďalšie), ktorá je stále ekonomicky a technicky náročná, nie je schopná plnohodnotne nahradiť energetické využitie drevnej hmoty. Jednou z hlavných nevýhod spaľovania palivového dreva je tvorba odpadov (drevného popola), ktoré je potrebné odstrániť alebo opätovne využiť (Michalíková, 2004).

K drevospracujúcemu priemyslu na Slovensku patrí aj celulózo-papierenský priemysel, ktorý patrí medzi najstabilnejšie odvetvia. Aj keď je domáca spotreba nižšia ako výroba, ročná spotreba na obyvateľa zostáva stále pomerne vysoká. Aj

v tomto odvetví sa produkujú odpadové materiály, ako je celulóзовý kal, ktoré je potrebné spracovať (Demko, 2003).

Drevný popol je tuhý odpad vznikajúci pri spaľovaní drobných častíc nespáľovaného dreva (menších ako 1 mm). Ide o potenciálny zdroj druhotných surovín. Je vápenato-draselný, silne zásaditý a obsahuje rôzne hlavné a vedľajšie prvky. Medzi hlavné prvky patrí vápnik, draslík, železo, horčík, fosfor, sodík a mangán, pričom medzi vedľajšie prvky patrí kadmium, molybdén, chróm, ortuť, olovo a nikel (SINBIO, 2016; Zacharová et al., 2012). Pomery prvkov sa môžu líšiť v závislosti od tvrdosti dreva. Popol z tvrdého dreva má zvyčajne vyšší obsah draslíka a fosforu, zatiaľ čo obsah vápnika a kremíka je nižší v porovnaní s popolom ihličnatých drevín.

Drevný popol sa tradične využíval ako hnojivo na poľnohospodárskych pôdach. V severských krajinách sa používa na úpravu pôdy a dopĺňanie živín v lesných porastoch. Hnojenie popolom upravuje kyslosť pôdy a zvyšuje dostupnosť živín. Okrem toho sa popol používa na urýchlenie rozkladu organických zložiek v pôde a uvoľnenie dusíka, čím podporuje rastliny. Preto je využívaný aj na vybúraných rašeliniskách, čo urýchľuje tvorbu povrchovej vegetácie (SINBIO, 2016).

Celulóзово-papierenský kal je hlavným organickým odpadom v priemysle celulóзы a papiera. Vzniká z lignínových a celulóзовých vlákien, ktoré sa nemôžu zachytiť počas spracovania. Následne sa cez odpadové vody prenášajú do čistiarní odpadových vôd, kde sa oddeľujú. Tento kal obsahuje prevažne nerozpustné látky, vlákna z papiera a buničiny, lepenku, ale aj časti kôry či vyzrážaný síran a siričitan vápenatý. Dlhodobé aplikácie do poľnohospodárskej pôdy s vhodným manažmentom potvrdili jeho prínos (SINBIO, 2016).

Existencia drevospracujúceho priemyslu, ktorého neoddeliteľnou súčasťou je tvorba odpadov, je nevyhnutnou súčasťou spoločnosti. Je potrebné zabezpečiť stabilné využívanie obnoviteľných prírodných zdrojov prostredníctvom čo najrozmanitejších spôsobov recyklácie a opätovného využitia týchto odpadov. Tento projekt sa zameriava najmä na demonštráciu možnosti opätovného využitia drevného popola a papierenského celulóзовého kalu pri pestovaní lesného reprodukčného materiálu pre lesnícke a agrolesnícke využitie, ako aj na ich potenciálny vplyv na kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti rôznych druhov reprodukčného materiálu.

Štúdia sa sústreďuje na vplyv počiatočného rastu semenáčikov po opätovnom využití drevného popola a kalu u druhov *Pinus sylvestris* L., *Larix decidua* Mill. a *Fagus sylvatica* L.. Zároveň bol demonštrovaný aj vplyv drevného popola na klíčivosť plne vyvinutého semenného materiálu a jeho následný fenologický vývoj (Jones & Reekie, 2007; Pandey et al., 2017).

Získané výsledky, ktoré ukazujú pozitívny alebo aj žiadny vplyv na produkciu biomasy a kvalitu pôdy v lesníctve a agrolesníctve, môžu prispieť k úprave legislatívy týkajúcej sa využívania odpadov, akými sú drevný popol a celulóзовý kal. Okrem toho môžu podporiť aj výrobu kvalitného lesného reprodukčného materiálu.

Materiál a metódika

Osivo, na ktorom sme sledovali vplyv drevného popola a celulózového kalu, ako aj ich ďalší vývoj, bolo získané z oficiálne registrovaných oddielov semena, ktoré sú nasledovné:

- Borovica lesná – evidenčný kód psy214TR-005, č. listu o pôvode SK/002-2021-TR-L, semenárska oblasť 1 Severoslovenská,
- Smrekovec opadavý – evidenčný kód. lde224RK-035, č. listu o pôvode SK/001-2023-RK-L, semenárska oblasť 2 Podtatranská,
- Buk lesný – evidenčný kód fsy224HE-095, č. listu o pôvode SK/007-2022-HE-M, semenárska oblasť 2 Severo-východoslovenská.

Drevný popol bol získaný z teplárne Hriňová a kal dregs z výroby celulózy a papiera (Mondi SCP Ružomberok). Materiál mal zásadité pH (10,01), s vysokým obsahom uhličitanov (84,7 %) a nízkym obsahom dusíka ($>0,02\%$). Vyznačoval sa vysokým celkovým obsahom makroživín, pričom ich dostupnosť bola dobrá, čo bolo stanovené vo výluhu Mehlich III (hodnoty uvedené v zátvorke mg.kg^{-1}).

Konkrétne, celkový obsah vápnika bol $202\,421\text{ mg.kg}^{-1}$ (prístupný $2\,362\text{ mg.kg}^{-1}$); celkový obsah draslíka $10\,506\text{ mg.kg}^{-1}$ (prístupný $8\,609\text{ mg.kg}^{-1}$); celkový obsah horčíka $18\,225\text{ mg.kg}^{-1}$ (prístupný $5\,689\text{ mg.kg}^{-1}$); a celkový obsah fosforu $1\,641\text{ mg.kg}^{-1}$ (prístupný $5,11\text{ mg.kg}^{-1}$).

Možný vplyv nevyužitého odpadu na klíčivosť semien bol skúmaný pomocou ich výluhov a výluhov substrátov s rôznymi pomermi primiešaného odpadu. Výluh bol vykonaný v plastových fľašiach (250 ml), do ktorých sa na analytických váhach navážilo 10 g jemnozeme pripraveného podľa interných štandardných pracovných postupov (ŠPP) s presnosťou na dve desatinné miesta. Tento materiál bol následne zalievaný 100 ml deionizovanej vody. Premiešavanie bolo vykonané počas 6 hodín na horizontálnej trepačke a potom sa vzorky nechali sedimentovať 18 hodín. Výluhy boli následne precedené cez filter 390 a uložené do plastových fľaštičiek.

Hodnotenie klíčivosti osiva bolo vykonané podľa platných pravidiel ISTA, pričom semená boli vysiate na priesvitné archy s sterilizovaným filtračným papierom, ktorý bol zaliaty približne 15 ml pripraveného výluhu. Z každého variantu boli pripravené 4 opakovania (označené A, B, C, D), po 100 semien v každom opakovaní. Vzorky boli následne uložené do klíčnych skriň, kde sa udržiavala teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ počas tmy (16 hodín) a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ počas svetelných období (8 hodín). Hodnotenie klíčivosti sa vykonalo po 7, 10, 15 a 21 dňoch od výsevu, v súlade s pravidlami ISTA a ŠPP.

Na demonštráciu prítomnosti drevného popola a celulózového kalu v substráte a ich vplyvu na počiatočný rast semenáčikov sme založili pokusy v troch pomeroch rašeliny a odpadu nasledovne:

100 % rašelina (R)

10 kg rašeliny + 5 kg popola (RPM)

10 kg rašeliny + 7,5 kg popola (RP+)

Oba druhy odpadov sme zmiešali s rašelinou v troch rôznych pomeroch nasledovne:

10 kg odpadu + 5 kg popola (RPM)

10 kg odpadu + 7,5 kg popola (RP+)

10 kg odpadu + 2,5 kg popola (RP-)

Vývoj semenáčikov sme sledovali počas štyroch týždňov (29. 04. - 20. 05. 2024) a to jedenkrát týždenne, pričom sa jedincom prideľovali hodnoty fenologickej úrovne 0-4:

0 – nevyklíčený,

1 – viditeľná čiapočka a ohyb kmienka,

2 – viditeľná stonka – semenáčik kolmo nad zemou,

3 – viditeľné ihlice a čiapočka,

4 – semenáčik bez čiapočky.

Klíčivosti semien nemajú normálne (symetrické) rozdelenie a fenologický vývoj semenáčikov je vyhodnocovaný ordinálnymi hodnotami. Preto na vyhodnotenie signifikantnosti rozdielov medzi druhmi a variantami prímiesi popola bude použitý Kruskalov-Wallisov test a na zistenie prípadnej korelácie medzi premennými bude použitá Spearmanova korelačná analýza.

Výsledky

Z rôznych variantov pomeru popola a rašeliny sme získali výluhy, ktorých pH bolo nasledovné:

R (100 % rašelina) – 4,85

P (100 % popol) – 11,72

RPM – 5,62

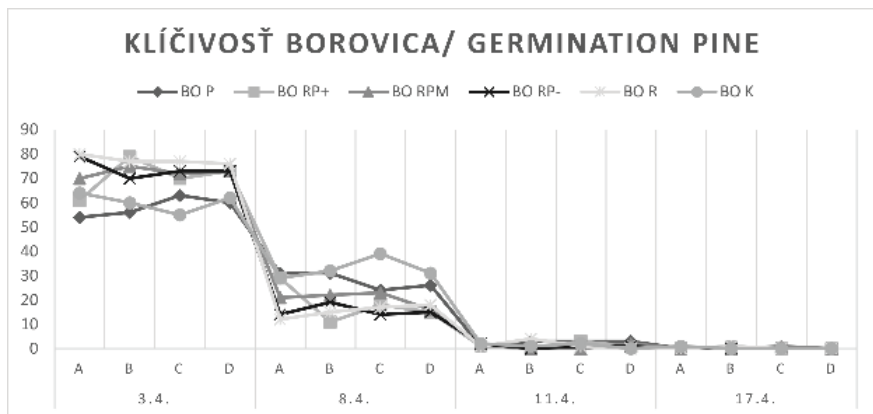
RP+ – 5,77

RP- – 5,55

V tabuľke 1 a na obrázku 1 sú znázornené hodnoty klíčivosti semien v závislosti od prítomnosti výluhov pripravených z rôznych pomerov popola a rašeliny. Ako je zrejmé z tabuľky 1, klíčivosť borovicových semien po použití 100 % výluhu z popola je nižšia v porovnaní s ostatnými sledovanými variantmi. Najvyššie hodnoty dosiahli kontrolná vzorka (ultra čistá voda) a výluh z 100 % rašeliny.

Variant	hmotnosť 1000 ks weight 1000 pcs.	klíčivosť % germination %	energia % energy %
P	8,17	89	58
RP+	8,17	91	71
RPM	8,17	94	73
RP-	8,17	90	74
R	8,17	95	78
K	8,17	95	60

Tabuľka 1 Klíčivosť semien borovice.



Obrázok 1 Grafické znázornenie počtu novo vyklíčených semien borovice v danom termíne merania, všetkých (A, B, C, D) opakovaní, každého variantu pomerov rašeliny a popola.

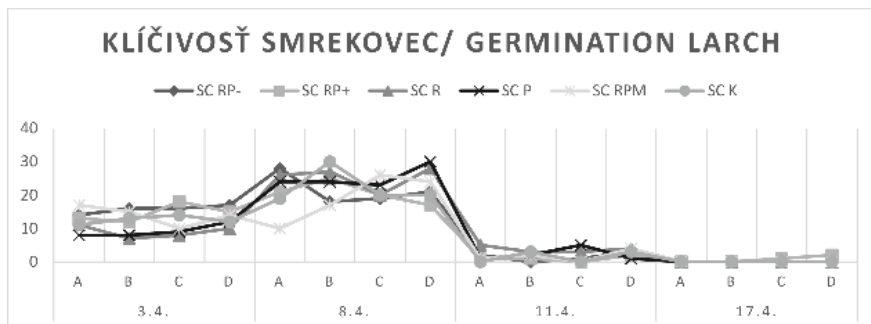
Klíčivosť semien smrekovca, ako je uvedené v tabuľke 2, a ich časový priebeh, znázornený na obrázku 2, sa zjavne odlišujú od hodnotení borovice. Nižšie hodnoty boli zaznamenané pri variante s 100 % rašelinou a v kontrolnej vzorke s ultračistou vodou (K), zatiaľ čo najnižšie hodnoty dosiahli vzorky s pomerom 50 % rašeliny a 50 % popola.

Variant	hmotnosť 1000 ks weight 1000 pcs.	klíčivosť % germination %	energia % energy %
P	4,46	37	9
RP+	4,46	37	15
RPM	4,46	35	14
RP-	4,46	39	16
R	4,46	36	9
K	4,46	36	13

Tabuľka 2 Klíčivosť semien smrekovca.

Nakoniec, pomocou Kruskalo-Wallisovej analýzy rozdielov (tabuľka 3), sme zistili, že štatisticky neboli významné rozdiely v klíčivosti semien medzi jednotlivými variantmi u oboch druhov.

Pri hodnotení počiatocného fenologického vývoja semenáčikov nám Kruskalo-Wallisov test, uvedený v tabuľke 4, ukázal, že medzi rôznymi variantami pomeru rašeliny a popola existuje štatisticky významný rozdiel. Tento rozdiel je najvýraznejší medzi variantom s 100 % rašelinou a pomerom 10 kg rašeliny s 7,5 kg popola (RP+).



Obrázok 2 Grafické znázornenie počtu novo vyklíčených semien smrekovca v danom termíne merania, všetkých (A, B, C, D) opakovaní, každého variantu pomerov rašeliny a popola.

Klíčivosť vs. variant uhov <i>Pinus sylvestris L.</i>	Kruskal-Wallis H	5,000
	df	5
	Asymp. Sig.	0,416
Klíčivosť vs. variant uhov <i>Larix decidua Mill.</i>	Kruskal-Wallis H	5,000
	df	5
	Asymp. Sig.	0,416

Tabuľka 3 Kruskalov-Wallisov test klíčivosti uhových variantov.

Varianty <i>Pinus sylvestris L.</i>	Kruskal-Wallis H	10,449
	Df	2
	Asymp. Sig.	0,005
Varianty <i>Larix decidua Mill.</i>	Kruskal-Wallis H	11,404
	Df	2
	Asymp. Sig.	0,003

Tabuľka 4 Kruskalov-Wallisov test fenologických rozdielov

Spearmanova korelačná analýza nám ukazuje náznak korelácie medzi fenológiou a pomerom popola v rašelini, ale nepotvrdzuje ju štatistickou signifikantnosťou (tabuľka 5). Predpokladáme, že fenologický rozdiel bol ovplyvnený iným faktorom alebo kombináciou viacerých faktorov.

Avšak v prípade aplikácie rôzneho pomeru celulózneho kalu, sa ukázal štatisticky signifikantný rozdiel fenologického vývoja semenáčikov sledovaných druhov. Daný fenologický vývoj je signifikantne rozdielny aj medzi sledovanými

Druh			fonológia	variant	poradie merania
<i>Pinus sylvestris L.</i>	fonológia	Correlation Coefficient	1	-0,028	,752**
		Sig. (2-tailed)	.	0,18	0
		N	2268	2268	2268
	variant	Correlation Coefficient	-0,028	1	0
		Sig. (2-tailed)	0,18	.	1
		N	2268	2275	2275
	poradie merania	Correlation Coefficient	,752**	0	1
		Sig. (2-tailed)	0	1	.
		N	2268	2275	2275
<i>Larix decidua Mill.</i>	fonológia	Correlation Coefficient	1	0,034	,487**
		Sig. (2-tailed)	.	0,102	0
		N	2261	2261	2261
	variant	Correlation Coefficient	0,034	1	0
		Sig. (2-tailed)	0,102	.	1
		N	2261	2275	2275
	poradie merania	Correlation Coefficient	,487**	0	1
		Sig. (2-tailed)	0	1	.
		N	2261	2275	2275

Tabuľka 5 Spearmanov korelačná analýza

druhmi, avšak medzidruhový rozdiel fenologického vývoja a prežitia semenáčikov je hlavne dôsledkom odlišných kvalitatívnych a kvantitatívnych vlastností semenného materiálu, charakteristické pre dané druhy (Sarvaš et al., 2010).

Avšak v prípade aplikácie rôzneho pomeru celulózneho kalu, sa ukázal štatisticky signifikantný rozdiel fenologického vývoja semenáčikov sledovaných druhov. Daný fenologický vývoj je signifikantne rozdielny aj medzi sledovanými druhmi, avšak medzidruhový rozdiel fenologického vývoja a prežitia semenáčikov je hlavne dôsledkom odlišných kvalitatívnych a kvantitatívnych vlastností semenného materiálu, charakteristické pre dané druhy (Sarvaš et al., 2010).

Spearmanova korelačná analýza poukázala na významnú pozitívnu koreláciu medzi počiatčným fenologickým vývojom semenáčikov a prítomnosťou celulózového kalu. Súčasne sa opäť prejavila medzidruhová korelácia spolu s ich fenologickým vývojom, ako je uvedené v tabuľke 7. Táto súvislosť zostáva dôsledkom špecifických vlastností semenného materiálu jednotlivých sledovaných druhov (Sarvaš et al., 2010).

Variant <i>Pinus sylvestris L.</i>	Kruskal-Wallis H	127 233
	Asymp. Sig.	0,000
Variant <i>Larix decidua Mill.</i>	Kruskal-Wallis H	121 347
	Asymp. Sig.	0,000
Variant <i>Fagus sylvatica L.</i>	Kruskal-Wallis H	231 155
	Asymp. Sig.	0,000

Tabuľka 6 Kruskalov-Wallisov test fenologických rozdielov

		variant	drevina	fonológia
variant	Correlation Coefficient	1,000	,000	,088**
	Sig. (2-tailed)	.	1,000	,000
	N	3360	3360	3350
drevina	Correlation Coefficient	,000	1,000	-,209**
	Sig. (2-tailed)	1,000	.	,000
	N	3360	3360	3350
fonológia	Correlation Coefficient	,088**	-,209**	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.
	N	3350	3350	3350

Tabuľka 7 Spearmanov korelačná analýza

Bližšou analýzou sme zistili, že fenologický vývoj za prítomnosti celulózneho kalu v rašeline, bol signifikantne horší pri druhu *F. sylvatica L.*.

Diskusia

Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že prítomnosť popola nemá žiadny významný vplyv na klíčivosť sledovaných druhov semien. Variant, ktorý by mohol predstavovať riziko – teda výluh zo 100 % popola – nebol nijako deštruktívny ani obmedzujúci voči klíčivosti. Výsledky potvrdili, že hlavnými faktormi ovplyvňujúcimi klíčivosť sú kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti samotného semenného materiálu, čo pravdepodobne odráža podmienky jeho tvorby. Tieto faktory zahŕňajú okolitú klimatickú situáciu, živiny získané od materského stromu, vek stromu či veľkosť semien. Podľa Gómez (2004), Pandey et al. (2017) a Pesendorfera (2015) práve veľkosť semien, ktorá je významne ovplyvnená geneticky a dedí sa od materského stromu, má zásadný vplyv na celkový vývoj nového semenáčika. Predpokladá sa, že väčšie semená obsahujú viac živín, čo im umožňuje lepšie klíčiť a podporiť rast nového jedinca.

Štatistická analýza nám nepreukázala významný rozdiel vo fenologickom vývoji semenáčikov v závislosti od prítomnosti popola v substráte. Neexistuje žiadna korelácia medzi týmito dvoma faktormi, čo naznačuje, že fenologické

odchýlky boli pravdepodobne ovplyvnené inými faktormi alebo kombináciou viacerých faktorov. Pravdepodobne ide opäť o veľkosť semien, ktorá odráža kvalitu a množstvo stavebných látok potrebných na tvorbu biomasy, keďže pri druhu *Picea rubens* veľkosť semien ovplyvňuje aj reakciu na zvýšené hladiny CO₂ (Jones, Reekie 2007) alebo adaptáciu iných druhov na zmenu klímy (Kjowska-Oberc et al. 2020). V našom prípade prítomnosť popola v substráte nemala žiadny pozitívny vplyv na produkciu drevín, avšak výsledky z fínskeho lesného výskumného inštitútu (Finnish Forest Research Institute) a ich rašelinísk, ukazujú pozitívny vplyv na produkciu biomasy semenáčikov. Podobné výsledky boli v Južnom Švédsku, kde prihnojovaním pôdy popolom, sa zvýšil priemerný ročný rast drevín (SINBIO, 2016). Z daných faktov je potrebné vykonať ďalšie ciele štúdie a demonštrácie, kde sa budú sledovať ďalšie možné vzťahy medzi opätovným využitím dreveného popola a produkciou drevín.

Pri analýze vplyvu celulózneho kalu, sme zistili (tabuľka 4), že fenologický vývoj bol signifikantne horší pri druhu *F. sylvatica* L.. Ide pravdepodobne o vplyv kvality daného oddielu použitého semenného materiálu, keďže na celkový vývoj nového semenáča má vplyv kvalita osiva, ktorá je pod silným genetickým vplyvom a je dedená od matky (Pesendorfer, 2015).

Z výsledkov môžeme konštatovať, že popol nijak pozitívne, ale hlavne ani negatívne neovplyvňuje kvalitatívne a kvantitatívne vlastnosti semenného materiálu. Prítomnosť popola v substráte tiež nijak výrazne negatívne neovplyvnil prvotný vývoj semenáčikov, z čoho môžeme tvrdiť, že zapracovanie popola do pôdy určenej na produkciu lesného reprodukčného materiálu nemá negatívny vplyv na počiatočný vývoj semenáčikov. Na druhej strane sa dá tvrdiť, že celulózny kal má hlavne pri druhoch *P. sylvestris* L. a *L. decidua* Mill. pozitívny vplyv na počiatočný vývoj semenáčikov. Či tento kal bude mať vplyv na následný rast, alebo fenológiu semenáčikov, potrebujeme overiť ďalšími meraniami.

Zatiaľ môžeme predpokladať, že zapracovanie dreveného popola a celulózneho kalu do pôdy, nemá hlavne negatívny vplyv na pestovaný reprodukčný materiál, čiže sa ukazuje ďalšia možnosť, resp. spôsob ako odstrániť alebo recyklovať takýto druh odpadu.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Demko, J. 2003: Energetické zhodnocovanie celulózovo-papierenských kalov; (Energy appraising of cellulose-paper sludges). Banskotiavnické Dni 2003, 10.
- Gómez J. M. 2004: Bigger is not always better: Conglicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 58: 1: 71–80.

- Jones T.A., Reekie E.G. 2007: Effect of seed size on seedling growth response to elevated CO₂ in *Picea abies* and *Picea rubens*. *Plant Biology*, 9: 6: 766–775. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965251>
- Michalíková F. 2004: K problematike popola z tepelných elektrární (Problem of ash from the thermal power plants). *Infoenergo*, 180–189.
- Pandey R., Bargali K., Bargali S.S. 2017: Does seed size affect water stress tolerance in *Quercus leucotrichophora* A. Camus at germination and early seedling growth stage? *Biodiversity International Journal*, 1: 1: 24–30. <https://doi.org/10.15406/bij.2017.01.00005>
- Pesendorfer M.B. 2015: The Effect of Seed Size Variation in *Quercus pacifica* on Seedling Establishment and Growth. In: Standiford R.B. et al. (eds.): *Proceedings of the seventh California oak symposium: managing oak woodlands in a dynamic world*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-251. Berkeley, CA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, s. 407–412.
- Sarvaš, M., Bruchánik, R., Hoffmann, J., Chválová, K., & Ježovič, V. 2010: Základné charakteristiky lesných drevín - ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkarstvo, obhospodarovanie génových základní. In *Základné charakteristiky lesných drevín* (p. 82). Národné Lesnícke Centrum.
- SINBIO 2016: Štúdia využitia popola zo spaľovania drevnej štiepky na pestovanie rýchlo rastúcich drevín v súlade s najlepšou praxou v zahraničí. In: *SINBIO – Sustainable Innovation in Bioenergy*. www.eeagrants.sk
- Zacharová A., Kontrišová O., Kontriš J., Ollerová H. 2012: Vplyv drevného popola na obsah makroprvkov v juvenilných jedincoch smreka obyčajného. *Acta Facultatis Ecologiae*, 26: 61–65.

Kontakt

Ing. Vladimír Mačejovský, PhD., Elena Takáčová, Martin Belko, Ivan Horvát,
 Slavomír Strmeň, Dagmar Bednárová
 Národné lesnícke centrum – Sekcia pre vedu a výskum Zvolen
 Odbor pestovania lesa a semenárskej kontroly
 T. G. Masaryka 2175/22, 960 01 Zvolen
 e-mail: vladimir.macejovsky@nlcsk.org, elena.takacova@nlcsk.org, martin.belko@nlcsk.org, ivan.horvat@nlcsk.org, slavomir.strmen@nlcsk.org, dagmar.bednarova@nlcsk.org

RNDr. Slávka Tóthová, PhD.
 Národné lesnícke centrum – Sekcia pre vedu a výskum Zvolen
 Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva
 T. G. Masaryka 2175/22, 960 01 Zvolen
 e-mail: slavka.tothova@nlcsk.org

NAJČASTEJŠÍ ŠKODCOVIA V LESNÝCH ŠKÔLKACH A VÝSADBÁCH V SÚVISLOSTI S OTEPLOVANÍM

Valéria Longauerová, Milan Zúbrik, Andrej Kunca

Abstrakt

V posledných desaťročiach dochádza k výrazným zmenám klimatických podmienok, ktoré ovplyvňujú aj zdravotný stav lesných porastov. V príspevku sa zameriame na vybrané škodlivé činitele (huby, hmyz) vyskytujúce sa v lesných škôlkach a mladých lesných kultúrach do 15 rokov. Popíšeme ich dynamiku, symptómy napadnutia, životné cykly a vzťah ku klimatickým faktorom.

Kľúčové slová

hmyzí škodcovia, hubové patogény lesné škôlky, mladé kultúry, otepľovanie

Úvod

Klimatické zmeny, najmä postupné otepľovanie, zmena režimu zrážok a zvýšená frekvencia extrémnych javov (sucho, prívalové dažde), majú významný vplyv na patogénny tlak v lesných ekosystémoch. Lesné škôlky a mladé kultúry predstavujú najzraniteľnejšie vývojové štádium lesa, kedy rastliny ešte nedosiahli plne vyvinutý obranný systém. Patogény (huby, hmyz) využívajú narušené fyziologické procesy v hostiteľských rastlinách, oslabených stresom z prostredia. Zvyšovanie teplôt a zmeny v zrážkových režimoch môžu významne ovplyvniť nielen šírenie a virulenciu hubových patogénov, ale aj aktivitu a populačnú dynamiku hmyzích škodcov. Najčastejšie sa stretávame v posledných rokoch so zvýšeným výskytom cicavého hmyzu, listových škvrnitostí, tracheomykóz a rakovinových ohorení.

Cicavý hmyz na lesných drevinách predstavuje komplexnú skupinu fytofágov s významným potenciálom poškodenia najmä v mladých porastoch a škôlkach. Pri napadnutí cicavým hmyzom na lesných drevinách sa často objavuje žltnutie a deformácie listov a výhonkov, ktoré sa prejavujú mierne až výraznými chlorotickými škvrnami, zvrštením, či zakrpatením tkanív v miestach dlhodobého cicania. Súčasne sa na povrchoch olistenia môže vytvárať medovica – lepivá exsudácia nadbytku cukrov –, na ktorej sa rozvíja sadzovitý povlak saprofytických húb, čo ďalej zhoršuje fotosyntetickú schopnosť hostiteľa. Dlhodobé napadnutie vedie k potlačeniu apikálneho rastu a nedostatočnému vyzretiu pletív, čím sa znižuje odolnosť drevín voči mrazu a sekundárnym patogénom, a celkovo sa zvyšuje krehkosť a oslabenie celého porastu.

Listové škvrnitosti lesných drevín predstavujú skupinu chorôb, ktorých spoločným znakom je vznik rôzne tvarovaných a veľkých škvŕn na listoch stromov, spôsobených najmä hubovými, bakteriálnymi alebo niekedy aj vírusovými patogénmi. Tieto ochorenia sa vyskytujú najmä počas vegetačného obdobia a môžu postihovať široké spektrum listnatých aj ihličnatých drevín. V lesnom hospodárstve majú význam najmä z hľadiska vitality, estetického vzhľadu a zdravotného stavu porastov, pričom pri silnom napadnutí môžu ovplyvniť aj produkčné a ekologické funkcie lesa. K šíreniu dochádza najčastejšie vzdušným prenosom spór alebo dažďovými kvapkami. Dôležitým faktorom pre vznik infekcie sú vlhké a teplé podmienky, najmä počas jari a leta. Inkubačná doba je spravidla niekoľko dní až týždňov, pričom väčšina patogénov prezimuje na opadaných listoch vo forme plodníc alebo mycélia.

Tracheomykózne ochorenie lesných drevín je vyvolané mikroskopickými parazitickými hubami, ktoré sa šíria a rastú vo vodivých pletivách infikovanej dreviny. Sú to najmä huby z rodov *Cylindrocarpon*, *Diaporthe*, *Fusarium*, *Graphium*, *Nectria*, *Ophiopstoma*, *Verticillium* a iné. Za vhodných podmienok sa parazitická huba v cievach dreviny natoľko rozrastie, že ich začne upchávať a navyše vylučuje toxické látky, čoho prejavom je tvorba tyl ako obranná reakcia hostiteľa. Ochorenie sa prejavuje odumieraním jednotlivých konárov, ktorému predchádza zmena sfarbenia listov až ich uschnutie. Dochádza tak k postupnej redukcii olistenia a koruna stromu sa nápadne presvetľuje. V snahe o prežitie infikovaný strom vytvára na kmeňoch a hrubších konároch zhluky tenkých výhonkov, tzv. vlkov. Parazitická huba sa prostredníctvom viacerých vektorov (vietor, hmyz, vtáky, človek a iné) šíri po poraste i mimo neho vo forme výtrusov, konídií a čiastočiek mycélia.

Vybrané druhy cicavého hmyzu

Sietnička dubová (*Corythucha arcuata*) je drobná bzdocha z čeľade Tingidae, pôvodom zo Severnej Ameriky, kde sa vyskytuje bežne v USA aj v Kanade. Dospelé jedince dorastajú do veľkosti iba 3 mm a majú typické priesvitné krídla s jemnou sieťovanou kresbou. Nymfy sú tmavé až čierne. Všetky vývojové štádiá žijú prevažne na spodnej strane listov (Zúbrik a kol. 2022).

Do Európy sa tento druh dostal pravdepodobne medzinárodným obchodom a prvýkrát bol zaznamenaný v roku 2000 v severnom Taliansku. Odvtedy sa rozšíril do Švajčiarska, Turecka, Bulharska, Maďarska a od roku 2018 aj na Slovensko (Zúbrik a kol. 2019). Otepľovanie klímy mu umožňuje prežiť naše zimy bez väčších problémov. Monitoring v roku 2022 preukázal prítomnosť tohto škodcu už na viac než 86 % skúmaných lokalít v južnom a strednom Slovensku vrátane oblastí okolo Šiah, Rimavskej Soboty, Nitry, Malaciek, Banskej Štiavnice či Partizánskeho. Invázne šírenie prebieha veľmi rýchlo a sietnička preniká aj do vyšších polôh, často popri dopravných tepnách alebo turistických trasách.

Škodca prezimuje ako dospelý jedinec pod kôrou alebo v listovej hrabanke. Na jar kladú samičky vajíčka na spodnú stranu listov, z ktorých sa liahnu nymfy. Vývojové štádiá sajú rastlinné šťavy, čo vedie k tvorbe svetlých škvŕn na listoch. V

priebehu sezóny sa objavujú 2 – 4 generácie v závislosti od klimatických podmienok a nadmorskej výšky. Prvé príznaky napadnutia možno pozorovať už od mája, na vrchnej strane listov, ako drobné svetlé flaky, ktoré sa postupne spájajú. V druhej polovici leta sa na vrchnej strane listov objavujú rozsiahle svetložlté škvrny, listy postupne celé žltnú až hnednú. Môžu predčasne opadávať.

Hoci *C. arcuata* preferuje duby – najmä dub cerový (*Quercus cerris*), dub zimný (*Q. petraea*) a dub letný (*Q. robur*) – bol tento druh zaznamenaný aj na jabloniach, ružiach, malinách či javoroch. Môže napadnúť lesné porasty každého veku, vrátane sadeníc. Jej pôsobenie znižuje celkovú vitalitu hostiteľských drevín.

Zásah proti sietničke dubovej je možný chemickou ochranou – aplikáciou insekticídov. Vzhľadom na riziko oslabenia dubov a následného napadnutia sekundárnymi škodcami a patogénmi (napr. *Scolytus intricatus*, *Agrilus* spp., *Armillaria* spp.), je nutné venovať tomuto druhu zvýšenú pozornosť.

Cikádka (*Metcalfa pruinosa*) je invázny druh drobného hmyzu patriaceho do čeľade Flatidae. Pôvodne pochádza zo Severnej Ameriky, kde je súčasťou prirodzených ekosystémov, no v posledných desaťročiach sa úspešne rozšírila do viacerých častí Európy. Na Slovensku bola prvýkrát zaznamenaná v roku 2010 a odvtedy sa jej výskyt potvrdil na viacerých lokalitách, predovšetkým v teplejších oblastiach.

Dospelé jedince dosahujú dĺžku 5 – 8 mm a ich sfarbenie varíruje od svetlosivej po svetlo hnedú. Charakteristickým znakom sú veľké, žlté oči a prítomnosť jemného, bieleho voskového povlaku, ktorý je obzvlášť výrazný u ným. Tento vosk tvorí ochrannú vrstvu, ktorá cikádku chráni pred predátormi aj vysychaním.

Cikádka (*Metcalfa pruinosa*) má na Slovensku jednu generáciu ročne. Vývoj prebieha cez niekoľko instarov, až kým sa v letných mesiacoch objavia dospelé imága. Tie sa živia cicaním rastlinných štiav na rôznych drevinách a bylinách. Počas tohto procesu vylučujú nadbytočný cukor vo forme medovice, ktorá láka včely, osy a mravce. Tieto druhy môžu napomáhať jej ďalšiemu šíreniu.

Prítomnosť cikádky sa dá rozpoznať podľa bielych voskových chumáčikov na konároch, vetvičkách a často aj na kmeňoch. Na listoch a mladých výhonkoch možno nájsť cicajúce jedince, najmä v lete, keď sú dospelce najaktívnejšie. Hoci druh patrí medzi menej významných škodcov, môže spôsobiť zníženie vitality hostiteľských rastlín, najmä výsadiieb. Potenciálne riziko predstavuje aj sekundárny rozvoj húb na medovici, ktorá pokrýva listy a obmedzuje fotosyntézu. Z drevín sú najčastejšie napádané brest, javor, vrbá a niektoré ovocné dreviny.

Kôrovica kaukazská (*Dreyfusia nordmannianae*) nie je pôvodným európskym druhom. Oblasťou jej autochtónneho rozšírenia je Kaukaz, pohoria východného Pontu (Turecko) a Krym. Hostiteľskými drevinami v jej pôvodnej domovine sú *Abies nordmanniana* a *Picea orientalis*. Od roku 1840 sa v súvislosti s introdukciou jej pôvodných hostiteľských drevín rozšírila do celej Európy.

Tu sa vďaka neprítomnosti prirodzených nepriateľov rozmnožila a stala

sa významným činiteľom ovplyvňujúcim prežívanie jedľových mladín. Smrek obyčajný neprijala za svojho hostiteľa a nepoškodzuje ho. V Európe sa pravidelne premnožuje na jedli.

Škodca sa objavuje v okolí Banskej Bystrice, Starých Hôr, Slovenskej Ľupče a na niektorých ďalších lokalitách

Larvy vošky, sú veľké iba niekoľko desiatín milimetra. Väčšinu vývoja sú pokryté vrstvou bielej voskovitej vaty. Prezimováva v štádiu nazývanom *sistens* na kmeni. *Sistens* skoro na jar dospievajú a kladú vajíčka. Z nich sa liahnu larvy, z ktorých časť prelieza na spodnú časť rašiacich ihlíc (*progrediens*) a časť zostáva na kmeni. Príčinou poškodenia je sanie lariev na ihliciach a na nových výhonoch.

Ihlce sa na nových výhonoch následkom sania krúčia smerom dolu, žltnú a skracujú. Pri silnom výskyte škodcu dorastajú ihlice iba do dĺžky 0,5 – 1 cm. Výhony sú na báze zdurené. Poškodenie je pomerne charakteristické a je možné zameniť ho v počiatočnom štádiu výskytu škodcu iba s pôsobením niektorých abiotických činiteľov (mráz, imisie, nedostatok výživy). Menej častá je v našich porastoch voška jedľová (*Mindarus abietinus*). Následkom pôsobenia tejto vošky dochádza ku krúteniu ihlíc smerom nahor. Prírastok terminálov je cca 3 – 10× nižší a bočný cca 2× kratší u silne napadnutých jedincov ako u zdravých stromčekov. Pri silnom napadnutí dochádza k úhynu stromov.

Kontrola sa vykonáva okulárne pochôdzkou v jarných mesiacoch (marec). Larvy generácie *sistens* sú na kmeni veľmi nápadné ako malé páperovité chumáčky. V čase rašenia jedle možno pozorovať líniu *progrediens* ako malé čierne body na ihliciach 2 – 3 cm dlhých mladých výhonov. Dobrým identifikačným znakom prítomnosti škodcu je výskyt deformovaných ihlíc a vetiev.

Najvhodnejším spôsobom obrany je aplikácia insekticídov. Zásah insekticídnym prípravkom sa odporúča vykonať v škôlkach a hustých mladých porastoch z prirodzeného zmladenia až po prerezávke, prípadne po odstránení najviac postihnutých jedincov. Pre zásah možno odporúčať dva termíny, jarný a jesenný, pričom sa podľa poznatkov z posledných rokov zdá, že aplikácia v jesennom termíne prináša lepšie výsledky.

Vybrané druhy húb

Sypavka (*Lophodermium*) je rod húb z čeľade Rhytismataceae. Obsahuje 145 druhov a má globálne rozšírenie. Rod infikuje mnoho rôznych rastlinných čeľadi, ale s výraznou koncentráciou v čeľadi Pinaceae. Druhy *Lophodermium* sú endofytické huby kolonizujúce ihličie borovíc. Druh *Lophodermium pinastri* bol pôvodne opísaný zo severnej Európy a je veľmi variabilný v morfológii. *Lophodermium seditiosum* je celosvetovo rozšírený druh, je častým patogénom ihličia, spôsobujúci sypavkové ochorenie borovíc, ktoré sa prejavuje náhlým hromadným usychaním ihlíc a červenohnedým sfarbením v jarnom období. Silné infekcie môžu spôsobiť závažnú stratu ihličia, čo má za následok spomalený rast alebo dokonca smrť hostiteľského jedinca. V Európe sa osobitný dôraz kladie na výskyt *Lophodermium seditiosum* na *Pinus sylvestris*, pretože tento pôvodný ihličnan má široké využitie v lesnom a drevárskom priemysle.

Prvé príznaky infekcie ihlíc sa objavujú už niekedy v septembri. Ide o drobné žltkasté škvrny, ktoré sa časom zväčšujú a hnednú. V priebehu jari a leta (rok po vzniku infekcie) sa na opadnutých ihliciach najprv vytvárajú čierne bodky a pásiky. Typické lodičkovité plodničky sa začínajú vytvárať neskôr v lete. Pre ihlice infikované *L. pinastri* sú charakteristické aj tenké priečne pásiky vytvorené čiernym mycéliom huby. Na jar infikované ihlice opadávajú.

Lophodermium seditiosum je agresívnejším patogénom ako *L. pinastri*. To znamená, že infikuje nielen oslabené semenáčky, ale za vhodného počasia aj semenáčky vitálne. Rozlíšiť tieto huby v praxi je možné podľa askospór, ktoré sa tvoria takisto v lodičkovitých plodničkách. U infekcie ihlíc *L. seditiosum* však nie sú medzi jednotlivými plodničkami tenké priečne pásiky vytvorené čiernym mycéliom huby.

Hostiteľskými drevinami sú borovica lesná, borovica čierna, kosodrevina, borovica ťažká. Môže napadnúť lesné porasty každého veku, vrátane sadeníc. Spôsobuje stratu prírastkov, presvetlenie koruny, oslabenie stromov a vstupnú bránu ďalším chorobám a parazitom. Jej pôsobenie znižuje celkovú vitalitu hostiteľských drevín.

Chemická ochrana má význam predovšetkým v lesných škôlkach. Odporúča sa preventívna chemická ochrana rastlín v štrnásťdňových intervaloch od prvej polovice júla do októbra. Teplé a vlhké počasie začiatkom leta môže chemickú ochranu posunúť už na prvú polovicu júna. Je potrebné brať do úvahy závažnosť napadnutia v predchádzajúcom roku, ako aj miestne podmienky a poveternostnú situáciu. Mnoho napadnutých plôch, vlhké stanovište a vlhké počasie od júla do septembra obvykle podporuje infekciu.

Čiašočka jaseňová (*Himenoscyphus fraxinueus*) je endemitická huba. Choroba sa šíri prostredníctvom askospór nesených vetrom prostredím. Zachytené askospóry vyklíčia v hýfe, ktorá na konci vytvára apresorium a ďalej klíčny (penetračný) hrot, ktorým vlákno prerastá do mezofylu listu a vytvára primárne mycélium, sekundárne mycélium a potom sa začínajú vytvárať nekrózy. Nekrózy postupujú po listovej žilnatinе k centrálnej listovej žilke a listovej stopke. Keď sa infekcia dostane k listovej stopke, začínajú listy postupne schnúť a opadávať. Patogén prezimuje vo forme pseudosklerocií na opade asimilačného aparátu, na sklerotizovaných stopkách. Ďalší rok sa vyvíjajú na opadaných stopkách listov apotéciá – belavé miskovité stopkaté plodničky. Tie sa tvoria počas vegetačnej sezóny v lete (jún až september/október), s najvyšším výskytom v júli až auguste a produkujú veľké množstvo askospór (pohlavných spór). Sporulácia je najintenzívnejšia začiatkom leta, ale fruktifikácia je značne závislá na priaznivých klimatických podmienkach, teda ku sporulácii môže dôjsť aj v jarom a jesennom období. Askospóry sú unášané vetrom dochádza k opätovnej kolonizácii listov, proces sa opakuje. Úloha anamorfného štádia *Chalara fraxinea*, ktoré vytvára v zime pri nízkych teplotách falidy s konídiami, nie je doteraz v životnom cykle huby objasnená. Produkované konídie sú v súčasnej dobe považované za neinfekčné, nezúčastňujú sa infekčného cyklu.

Ochorenie postihuje všetky vekové kategórie jaseňov v lese aj mestských výsadbách. Stromy sú napádané bez ohľadu na vek. Typickým príznakom je odumieranie jednoročných letorastov, terminálnych výhonov a tenších konárov. Jednoróčné a dvojročné letorasty odumierajú ešte pred rašením alebo odumierajú počas suchého leta. Pri starších stromoch dochádza k zasychaniu korunových konárov, ale stromy prežívajú a snažia sa regenerovať. Charakteristická je aj tvorba lézií v okolí púčikov a nasadenia tohoročných letorastov. Nekrózy sú sprevádzané sivohnedým sfarbením dreva. Nápadný je ostrý prechod dreva medzi odumretou a živou časťou dreva. Nekrotické lézie sa môžu vytvárať aj na listových stopkách a vrchná strana listov sa sfarbuje do hneda, zelené listy predčasne opadávajú od konca augusta do septembra. Chradnutie sa prejavuje v rôznej intenzite ale stále sa dajú nájsť aj jedince bez napadnutia. Oslabené jedince touto chorobou sú veľmi často napadnuté inými patogénmi, ako sú podpňovky (*Armillaria* spp.), drevnatec (*Xylaria* spp.) a šupinovky (*Pholiota* spp.). Oslabené jasene sú taktiež veľmi atraktívne aj pre hmyz, najmä lykokaza jaseňového (*Hylesinus varius*), prípadne lykokaza zrnitého (*H. crenatus*).

Od vypuknutia hynutia jaseňov v Európe bolo sformulovaných niekoľko hypotéz o tom, či a ako sa jaseňové populácie vyrovnávajú s inváziou tejto choroby. Už na začiatku bolo kľúčovým odporúčaním ponechávanie relatívne odolných jaseňov vo všetkých zasiahnutých porastoch formou postupných negatívnych zdravotných prebierok. Výber odolných jedincov (genotypov) proti *H. fraxineus* je vhodné kombinovať s možnou odolnosťou voči ďalším škodcom a patogénom. Paušálne odstraňovanie celých porastov a porastových skupín bez ponechania (trebárs aj dočasných) perspektívnych jedincov, ktoré možno využiť na získanie odolnejších potomstiev v semenných sadoch, je neuvážené. Aby nedošlo k prílišnej strate genetickej variability s ohľadom na všeobecne nízku početnosť odolných jedincov, je vhodné pri selekcii perspektívnych jedincov zľaviť z nárokov na hospodársku vhodnosť (pribežný kmeň, zavetvenie, atď.). V rámci súčasných poznatkov prevláda názor, že neexistuje úplná rezistencia jaseňa proti *H. fraxineus*, ale existuje významná variabilita v čiastočnej rezistencii, ktorá je dedičná. Existuje potenciál v prirodzenej selekcii ako nádeje na záchranu druhu. Doterajšie skúsenosti naznačujú, že najmä subpopulácie jaseňov pochádzajúce z prirodzenej obnovy poskytujú dostatočnú základňu pre prirodzený alebo asistovaný výber odolných jedincov.

Podpňovky (*Armillaria* spp.) dlhodobo prežívajú v lesných ekosystémoch aj vďaka širokému okruhu hostiteľov. Úspešne môžu prežiť na drevných zbytkoch a čakať na príležitosť osídliť nový „substrát“ buď ako saprofyt, alebo primárny patogén. Zjednodušene možno interakcie medzi podpňovkami a ich hostiteľmi prezentovať tak, že *A. mellea*, *A. gallica* a *A. tabescens* uprednostňujú ako hostiteľa hlavne listnaté dreviny, zatiaľ čo *A. ostoyae*, *A. cepistipes* a *A. borealis* uprednostňujú ihličnany. Nemožno opomenúť to, že žiadny druh podpňoviek nemá prísne špecifikovaného hostiteľa a môže úspešne osídliť tak ihličnaté ako

aj listnaté dreviny. Primárne infikujú aj koreňový systém jedle, duba a buka, ale nespôsobujú vážnejšie poškodenie. Napádajú všetky vekové štádia drevín a rastlín. V nepriaznivých podmienkach nevytvárajú plodnice napriek tomu, že sú aktívne. Po suchých a teplých rokoch pozorujeme nárast poškodení vplyvom podpŕhovky.

Infekcia môže vzniknúť dvojakým spôsobom: cez kontakt koreňov hostiteľa s rhizomorfami patogéna (v lesných škôlkach), alebo kontaktom s inými infikovanými koreňmi. Spóry podpŕhoviek najčastejšie kľčia na odumretej kôre alebo opadnutom ihličí. Mycélium spôsobuje bielu hnilobu dreva, ktorá sa môže lúčovito šíriť do jadrového dreva. Medzi hnijúcim a zdravým drevom sa vytvára čierna pseudosklerózna vrstva, dobre viditeľná na priečnom reze. Pri šírení sa syrícia pod kôrou, strom produkuje nadmerné množstvo živice, ktorá vyteká na povrch. Pri šírení sa hniloby cez beľové drevo smerom ku kambiu, môžu vznikáť hrče a vnútorné rakoviny, resp. flaškovitý tvar kmeňa. Stromy odumierajú v skupinách

Charakteristika symptómov poškodenia drevín druhmi rodu *Armillaria* sa vzťahuje predovšetkým na post infekčnú a pokročilú fázu choroby pomocou makroskopických znakov – spomalenie rastu dreviny, prejavujúce sa v zmenšenom výškovom aj hrúbkovom prírastku, prefarbenie a odumieranie ihlíc, listov a výhonov, ronenie živice, alebo miazgotok v územkovej časti pňa, plodnice na báze kmeňov. Príznaky sa ale nemusia prejavovať u všetkých drevín napadnutých podpŕhovkou. Viditeľné symptómy poškodenia sa dajú pozorovať na približne 60 % infikovaných jedincov.

Prejavy infekcie na listnatých drevinách sú rozdielne a špecifické pre rôzne druhy podpŕhoviek. K rozšíreniu bazálnej časti kmeňa v dôsledku infekcie podpŕhovkou, ako u ihličnanov, nedochádza. Na infikovaných stromoch ale môžeme po odlúpení kôry pozorovať biele syrície alebo čiernohnedé rhizomorfy.

V porastoch so zvýšeným výskytom koreňových hnilôb spôsobených druhmi rodu *Armillaria* (počet infikovaných pňov 50 % a viac) v nižších nadmorských výškach, resp. na stanovištiach, kde smrek prirodzene nedominoje, je najvhodnejším preventívnym opatrením zmena drevinovej skladby.

Pri zakladaní nových porastov sa odporúča podporovať prirodzené zmladenie, umožňujúce priamu selekciu jedincov vhodných pre miestne podmienky prostredia.

Pri umelej obnove smrekových porastov v rizikových lokalitách je nutné kľásť dôraz na zalesňovanie potomstvom vitálnych jedincov miestneho pôvodu, ktorých stresotolerancia sa prejavuje priamo v oblastiach zasiahnutých chradnutím.

Aby sa minimalizovali poškodenia koreňového systému, a tým i riziko následnej infekcie, je potrebné dôsledne dbať na kvalitu sadbového materiálu a zalesňovacích prác. Používať menšie sadenice, semenáčky alebo dokonca mikrovýsevy tak, aby sa minimalizovali poškodenia koreňového systému

V prípade umelej obnovy je potrebná voľba redšieho sponu výsadby a vysádzanie sadeníc, v relatívne bezpečnej vzdialenosti minimálne 2 – 5 m od infikovaných pňov tej istej hostiteľskej dreviny.

Obmedzenie intenzity výchovných zásahov v porastoch – je dôležité aj kvôli obmedzeniu infekcie cez rany a rezné plochy na čerstvých pňoch.

Pri ťažbách cez vegetačnú sezónu na pne systematicky aplikovať chemické alebo biologické prípravky na ochranu proti ich osídleniu parazitickým drevokaznými hubami.

Dodržiavať porastovú hygienu a včas spracovávať jedince napadnuté drevokaznými hubami a podkôrnym hmyzom.

Záver

Zmeny klímy vedú k zvýšenej agresivite a častejšiemu výskytu patogénov, ktoré predtým spôsobovali len okrajové poškodenia. Zásadné sú zmeny vo fenológii – skorší nástup vegetácie a predĺžené obdobia vlhkosti vytvárajú priaznivé podmienky pre viaceré infekčné cykly v jednej sezóne. Lesné škôlky a mladé kultúry predstavujú kritickú fázu v živote lesa, v ktorej sú dreviny mimoriadne náchylné na patogénne infekcie.

Odporúčania pre manažment lesných škôlok a mladých kultúr

Zvýšenie monitoringu – Pravidelné pozorovanie symptómov, izolácia a diagnostika patogénov
Pôdna a listová hygiena – prevencia akumulácie inokula; odstraňovanie opadaných listov a ihličia.

Racionalizácia závlahy – minimalizácia zvlhčovania listovej plochy vo večerných hodinách.

Rotácia a výber pôdných substrátov – zamedzenie patogénnym „hot spotom“.

Využívanie mykoparazitických a biologických prípravkov – ako ekologická alternatíva.

Pravidelný monitoring zdravotného stavu mladých porastov – najmä v rizikových lokalitách (nížiny, doliny, piesčité pôdy).

Preventívne zásahy – včasné odstránenie chorých jedincov, zníženie hustoty porastov.

Preferovanie odolnejších proveniencií. Výskum a šľachtenie odolných proveniencií.

Kľúčová dlhodobá stratégia.

Diferencovaný prístup podľa regiónu a typu dreviny – zohľadniť lokálnu klímu a nadmorskú výšku.

Literatúra

Je uložená u autorov

Kontak

Ing. Valéria Longauerová, PhD.

Ing. Andrej Kunca, PhD.

Ing. Milan Zúbrik, PhD.

Lesnícka ochranná služba

Lesnícka 11, 969 01 Banská Štiavnica

Valeria.Longauerova@nlcsk.org, Andrej.Kunca@nlcsk.org,

Milan.Zubrik@nlcsk.org

OGHRAHA LEA Z POHLADU LEGISLATIVY PRIPRAVKOV HA OGHRAHA RASTLIN

Bronislava Škarbová

Abstrakt

Používanie pesticídov v rastlinnej výrobe, lesnom hospodárstve ale aj v iných oblastiach je nevyhnutnosťou hlavne v meniacich sa agroklmatických podmienkach a s tým súvisiacim zvyšujúcim sa tlakom rozširujúceho sa počtu škodcov. V posledných rokoch čoraz viac nových pesticídnych účinných látok je na báze mikroorganizmov alebo rastlinných extraktov, ktoré sú dôležitou zložkou integrovaného systému ochrany rastlín. V súčasnosti je na úrovni EÚ schválených 423 pesticídnych látok, z toho 73 látok je na báze mikroorganizmov a 78 látok je označených ako látky s nízkym rizikom. Počet látok, ktoré sú schválené ako kandidáti na substitúciu je 46 a tieto by sa postupne mali nahrádzať bezpečnejšími alternatívami. Pozitívnym vývojom prechádzajú aj aplikačné zariadenia s cieľom presnej a cielenej aplikácie, vrátane bezpilotných leteckých systémov (dronov). Na ich bezpečné uvedenie do praxe je však potrebné vypracovanie technických špecifikácií, štandardov a podmienok bezpečnej aplikácie.

Kľúčové slová

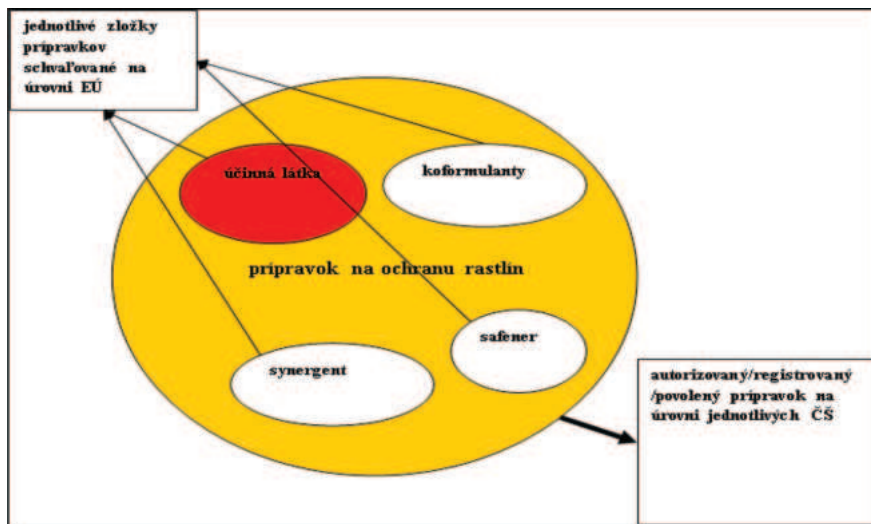
dron, lesné hospodárstvo, pesticíd, prípravky na ochranu rastlín

Úvod

Používanie pesticídov v rastlinnej výrobe, lesnom hospodárstve, ale aj v iných oblastiach je nevyhnutnosťou hlavne v meniacich sa agroklmatických podmienkach a s tým súvisiacim zvyšujúcim sa tlakom rozširujúceho sa počtu škodcov. Dôležité však je, ako sa tieto pesticídy využívajú, aké látky sa aplikujú a akým spôsobom. Je potrebné mať na zreteli, že aplikácia hlavne chemických pesticídov je náročnejšia na kvalifikované použitie a ochranu zdravia a životného prostredia pred možnými nežiaducimi účinkami týchto látok. Samozrejme, pesticídny spôsob ochrany rastlín je úspešný len vtedy, keď je vhodne doplnený ostatnými spôsobmi regulácie v rámci integrovaného systému ochrany rastlín.

V posledných rokoch čoraz viac nových pesticídnych účinných látok je na báze mikroorganizmov alebo rastlinných extraktov, ktoré sú dôležitou zložkou integrovaného systému ochrany rastlín. V súčasnosti je na úrovni EÚ schválených 423 pesticídnych látok, z toho 73 látok je na báze mikroorganizmov a 78 látok je označených ako látky s nízkym rizikom. Počet látok, ktoré sú schválené ako kandidáti na substitúciu je 46 a tieto by sa postupne mali nahrádzať bezpečnejšími alternatívami.

Pesticídne látky sa schvaľujú na úrovni EÚ a samotné prípravky na ochranu rastlín sa autorizujú na národnej úrovni (Obr. 1)



Obr. 1 Schvaľovanie účinných látok a autorizácia prípravkov na ochranu rastlín

Na Slovensku je v súčasnosti autorizovaných 1290 prípravkov na ochranu rastlín, ich rozdelenie podľa kategórie použitia je uvedené v Tab. 1

Kategória použitia	Obsah účinných látok			
	Spolu	s nízkym rizikom	mikroorganizmy	kandidáti na substitúciu
Insekticídy	173	3	7	33
Herbicídy	558	0	0	149
Fungicídy	467	9	16	184
Nematicídy	1	0	0	0
Moluskicídy	24	8	0	0
Rodenticídy	4	0	0	0
Rastové regulátory	63	0	0	6
Spolu	1290	20	23	372

Tab. 1 Počet prípravkov na ochranu rastlín autorizovaných v Slovenskej republike podľa kategórie použitia

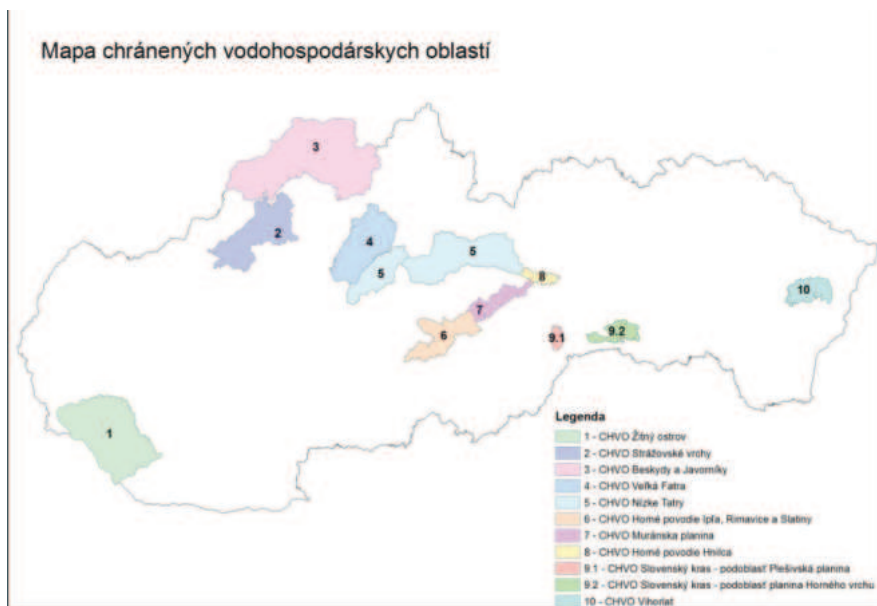
Napriek zvyšujúcemu sa počtu dostupných prípravkov s novými účinnými látkami, tieto sú spravidla autorizované do majoritných poľných plodín a na ochranu lesa je stále nedostatočný počet efektívnych účinných látok aj z pohľadu manažmentu rezistencie.

Jedným zo spôsobom riešenia je rozšírenie autorizácie prípravku na ochranu rastlín aj na menej významné použitia, definované v § 11, ods. 6 vyhlášky Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR č. 485/2011 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípravkoch na ochranu rastlín, medzi ktoré patrí aj ochrana lesa a lesných škôlok.

Druhým spôsobom je udelenie výnimky na uvedenie na trh a použitie neautorizovaného prípravku alebo na neautorizované použitie autorizovaného prípravku na dobu 120 dní na základe žiadosti podanej na Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky (MPRV SR) - link SEKCIA POĽNOHOSPODÁRSTVA - Udeľovanie výnimiek - Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR

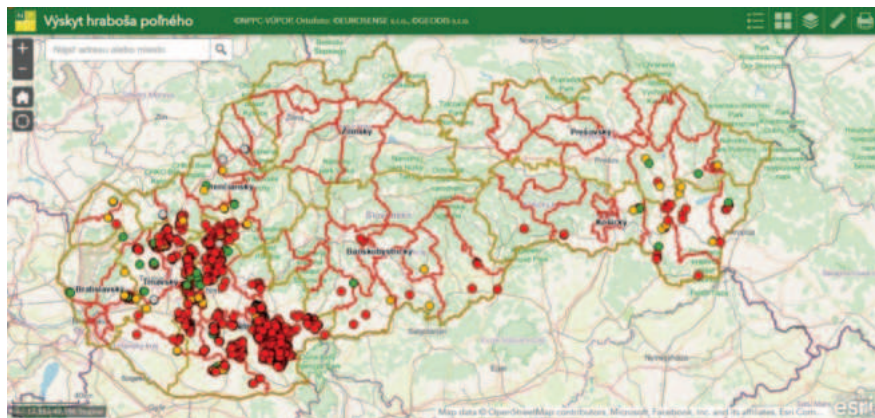
Z dôvodu implementácie zákona č. 305/2018 Z. z. o chránených oblastiach prirodzenej akumulácie vôd a o zmene a doplnení niektorých zákonov (zákon CHVO) vydalo MPRV SR vo vestníku dňa 20. septembra 2019 Zoznam prípravkov, ktorých použitie v CHVO je zakázané, tento doteraz platný zoznam obsahuje 43 prípravkov na ochranu rastlín.

V roku 2023 bola vypracovaná a prijatá Metodika Výskumného ústavu vodného hospodárstva (VÚVH) na posúdenie rizikovosti látok a prípravkov pre vodné zdroje, na základe čoho bol dňa 10. januára 2025 vydaný vo vestníku MPRV SR



nový zoznam, obsahujúci 25 prípravkov na ochranu rastlín, ktorých používanie bude od 1. januára 2026 v chránených vodohospodárskych oblastiach zakázané.

Od roku 2024 sa na Slovensku vykonáva na základe úlohy odbornej pomoci č. 38 „Systémové predchádzanie nadmernému premnoženiu hraboša poľného“ kontraktu č. 720/2023/MPRV SR-930 (123/MSA/2023) plošný monitoring výskytu hraboša poľného, výsledky monitoringu sú zverejňované na mapovom portáli Monitorovanie výskytu hraboša poľného v SR (mapa).



Túto činnosť realizuje Výskumný ústav rastlinnej výroby Národného poľnohospodárskeho a potravinárskeho centra. Údaje z monitoringu sú doplnené výsledkami hodnotenia intenzity výskytu hraboša poľného pracovníkmi Ústredného kontrolného a skúšobného ústavu poľnohospodárskeho v Bratislave.

Monitoring pokračuje aj v roku 2025 na základe úlohy č. 35 kontraktu č. 1131/2024/MPRV SR-930 (284/2024/NPPC) a údaje v mapovom portáli sú priebežne aktualizované.

Signalizačné správy zamerané na hraboša poľného vypracované Ústredným kontrolným a skúšobným ústavom poľnohospodárskym v Bratislave sú dostupné na webovej stránke: <https://www.uksup.sk/oor-signalizacia>.

V súčasnosti sú pre oblasť prípravkov na ochranu rastlín v platnosti na úrovni EÚ právne predpisy prijaté v roku 2009, konkrétne:

- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 o uvádzaní prípravkov na ochranu rastlín na trh,
- Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/128/ES, ktorou sa ustanovuje rámec pre činnosť Spoločenstva na dosiahnutie trvalo udržateľného používania pesticídov,
- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č 396/2005 o maximálnych hladinách rezíduí pesticídov v alebo na potravinách a krmivách rastlinného a živočíšneho pôvodu a o zmene a doplnení smernice Rady 91/414/EHS.

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1185/2009 z 25. novembra 2009 o štatistike pesticídov bolo v roku 2022 nahradené nariadením (EÚ) 2022/2379 o štatistike poľnohospodárskych vstupov a výstupov (tzv. nariadenie SAIO), v ktorom sa v čl. 4 (2) b) predpokladá elektronické vedenie záznamov o používaní prípravkov na ochranu rastlín. Toto nariadenie vstúpilo do platnosti od 1. januára 2025, vrátane vykonávacieho nariadenia (EÚ) 2023/1537, ktorým sa stanovujú pravidlá uplatňovania nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2022/2379, pokiaľ ide o štatistiku používania prípravkov na ochranu rastlín, ktorá sa má zasielať za referenčný rok 2026 počas prechodného režimu 2025 – 2027, a pokiaľ ide o štatistiku prípravkov na ochranu rastlín uvádzaných na trh pre prechodné obdobie 2025 – 2027.

Samotným vykonávacím nariadením (EÚ) 2023/564, týkajúcim sa obsahu a formátu záznamov o prípravkoch na ochranu rastlín vedených profesionálnymi používateľmi podľa nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 sa ustanovuje povinnosť vedenia evidencie o spotrebe prípravkov na ochranu rastlín aj v elektronickej forme s účinnosťou od 1. januára 2026. Táto povinnosť sa týka aj profesionálnych používateľov prípravkov na ochranu rastlín v lesnom hospodárstve.

Nariadenie (ES) č. 1107/2009 ustanovuje podmienky schvaľovania účinných látok a autorizácie prípravkov na ochranu rastlín, vrátane ich označovania, pričom podrobnosti o obsahu etikiet sú uvedené vo vykonávacom nariadení (EÚ) č. 547/2011, ktorým sa vykonáva nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009, pokiaľ ide o požiadavky na označovanie prípravkov na ochranu rastlín. Toto vykonávacie nariadenie v súlade s koncepciou digitalizácie by malo byť do konca roka 2025 nahradené novým nariadením o označovaní prípravkov na ochranu rastlín, ktorým sa ustanovuje povinnosť zavedenia aj digitálnych etikiet a rozširujú sa prvky označovania s cieľom vyššej ochrany zdravia ľudí a životného prostredia.

Článok 1 – požiadavky na označovanie

Článok 2 – veda a výskum

Článok 3 – štandardné vety pre bezpečné zneškodnenie

Článok 4 – štandardné vety pre komunikáciu o nebezpečnosti

Článok 5 – štandardné vety pre opatrenia na zníženie rizika

Článok 6 – štandardné vety pre použitie a sejbu namoreného osiva

Článok 7 – farebná schéma označovania nebezpečnosti prípravkov

Článok 8 – formát etikety (fyzická aj digitálna)

Článok 9 – všeobecný obsah etikety

Článok 10 – požiadavky na digitálnu etiketu

Článok 11 – zavádzajúce informácie na etikete

Článok 12 – jazyk

Článok 15 – dátum uplatňovania od 1. januára 2026

Príloha I – informácie o identifikácii a podmienkach použitia

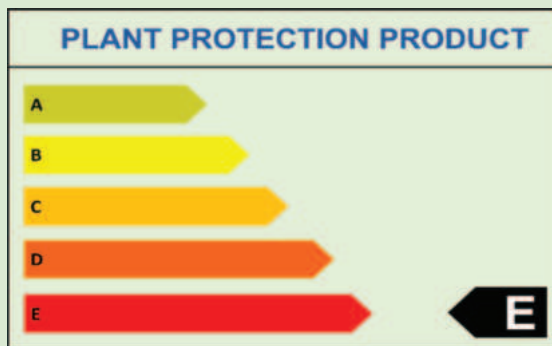
Príloha II – štandardné vety a kritériá pre bezpečné zneškodnenie prípravkov na ochranu rastlín

Príloha III – štandardné vety a kritériá pre komunikáciu o nebezpečnosti (piktogram pre včely)

Príloha IV – štandardné vety pre komunikáciu o nebezpečnosti prípravkov na báze mikroorganizmov

Príloha V – štandardné vety a kritériá pre opatrenia na zníženie rizika pôvodné vety SPo, SPe, Spa, SPr, nové vety SRu, SPbr, SPb, morené osivo (Sss)

Príloha VI – farebná schéma (A-E)



Smernica 2009/128/ES ustanovuje rámec bezpečného používania prípravkov na ochranu rastlín a mala byť nahradená novým nariadením EÚ o udržateľnom používaní prípravkov na ochranu rastlín, známym pod skratkou SUR. Vzhľadom na nevyváženosť návrhu nariadenia SUR bol tento návrh po dvoch rokoch rokovaní v Rade EÚ Komisiou stiahnutý. Napriek mnohým nedostatkom návrhu medzi pozitívne prvky patria ustanovenia týkajúce sa aplikácie prípravkov na ochranu rastlín bezpilotnými leteckými systémami (dronmi)

Podľa čl. 9, ods. 1 smernice 2009/128/ES, ktorá je transponovaná zákonom č. 405/2011 Z. z. o rastlinolekárskej starostlivosti, sú letecké aplikácie prípravkov na ochranu rastlín zakázané, aplikácia dronmi sa považuje tiež za leteckú aplikáciu a teda podlieha tomuto zákazu.

Vo výnimočných prípadoch môžu byť letecké aplikácie povolené, ale musia spĺňať všetky podmienky dané legislatívou, vrátane kontroly aplikačných zariadení, podmienky bezpečnej aplikácie, prípravky na ochranu rastlín aplikované letecky musia byť uvedené v zozname podľa § 25 zákona č.405/2011 Z. z. a posúdené poverenými odbornými pracoviskami na leteckú aplikáciu.

Na bezpečné uvedenie používania dronov na aplikáciu prípravkov na ochranu rastlín do praxe je potrebné vytvoriť samostatný modul odborného vzdelávania podľa § 32 zákona č. 405/2011 Z. z., vypracovať technické špecifikácie a štandardy

a podmienky bezpečnej aplikácie tak, ako to predpokladal samotný návrh nariadenia SUR s termínom do 3 rokov od prijatia návrhu nariadenia.



Používanie dronov (nielen) na aplikáciu prípravkov na ochranu rastlín vyžaduje aj splnenie požiadaviek zákona č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (Letecký zákon), ktorým sa v roku 2024 implementovala legislatíva EÚ v oblasti dronov, konkrétne delegované nariadenie Komisie 2019/945 a vykonávacie nariadenie Komisie 2019/947, ktoré definujú systém registrácie používateľov dronov, triedy UAS zariadení (Unmanned aerial system) a postupy pre ich bezpečnú prevádzku. V § 44 Leteckého zákona sú definované letecké práce, vrátane prác v lesnom hospodárstve, pričom v desiatej časti sú doplnené ustanovenia pre bezpilotné letecké systémy a bezpilotné lietadlá.

- § 45a - Register prevádzkovateľov bezpilotných leteckých systémov
- § 45b - Register bezpilotných lietadiel
- § 45c - Poistenie zodpovednosti za škodu spôsobenú prevádzkou bezpilotného leteckého systému alebo bezpilotného lietadla
- § 45d - Pilot na diaľku

Podľa návrhu nariadenia SUR, ak určité kategórie bezpilotných lietadiel budú spĺňať požadované kritériá, je možné vyňať leteckú aplikáciu takýmito bezpilotnými lietadlami zo zákazu aplikácie prípravkov na ochranu rastlín letecky.

Súčasťou týchto faktorov sú kritériá týkajúce sa:

- a) technických špecifikácií bezpilotných lietadiel, a to aj v súvislosti s úletom postrekovej hmly, počtom a veľkosťou rotorov, užitočným zaťažením, šírkou ramena a celkovou hmotnosťou, prevádzkovou výškou a rýchlosťou;
- b) poveternostných podmienok vrátane rýchlosti vetra;
- c) plochy, na ktorej sa má vykonať postrek, vrátane topografie;
- d) dostupnosti prípravkov na ochranu rastlín autorizovaných na použitie ako prípravky s ultra nízkoobjemovým obsahom účinnej látky v príslušnom členskom štáte;
- e) potenciálneho použitia bezpilotného lietadla v určitých prípadoch v spojení s precíznym poľnohospodárstvom s kinematickým meraním v reálnom čase;
- f) úrovne výcviku vyžadovanej v prípade pilotov prevádzkujúcich bezpilotné lietadlo;

g) potenciálneho súčasného používania viacerých bezpilotných lietadiel v rovnakej oblasti.

Zatiaľ je možné vykonať dronovú aplikáciu prípravkov na ochranu rastlín na účely výskumu a vývoja podľa § 21 zákona č. 405/2011 Z. z..

Žiadosť o povolenie na používanie neautorizovaných prípravkov na ochranu rastlín alebo neautorizované použitie na účely výskumu a vývoja sa podáva na Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky v Bratislave (ÚKSÚP). ÚKSÚP môže v povolení uložiť držiteľovi povolenia podmienky a opatrenia súvisiace s uvádzaním na trh, so skladovaním, s používaním, obmedzením rizika alebo so zneškodnením prípravku na ochranu rastlín a ošetrových rastlín alebo rastlinných produktov. Posúdenie rizika a navrhovanie opatrení a obmedzení vykonávajú vo svojej vecnej príslušnosti odborné pracoviská poverené podľa § 7 zákona č. 405/2011 Z. z.

Literatúra

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 z 21. októbra 2009 o uvádzaní prípravkov na ochranu rastlín na trh (Ú. v. EÚ L 309, 24. 11. 2009)

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/128/ES z 21. októbra 2009, ktorou sa ustanovuje rámec pre činnosť Spoločenstva na dosiahnutie trvalo udržateľného používania pesticídov (Ú. v. EÚ L 309, 24. 11. 2009)

Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/127/ES z 21. októbra 2009, ktorou sa mení a dopĺňa smernica 2006/42/ES, pokiaľ ide o strojové zariadenia na aplikáciu pesticídov (Ú. v. EÚ L 310, 25. 11. 2009)

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1185/2009 z 25. novembra 2009 o štatistike pesticídov (Ú. v. EÚ L 324, 10. 12. 2009)

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 396/2005 z 23. februára 2005 o maximálnych hladinách rezíduí pesticídov v alebo na potravinách a krmivách rastlinného a živočíšneho pôvodu a o zmene a doplnení smernice Rady 91/414/EHS (Ú. v. EÚ L 70, 16. 3. 2005)

Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2022/2379 z 23. novembra 2022 o štatistike poľnohospodárskych vstupov a výstupov, ktorým sa mení nariadenie Komisie (ES) č. 617/2008 a zrušujú nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1165/2008, (ES) č. 543/2009 a (ES) č. 1185/2009 a smernica Rady 96/16/ES (Ú. v. EÚ L 315, 7.12.2022)

Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2023/1537 z 25. júla 2023, ktorým sa stanovujú pravidlá uplatňovania nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2022/2379, pokiaľ ide o štatistiku používania prípravkov na ochranu rastlín, ktorá sa má zasielať za referenčný rok 2026 počas prechodného režimu 2025 – 2027, a pokiaľ ide o štatistiku prípravkov na ochranu rastlín uvádzaných na trh (Ú. v. EÚ L 187, 26.7.2023),

Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2023/564 z 10. marca 2023 týkajúce sa obsahu a formátu záznamov o prípravkoch na ochranu rastlín vedených

profesionálnymi používateľmi podľa nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 (Ú. v. EÚ L 74, 13.3.2023)

Delegované nariadenie Komisie (EÚ) 2019/945 z 12. marca 2019 o bezpilotných leteckých systémoch a o prevádzkovateľoch bezpilotných leteckých systémov z tretích krajín (Ú. v. EÚ L 152, 11.6.2019)

Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel (Ú. v. EÚ L 152, 11.6.2019)

Zákon č. 405/2011 Z. z. o rastlinolekárskej starostlivosti a o zmene zákona Národnej rady Slovenskej republiky č. 145/1995 Z. z. o správnych poplatkoch v znení neskorších predpisov

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 485/2011 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípravkoch na ochranu rastlín v znení neskorších predpisov

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 487/2011 Z. z. o integrovanej ochrane proti škodlivým organizmom a o jej uplatňovaní

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 488/2011 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o zásadách a opatreniach na ochranu zdravia ľudí, zdrojov pitnej vody, včiel, zveri, vodných a iných necieľových organizmov, životného prostredia a osobitných oblastí pri používaní prípravkov na ochranu rastlín

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 489/2011 Z. z. o podmienkach a postupoch pri evidencii a kontrolách aplikačných zariadení

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 490/2011 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o podmienkach, požiadavkách a postupoch na uplatnenie ustanovení o leteckej aplikácii prípravkov na ochranu rastlín a o žiadosti o povolenie leteckej aplikácie

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 491/2011 Z. z. o vedení záznamov o prípravkoch na ochranu rastlín a nahlasovaní údajov, podmienkach a postupoch pri skladovaní a manipulácii s prípravkami na ochranu rastlín a čistení použitých aplikačných zariadení

Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 492/2011 Z. z. o odbornom vzdelávaní v oblasti prípravkov na ochranu rastlín

Zákon č.305/2018 Z. z. o chránených oblastiach prirodzenej akumulácie vôd a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Zákon č.143/1998 Z. z. o civilnom letectve a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Národný akčný plán na dosiahnutie udržateľného používania prípravkov na ochranu rastlín, rev. 2 (2021-2025), SEKCIA POĽNOHOSPODÁRSTVA-NAP-
Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR

Pesticídna databáza Európskej únie (EU Pesticide database)

<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>

Metodika pre výber zakázaných prípravkov na ochranu rastlín v chránených vodohospodárskych oblastiach Slovenskej republiky, Anna Patschová, Suzana Trešnjić Ivanović, Erika Remešicová, Lucia Mišurová, Adriana Kušnier Palugová, Lenka Svobodová, Bratislava, 2023 https://www.vuvh.sk/wp-content/uploads/2024/01/metodika-vyberu-zakazanych-POR-2023_21_12_2023_AP.pdf

Kontakt

Ing. Bronislava Škarbová, PhD.

Sekcia poľnohospodárstva, odbor rastlinnej výroby

Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky

Dobrovičova 12,

812 66 Bratislava

e-mail: bronislava.skarbova@land.gov.sk

SUITABILITY OF FAGUS SYLVATICA L. AND QUERCUS ROBUR L. SEEDLINGS FOR FOREST CROPS ESTABLISHMENT ASSESSED BY GROWTH AND QUALITY INDICATORS

Jacek Banach, Karolina Staszcz-Szlachta, Mariusz Kormanek, Weronika Salwa, Stanisław Małek

Abstract

The suitability of seedlings grown in forest nurseries is usually assessed based on standards that consider growth parameters. In the present study, beech and oak seedlings were grown in three nurseries (2 containerised and one ground nursery) using two fertilisation procedures. In each production variant, the growth characteristics of the seedlings were analysed and the shoot-root ratio (S/R) was calculated, the value of which better predicts the adaptation of seedlings after planting on the crop, especially under water deficit conditions. When growing seedlings of European beech and pedunculate oak, a significant effect of production method and differentiated fertilisation was obtained. Summarising the evaluation of growth and quality index, for beech seedlings, the best suitability for growing in the ground and polystyrene containers was shown. In contrast, oak seedlings grew in the ground (PGL variant) and in a polyethylene container.

Keywords

European beech, height, nursery container, pedunculate oak, root collar diameter, stem/root ratio

Introduction

Different methods of producing planting material are used in forest nurseries, i.e. with an open root system in nursery soil (field nurseries) or substrate (nurseries) and with a covered root system using nursery substrate (container nurseries). In Poland, seedlings for regeneration are mainly produced in field nurseries. Due to the lower demand for seedlings and the development of container nurseries, the production area of ground nurseries has been steadily decreasing since the beginning of the 21st century, which in 2023 amounted to about 1.73 thousand

ha, with an average annual seedling production of about 750 million seedlings. (Biernat 2024).

The growth of forest tree seedlings is determined by many abiotic factors (Sack 2004, Kowalkowski et al. 2013, Apostol et al. 2015, Kasprzyk et al. 2015, Majsztrik et al. 2017, Yazdi et al. 2019). The physical and biological properties of the soil or nursery substrate also play a significant role. The properties of the nursery substrate, including sterility, depend primarily on the components from which it was prepared. In forest nurseries, components of natural origin are mainly used for the preparation of substrates, the most commonly used of which are: bark, cones, sawdust, high peat, brown coal, as well as artificially produced ones: perlite, vermiculite, styromull, expanded clay and pumice (Gorzela 1991, Gunia 1992). The proportion between the solid fraction and the pores should be considered when preparing nursery substrates. The substrate's optimum proportion of solid fraction should be 70% and voids 30% (Szabla and Pabian 2009).

In nursery production, an important element is the assessment of the quality of the raised seedlings. As a rule, it consists of measuring the seedling's growth characteristics, i.e., height, thickness at the root neck and length of the root system, and then comparing the obtained values with the normative ones and classifying them into meeting and not meeting any criteria. When assessing quality, however, the relationship between the result and the adaptation of seedlings to the crop is important. Some researchers indicate that it is possible to predict seedling adaptation after planting on the crop based on height or thickness values at the root neck (Zida et al. 2008, Ivetić et al. 2016). Still, many authors suggest that various synthetic indices, calculated from measured growth traits, are better suited for this purpose (Thompson 1985, Grossnickle 2012, Gebretsadik 2018, Lin et al. 2018, Devetaković et al. 2021).

This paper presents the result of evaluating seedlings of European beech and pedunculate oak grown from the same seeds in three nursery facilities, two container nurseries and one ground nursery. The effect of the seedling production method combined with different fertilisation on the growth and quality of seedlings of both species was evaluated.

Material and methods

Seedlings subjected to analysis of growth and quality parameters (breeding suitability indices) were grown in three forest nurseries using different variants of nursery production, i.e. covered root system - Hiko V265 polyethylene container with dimensions' length 352 x width 216 x height 150 mm (28 cells) or Marbet V300 polystyrene container with dimensions' length 650 x width 312 x height 180 mm (53 cells) and open root system (ground nursery). In each nursery, three sets of seeds were used to produce beech and oak seedlings, sourced from the three forest districts where the research is being conducted. Seeds in both container nurseries in Nędza in the Rudy Raciborskie Forest District (50.168454, 18.317984) and

Suków in the Daleszyce Forest District (50.796023, 20.709837) were sown in April (oak) and May (beech) 2023. At the Kuchary ground nursery in the Płońsk Forest District (52.682721, 20.569361), beech and oak seeds were sown according to the procedure used at this nursery, i.e. at the end of October 2022. At each nursery, seedlings were grown in two fertilisation variants, i.e. according to the standard procedure used at the nursery (PGL variant) and according to the procedure proposed by the project contractor (URK variant), i.e. the Faculty of Forestry of the Agricultural University of Kraków (Table 1).

To characterise the soil and peat-perlite substrate in the experiment, selected physical parameters were determined (Dobrzański and Zawadzki 1981, Maciak and Liwski 1996, Oleksynowa et al. 1998). For the production of seedlings in containers, a peat-perlite substrate produced at the Nursery Farm in Nêdzi with the production designation pxxx (95% high peat, 5% perlite) was used, the granulometric composition of which was determined on 10 samples using the dry sieve method (Oleksynowa et al. 1998). In container production, one crucial physical parameter of the substrate in the container cell that affects seedling growth is volumetric density, which measures substrate compaction. Measuring densities involves pressing a standardised cone into the substrate in the cell and measuring the resistance to its pressing. In this study, a prototype solution (patent P.441918), the so-called Multipenetrator (Fig. 1), was used, with which compactness can be determined simultaneously in multiple cells of a container (Kormanek et al. 2023). The penetrometer was measured during container backfilling, using a cone with an opening angle of 30° and a base diameter of 1.27 cm. In the soil nursery, to determine the granulometric composition of the soil, six mixed soil samples were taken from three levels up to 10 cm, 11 to 20 cm, and 21 to 30 cm, and analyses were performed on a Fritch Analysette 22 laser analyser.

To assess the variability of the production field where the ground nursery experiment was carried out, a FieldScout SC900 penetrometer equipped with a cone with an opening angle of 30° and a base diameter of 1.27 cm was used to measure compactness. To determine the variation in volumetric moisture content, conductivity and temperature in the field, a Time Domain Reflectometry (TDR) instrument, Spectrum Technologies TDR350, was used (Fig. 1). Concentration was measured to a depth of 30 cm. In comparison, moisture content and conductance were measured at 0-10 cm, 11-20 cm and 21-30 cm. The penetrometer and TDR instrument were measured on two perches where the PGL and URK fertilisation options were located separately. Measurements were taken at 3 locations on the perches, beginning, middle and end. In the ground nursery, instrument measurements were taken three times, i.e., at the production cycle's beginning, middle, and end. Then the values from the whole period were averaged.

At the end of the production period (beginning of October), height and root collar diameter were measured at individual nurseries on a total of 1946 seedlings

Forest Inspectorate (nursery)	PGL option	URK variant
Daleszyce (Sukow)	Starter fertilisation: 2.5 kg Osmocote Exact 3-4M + 1.0 kg Osmocote Exact 5-6M per 1 m ³ of substrate Post-emergence fertilisation: none	Starter fertilisation: 0.5 kg Osmocote Start + 1.0 kg Osmocote Exact 3-4M per 1 m ³ of substrate Post-emergence fertilisation: foliar application of Floralesad 1%, dose based on the results of the assimilation apparatus analysis performed at the end of June (no application necessary)
Płońsk (Kuchary)	Starter fertilisation: according to guidelines from soil chemical analysis Post-emergence fertilisation: twice with ammonium nitrate, manual sowing	Starter fertilisation: as indicated by soil chemical analysis Post-emergence fertilisation: Floralesad 1% foliar fertiliser or single-component fertiliser, dosage based on the results of the assimilation apparatus analysis performed at the end of June (no application necessary)
Rudy Raciborskie (Misery)	Starter fertilisation: 2.0 kg Osmocote Exact 3-4M per 1 m ³ of substrate Post-emergence fertilisation: none	Starter fertilisation: 0.5 kg Osmocote Start + 1.0 kg Osmocote Exact 3-4M per 1 m ³ of substrate Post-emergence fertilisation: foliar application of Floralesad 1%, dose based on the results of the assimilation apparatus analysis performed at the end of June (no application necessary)

Table 1. Characteristics of fertilisation procedures applied during the rearing of European beech and pedunculate oak seedlings at individual nursery sites



Multipenetrator



FieldScout SC900



TDR350

Fig. 1. Measurement of peat substrate compactness with a Multipenetrator and nursery soil compactness with a FieldScout SC900 penetrometer, as well as its moisture content, conductivity and temperature with a Spectrum Technologies TDR350 instrument (photo: M. Kormanek)

in all experimental variants (6 seed origin-fertilisation combinations x 2 species x 3 nurseries). From each variant, 12 seedlings were taken for detailed laboratory analyses (432 total). Root dry weight (RDW, g) and shoot dry weight (SDW, g) were determined for each, from which a shoot-root ratio was calculated to determine the suitability of the raised seedlings for establishing forest crops. The shoot-root

ratio (S/R) was calculated as the ratio of the dry weight of the aboveground part to the dry weight of the roots (Iverson 1984), according to the formula: $S/R = SDW / RDW$ where: SDW – shoot dry weight (g), RDW – root system dry weight (g).

The S/R ratio is used to determine the potential of seedlings to adapt well, primarily under unfavourable soil moisture conditions. For seedlings with an exposed root system, the ratio should not exceed a value of 3:1, and with a covered root system 2:1 (Iverson 1984, Thompson 1985, Haase 2007).

Separately for each species and culture method (polyethylene container, polystyrene container, in-ground) combined with fertilisation (URK, PGL), the mean value for each analysed trait was calculated, and the standard error of its estimation ($\pm SE$) was determined. A two-factor analysis of variance with interaction (production method x fertilisation) was also performed, for which homogeneous groups were determined using the Tukey test (for $p = 0.05$). All calculations were performed using Statistica 13.3 software (TIBCO Software Inc. 2017).

Results

Both container nurseries used a substrate of similar granulometric composition: fractions: 10 mm >12.01% $\geq$ 5 mm; 5 mm > 26.7% $\geq$ 2 mm; 2 mm >29.0% $\geq$ 1 mm; 1 mm >16.3% $\geq$ 0.5 mm 0.5 mm > 8.8% $\geq$ 0.25 mm; 0.25 mm > 4.2% $\geq$ 0.1 mm; 2.1% <0.1 mm. Substrate compactness and moisture content in containers (Table 2) for the different species were similar; differences occurred for containers of different types backfilled in different nurseries. This is related to differences in the container design itself (size and shape of the individual cell, container material), but also to the different substrate backfilling lines, as Hiko containers were backfilled on the BCC line and Marbet polystyrene containers on the Urbinati line.

Species	Container	Container type	Moisture weight [%]	Compactness [kPa]
<i>Fagus sylvatica</i>	polyethylene	Hiko V265	74.8 $\pm$ 0.6	61.4 $\pm$ 22.7
<i>Quercus robur</i>			76.4 $\pm$ 0.5	83.6 $\pm$ 28.0
<i>Fagus sylvatica</i>	polystyrene	Marbet V300	57.1 $\pm$ 0.8	60.4 $\pm$ 19.7
<i>Quercus robur</i>			59.2 $\pm$ 1.5	65.1 $\pm$ 20.9

Table 2. Moisture content and compactness of the substrate in containers after filling on the nursery line

According to the "Classification of grain size of soils and mineral formations" (Skłodowski 2009), the nursery soil in the ground nursery was defined as sandy loam (gp).

In the production field area in the ground nursery, there was a slight variation in compactness on the perches with the different fertilisation variants, especially in the soil layer from 11 to 20 cm. The soil layer was up to 20 cm, and the soil

conductance on the nursery bed with the PGL variant was higher. The field surface temperature was similar (Table 3).

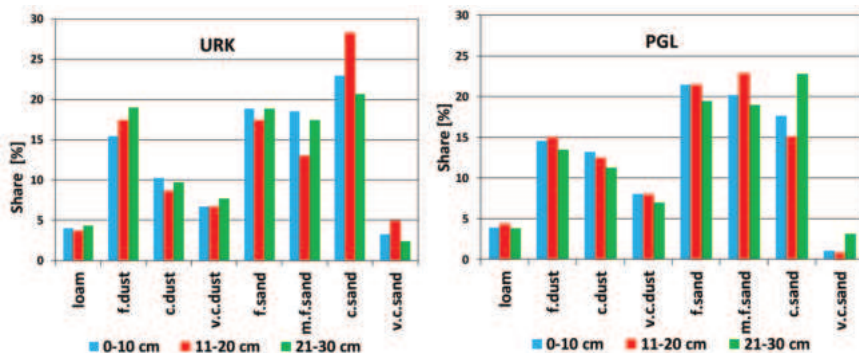


Fig. 2. Granulometric composition of the nursery soil taken from nursery beds at the Kuchary Królewskie Nursery Farm in URK and PGL fertilisation variants

Measurment depth	Variant fertilisation	Compactness [MPa]	Volumetric moisture content [%]	Conductance [$\mu S \cdot cm^{-1}$]	Temperature [$^{\circ}C$]
0-10 cm	URK	0.28 ± 0.1	27.2 ± 0.38	82.5 ± 4.9	24.3 ± 0.47
	PGL	0.27 ± 0.1	23.4 ± 1.04	106.7 ± 13.1	23.7 ± 0.33
11-20 cm	URK	1.7 ± 0.2	26.1 ± 0.10	69.2 ± 0.47	23.6 ± 0.09
	PGL	1.1 ± 0.2	27.9 ± 0.28	129.2 ± 6.36	23.5 ± 0.05
21-30 cm	URK	3.4 ± 0.3	23.7 ± 0.19	63.0 ± 2.26	23.0 ± 0.05
	PGL	2.3 ± 0.2	22.4 ± 0.61	66.9 ± 8.49	22.8 ± 0.05

Table 3. Moisture content, compactness and conductivity of soils on perches with different fertilisation variants

For European beech, statistically significant differences were obtained between the mean values for all analysed traits, both between production methods and fertilisation used. The highest seedlings were obtained from growing in the ground and polystyrene containers in the PGL fertilisation variant. In contrast, the lowest were obtained from a polyethylene container in the URK variant. Beech seedlings from the polystyrene container (URK and PGL) and the ground (PGL) were characterised by the largest diameter. The seedlings from a polyethylene container (URK and PGL) had the smallest average value for this trait (Table 4). On the other hand, the shoot-root ratio (S/R) value was standard for all variants of production, i.e. ≤ 2 for containerized seedlings and ≤ 3.0 for bareroot (Fig. 3).

Species	Characteristics to be analysed	Variant fertilisation	polyethylene container	polystyrene container	on the ground
Fagus sylvatica	Seedling height (cm)	URK	27.6 ± 0.7 ^c	33.6 ± 0.7 ^b	31.1 ± 0.4 ^b
		PGL	32.2 ± 0.7 ^b	38.0 ± 0.7 ^a	39.8 ± 0.4 ^a
	Root collar diameter (mm)	URK	4.1 ± 0.1 ^c	6.2 ± 0.1 ^{ab}	5.7 ± 0.1 ^b
		PGL	4.2 ± 0.1 ^c	6.4 ± 0.1 ^a	6.3 ± 0.1 ^a
Quercus robur	Seedling height (cm)	URK	35.8 ± 0.9 ^b	25.4 ± 0.9 ^d	28.1 ± 0.6 ^d
		PGL	37.7 ± 1.0 ^{ab}	32.0 ± 0.9 ^c	40.2 ± 0.6 ^a
	Root collar diameter (mm)	URK	4.4 ± 0.1 ^d	5.4 ± 0.1 ^c	6.0 ± 0.1 ^b
		PGL	4.5 ± 0.1 ^d	5.7 ± 0.1 ^{bc}	6.6 ± 0.1 ^a

Table 4. Mean values (± SE) of analysed traits of seedlings obtained under different variants of nursery production and fertilisation; a-d - homogeneous groups determined by Tukey's test ($p = 0.05$)

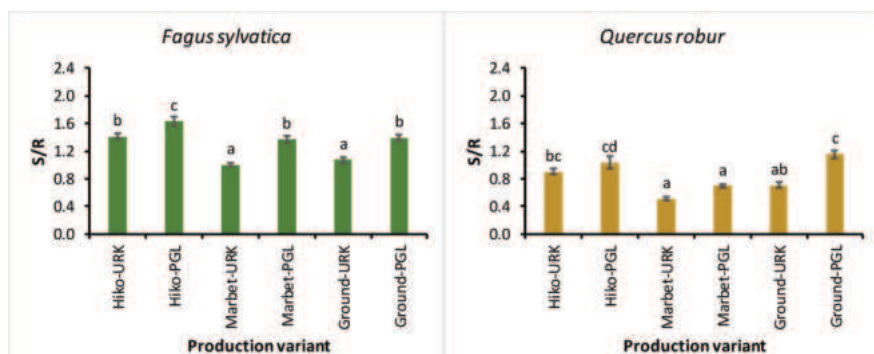


Fig. 3. Comparison of the shoot-root ratio (S/R) of seedlings grown under different production options

For pedunculate oak, statistically significant differences were also obtained between mean values for all analysed traits, both between production methods and fertilisation applied. No significant difference was obtained between PGL and URK fertilisation for all traits in the case of seedlings grown in a polyethylene container. In contrast, higher mean values were obtained with PGL fertilisation for seedlings from a polystyrene container and the ground for most traits. The highest seedlings were grown in the ground (PGL), comparable to those from the polystyrene container (URK and PGL). In both fertilisation variants, seedlings from this container were characterised by the lowest root collar diameter (Table 4). On the other hand, the value of the S/R ratio was optimal, as the mean values for the different variants clustered around 1.0, indicating their good resistance to lower water availability in the post-planting period (Fig. 3).

Discussion

A prerequisite for successful forest regeneration is planting high-quality seedlings with high survivability. Therefore, seedlings should be grown in forest nurseries characterised by such parameters to enable good adaptation after planting in the forest crop. Our results show that the height and diameter at the root neck of beech and scrub oak seedlings were significantly influenced by how they were raised, both by nursery type and fertilisation strategy. This suggests that nursery practice significantly influences the size of the seedlings raised. According to Grossnickle (2012), seedling size is related to survival rate. Large seedlings perform well where there is little environmental stress, even where there is excessive competition from other species. As the water deficit increases in a woodland crop, the value of the optimum seedling height for good survival decreases (Thompson 1985). This response is related to the large size of the assimilatory apparatus, which increases the planting stress caused by disrupting the normal water balance, as the root system cannot supply sufficient water for transpiration (Grossnickle 2005).

According to Johnson and Cline (1991), root collar diameter is the best morphological indicator of seedling quality. Most studies suggest that seedlings with a larger diameter have a greater chance of surviving on the crop (South and Mitchell 1999, Olié et al. 2009, Morrissey et al. 2010). The root collar diameter indirectly indicates seedling characteristics (e.g., the number of roots) that are important in the plant's water management and play a critical role in its survival during drought (McDowell et al. 2008). This is important in reducing forest restoration costs due to improved survival and not having to replant where seedlings have died (Sampson et al. 1997).

A small but significant variation in the shoot-root ratio (S/R) values was obtained for both species, ranging from 1.0 to 1.6 for European beech. For pedunculate oak, the value of the S/R ratio was slightly lower, ranging from 0.5 to 1.2. Thus, in all production variants, the S/R ratio did not exceed the value of 2:1 for container seedlings and 3:1 for ground seedlings, which is considered optimal for seedlings (Haase 2007). Similar values of the S/R ratio were obtained for seedlings of European beech and pedunculate oak grown in different nurseries in Serbia (Ivetić et al. 2017). An imbalance between transpiration and root absorption areas can cause water stress in seedlings. Decreasing S/R ratio values give seedlings a better chance of survival (Kainer and Duryea 1990, Haase and Rose 1993, Généré and Garriou 1999). Thus, when breeding seedlings, the aim should be to reduce the S/R ratio to obtain seedlings with better survivability when planted on the crop.

Conclusions

When growing seedlings of European beech and pedunculate oak, a significant effect of production method and differentiated fertilisation was obtained. The average value of height and diameter at the root neck was higher for seedlings under standard fertilisation (PGL variant). In comparison, a better value of the S/R coefficient was obtained with modified fertilisation (URK variant). Despite the

significant difference in the S/R ratio between the variants, its value was within the standard and did not exceed 2:1. Summarising the assessment of growth parameters and the value of the shoot-root index, the best suitability of growing in the ground and polystyrene containers was shown for beech seedlings, while for pedunculate oak seedlings growing in the ground (PGL variant) and in a polyethylene container.

Acknowledgments

The research was carried out as part of the project EZ-271.3.22.2021 "Optimisation of the breeding of forest tree seedlings under controlled irrigation and fertilisation conditions", funded by the General Directorate of State Forests in Warsaw (Poland).

References

- Apostol K.G., Dumroese K.R., Pinto J.R., Davis J.S. 2015: Light-emitting diode lighting for forest nursery seedling production. *Acta Horticulturae*, 1085, 335–339. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1085.62
- Biernat A. 2024: Analiza produkcji szkółkarskiej w PGL LP za 2023 rok. Zaprezentowano na Seminarium szkółkarskie dla specjalistów właściwych ds. szkółkarstwa leśnego rdLP oraz dla leśniczych szkółkarzy ze szkółek kontenerowych LP, Jedlnia-Letnisko.
- Devetaković J.R., Pavlović S., Krinulović L., Janković I.K. 2021: Field performance of Austrian pine bareroot seedlings in comparison to seedlings pattern and density in the nursery. *Reforesta*, (11), 27–35. DOI: 10.21750/REFOR.11.03.91
- Dobrzański B., Zawadzki S. (red.) 1981: *Gleboznawstwo: podręcznik dla studentów akademii rolniczych: praca zbiorowa*. Państw. Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa ss. 613.
- Gebretsadik W. 2018: Assessing the Role of Quality Thresholds on Early Performance of Tree Seedlings Planted on Degraded Highlands. *Forest Research*, 07 (02), 1–8. DOI: 10.4172/2168-9776.1000219
- Génére B., Garriou D. 1999: Stock quality and field performance of Douglas fir seedlings under varying degrees of water stress. *Annals of Forest Science*, 56 (6), 501–510. DOI: 10.1051/forest:19990607
- Gorzela A. 1991: Podłoża do produkcji sadzonek w namiotach foliowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria B*, (13), 11–19.
- Grossnickle S.C. 2005: Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30 (2–3), 273–294. DOI: 10.1007/s11056-004-8303-2
- Grossnickle S.C. 2012: Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43 (5–6), 711–738. DOI: 10.1007/s11056-012-9336-6
- Gunia S. 1992: *Produkcja sadzonek w warunkach kontrolowanych*. W: *Szkółkarstwo leśne*, R. Sobczak (red.). Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Haase D.L. 2007: *Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality*. W: *National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2006*. USDA Forest Service, Fort Collins, CO, USA.

- Haase D.L., Rose R. 1993: Soil Moisture Stress Induces Transplant Shock in Stored and Unstored 2 + 0 Douglas-Fir Seedlings of Varying Root Volumes. *Forest Science*, 39 (2), 275–294.
- Iverson R.D. 1984: Planting-Stock Selection: Meeting Biological Needs and Operational Realities. W: *Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*, M. L. Duryea, T. D. Landis, C. R. Perry (red.). Springer Netherlands, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-009-6110-4_24
- Ivetić V., Devetaković J., Maksimović Z. 2016: Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforest*, 1 (2), 6–21. DOI: 10.21750/REFOR.2.02.17
- Ivetić V., Maksimović Z., Kerkez I., Devetaković J. 2017: Seedling Quality in Serbia – Results from a Three-Year Survey. *Reforest*, (4), 27–53. DOI: 10.21750/REFOR.4.04.43
- Johnson J.D., Cline M.L. 1991: Seedling Quality of Southern Pines. W: *Forest Regeneration Manual*, M. L. Duryea, P. M. Dougherty (red.). Springer Netherlands, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-011-3800-0_8
- Kainer K.A., Duryea M.L. 1990: Root wrenching and lifting date of slash pine: Effects on morphology, survival, and growth. *New Forests*, 4 (3), 207–221. DOI: 10.1007/bf00118878
- Kasprzyk W., Hauke-Kowalska M., Barzdajn W., Kowalkowski W., Korzeniewicz R. 2015: Porównanie wpływu wybranych nawozów na wzrost sadzonek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) W warunkach szkółki leśnej. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 14 (4), 315–322. DOI: 10.17306/J.AFW.2015.4.26
- Kormanek M., Małek S., Banach J. 2023: The Influence of Vibration and Moisture Content on the Compactness of the Substrate in Nursery Container Cells Determined with a Multipenetrometer. *Forests*, 14 (9), 1750. DOI: 10.3390/f14091750
- Kowalkowski W., Hauke-Kowalska M., Baszak K. 2013: Influence of fertilization methods on the growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in a forest nursery. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 12 (1), 29–36.
- Lin K.-H., Wu C.-W., Chang Y.-S. 2018: Applying Dickson Quality Index, Chlorophyll Fluorescence, and Leaf Area Index for Assessing Plant Quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47 (1), 169–176. DOI: 10.15835/nbha47111312
- Maciak F., Liwski S. 1996: *Ćwiczenia z torfoznawstwa* (Wyd. 5. popr. i uzup.). Wydawnictwo SGGW, Warszawa ss. 127.
- Majsztrik J.C., Fernandez R.T., Fisher P.R., Hitchcock D.R., Lea-Cox J., Owen J.S., Oki L. R., White S.A. 2017: Water Use and Treatment in Container-Grown Specialty Crop Production: A Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228 (4). DOI: 10.1007/s11270-017-3272-1
- McDowell N., Pockman W.T., Allen C.D., Breshears D.D., Cobb N., Kolb T., Plaut

- J., Sperry J., West A., Williams D.G., Yezzer E.A. 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178 (4), 719–739. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x
- Morrissey R.C., Jacobs D.F., Davis A.S., Rathfon R.A. 2010: Survival and competitiveness of *Quercus rubra* regeneration associated with planting stocktype and harvest opening intensity. *New Forests*, 40 (3), 273–287. DOI: 10.1007/s11056-010-9199-7
- Oleksynowa K., Tokaj J., Jakubiec J. 1998: Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i geologii dla studentów AR. Cz. II. Metody laboratoryjne analizy gleby. AR w Krakowie, Kraków.
- Oliet J.A., Planelles R., Artero F., Valverde R., Jacobs D.F., Segura M.L. 2009: Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions: relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests*, 37 (3), 313–331. DOI: 10.1007/s11056-008-9126-3
- P.441918: Stanowisko pomiarowe do badania zwięzłości podłoża w kontenerach, zwłaszcza szkółkarskich Data uzyskania 2022-08-03. Twórcy: M. Kormanek, J Banach, S. Małek, Ł. Mateusiak
- Sack L. 2004: Responses of temperate woody seedlings to shade and drought: do trade-offs limit potential niche differentiation? *Oikos*, 107 (1), 110–127. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2004.13184.x
- Sampson P.H., Templeton C.W.G., Colombo S.J. 1997: An overview of Ontario's Stock Quality Assessment Program. *New Forests*, 13 (1–3), 469–487. DOI: 10.1023/a:1006523401842
- Skłodowski P. 2009: Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5–16.
- South D.B., Mitchell R.J. 1999: Determining the „optimum” slash pine seedling size for use with four levels of vegetation management on a flatwoods site in Georgia, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (7), 1039–1046. DOI: 10.1139/x99-048
- Szabla K., Pabian R. 2009: Szkółkarstwo kontenerowe: nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. Centrum Informacji Lasów Państwowych, Warszawa.
- Thompson B.E. 1985: Seedling morphological evaluation – what you can tell by looking. W: *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests: proceedings of the workshop held October 16-18, 1984*, M. L. Duryea (red.). Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. Pobrano z <https://rngr.net/publications/evaluating>
- TIBCO Software Inc. 2017: Statistica (data analysis software system). (Wersja 13, <http://statistica.io>).
- Yazdi M.N., Sample D.J., Scott D., Owen J.S., Ketabchy M., Alamdari N. 2019: Water quality characterization of storm and irrigation runoff from a container nursery. *Science of The Total Environment*, 667, 166–178. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.326

Zida D., Tigabu M., Sawadogo L., Odén P.C. 2008: Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species about nursery production period and watering regimes. *Forest Ecology and Management*, 255 (7), 2151–2162. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.12.029

Contact address

dr hab. inż. Jacek Banach, prof. URK

dr inż. Karolina Staszcz-Szlachta

mgr inż. Weronika Salwa

prof. dr hab. inż. Stanisław Małek

Department of Ecology and Silviculture,

University of Agriculture in Krakow, Faculty of Forestry,

al. 29 Listopada 46, 31-415 Kraków, Poland

dr hab. inż. Mariusz Kormanek, prof. URK

Department of Forest Utilization, Engineering and Forest Techniques,

University of Agriculture in Krakow, Faculty of Forestry,

al. 29 Listopada 46, 31-415 Kraków, Poland

e-mail: jacek.banach@urk.edu.pl; karolina.staszcz@urk.edu.pl;

weronika.salwa@urk.edu.pl; stanislaw.malek@urk.edu.pl;

mariusz.kormanek@urk.edu.pl

EFFECT OF PRODUCTION METHOD ON ROOT SYSTEM DEVELOPMENT AND CONTENT OF SELECTED MACRONUTRIENTS IN SCOTS PINE

**Karolina Staszek-Szlachta, Mariusz Kormanek,
Dawid Kupka, Stanisław Małek**

Abstract

Different nursery production technologies influence seedlings' ability to adapt under abiotic stress conditions, such as drought or temperature extremes, which is crucial for their survival and growth in forest crops. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of the nursery production method of seedlings (production in the ground and polyethylene and polystyrene containers) on the development of the root system and the content of macronutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. The experiment was conducted on a crop in the Daleszyce Forest District. It included the analysis of seedlings grown in 2022 in the nursery and after planting in the crop in 2023. The results showed that the containerised seedling production technology, especially using polyethylene containers, promoted more intensive root system growth (in terms of total length and average root diameter) compared to ground production. Analysis of macronutrient content showed significant changes between nursery production and after one year of growth on the crop and between production variants. In particular, there was a decrease in nitrogen content in the roots of ground-based seedlings and an increase in its levels in the aboveground parts of containerised seedlings. The results confirm the importance of selecting appropriate nursery technology to ensure the quality and adaptability of planting material for the crop, which becomes particularly important in the context of climate change and the need for sustainable forest management.

Keywords

container nursery, production variant, root systems

Introduction

Container nursery in Poland has gained importance since the 1990s, mainly in response to the rapid need to restore forests after natural disasters and as part of programmes to increase the country's forest cover (Szabla, 2009). By producing seedlings in containers, it is possible to fully control the growth conditions of the

seedlings, which will directly impact their higher quality and better adaptation to the conditions of the crop. Seedlings with a covered root system are characterised by faster growth and better root formation, which increases their survival rate after planting (Abdi et al. 2019). With controlled conditions, production can take place regardless of the season. Ground nurseries continue to play an important role in nursery stock production, especially for larger ornamental plants. This method produces plants with a natural habit and a well-developed root system, which can be valued in urban afforestation (Kus, 2024). Root systems play a crucial role for plants, enabling them to anchor themselves tightly to the ground. Root development is very plastic during the growth stage, mainly dependent on nutrient distribution and availability. In response to the amount of nutrients, as well as the physical parameters of the soil, the root architecture and the overall morphology of the root systems, among other things, change (Staszczak-Szlachta et al. 2022). Seedlings growing in containers grow uniformly but with some limitations, especially in the root system. This, in turn, is one of the factors influencing the subsequent adaptation and growth of seedlings on the crop (Kormanek et al., 2021). Both the substrate and soil for nursery production and later the soil on the crop for seedling growth must meet basic physical requirements such as water capacity, air capacity and good soil permeability (Pajak et al., 2022). Above all, fine roots show a high physiological activity responding to environmental changes, such as drought (Guo et al. 2004, Hirano et al. 2007). In addition, macronutrient limitation has a strong influence on plant susceptibility to stress caused by biotic and abiotic factors (Soares et al. 2019). Current climate change introduces new difficulties for the nursery sector, including adapting production processes to extreme weather conditions. Due to its ability to control growing conditions, containerised nursery production is better adapted to these transformations. Nevertheless, container and in-ground production must consider the principles of sustainability and efficiency when using these resources. Both of these production models are applicable in the modern forestry sector. Therefore, this experiment aimed to analyse the effect of production technology on root system development and macronutrient accumulation in Scots pine after the first year of growth on the crop, particularly N, P and K, which are essential for physiological processes. Combining the strengths of both production systems can lead to increased efficiency and more effective adaptation to changing conditions. The choice of the appropriate production technology depends on many factors, such as the type of material to be produced, habitat conditions and market requirements. Integrating the strengths of both systems can lead to optimised production and better adaptation to changing environmental conditions.

Materials and methods

Characteristics of the study area

The research covered Scots pine seedlings. Preparatory studies were carried out in a facility representing the main seedling material production technologies currently used in the country (soil-based Nursery Farm Kuchary Królewskie

and container-based: polystyrene-based Nursery Farm in Suków Papiernia; polyethylene-based Nursery Farm in Nędza). Crops were grown on the territory of the Seed and Nursery Farm in Sukowo (Nadleśnictwo Daleszyce, RDSF Radom). Seedlings at the nursery stage were grown in the ground, in a polystyrene container and a polyethylene container with standard soil fertilisation. The Scots pine seedlings used in the experiment were grown in 2022. The experimental crop in the Daleszyce Forest District was established on 11-12 October 2023. Plant material was obtained at the end of the growing season in 2023 (nursery) and 2024 (cultivation).

Physical parameters of soil

To characterise the soil in the experiment, selected physical parameters were determined (Dobrzański, Zawadzki 1981; Maciak, Liwski 1996; Oleksynowa et al. 1998). Compactness is one of the important soil parameters, closely correlated with bulk density and indicating the level of soil compaction on the cultivation surface. A FieldScout SC900 penetrometer equipped with a cone with an opening angle of 30° and a base diameter of 1.27 cm was used for its determination. A Spectrum Technologies TDR350 Time Domain Reflectometry (TDR) instrument was used to determine the soil's volumetric moisture content and conductivity variation at the cultivation surface. Concentration was measured to a depth of 30 cm, while moisture content and conductance at three levels, 0-10 cm, 11-20 cm, and 21-30 cm, were measured due to the instrument's measuring probes of 10 cm length. The results from the TDR instrument were averaged for the 0-30 cm soil layer. Measurements with a penetrometer and a TDR instrument were performed on each plot where pine seedlings were located in different production variants. Measurements were made at 27 sites (3 production variants: polystyrene, polyethylene, soil x 3 repetitions x 3 seed origins). The methodology for measuring soil solution electrolytic conductivity and pH is presented in the subsection Suitability of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings for forest crop establishment assessed by growth and quality indicators. No statistically significant differences in the determined soil physical parameters were found in the cultivation area (Table 1).

	pH H2O	pH KCl	EC	Z [Pa]	wV [%]	W [%]
G	4.75±0.08	4.00±0.05	45±4	1705.68±217	14.02±0.59	9.21±0.86
Pe	4.66±0.06	3.94±0.07	33±1	1320.34±179	12.30±0.72	9.28±0.99
Ps	4.62±0.07	3.96±0.07	34±3	2013.63±157	13.96±0.53	9.67±0.20

mean± st. Error; EC- electrolytic conductivity [μS·cm⁻¹]; Z- compactness of the soil [Pa]; wV- volumetric humidity TDR [%]; W- moisture content by weight [%]; G-ground, Pe- polyethylene, Ps- polystyrene

Table 1. Physical parameters of the soil on the crop

Root and chemical parameter analyses

In October 2024, three seedlings were obtained from each replicate (three plots) for laboratory analysis (i.e. nine for the production variant). In the laboratory, the collected material was cleaned, and the root system of each individual analysed was washed. After cutting at the root neck, the root system was scanned using an LA 2400/12000 XL Pro scanner and analysed in WinRhizo 2021 Regular. This provided, among other things, data on total root length [m] and average root diameter [mm]. Soil and seedling samples taken in the field were dried in laboratory driers at 60 °C for 72 h, after which the soil samples were sieved through a sieve with a mesh diameter of 2 mm. In addition, the pH of soil in solution with water (pHH₂O) and one-mole solution of potassium chloride (pHKCl) was determined using the potentiometric method according to the standard PN-EN ISO 10390:1997. 10 ml of soil was poured into 50 ml of deionised water or potassium chloride solution, respectively, mixed thoroughly, and the determination was carried out 24 h after shaking the samples. In addition, the electrolytic conductivity (PEW) was determined using the potentiometric method in a soil suspension and deionised water in samples in which the pHH₂O had previously been determined. In leaf, shoot, and root samples, P and K concentrations were determined by ICP (ICP-OES Thermo iCAP 6500 DUO, Thermo Fisher Scientific, Cambridge, UK). Samples were mineralised in a mixture of HNO₃ and HClO₄ (3:1). Nitrogen (N) content was measured in the indicated plant parts using a LECO elemental analyser. (LECO CNS TrueMac analyser; Leco, St. Joseph, MI, USA).

Statistical analyses

GLM analysis was performed using Tukey's post-hoc test to determine statistically significant differences. The results were considered statistically significant at $\alpha < 0.05$. All statistical analyses were performed using R statistical software (R Core Team 2022), R Studio (RStudio Team 2022) and Statistica 13 software (2017).

Results

Depending on the production method, the compactness of the individual elements in the soil showed no statistically significant differences within a plot. In the case of N, the area was uniform. Slightly higher values were recorded for K when seedling production was performed on the ground. P₂O₅ content was higher in the area where seedlings grown in a polyethylene container were planted (Fig.1).

In 2023, the highest recorded nitrogen content was in leaves (2.43% in the G variant) and the lowest in stems (0.58% in the Ps group). In 2024, nitrogen content in leaves decreased in variant G to 1.69%, but increased in the other variants Pe and Ps (~1.97%). In roots, there was a significant decrease in nitrogen content from 1.62% to 0.71% in G. In 2023, the highest potassium content was in leaves (0.76% in the Ps variant) and the lowest in stems (0.29% in group G). In 2024, the potassium content in leaves decreased to 0.38%-0.46%. Potassium remained at similar levels

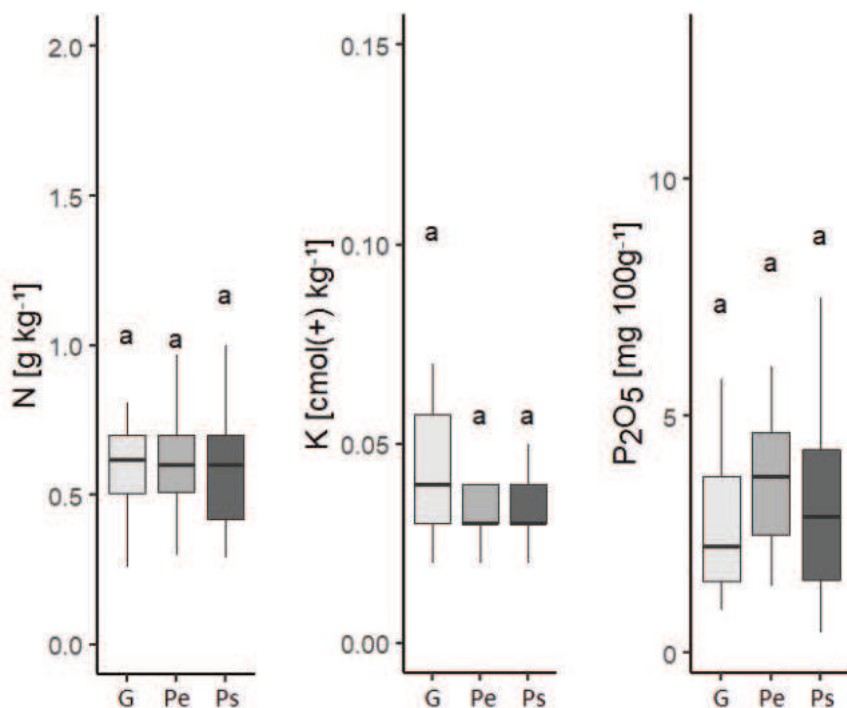


Figure 1. Chemical analysis of soil for selected exchangeable cations: G-ground, Pe- polyethylene, Ps- polystyrene

in roots, with a slight increase in variant Ps (0.49% in 2024). As with the potassium content, the highest phosphorus content was in the leaves (0.20% in the Ps group) and the lowest in the stems (0.10% in the G and Ps groups). In contrast, on the crop, phosphorus content remained almost constant in all plant parts (0.10%-0.14%) (Table 2).

Seedlings grown in the ground after one year of growth on the crop significantly increased their diameter compared to 2023 (from 0.51 to 0.94), while the total length of the root system remained virtually unchanged (from 2.39 to 2.40). Seedlings produced in polyethylene containers showed a marked increase in diameter (from 0.60 to 0.9) and length (5.42 to 10.19). This suggests a significant increase in root systems, which may indicate a more intensive use of space in the soil. Similar relationships were observed for polystyrene containers, with both diameter (from 0.58 to 0.81) and length (from 9.34 to 16.18) changing. The changes were noticeable, but slightly more minor than for polyethylene. The length of the root systems differed significantly between the production variants at the two seedling growth periods analysed (Fig. 2).

Macro-element	Year	Seedling part	Production method		
			G	Pe	Ps
N [%]	2023	Leaves	2.43±0.05 ^a	1.38±0.04 ^b	1.48±0.07 ^b
		Steam	0.79±0.04 ^a	0.76±0.04 ^a	0.58±0.03 ^b
		Roots	1.62±0.08 ^a	1.08±0.05 ^b	0.96±0.02 ^b
	2024	Leaves	1.69±0.06 ^a	1.97±0.06 ^a	1.96±0.11 ^a
		Steam	0.82±0.04 ^b	0.97±0.04 ^a	0.94±0.05 ^{ab}
		Roots	0.71±0.04 ^a	0.78±0.06 ^a	0.83±0.05 ^a
K [%]	2023	Leaves	0.60±0.03 ^b	0.66±0.02 ^{ab}	0.76±0.03 ^a
		Steam	0.29±0.02 ^a	0.33±0.03 ^a	0.31±0.02 ^a
		Roots	0.49±0.02 ^b	0.49±0.02 ^b	0.70±0.03 ^a
	2024	Leaves	0.38±0.02 ^a	0.44±0.02 ^a	0.46±0.03 ^a
		Steam	0.44±0.03 ^a	0.37±0.02 ^a	0.39±0.02 ^a
		Roots	0.36±0.03 ^b	0.41±0.01 ^{ab}	0.49±0.02 ^a
P [%]	2023	Roots	0.19±0.01 ^a	0.18±0.01 ^a	0.20±0.01 ^a
		Leaves	0.10±0.00 ^a	0.12±0.01 ^a	0.10±0.00 ^a
		Steam	0.13±0.01 ^b	0.24±0.02 ^b	0.26±0.02 ^a
	2024	Roots	0.12±0.01 ^a	0.12±0.00 ^a	0.12±0.01 ^a
		Leaves	0.11±0.01 ^a	0.11±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a
		Steam	0.10±0.00 ^b	0.13±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a

Table 2. Content [%] of selected macroelements N, P and K depending on the production method and plant part

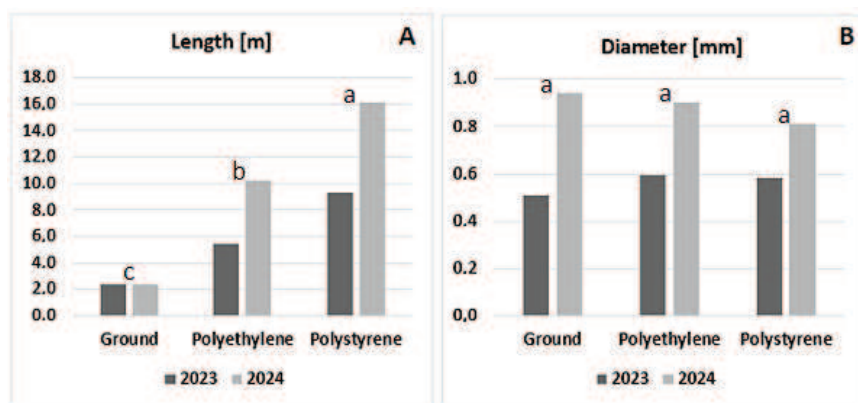


Figure 2. Difference in the development of the A - length [m] and B- average diameter [mm] of root systems after one year of growin the crop

Discussion

Several significant relationships can be observed when analysing the nitrogen, potassium and phosphorus contents of leaves, stems, and roots in the different production methods over the two years. The soil method showed a decrease in nitrogen and potassium content, which may suggest a reduced efficiency in supplying nutrients to plants already growing on the crop. This could be due to soil sterilisation or physiological changes in the seedlings after transplanting. Seedlings then undergo a process of adaptation in the new conditions, which is often associated with post-transplant shock (Jasik et al. 2024). The lower content of K and P may indicate such a phenomenon, especially since the compactness of K increases the plant's resistance to abiotic stress by strengthening cell walls. At the same time, P affects the development of the root system (Wang et al. 2024). Therefore, roots show stunted growth in the first phase after transplanting as the plant concentrates on regenerating damaged structures (Staszczak-Szlachta et al. 2022). Studies have found that Scots pine roots show a high capacity to adapt to new soil conditions. Still, their development depends on several factors, such as soil structure, water availability and mycorrhiza (Aleksandrowicz-Trzcinska 2008). The analysed physical parameters of the soil did not show statistically significant differences between the variants, so we could exclude one of the soil factors in forming the Scots pine root system and the assimilability of selected elements. In the polystyrene and polyethylene seedling production methods, nutrients maintained more stable values. There was even an increase in nitrogen content in the leaves, indicating a better ability to retain and efficiently transport nutrients to the plants. The highest nitrogen content in 2023 was in leaves in the soil method, but in 2024 this advantage was lost after planting in favour of the polystyrene and polyethylene methods. Potassium showed the most significant increase in roots in the polystyrene and polyethylene methods. This may indicate more efficient uptake of nutrients and better utilisation of the element supplied with solid fertiliser. Modern production methods maintain nutrient levels better, suggesting greater long-term efficiency (Ali et al. 2025). To increase its effectiveness, the soil-based method may require additional treatments, such as organic fertilisation or optimisation of soil conditions. The choice of cultivation method should consider the long-term effects, so polystyrene or polyethylene methods may be worth considering to maintain high nutrient levels. In conclusion, in preparing the planting material, we should anticipate what seedlings we want to obtain and in what environment they can grow to increase the survival and growth of the crop. Additional ground crop solutions, such as soil improvement and regular nutrient analysis, can help compensate for differences between seedling growth and root systems.

Conclusion

Seedlings produced in polyethylene containers provided better conditions for root system development, translating into more efficient nutrient uptake and better growth performance. The root system, especially length, varies strongly between

production methods, affecting plants' survival potential after planting. The results suggest that, by combining the advantages of ground and container production, an integrated approach can improve seedling quality and crop adaptability.

Funding

The research was carried out as part of the project EZ-271.3.22.2021 "Optimisation of the breeding of forest tree seedlings under controlled irrigation and fertilisation conditions", funded by the General Directorate of State Forests in Warsaw (Poland).

References

- Abdi D.E., Fernandez R.T. 2019: Reducing Water and Pesticide Movement in Nursery Production. *HortTechnology*, 29(6), 730-735.
- Aleksandrowicz-Trzcińska M. 2008: Wzrost naturalnych odnowień sosny zwyczajnej i stan ich mikoryz po chemicznej ochronie przed osutką. *Leśne Prace Badawcze*, 69(1), 7-14.
- Ali A., JABEEN N., Farruhbek R., Chachar Z., Laghari A.A., Chachar S., Ahmed N., Ahmed S., Yang Z. 2025: Enhancing nitrogen use efficiency in agriculture by integrating agronomic practices and genetic advances. *Front. Plant Sci.*
- Dobrzański B., Zawadzki S. (Ed.) 1981: *Gleboznawstwo: podręcznik dla studentów akademii rolniczych: praca zbiorowa*. Państw. Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa ss. 613.
- Guo D. L., Mitchell R. J. Hendricks J. J. 2004: Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest. *Oecologia* 140, 450–457.
- Hirano Y., Mizoguchi T., Brunner I. 2007: Root parameters of forest trees as sensitive indicators of acidifying pollutants: a review of research of Japanese forest trees. *Journal of forest research* 12, 134–142.
- Jasik M., Staszal-szlachta K., Małek S., Banach J. 2024: Concentration of Nutrients in Individual Organs of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Seedlings and Root System Development as a Result of Different Fertilization. *Forests*, 15(11), 2016.
- Kormanek M., Małek S., Banach J., Durło G., Jagiełło-leńczuk K., Dudek K. 2021: Seasonal changes of perlite-peat substrate properties in seedlings grown in different sized container trays. *New Forests*, 52 (2): 271–283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09793-3>.
- Kus K. (Ed.) 2024: *Wyzwania dla szkółkarstwa kontenerowego*. Instytut Dendrologii PAN.
- Maciak F., Liwski S. 1996: *Ćwiczenia z torfoznawstwa* (Wyd. 5. popr. i uzup.). Wydawnictwo SGGW, Warszawa ss. 127.
- Oleksynowa K., Tokaj J., Jakubiec J. 1998: *Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i geologii dla studentów AR. Cz. II. Metody laboratoryjne analizy gleby*. AR w Krakowie, Kraków.

- Pająk K., Małek S., Kormanek M., Jasik M. 2022: The effect of peat substrate compaction on the macronutrient content of Scots pine *Pinus sylvestris* L. container seedlings. *Sylvan* 166 (3): 211–223.
- Soares J. C., Santos C. S., Carvalho S. M., Pintado M. M., Vasconcelos M. W. 2019: Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant and Soil*, 443(1), 1-26.
- Staszal-szlachta K., Lasota J., Kempf M., Błońska E. 2022: Effect of nitrogen deposition on root systems and exudates of seedlings of beech *Fagus sylvatica* L. in a temperate climate. *Sylvan*, 166(12). doi.org/10.26202/sylvan.2023004
- Szabla K. 2009: Hodowlane i ekonomiczne aspekty produkcji materiału sadzeniowego z zakrytym systemem korzeniowym poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji. *Sylvan* 153 (4): 253–259.
- Wang H., Yang Y., Yao C., Feng Y., Wang H., Kong Y., Deng G. 2024: The correct combination and balance of macronutrients nitrogen, phosphorus and potassium promote plant yield and quality through enzymatic and antioxidant activities in potato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-19.

Kontakt

Ing. Karolina Staszal-Szlachta, PhD.
Prof. URK, dr hab. Mariusz Kormanek
Ing. Dawid Kupka, PhD
Prof. dr hab. inż. Stanisław Małek
Department of Ecology and Silviculture,
Department of Forest Utilization and Forest Technology,
Faculty of Forestry,
University of Agriculture in Krakow,
29 Listopada 46 Str.,
31-425 Kraków, Poland

