

VPLYV SVETLA A KOMPETÍCIE NA VÝŠKOVÝ RAST A MORFOLÓGIU KORÚN OBNOVY SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) A JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.) V REKONŠTRUOVANOM SMREKOVOM PORASTE

THE EFFECT OF LIGHT AND COMPETITION ON HEIGHT GROWTH AND CROWN MORPHOLOGY OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) AND SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) REGENERATION IN SPRUCE STAND IN CONVERSION

JAROSLAV VENCURIK  - STANISLAV KUCBEL - MILAN SANIGA - PETER JALOVIAK - JÁN PITTNER - TOMÁŠ VAJDULIAK - MILAN HUNČAGA

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, SK - 960 53 Zvolen

 e-mail: vencurik@tuzvo.sk

ABSTRACT

The present study analyses light environment and the influence of radiation and competition on height growth and crown morphology of Norway spruce and silver fir regeneration in a spruce forest stand under conversion (Oravská Magura Mts., Slovak Republic). In 10 circular sample plots we selected 40 spruce individuals from natural regeneration and 40 fir individuals from artificial regeneration, growing under different light and competition conditions. For each individual we assessed the values of relative height growth (RHG), apical dominance ratio (ADR), relative crown length (RCL), and level of competition expressed by competition index. To quantify the light conditions, hemispherical photographs were taken in the centre of each sample plot in the height of 3.5 m as well as directly above the terminal shoot of every sampled individual. The results showed that the stem density of mature stand significantly affected the level of relative radiation in the lower layer. Under similar light conditions, underplanted firs reached significantly higher height increments than the spruce natural regeneration. Increased diffuse light intensity had a positive impact on height growth of spruce, but only a minor impact on that of fir. The influence of competition between the regeneration individuals on their height growth and morphological parameters of crowns was not significant, both for spruce and fir. The results of this study imply that the adequate canopy in initial phases of conversion significantly favours the fir underplantings in the competition with natural regeneration of spruce.

Kľúčové slová: rekonštrukcia porastu, podsadba, jedľa, smrek, relatívne žiarenie, kompetícia

Key words: stand conversion, underplanting, silver fir, Norway spruce, relative radiation, competition

ÚVOD

Porasty smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.), pestované tradičnými postupmi holorubného hospodárskeho spôsobu sú v stredo-európskych pomeroch produktívne, ale nestabilné lesné ekosystémy ohrozené vo veľkej miere vetrom, hmyzom, zmenami živinového režimu a zakyslovaním pôd, a tiež klimatickými zmenami (PUHE, UL-RICH 2001; SCHÜTZ et al. 2006; BODEN et al. 2014; BOŠEĽA et al. 2014). Negatívne pôsobenie uvedených faktorov a súčasná orientácia európskeho lesníctva na prírode blízke pestovanie lesov vyvolávajú potrebu ich prestavby na nerovnovážne porasty tvorené aj inými pôvodnými drevinami (O'HARA 2001; GAMBORG, LARSEN 2003; BAUHUS et al. 2013). Jednou z možností rekonštrukcie týchto porastov je realizácia podsadiet pôvodných drevín, akými sú predovšetkým jedľa, buk, javor a brest. Uvedený pestovný postup čiastočne indikuje modifikáciu striedania generácií v smrekovom pralesi Babia hora, kde v pokročilej fáze štádia rozpadu je lykožrútom smrekovým atakovaná generácia odchádzajúceho lesa, pričom následná fyziologicky vitálna generácia

pralesa je v dobrej zdravotnej kondícii (SANIGA, KUCBEL 2015). Podsadba ako spôsob premeny porastov je z ekologického a ekonomického hľadiska podstatne efektívnejší ako rýdza umelá obnova na veľkých odkrytých kalamitných plochách. Podsadené dreviny využívajú zvyškový čas rozpadajúcej sa generácie smrekových porastov na adaptáciu a následne na výškový a hrúbkový rast, čo je zárukou bezpečnejšieho zaistenia kontinuity vývoja a vysokej ekologickej stability novovzniknutých porastov (SANIGA, KUCBEL 2013). Okrem toho vnášanie jedle a buka do rovnorodých smrekových porastov zlepšuje tiež vlastnosti pôdy a zvyšuje biodiverzitu lesného ekosystému (AMMER et al. 2008). Jedným z hlavných faktorov, ktorý reguluje rast obnovovaných drevín pod clonou porastu v temperátnych lesoch Európy, je svetlo. Variabilita svetelnej mikroklímy porastových medzier umožňuje presadenie sa drevín s rôznymi ekologickými nárokmi (FILIPIAK et al. 2005; SZYMURA 2005; ROŽENBERGAR et al. 2007). Obnova smreka a predovšetkým jedle je schopná prežívať a odrastať aj pri relatívne nízkych hodnotách difúzneho žiarenia (CESCATTI 1996; JAĎUŠ et al. 2014). So zvyšujú-

cou sa intenzitou difúzneho svetla sa zväčšuje aj výškový prírastok týchto drevín (GRASSI, GIANNINI 2005; SZYMURA 2005; DIACI, FIRM 2011; JALOVÍAR et al. 2013). Distribúcia a veľkosť medzier v korunovej klenbe výrazne modifikuje priestorovú variabilitu svetla v dolnej vrstve, umiestnenie a hustotu obnovy na ploche porastu, a tým tiež vnútrodruhová a medzidruhová kompetíciu medzi jedincami obnovy (DUCHESNEAU et al. 2001; GRASSI et al. 2004; LIN et al. 2012). Cieľavedomé usmerňovanie svetelných a kompetičných pomerov v dolnej vrstve tak výraznou mierou ovplyvňuje následné štrukturálne a druhové zmeny porastu (SMITH et al. 1997; ROBAKOWSKI et al. 2004). Optimálna regulácia zápoja rekonštruovaných smrekových porastov predstavuje najdôležitejší faktor ovplyvňujúci vývoj prirodzenej, ale aj umelej obnovy drevín. Zápoj porastu je jeden z mála atribútov, ktorý je možné meniť pestovateľskými opatreniami (LÖF et al. 2007). Nároky stromov, a teda aj obnovy, na svetlo sa zvyšujú s nedostatkom živín a vody. Preto na extrémnejších typoch stanovišť je potrebné uvažovať so silnejšími zásahmi do korunovej klenby porastu (BURSCHEL, HUSS 1997). Prehĺbenie poznatkov týkajúcich sa rastu obnovy v špecifických podmienkach rozpadávajúcich sa smrekových porastov tak môže v budúcnosti zefektívniť proces ich rekonštrukcie, realizovanej v súlade s princípmi prírody blízkeho pestovania lesa.

Cieľom predkladanej štúdie bola identifikácia hlavných faktorov ovplyvňujúcich rast následnej generácie rekonštruovaného smrekového porastu. Predovšetkým sme sa zamerali na: (1) analýzu svetelných pomerov v dolnej vrstve porastu; (2) vplyv relatívneho žiarenia, resp. kompetície medzi jedincami obnovy smreka a jedle na ich výškový rast a morfológiu korún.

MATERIÁL A METODIKA

Výskumný objekt (dielec 339a) sa nachádza v západnej časti pohoria Oravská Magura (lesná oblasť 33A Oravské Beskydy, Podbeskydská brázda, Podbeskydská vrchovina, Oravská Magura), na území LHC Paráč (Slovenská republika). Nadmorská výška dielca je 910 až 980 m n. m., expozícia severovýchodná, sklon 25 %, skupina lesných typov *Fagetum abietino-piceosum* vst. (ZLATNÍK 1976). Pôdy sú tu piesčito-hlinité, vegetačný kryt tvorí čučoriedka, v redších skupinách vysoké byliny a tráva. Porast má dve etáže. Vek prvej etáže 105 rokov, zastúpenie smreka 100 %, zakmenenie 0,76. Druhá etáž je tvorená obnovou smreka 60 %, jedle 20 % a buka 20 %, so zakmenením 0,50 (Program starostlivosti o lesy pre LHC Paráč). Jedľa a buk boli zabezpečené umelou obnovou (umelá obnova jedle jamkovou sadbou realizovaná v roku 2003, vek 15 rokov), smrek je z prirodzenej obnovy. Základná charakteristika voľnokorenného sadbového materiálu jedle: evidenčný kód aal225NO-009, zdroj uznaný porast, semenárska oblasť Kysucko-oravská, vek sadeníc 2 + 2.

Na miestach s výskytom obnovy smreka a jedle v dieľci 339a bolo v roku 2014 založených 10 kruhových výskumných plôch (každá s výmerou 500 m²) tak, aby reprezentovali rôzne úrovne otvorenia korunovej klenby dospelého porastu (tz. rôzne varianty svetelných pomerov v dolnej vrstve). Na týchto plochách boli pomocou technológie Field-Map zistené pozície všetkých stromov s hrúbkou $d_{1,3} > 8$ cm a merané ich základné biometrické charakteristiky (hrúbka a výška stromov, korunové projekcie). Pre každú výskumnú plochu bol vypočítaný tiež stupeň clonenia (suma vertikálnych priemetov korún stromov, bez ich prekrytu/500 m² × 100). V ďalšom kroku sa na výskumných plochách vytypovalo 40 smrekov z prirodzenej obnovy a 40 jedlí z umelej výsadby, nachádzajúcich sa v rôznych svetelných a kompetičných pomeroch, bez viditeľného poškodenia. Na týchto jedincoch sa merala ich výška, výškové prírastky za posledné 3 roky, dĺžky všetkých laterálnych vetiev tretieho najvyššieho praslenu a dĺžka živej časti koruny, od vrcholu po poslednú živú vetvu. Pre vybrané jedince smreka a jedle boli potom vypočítané tieto odvodené charakteristiky: priemerný výškový prírastok (priemer výškových prírastkov za posledné 3 roky), relatívny výškový prírastok (RHG = priemerný výškový prírastok/výška

jedinca × 100), index apikálnej dominancie (ADR = celkový výškový prírastok za posledné tri roky/priemer dĺžok laterálnych vetiev tretieho najvyššieho praslenu) a relatívna dĺžka koruny (RCL = dĺžka živej časti koruny/výška jedinca × 100) (SZYMURA 2005).

Hemisférické snímky boli vyhotovené vo výške 3,5 m (max. výška obnovy smreka a jedle) nad úrovňou terénu v strede každej výskumnej plochy, a tiež tesne nad vegetačným vrcholom pri všetkých vybraných jedincoch obnovy. Použitý bol systém Mid-OMount 10MP firmy Régent Instruments Inc. (digitálny fotoaparát s rozlíšením 10 MP, nástavec na objektív s ohniskovou vzdialenosťou 8 mm) a teleskopický statív Manfrotto Junior 269HDBU High Super AluStand s maximálnym dosahom 7,3 m. Na každom bode merania boli zhotovené tri snímky s rôznymi parametrami nastavenia fotoaparátu (clona a expozícia). Takto bolo získaných spolu 270 hemisférických fotografií, ktoré boli potom ďalej spracované pomocou programu WinScanopy 2006 (Régent Instruments Inc.). Na analýzu bola vybratá tá fotografia, pri ktorej bola dosiahnutá najostrejšia viditeľná hranica medzi korunami a pozadím (oblohou). Svetelné podmienky boli kvantifikované hodnotami priameho (direct site factor), nepriameho (indirect site factor) a celkového žiarenia (total site factor). Všetky hodnoty týchto veličín boli vypočítané ako relatívne veličiny v pomere k osvetleniu voľnej plochy, resp. k osvetleniu nad korunami stromov.

Miera kompetície vyjadrená kompetičným indexom (I) bola zisťovaná pre vybrané jedince obnovy použitím metódy podľa práce DUCHESNEAU et al. (2001). Kompetičný index bral do úvahy len konkurentov (jedinca obnovy) nachádzajúcich sa v kruhovej ploche s polomerom 1,13 m, ktorá obklopuje vybraného jedinca smreka, resp. jedle. Táto kruhová plocha sa následne rozdelila na 4 kvadranty a index kompetície sa stanovil ako:

$$I = \frac{1}{Hos} \times \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 \frac{C_j H_j}{D_j}$$

kde: Hos reprezentuje celkovú výšku vybraného jedinca, C_j percento prekrytu konkurentmi v kvadrante j, H_j priemernú výšku konkurentov v kvadrante j, a D_j priemernú vzdialenosť medzi vybraným jedincom a konkurentmi v kvadrante j.

Objem jednotlivých stromov ($d_{1,3} > 8$ cm) na plochách bol vypočítaný podľa dvoch parametrov (hrúbka a výška stromu), použitím rovníc PETRÁŠ, PAJTÍK (1991). Na vyhodnotenie skúmaných vzťahov (porastové charakteristiky, relatívne žiarenie, rastové charakteristiky jedincov obnovy, index kompetície) boli použité metódy regresnej a korelačnej analýzy (ZAR 1999). Významnosť rozdielov medzi smrekom a jedľou bola overovaná testom zhody regresných priamok (MĚLOUN, MILITKÝ 2004). Všetky štatistické vyhodnotenia boli vykonané pomocou softwaru Statistica 6.0.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výskum podsadiet v orografickom celku Oravské Beskydy využíva poznatky z výskumu smrekového pralesa Babia hora, hlavne otázky striedania generácií smreka v štádiu rozpadu. Táto modelová situácia predstavuje smrekový porast v rubnej dobe odumierajúci vplyvom lykožrúta obyčajného (*Ips typographus* L.) a jeho rekonštrukciu podsadbou pôvodných drevín. Na výskumných plochách v dieľci 339a kolísala početnosť stromov s hrúbkou $d_{1,3} > 8$ cm od 160 ks.ha⁻¹ do 320 ks.ha⁻¹ (v priemere 244±56 ks.ha⁻¹), kruhová základňa od 30,1 m².ha⁻¹ do 64,0 m².ha⁻¹ (v priemere 45,1±10,2 m².ha⁻¹), zásoba od 381 m³.ha⁻¹ do 823 m³.ha⁻¹ (v priemere 576±131 m³.ha⁻¹) a stupeň clonenia od 29,0 % do 57,1 % (v priemere 41,8±9,2 %). Relatívne hodnoty priameho, nepriameho a celkového žiarenia vo výške 3,5 m sa tu pohybovali v intervale 2,2 až 31,8 %. Pri analýze vzťahov medzi uvedenými porastovými charakteristikami a jednotlivými zložkami relatívneho žiarenia v našej štúdii bola ako štatisticky významná (p < 0,05) potvr-

dená len závislosť priameho, resp. celkového žiarenia od počtu stromov porastu. Pritom viacerí autori konštatujú tiež významný vplyv kruhovej základne na svetelné pomery vo vnútri porastu (JENKINS, CHAMBERS 1989; MITCHELL, POPOVICH 1997), čo sa však v našom experimente nepotvrdilo. Štruktúra dospelého porastu tak rôznou mierou ovplyvňuje intenzitu a kvalitu žiarenia v dolnej vrstve (BARBIER et al. 2008), s ktorým úzko súvisí tiež rast obnovy v smrekových lesoch (CHRIMES, NILSON 2005).

Relatívne hodnoty priameho, nepriameho a celkového žiarenia merané nad vegetačným vrcholom vybraných jedincov obnovy varírovali pri smreku od 6,3% do 27,5% a pri jedli od 6,2% do 27,3% (tab. 1).

Tab. 1.

Hodnoty priameho, nepriameho a celkového žiarenia (%) merané nad jedincami smreka a jedle
Values of direct, diffuse and total radiation (%) measured above spruce and fir individuals

	Smrek ¹		Jedľa ²	
	$\bar{x} \pm s_x$	Min-Max	$\bar{x} \pm s_x$	Min-Max
Priame žiarenie ³	13,4±5,4	6,3-27,5	13,6±5,8	6,2-27,3
Nepriame žiarenie ⁴	16,9±3,5	12,6-22,7	15,5±2,2	11,9-20,2
Celkové žiarenie ⁵	14,0±4,8	7,6-26,4	13,9±5,1	7,5-26,2

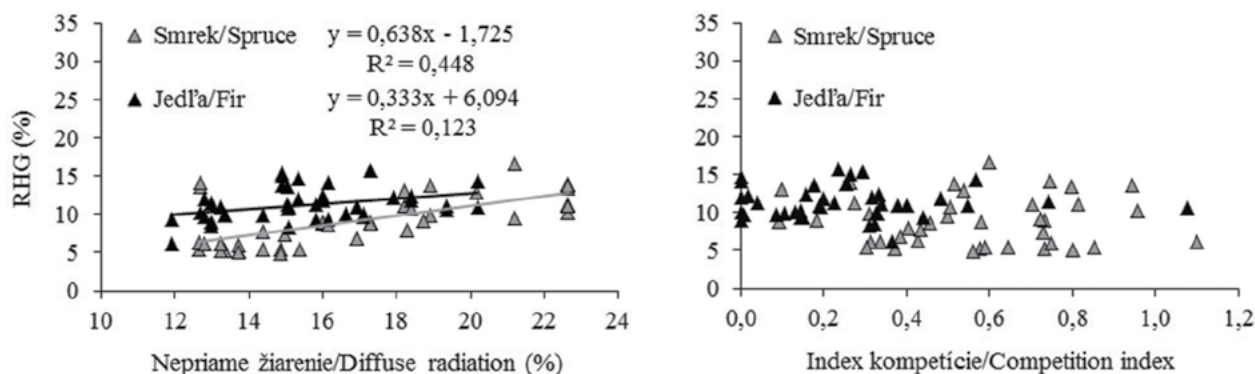
¹Spruce, ²Fir, ³Direct radiation (direct site factor), ⁴Diffuse radiation (indirect site factor), ⁵Total radiation (total site factor)

Tab. 2.

Hodnoty základných rastových charakteristík jedincov smreka a jedle
Values of basic growth characteristics of spruce and fir individuals

	Smrek ¹		Jedľa ²	
	$\bar{x} \pm s_x$	Min-Max	$\bar{x} \pm s_x$	Min-Max
Výška stromu (cm) ³	147,9±25,2	114,0-245,0	177,1±49,4	107,0-313,0
Výškový prírastok (cm.rok ⁻¹) ⁴	13,5±5,8	6,2-28,0	19,7±5,8	9,0-31,3
RHG (%) ⁵	9,0±3,3	4,9-16,7	11,3±2,5	6,1-17,6
ADR ⁶	1,0±0,3	0,5-1,8	1,2±0,5	0,7-3,6
RCL (%) ⁷	69,1±7,6	55,7-89,4	84,5±5,7	69,5-95,5
Kompetičný index ⁸	0,6±0,2	0,1-1,1	0,3±0,2	0,0-1,1

¹Spruce, ²Fir, ³Stem height, ⁴Height increment, ⁵Relative height growth, ⁶Apical dominance ratio, ⁷Relative crown length, ⁸Competition index



Obr. 1.

Závislosť relatívneho výškového prírastku (RHG) od nepriameho žiarenia a indexu kompetície

Fig. 1.

Relationships between diffuse radiation or competition index and relative height growth (RHG)

jedince jedle mali signifikantne väčšie výškové prírastky v porovnaní so smrekom. Rozdiel predstavoval asi 1 cm za rok pri priemernej úrovni nepriameho žiarenia (cca. 6–8 %), čo naznačuje vyššiu konkurencioschopnosť jedle. Tento poznatok zodpovedá aj výsledkom našej štúdie, kde jedľa v porovnateľných svetelných pomeroch dosahovala oproti smreku významne väčšie ($p < 0,05$) relatívne výškové prírastky (RHG). Podobne v štúdií STANCIOU, O'HARA (2006), uskutočnenej v horských zmiešaných lesoch rumunských Karpát, nadobúdali výškové prírastky prirodzenej obnovy jedle a buka pri nízkej hladine svetla (relatívne žiarenie < 20 – 35 %; kruhová základňa porastu > 30 m²/ha) významne väčšie hodnoty v porovnaní so smrekom. Pri strednej úrovni svetla (relatívne žiarenie 35 – 70 %; kruhová základňa porastu 15 – 35 m²/ha) vykazovali všetky dreviny porovnateľný výškový rast. V podmienkach približujúcich sa voľnej ploche (relatívne žiarenie 80 – 90 %; kruhová základňa porastu 15 – 20 m²/ha) mal smrek tendenciu prerastať jedľu a buk. Podobne v našom experimente ovplyvnila zvýšená úroveň nepriameho žiarenia pod clonou porastu pozitívne predovšetkým výškový rast smreka, len vo veľmi malej miere aj podsadieb jedle (obr. 1). Udržanie vyššieho zápoja porastu môže významnou mierou prispieť k úspešnému odrastaniu podsadieb jedle v kompetičnom boji s prirodzenou obnovou smreka.

Kritický vplyv na využitie svetla, a tým aj na rast a kompetičnú schopnosť jedincov obnovy pod clonou porastu, má morfológia korún a ihlič (OLIVER, LARSON 1996; SPRUGEL et al. 1996; SMITH et al. 1997). V prostredí s nedostatkom svetla je zvyčajne dĺžka laterálnych vetiev väčšia ako dĺžka apikálneho výhonku. To má za následok vytváranie krátkej, tzv. dáždnikovej formy koruny s relatívne veľkou projekciou, čo umožňuje jedincom obnovy ihličnatých drevín zlepšený príjem svetla, a tým maximálny zisk uhlíka v podmienkach zatienenia (GIVINISH 1988; KLINKA et al. 1992; OLIVER, LARSON 1996). Pri zlepšení svetelných podmienok sa dĺžka koruny zväčšuje spolu s výškovým prírastkom, až pokiaľ je svetlo dostupné pre nižšie vetvy. Výsledkom je kónický tvar koruny (KATO, YAMAMOTO 2002). Index apikálnej dominancie a relatívnu dĺžku koruny jedincov obnovy ihličnatých drevín je preto možné pokladať za najvýznamnejšie a ľahko zistiteľné indikátory svetelných podmienok (PARENT, MESSIER 1995; ROBAKOWSKI et al. 2004; SZYMURA 2005). V našej štúdií sa však ako štatisticky významná ($p < 0,05$) potvrdila len závislosť indexu apikálnej dominancie ($R^2 = 0,340$), resp. relatívnej dĺžky koruny ($R^2 = 0,112$) jedincov prirodzenej obnovy smreka od nepriameho žiarenia. Pozdĺž skúmaného svetelného gradientu vykazovali jedince smreka a jedle podobné zmeny v indexe apikálnej dominancie a relatívnej dĺžke koruny. Pozorované rozdiely medzi týmito drevinami vo výškovom raste preto nemôžu byť vysvetlené len vyššou morfológickou plasticitou jedle vo vzťahu k svetlu, ale skôr rozdielmi vo fyziologických vlastnostiach ihlič, predovšetkým lepšej, pozitívnej bilancii uhlíka jedle v podmienkach zatienenia (GRASSI, BAGNARESI 2001; ROBAKOWSKI et al. 2004).

Pri zistených svetelných pomeroch na výskumnej ploche (hodnoty relatívneho žiarenia v intervale $6,2$ – $27,5$ %) nebol pozorovaný žiaden významný ($p > 0,05$) vplyv bočnej kompetície medzi jedincami obnovy smreka a jedle na ich výškový rast (obr. 1), resp. morfológické parametre korún. To potvrdzujú aj iné štúdie (CHAZDON 1988; KLINKA et al. 1992; GRASSI, GIANINI 2005), kde vplyv svetla na rast jedincov obnovy pri minimálnej svetelnej ponuke bol oveľa silnejší ako vplyv kompetície. Kompetícia ovplyvňuje rast jedincov obnovy zvyčajne len pri vyšších úrovniach žiarenia, prekračujúcich pomyselnú hranicu 25 % z osvetlenia voľnej plochy (PARENT, MESSIER 1995; DUCHESNEAU et al. 2001). Vzhľadom na pomerne nízke hodnoty žiarenia, zistené v nami skúmanom poraste, a tiež v iných štruktúrne diferencovaných porastoch (BONCINA et al. 2002; GRASSI, GIANINI 2005; DIACI, FIRM 2011) nepredpokladáme, že faktor bočnej kompetície tu zohráva významnejšiu úlohu v raste jedincov obnovy smreka a jedle.

ZÁVER

Analýzou svetelných pomerov a rastu následnej generácie pod clonou rozpadajúceho sa smrekového porastu (Oravská Magura, Slovenská republika) sme dospeli k nasledovným záverom:

- Úroveň relatívneho žiarenia (priame, celkové) v dolnej vrstve bola významne ovplyvnená len počtom stromov rekonštruovaného smrekového porastu. Vplyv ostatných porastových charakteristík (kruhová základňa, zásoba, stupeň clonenia) bol nevýznamný.
- Podsadená jedľa dosahovala oproti prirodzene obnovenému smreku významne väčšie výškové prírastky, čo jej zvlášť pri obmedzených svetelných podmienkach pod clonou rekonštruovaného porastu poskytuje značnú kompetičnú výhodu. Zvýšenie úrovne nepriameho žiarenia pod clonou porastu ovplyvňovalo pozitívne predovšetkým výškový rast smreka.
- Vplyv vzájomnej kompetície medzi jedincami obnovy na výškový rast, resp. morfológické parametre korún smreka a jedle bol vzhľadom na relatívne nízke hodnoty žiarenia pod clonou porastu nevýznamný.
- Okrem žiarenia ovplyvňujú rast prirodzenej obnovy smreka, ale predovšetkým umelej obnovy jedle, veľkou mierou aj iné, nami neuvažované faktory.

Podakovanie:

Príspevok vznikol s finančnou podporou grantu Vega 1/0040/15. Autori ďakujú Ing. Pavlovi Dendysovi a Ing. Antonovi Kondelovi za potrebné informácie a spoluprácu pri terénnych meraniach.

LITERATÚRA

- AMMER C., BICKEL E., KÖLLING C. 2008. Converting Norway spruce stands with beech – a review of arguments and techniques. *Austrian Journal of Forest Science*, 125: 3–26.
- BARBIER S., GOSSELIN F., BALANDIER P. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved – A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 245: 1–15. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.09.038
- BAUHUS J., PUETTSMANN K.J., KÜHNE CH. 2013. Close-to-nature forest management in Europe: does it support complexity and adaptability of forest ecosystems? In: Messier, Ch., Puettmann, K.J., Coates, K.D. (eds.): *Managing forests as complex adaptive systems: Building resilience to the challenge of global change*. Routledge, The Earthscan Forest Library: 187–213.
- BODEN S., KAHLE H.P., WILPERT K., SPIECKER H. 2014. Resilience of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) growth to changing climatic conditions in Southwest Germany. *Forest Ecology and Management*, 315: 12–21. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.12.015
- BONCINA A., DIACI J., CENCIC L. 2002. Comparison of the two main types of selection forests in Slovenia: distribution, site conditions, stand structure, regeneration and management. *Forestry*, 75: 365–373.
- BOŠELA M., SEDMÁK R., SEDMÁKOVÁ D., MARUŠÁK R., KULLA L. 2014. Temporal shifts of climate–growth relationships of Norway spruce as an indicator of health decline in the Beskids, Slovakia. *Forest Ecology and Management*, 325: 108–117. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.03.055
- BURSCHEL P., HUSS J. 1997. *Grundriß des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Berlin, Parey: 487 s.
- CESCATTI A. 1996. Selective cutting radiative regime and natural regeneration in a mixed coniferous forest: a model analysis. In: Skovsgaard, J.P., Johannsen, P. (eds.): *Modelling regeneration success and early growth of forest stands*. Proceedings of the IUFRO

- Conference. Copenhagen, Danish Forest and Landscape Research Institute: 474–483.
- DIACI J., FIRM D. 2011. Long-term dynamics of a mixed conifer stand in Slovenia managed with a farmer selection system. *Forest Ecology and Management*, 262: 931–939. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.05.024
- DUC P. 2002. Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neunburg Jura). ETH Zürich: 224 s.
- DUCHESNEAU R., LESAGE I., MESSIER CH., MORIN H. 2001. Effects of light and intraspecific competition on growth and crown morphology of two size classes of understory balsam fir saplings. *Forest Ecology and Management*, 140: 215–225. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00281-4
- FILIPIAK M., ISZKUŁO G., KORYBO J. 2005. Relation between photosynthetic photon flux density (PPFD) and growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings in a forest stand dominated by spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the Sudety Mts (SW Poland). *Polish Journal of Ecology*, 53: 177–184.
- GAMBORG CH., LARSEN J.B. 2003. 'Back to nature'—a sustainable future for forestry? *Forest Ecology and Management*, 179: 559–571. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00553-4
- GIVINISH T.J. 1988. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 63–92.
- GRASSI G., BAGNARESI U. 2001. Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. *Tree Physiology*, 21: 959–967.
- GRASSI G., MINOTTA G., TONON G., BAGNARESI U. 2004. Dynamics of Norway spruce and silver fir natural regeneration in a mixed stand under uneven-aged management. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 141–149.
- GRASSI G., GIANNINI R. 2005. Influence of light and competition on crown and shoot morphological parameters of Norway spruce and silver fir saplings. *Annals of Forest Science*, 62: 269–274.
- CHAZDON R.L. 1988. Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Advances in Ecological Research*, 18: 1–55.
- CHRIMES D., NILSON K. 2005. Overstorey density influence on the height of *Picea abies* regeneration in northern Sweden. *Forestry*, 78: 433–442.
- JAĎUŠ J., PITTNER J., SNOPKOVÁ Z. 2014. Vplyv klimatických a svetelných faktorov na klíčenie a prežívanie semenáčikov jedle bielej (*Abies alba* Mill.) a smreka obyčajného (*Picea abies* L. Karst.) vo výberkovom lese. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 59: 167–174.
- JALOVIAR P., SANIGA M., KUCBEL S. 2013. Importance of light conditions for the height growth of underplantings in Norway spruce stands in the Oravské Beskydy Mts. *Beskydy*, 6: 53–58.
- JENKINS M.W., CHAMBERS J.L. 1989. Understorey light levels in mature hardwood stands after partial overstorey removal. *Forest Ecology and Management*, 26: 247–256. DOI: 10.1016/0378-1127(89)90085-6
- KATO K., YAMAMOTO S. 2002. Branch growth and allocation patterns of saplings of two *Abies* species under different canopy conditions in subalpine old-growth forest in central Japan. *Ecoscience*, 9: 98–105.
- KLINKA K., WANG Q., KAYAHARA G.J., CARTER R.E., BLACKWELL B.A. 1992. Light-growth response relationships in Pacific silver fir (*Abies amabilis*) and subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). *Canadian Journal of Forest Research*, 70: 1919–1930.
- KLOPCIC M., BONCINA A. 2010. Patterns of tree growth in a single tree selection silver fir-European beech forest. *European Journal of Forest Research*, 15: 21–30.
- LIN C.J., LAIHO O., LÄHDE E. 2012. Norway spruce (*Picea abies* L.) regeneration and growth of understory trees under single-tree selection silviculture in Finland. *European Journal of Forest Research*, 131: 683–691.
- LÖF M., KARLSSON M., SONESSON K., WELANDER T.N., COLLET C. 2007. Growth and mortality in underplanted tree seedlings in response to variations in canopy closure of Norway spruce stands. *Forestry*, 80: 371–384.
- MELOUN M., MILITKÝ J. 2004. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha, Academia: 953 s.
- MITCHELL J.E., POPOVICH S.J. 1997. Effectiveness of basal area for estimating canopy cover of ponderosa pine. *Forest Ecology and Management*, 95: 45–51. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00002-9
- O'HARA K.L. 2001. The silviculture of transformation – a commentary. *Forest Ecology and Management*, 151: 81–86.
- OLIVER C.D., LARSON B.C. 1996. *Forest stand dynamics*. New York, John Wiley: 520 s.
- PARENT S., MESSIER C. 1995. Effects of a light gradient on height growth and crown morphology of balsam fir natural regeneration. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 878–885.
- PETRÁŠ R., PAJTÍK J. 1991. Sústava československých objemových tabuliek. *Lesnícky časopis*, 37: 49–56.
- PUHE J., ULRICH B. 2001. *Global climate change and human impacts on forest ecosystems: Postglacial development, present situation and future trends in central Europe*. Berlin, Springer: 592 s.
- ROBAKOWSKI P., WYKA T., SAMARDAKIEWICZ S., KIERZKOWSKI D. 2004. Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecology and Management*, 201: 211–227. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.06.029
- ROŽENBERGAR D., MIKAC S., ANÍČ I., DIACI J. 2007. Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech – fir forest reserves in South East Europe. *Forestry*, 80: 431–443.
- SANIGA M., KUCBEL S. 2013. *Close-to-nature silviculture*. Zvolen, TU vo Zvolene: 100 s.
- SANIGA M., KUCBEL S. 2015. Vplyv kalamitného premnoženia *Ips typographus* L. a vetra na štruktúru smrekového prírodného lesa Babia hora. In: Houšková, K., Černý, J. (eds.): *Pestovanie lesa v strednej Európe*. Křtiny, 2.9.–4.9.2015. Brno, Mendelova univerzita v Brně: 145–153.
- SCHÜTZ J.P., GÖTZ M., SCHMID W., MANDALLAZ D. 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research*, 125: 291–302.
- SMITH D.M., LARSON B.C., KELTY M.J., ASHTON P.M.S. 1997. *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. New York, Wiley: 537 s.
- SPRUGEL D.G., BROOKS J.R., HINCKLEY T.M. 1996. Effects of light on shoot geometry and needle morphology in *Abies amabilis*. *Tree Physiology*, 16: 91–98. Dostupné na/Available on: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/16/1-2/91.full.pdf>
- STANCIOIU P.T., O'HARA K.L. 2006. Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania. *European Journal of Forest Research*, 125: 151–162.
- SZYMURA T.H. 2005. Silver fir saplings bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality. *Forest Ecology and Management*, 12: 101–108. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.03.003
- ZAR J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. New Jersey, Prentice Hall: 663 s.
- ZLATNÍK A. 1976. *Lesnícká fytoecologie*. Praha, SZN: 495 s.

THE EFFECT OF LIGHT AND COMPETITION ON HEIGHT GROWTH AND CROWN MORPHOLOGY OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) AND SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) REGENERATION IN SPRUCE STAND IN CONVERSION

SUMMARY

In the conditions of Central Europe, even-aged pure Norway spruce stands represent productive, however unstable forest ecosystems. Negative impact of damaging factors (wind, snow, insects etc.) turns the attention to the need of their conversion to uneven-aged stands with a substantial proportion of other native tree species. One of the ways is the conversion using the underplantings of missing native tree species, e.g. silver fir. The aim of this study was to analyse light conditions and growth of next generation (natural regeneration of Norway spruce and artificial regeneration of silver fir) under the canopy of disintegrating spruce stand in the Oravská Magura Mts. (Slovak Republic). In 2014 we established in the compartment 339a in the places with present spruce and fir regeneration 10 circular sample plots (500 m²), where the dbh and height of all trees (dbh > 8 cm) were recorded. In the sample plots we selected 40 spruce individuals from natural regeneration and 40 fir individuals from artificial regeneration that were growing under different light and competition conditions. For each individual, we measured its height, height increments of the last three years, the length of lateral shoots of upper three whorls and the length of vital crown. Subsequently, the following derived characteristics were calculated: relative height growth (RHG), apical dominance ratio (ADR) and relative crown length (RCL). In the centre of each sample plot in the height of 3.5 m as well as above the top of each measured regeneration individual the hemispherical picture was taken. The light conditions were quantified by relative values of direct, diffuse and total radiation. For all regeneration individuals, we assessed also the level of competition by the competition index. Statistical analyses (regression and correlation analysis) were carried out using the Statistica 6.0 software package. The results confirmed that the level of relative radiation (direct and total) in the lower tree layer was significantly affected only by the stem density of mature spruce stand. In comparison with naturally regenerated spruce, the underplanted fir reached significantly higher height increments (Tab. 1 and 2). Especially in the limited light conditions under the canopy of spruce stand in conversion, this represents a distinctive competitive advantage for silver fir. The correlation between diffuse radiation and height increment was confirmed as significant for both tree species, however, the relationship was stronger for Norway spruce (Fig. 1). Due to the relatively low radiation level under the canopy of mature spruce stand, the influence of competition between the regeneration individuals on height growth and crown morphological parameters of spruce as well as fir was not confirmed. Results of the study can find the application in development of effective methods for the conversion of even-aged Norway spruce stands, and therefore contribute to the optimization of their management.