

## VPLYV SVETELNÝCH A PÔDNYCH POMEROV NA VÝŠKOVÝ RAST JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.) V DOLNEJ VRSTVE VÝBERKOVÝCH LESOV

### IMPACT OF LIGHT AND SOIL CONDITIONS ON THE HEIGHT GROWTH OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) IN THE LOWER LAYER OF SELECTION FORESTS

JÁN JAĎUĎ - MILAN SANIGA

*Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Zvolen*

#### ABSTRACT

The paper analyzes the growth of silver fir saplings in the lower layer of selection forests. Two stands with different soil type were analyzed (rankers and cambisols). Understorey light conditions in stand with ranker soil were analyzed by hemispherical photographs. In each stand, there were 10 homogeneous plots with 30 saplings established (sapling height >130 cm, DBH <5 cm). The apical dominance ratio (ADR) value is a suitable indicator of light environment in lower layer of selection forests. Saplings with ADR value less than 1 were considered as light-stressed. Regarding the photosynthetic photon flux density (PPFD), the value of 16% was determined as crucial threshold determining the crown shape of fir saplings. The reduced height increment was used for analysis of the influence of light conditions on the growth of fir saplings. The moderate correlation ( $r = 0.44$ ,  $p = 0.0005$ ) was confirmed between the reduced height increment (saplings height 100 cm) and % PPFD value. Height growth of saplings in analyzed stands started at the level of 8.47% of full sunlight. The best light conditions were determined at the level of 18.34% of full sunlight. Significant differences in reduced height increment of samples were confirmed on both soil types ( $p = 0.001$ ). The research did not confirm the impact of different soil type on the apical dominance ratio ( $p = 0.80$ ) neither on the average height increment during last three years ( $p = 0.14$ ). From the light characteristics point of view, obtained results confirmed the silver fir as a suitable tree species for the selection forests, regardless of the soil type.

**Kľúčové slová:** jedľa biela, index apikálnej dominancie, difúzne svetlo, výberkový les

**Key words:** *Abies alba* MILL., apical dominance ratio, understorey light, selection forest

#### ÚVOD

Aplikácia prírody blízkyh pestovateľských postupov do praxe vyžaduje znalosť rastových zákonitostí a ich vhodné uplatňovanie v prospech stanovených pestovateľských cieľov. Využívanie tzv. samoregulačných procesov prebiehajúcich v lesných ekosystémoch umožňuje vytvárať prirodzené porastové štruktúry aj v hospodárskych lesoch, medzi ktoré patrí aj výberkový typ lesa. V podmienkach horských lesov strednej Európy sú hlavnými drevinami jedľa biela (*Abies alba* Mill.) a smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.). TEUFEL et al. (2005) považujú jedľu za hlavnú drevinu v štrukturalizovaných zmiešaných horských lesoch.

Porast s dostatočným zastúpením jedle bielej je predurčený k výberkovému hospodáreniu. Diferencovaná štruktúra výberkového lesa vytvára charakteristický ekologický profil stanovišťa. V prízemnom horizonte vykazuje výberkový les v porovnaní s lesom vekových tried nízku intenzitu slnečného žiarenia, vyrovnanější teplotný priebeh, oceánickú mikroklimu, zvýšenú vzdušnú vlhkosť, nižšiu mieru transpirácie a menšie previevanie porastu (VENCURIK et al. 2013). Autori COATES (2002) a GRASSI et al. (2004) uvádzajú, že vplyv prostredia na rast prítomných drevín je determinovaný najmä prienikom svetla do porastu, teplotou, pôdnym typom a konkurenčnou vegetáciou. MOSANDL (1991) vo svojich výskumoch prezentuje, že sila

osvetlenia nediferencuje porast len z hľadiska svetelných charakteristík, ale ovplyvňuje celý komplex stanovištných faktorov, ktoré so svetlom úzko korelujú. Výrazný vplyv svetla na mortalitu stromov v dolnej vrstve štrukturalizovaných porastov uvádza aj KOBÉ et al. (1995). Schopnosť lesných drevín prispôbiť sa meniacim, najmä svetelným podmienkam je založená na dvoch úrovniach. Prvá sa týka morfológických zmien, resp. zmien v rastovom rytme. Táto makro úroveň adaptácie je zrejماً z meniaceho sa habitu drevín. Druhá úroveň zmien sa viaže na zmeny v asimilačnom aparáte, najmä na zmenu pomeru koncentrácie chlorofylu a/b. Problematikou rastového prispôsobenia sa drevín v podmienkach, kde je limitujúcim faktorom svetlo sa na oboch úrovniach zaoberali GRASSI, BAGNARESI (2000). Najmä asimilačný aparát jedle bielej je schopný veľmi rýchlejšej adaptácie na zmenené svetelné podmienky pestovania (ŠPULÁK, MARTINCOVÁ 2011). Rastové procesy jedle bielej v znevýhodnených svetelných podmienkach ďalej popísali autori SZYMURA (2005), STANCIOIU, O'HARA (2006), VENCURIK, KUCBEL (2008) a DIACI, FIRM (2011). Prirodzenou obnovou jedle bielej sa v rôznovekom, zmiešanom poraste zaoberal aj GRASSI et al. (2004). Autor uvádza, že zmladenie jedle je menej početné v centre vytvorených medzier ako pod zapojeným porastom. ROBAKOWSKI et al. (2004) uvádza, že po aklimatizácii na zmenené svetelné podmienky je predchádzajúci rast pod clonou porastu nespornou výhodou pre presadenie sa jedin-

ca v budúcej štruktúre porastu. Výskumy zamerané na rast v limitujúcich svetelných podmienkach uvádzajú výrazné rozdiely v rastovej dynamike a morfológických znakov oboch drevín (DOBROWOLSKA, VEBLEN 2008; KLOPCIC, BONCINA 2010). Rastový potenciál drevín je možné vyjadriť ukazovateľmi, ktoré sú pod značným vplyvom už spomínaných faktorov. Autori CHRIMES, NILSON (2005) vo svojej práci analyzovali vplyv stupňa clonenia na výškový prírastok. Vychádzajúc z prác o rastových procesoch jedle bielej, autori DUCHESNEAU et al. (2001) a SZYMURA (2005) potvrdili, že komplexnejším a rastové podmienky lepšie charakterizujúcim ukazovateľom je index apikálnej dominancie. Pre odhadovanie vitality drevín použili index apikálnej dominancie aj GRASSI et al. (2004). Autori uvádzajú pozitívnu koreláciu medzi spomínaným indexom a dostupnosťou svetla. Index apikálnej dominancie (ADR) vyjadruje pomer medzi dĺžkou terminálneho výhonku a priemernou dĺžkou bočných výhonkov. Tento pomer je v literatúre nazývaný aj Honowskeho svetlostný faktor (FABJANOWSKI et al. 1974). Niektorí autori pomocou tohto indexu klasifikujú jedince s hodnotou  $ADR > 1$  ako jedince s dobrým rastovým potenciálom a s hodnotou  $ADR < 1$  ako jedince so slabým rastovým potenciálom (GRASSI et al. 2004; KUCBEL 2011). Pre praktické uplatnenie stromovej formy výberkového spôsobu hospodárenia je nutné poznať zákonitosti rastu drevín v dolnej vrstve výberkových lesov. Dynamika rastu, početnosť a vitalita jedincov rastúcich na zlepšených svetelných podmienkach a následne ich reakcia na zlepšenie rastových podmienok vo forme vyššieho svetelného pôžitku sú informácie potrebné pre využívanie prírodných procesov pri pestovnom usmerňovaní výberkových lesov. Stanovenie podielu terminálneho a laterálneho prírastku ako veličiny komplexne odzrkadľujúcej rastové podmienky je pomocným ukazovateľom pri návrhu odobratia porastovej zásoby pri regulácii výberkovej štruktúry. Odhadnutie hodnoty ADR je jednoduché a v praxi ľahko použiteľné pre plánovanie zásahov do porastovej štruktúry s ohľadom na dosiahnutie a udržanie jej diferencovanosti.

Cieľom predkladaného príspevku bolo zhodnotiť vhodnosť svetelných podmienok pre rast jedle bielej v dolnej vrstve analyzovaného porastu a porovnanie jej terminálneho a laterálneho rastu na dvoch rozličných pôdnych typoch v podmienkach dolnej vrstvy výberkových lesov za posledné tri roky.

## MATERIÁL A METODIKA

### Charakteristika výskumných objektov

Výskum bol realizovaný v orografickom celku Nízke Tatry na území lesného celku Liptovská Osada v demonštračnom objekte Donovaly – časť Mistríky (50,4 ha; S 48°52'26'' a V 19°14'28''). Demonštračný objekt sa nachádza v nadmorskej výške 960–1050 m n. m., priemerný ročný úhrn zrážok je 900–1000 mm, priemerná ročná teplota sa pohybuje v intervale 4,2–4,8 °C. Nachádza sa v 6. lesnom vegetačnom stupni (SANIGA, VENCURIK 2007). Merania boli realizované v dvoch porastoch s výberkovou štruktúrou. Dielec 606 s dominantnou ochrannou funkciou sa nachádza na severnej expozícii. Jeho štruktúra je blízka výberkovej. Geologické podložie je tvorené žulou a fylitmi. Prevládajúcim pôdnym typom je ranker. Aktuálna kruhová základňa porastu predstavuje 29 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, početnosť kmeňov nad evidenčnou hranicou 748 ks.ha<sup>-1</sup> (JAĎUĎ, SANIGA 2012). Drevinové zloženie je tvorené smrekom obýčajným 60 % a jedľou bielou 40 %. Dielec 631 s dominantnou produkčnou funkciou sa nachádza na južnej expozícii. Svojou štruktúrou spĺňa znaky výberkového lesa. Aktuálna kruhová základňa porastu predstavuje 48 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, početnosť kmeňov nad evidenčnou hranicou 743 ks.ha<sup>-1</sup> (JAĎUĎ, SANIGA 2012). Geologické podložie je tvorené fylitmi, prevládajúcim pôdnym typom je kambizem. Drevinové zloženie tvorí smrek obýčajný 85 % a jedľa biela 15 % (SANIGA, VENCURIK 2007).

### Metodika merania a vyhodnocovania údajov

AMMER et al. (2004) uvádzajú, že dôležité ukazovatele vývoja stromov v závislosti na okolitom prostredí (výškový prírastok, hrúbka) by sa mali zisťovať na konci vegetačného obdobia. S ohľadom na uvedené sa merania uskutočnili v mesiaci september. Keďže rozsah základného súboru dielcov neumožňoval vyčerpávajúce zisťovanie, bolo nutné stanoviť minimálny rozsah výberového zisťovania. Predbežný výber bol vykonaný na 50 jedincoch v postavení dolnej vrstvy v sledovanom poraste. Na základe zistenej variability bol stanovený rozsah výberu na oboch pôdnych typoch (ranker aj kambizem) na 300 jedincov jedle. Pri výbere jedincov patriacich do stanoveného rozsahu zisťovania sa v každom poraste stabilizovalo 10 homogénnych skupín po 30 stromov. Skupiny museli spĺňať dve podmienky. Prvou bol spoločný biometrický interval, druhou podmienkou bol stupeň clonenia s hodnotou nad 60 %, ktorá reprezentuje typické rastové podmienky v dolnej vrstve výberkového lesa. Do výberového súboru sa s ohľadom na viacero publikovaných prác (CHRIMES, NILSON 2005; DOBROWOLSKA, VEBLEN 2008; KLOPCIC, BONCINA 2010 a LIN et al. 2011) zaradili jedince s výškou nad 130 cm a s hrúbkou  $d_{1,3}$  do 5 cm. Na definovanom výberovom súbore boli zisťované nasledovné biometrické charakteristiky: výška jedinca (h) s presnosťou na 1 cm, dĺžky terminálnych výhonov ( $h_t$ ) vytvorených za posledné tri roky s presnosťou na 1 milimeter, dĺžky dvoch na seba kolmých vetiev v praslnoch vytvorených za posledné tri roky s presnosťou na 1 milimeter. Na meranie výšky jedincov (h) sa použila výškomerná teleskopická lata mEssfix-S' s dĺžkou 8 m. Dĺžky terminálnych a laterálnych výhonov sa merali meradlom tak, že jedince jedle sa ohýbali a terminálny, resp. laterálny rast bočných výhonov sa meral s presnosťou na 1 mm.

Svetelné pomery rastového priestoru sa zisťovali v homogénnych skupinách hemisférickým snímkovaním nad zvolenými jedincami tak, aby boli charakterizované svetelné podmienky nad všetkými jedincami homogénnej skupiny do výšky 300 cm. Svetelné pomery sa charakterizovali kvantifikovaním hodnôt plošnej hustoty difúzneho fotosynteticky aktívneho toku žiarenia (PPFD) pod porastovým zápojom (vyjadrené v mol.m<sup>-2</sup>) prepočítaného na relatívne hodnoty z osvetlenia na voľnej ploche (% PPF). Snímkovanie bolo realizované len v poraste 606. Celkovo bolo vyhodnotených 63 hemisférických snímkov. Hemisférické snímky boli analyzované pomocou programu WinSCANOPY Pro 2006b firmy Regent Instruments, Inc. Pre kvantifikáciu vplyvu difúzneho žiarenia na výškový prírastok zvolenej kategórie jedincov bolo potrebné vylúčiť vplyv rôznej výšky jedincov. Za týmto účelom bol zvolený postup podľa LÜSCHERA (1989). Podstata spočíva v lineárnej redukcii n-ročného výškového prírastku na štandardnú výšku 100 cm podľa vzťahu:

$$ih_r = \frac{a + b \cdot 100}{a + b \cdot h} \cdot ih \quad (1)$$

kde:  $ih_r$  – redukovaný výškový prírastok (cm)  
 a, b – parametre regresnej rovnice  
 h – výška jedinca (cm)  
 ih – aktuálny výškový prírastok (cm)

Pre posúdenie vplyvu svetla na vybrané jedince boli výsledky hemisférického snímkovania doplnené pomerom dĺžky terminálneho výhonku a priemernej dĺžky laterálnych výhonkov posledného praslenu (index ADR).

$$ADR = \frac{T}{L} \quad (2)$$

kde: T – dĺžka terminálneho výhonku (cm)  
 L – priemerná dĺžka bočných výhonkov najmladšieho praslenu (cm)

Na základe tohto ukazovateľa možno za jedince dostatočne zásobené svetlom označiť tie, ktorých hodnota ADR je väčšia ako 1. Za jedince

so slabým rastovým potenciálom možno označiť jedince s ADR pod 0,5 (GRASSI et al. 2004; KUCBEL 2011).

Pre posúdenie aktuálnych rozdielov v terminálnom raste jedincov bol použitý priemerný výškový prírastok za posledné tri roky (SZYMURA 2005).

Štatistické spracovanie údajov bolo vykonané programom STATISTICA 7. Pre charakterizovanie variability výberového priemeru bola použitá stredná chyba výberového priemeru SE, ktorá vyjadruje mieru variability zisteného výberového priemeru v prípade, že by sme merali opakovane na inej vzorke v danom základnom súbore (CUMMING 2007). Pre testovanie významnosti rozdielov v hodnotách redukovaného výškového prírastku, indexu ADR a priemerného výškového prírastku za posledné tri roky bol s ohľadom na charakter súboru (ani pri jednej analyzovanej veličine sa nepotvrdila normalita súboru) použitý Mann-Whitneyov U-test.

## VÝSLEDKY

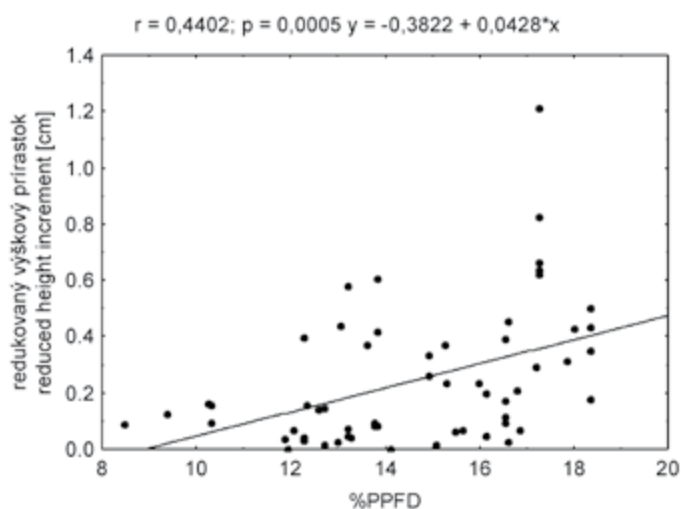
Analýza svetelných pomerov a terminálneho rastu jedle v dielci 606 (obr. 1) potvrdila, že medzi hodnotou difúzneho fotosynteticky aktívneho toku žiarenia (ďalej % PPFd) a hodnotou redukovaného výškového prírastku (cm) existuje stredná korelácia ( $r = 0,44$ ,  $p = 0,0005$ ) (RIMARČÍK 2007). Na hodnote redukovaného výškového prírastku sa teda hodnota difúzneho fotosynteticky aktívneho toku žiarenia podieľa 19%. Hodnota difúzneho PPFd zo všetkých analyzovaných snímkov varíovala medzi 8,5 až 18,3% PPFd. Priemerne dosahovaná hodnota bola  $14,6 \pm 0,32\%$  PPFd. Hodnota mediánu bola 14,2% PPFd.

Z hľadiska posúdenia vhodnosti svetelných podmienok pre rast jedle v dolnej vrstve porastu 606 bol ako ukazovateľ rastu a formovania habitu použitý index apikálnej dominancie (ADR).

Analýza vplyvu difúzneho PPFd na rastové procesy jedle v dielci 606, resp. vplyvu na formovanie jej habitu stanovila výraznú hranicu v hodnote difúzneho PPFd, od ktorej sa mení charakter jej rastu (obr. 2). Nad 16% plného osvetlenia leží viac ako 50% hodnôt súboru analyzovaných jedincov jedle charakteristických hodnotou  $ADR > 1$ ,

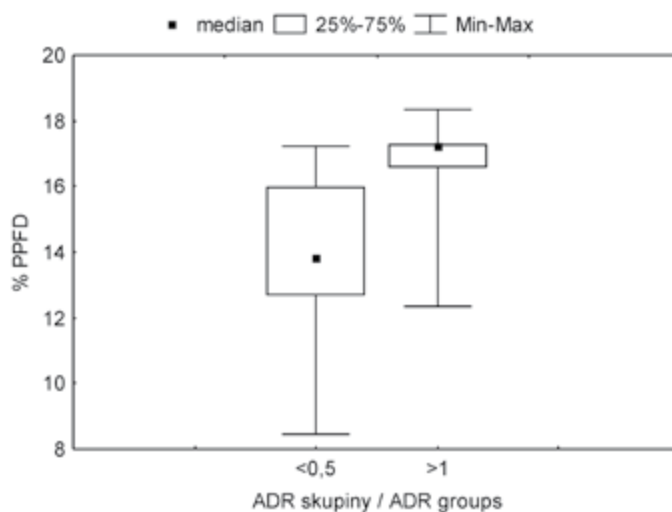
čo znamená, že ich rastový potenciál je dobrý a že ich habitus má slnný charakter. Druhou analyzovanou skupinou boli jedince s hodnotou  $ADR < 0,5$ . Medián percentuálneho osvetlenia z voľnej plochy bol 13,8%, priemerná hodnota bola  $14,0 \pm 0,40\%$ . Kým jedince s hodnotou  $ADR < 0,5$  boli zastúpené v spektre 8,5 až 17,2% osvetlenia voľnej plochy, tak skupinu jedincov s hodnotou  $ADR > 1$  charakterizuje rozptätie 12,3 až 18,3% osvetlenia voľnej plochy. Priemerná hodnota % osvetlenia voľnej plochy bola  $16,6 \pm 0,64\%$ , medián predstavovala hodnota 17,3%. Stredných 50% hodnôt súboru leží v intervale 16,6 až 17,3%. Pomocou Mann-Whitneyovho U-testu sa potvrdili významné rozdiely medzi oboma skupinami na hladine významnosti  $p = 0,005$ .

Na základe grafického zobrazenia (obr. 2) je možné konštatovať, že jedince so slabým rastovým potenciálom a tiennym habitom sa len zriedka vyskytnú v svetelných podmienkach nad 16% PPFd. Jedince s habitom slnného charakteru je však možné nájsť aj v horších svetelných podmienkach, maximálne však do hodnoty 12% PPFd. Redukciou výškového prírastku na výšku 100 cm sme odstránili vplyv rozdielnej výšky jedincov na hodnotu terminálneho prírastku. Analýzou dvoch vzoriek jedincov jedle rastúcich na rôznych pôdnych typoch sa prejavili významné rozdiely v ich redukovanom výškovom prírastku (obr. 3). Na pôdnom type kambizem v dielci 631 sa hodnoty tohto prírastku pohybovali v rozpätí 0,12 až 16,57 cm. Priemerný prírastok bol  $1,99 \pm 0,15$  cm, medián 0,95 cm. Stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 0,43 až 2,36 cm. V dielci 606 s pôdnym typom rankekar varíruje hodnota redukovaného výškového prírastku medzi 0,01 a 1,21 cm. Priemerný redukovaný prírastok je  $0,14 \pm 0,01$  cm a medián má hodnotu 0,08 cm. Stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 0,03 až 0,18 cm. Štatistickým testovaním pomocou Mann-Whitneyovho U-testu sa potvrdil štatisticky významný rozdiel v redukovanom výškovom prírastku medzi vzorkami z rôznych pôdnych typov na úrovni  $p = 0,000$ . Rozptätie hodnôt dĺžky terminálneho výhonku a priemernej dĺžky výhonkov posledného praslenu jedle na rôznych pôdnych typoch znázorňuje obr. 4. Z grafického zobrazenia je možné dedukovať, že v poraste 606 je vyššia variabilita v dosahovaných hodnotách oboch skúmaných veličín. Túto skutočnosť je možné vysvetliť vyššou heterogenitou ekologických podmienok okolitého priestoru ako v dielci 631. Hodnoty analyzovaných veličín boli použité pre výpočet indexu apikálnej dominancie, kde sa rovnako potvrdilo vyššie rozpätie hodnôt ADR



Obr. 1. Závislosť medzi redukovaným výškovým prírastkom jedle v dielci 606 a difúznym PPFd

Fig. 1. Dependence between reduced height increment of silver fir in the compartment 606 and diffuse PPFd

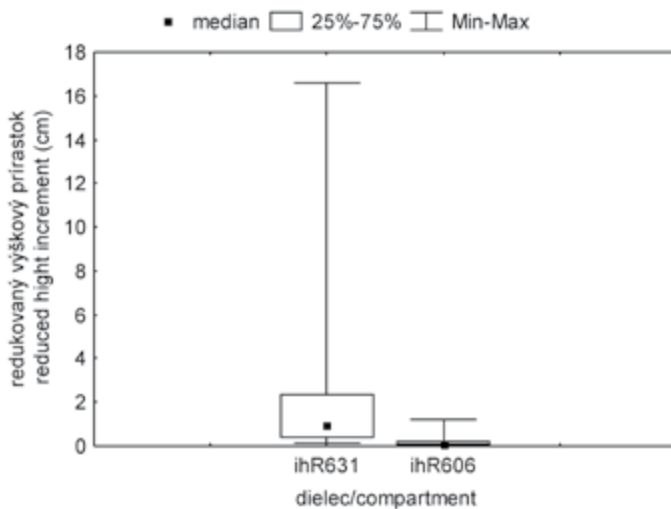


Obr. 2. Rozdelenie jedincov jedle v dielci 606 podľa úrovne faktora ADR a difúzneho PPFd

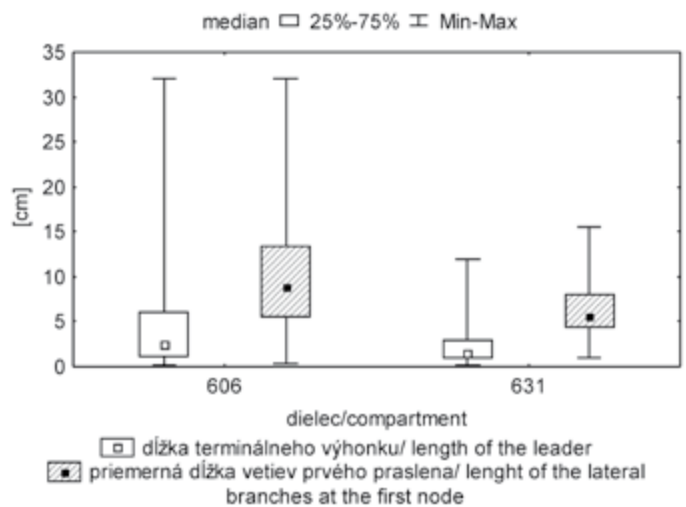
Fig. 2. Distribution of silver fir saplings in the compartment 606 by ADR and diffuse PPFd

v dielci 606. Analýza rozdielov v hodnotách indexu apikálnej dominancie (ADR) jedincov rastúcich na rôznych pôdnych typoch (obr. 5) však nepriniesla štatisticky významné rozdiely ( $p = 0,80$ ). Jedince rastúce na pôdnom type kambizem (dielec 631) sú charakteristické rozptátím hodnôt 0,04 až 2,50, priemerom  $0,44 \pm 0,02$ , mediánom 0,31, pričom stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 0,20 až 0,59. Na pôdnom type ranker (dielec 606) sme zaznamenali vyššie rozptätie hodnôt ADR, a to 0,02 až 3,50. Priemerná hodnota bola  $0,43 \pm 0,02$  a medián 0,32. Stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 0,19 až 0,59. Jedince jedle v dielci 606 sa od jedincov 631 svojím ADR v polohe a ani vo variabilite takmer nelíšia.

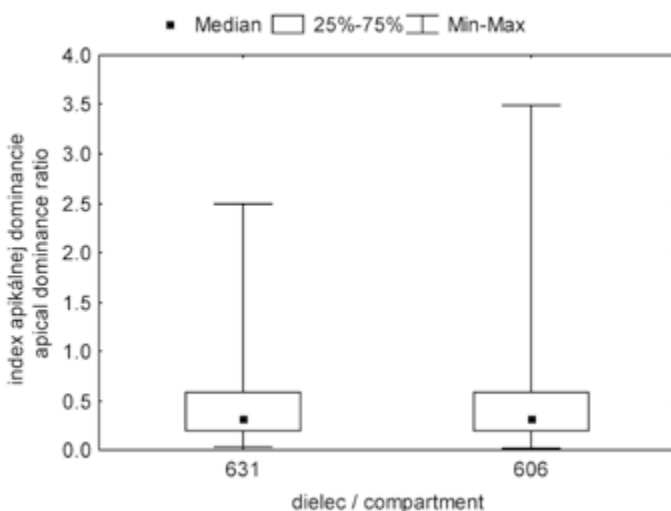
Pri analýze priemerného výškového prírastku za posledné tri roky sme medzi porastmi zistili len malé rozdiely, ktoré neboli štatisticky významné (obr. 6). Na pôdnom type kambizem (dielec 631) bol súbor jedincov ohraničený minimálnou hodnotou 0,17 cm a maximálnou hodnotou 32 cm. Priemer hodnôt bol  $4,6 \pm 0,32$  cm, medián 2,2 cm. Stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 1,0 až 5,3 cm. Na pôdnom type ranker (dielec 606) bol súbor jedincov ohraničený od 0,17 do 31,3 cm. Priemerný prírastok za posledné tri roky bol  $6,01 \pm 0,36$ , hodnota mediánu bola 3,07 cm. Stredných 50% hodnôt súboru ležalo v intervale 1,5 až 8,4 cm. Mann-Whitneyov U-test nepotvrdil medzi vzorkami štatisticky významné rozdiely ( $p = 0,14$ ).



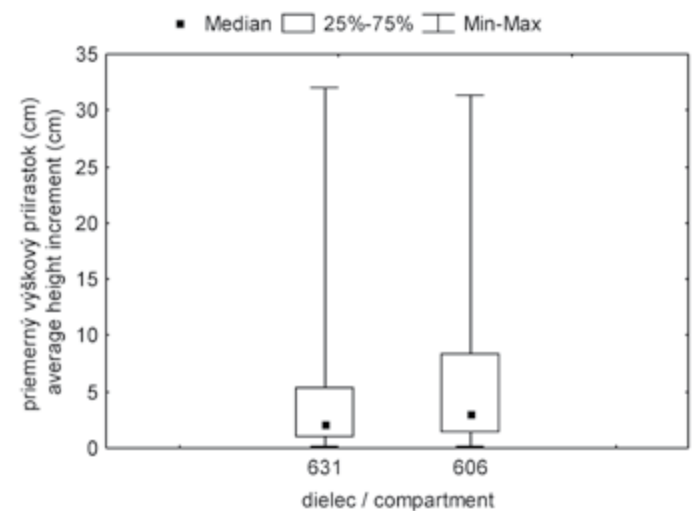
**Obr. 3.** Výškový prírastok redukovaný na výšku 100 cm  
**Fig. 3.** Height increment reduced to the height of 100 cm



**Obr. 4.** Skutočné hodnoty výškového a priemerného laterálneho prírastku použité pri výpočte ADR  
**Fig. 4.** True values of height and average lateral increment used in ADR calculation



**Obr. 5.** Index apikálnej dominancie jedle v dielcoch 631 a 606  
**Fig. 5.** Apical dominance ratio of silver fir in the compartments 631 and 606



**Obr. 6.** Priemerný výškový prírastok jedle za posledné 3 roky (dielec 631 a 606)  
**Fig. 6.** Average height increment of silver fir for three last years (compartment 631 and 606)



## DISKUSIA

Z pohľadu rastových procesov jedincov jedle vysokých od 100 do 200 cm, nachádzajúcich sa v dolnej vrstve výberkového lesa, je možné vylúčiť vplyv vnútrodruhovej konkurencie na ich rast a morfológiu koruny ak má okolitý rastový priestor svetelné charakteristiky na úrovni do 25 % osvetlenia voľnej plochy (DUCHESNEAU et al 2001). V takomto postavení sa jedným z rozhodujúcich ekologických faktorov stáva svetlo. Tesnosť závislosti medzi vybranými rastovými charakteristikami, ktoré sa vzťahujú na svetlo ako nezávisle premennú v prácach veľmi kolíše. DUCHESNEAU et al. (2001) uvádza tesnosť korelácie medzi % PPFID a relatívnym indexom výškového rastu (RHG) jedle balzamovej (*Abies balsamea*) na úrovni  $R = 0,78$  ( $p < 0,001$ ). SZYMURA (2005) uvádza pre vzťah % PPFID a výškovým prírastkom korelačný koeficient  $R = 0,62$  ( $p < 0,017$ ). Medzi nami vypočítaným redukovaným výškovým prírastkom (redukovaný na výšku 100 cm) a zistenými hodnotami % PPFID sa potvrdila stredne tesná korelácia  $R = 0,44$ ,  $p = 0,0005$ . Pre dynamiku výškového odrastania je dôležitá hraničná dávka relatívneho osvetlenia. CESCATTI (1996) na základe 3D modelu pre transfer žiarenia stanovil hranicu 13 % relatívneho osvetlenia voľnej plochy ako minimálnu hranicu pre odrastanie jedincov jedle. Experiment v analyzovanom poraste 606 potvrdil, že už pri relatívnom osvetlení 8,5 % sa nachádzali jedince jedle s výrazne tiennym habitom. Naše poznatky sú v súlade so všeobecne známymi ekologickými nárokmi jedle a podporujú ich aj zistenia autorov GRASSI et al. (2004), ktorí uvádzajú pre jedľu hodnotu  $ADR = 0,5$  pri svetelných podmienkach pod 10 % osvetlenia voľnej plochy. KLOPCIC, BONCINA (2010) uvádzajú, že sociálny status, veľkosť koruny a intenzita clonenia majú výrazný vplyv na výškový rast jedle vo výberkových lesoch. Výsledky týchto autorov rovnako potvrdzujú, že kompetičný tlak má vplyv na výškový rast len do určitej miery clonenia, od ktorej sa rozhodujúcim faktorom, vplývajúcim na výškový prírastok, stáva práve miera zatienenia. Nami zistené hodnoty indexu ADR potvrdzujú výsledky, ktoré uvádza DUCHESNEAU et al. (2001). Pre jedince v kategórii od 100 do 200 cm autori uvádzajú hodnoty ADR približne od 0,2 do 1,5, čo sa takmer zhoduje s nami zistenými hodnotami indexu ADR na oboch pôdnych typoch. Pri analýze priemerného výškového prírastku za posledné tri roky sa medzi porovnávanými porastmi nezistili významné rozdiely. Z pohľadu výškového rastu jedincov dolnej vrstvy zistil SZYMURA (2005) pri jedli priemerný prírastok za posledné tri roky na úrovni  $20 \pm 15$  cm, čo sa značne odlišuje od nami zistených hodnôt pre jedince na oboch pôdnych typoch ( $4,6 \pm 0,32$  cm,  $6,01 \pm 0,36$  cm). Autor však realizoval svoj výskum v národnej rezervácii v rôznovekom, rôznorodom poraste s menšou kruhovou základňou  $26 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  a počtom kmeňov  $463 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Z pohľadu popisu a charakteristiky tohto lesného ekosystému treba povedať, že tento nespĺňal charakteristiky výberkového lesa. Ďalšou skutočnosťou bolo, že autor do vyhodnotenia zahrnul jedince od výšky 0,5 m do hrúbky 7 cm, pričom práve zvýšenie evidenčnej hranice mohlo viesť k uvedeným hodnotám.

## ZÁVER

Výsledky výskumu potvrdzujú vplyv svetla na rast a formovanie habitu jedle v stanovených výškových a hrúbkových kategóriách dolnej vrstvy výberkových lesov s rôznou funkciou. V rámci dolnej vrstvy analyzovaných výberkových porastov existujú veľmi heterogénne ekologické podmienky, pričom jedným z rozhodujúcich ekologických faktorov je svetlo. V dieľci 606 je na základe vykonaného merania možné konštatovať, že terminálny rast jedle začína pri spodnej hranici spektra 8,5 %. Najlepšie svetelné podmienky pre výškový rast jedle boli zistené na hranici 18,3 % difúzneho fotosynteticky aktívneho toku žiarenia. V dieľci 606 boli zistené skutočné hodnoty aktuálneho výškového prírastku v rozpätí 0,2 až 32 cm, hodnota mediánu bola 2,5 cm. Priemerná dĺžka bočných vetiev posledného praslenu dosahovala hodnoty 0,4 až 32 cm. V dieľci 631 bolo zistené rozpätie hodnôt dĺžky terminál-

neho prírastku 0,2 až 12 cm. Pre hodnoty priemernej dĺžky bočných vetiev bolo zistené rozpätie 1,0 až 15,5 cm. Rozbor výsledkov potvrdil, že jedince jedle sa dokážu adaptovať na meniace sa svetelné podmienky do takej miery, že po dobu viacerých rokov zostáva ich priemerný výškový prírastok na úrovni len 0,2 cm, pričom laterálny rast pokračuje ďalej. Takýmto procesom rastu koruny vytvára jedľa tienny habitus, nakoľko jej hodnota ADR je 0,02. Výškový prírastok tak predstavuje len 2 % z hodnoty priemerného laterálneho prírastku v danom roku. Výskum ukázal, že rozdielne pôdne podmienky významne neovplyvujú na dynamiku absolútnych hodnôt 3ročného priemerného terminálneho a laterálneho rastu jedincov jedle v dolnej vrstve sledovaných výberkových lesov. Redukovaním výškového prírastku na 100 cm sa významné rozdiely prejavili. Významne vyššie hodnoty redukovaného výškového prírastku boli zistené vo výberkovom lese na pôdnom type kambizem. V tomto dieľci dosahovala mediánová hodnota redukovaného výškového prírastku 0,95 cm. Na rankrovej pôde v dieľci 606 mal tento ukazovateľ hodnotu 0,08 cm. Záverom je možné konštatovať, že v analyzovaných dieľcoch ovplyvňuje rast jedle viacero faktorov, a to v závislosti na jej sociálnej pozícii v rámci dolnej vrstvy. Čím je jedinec vývojovo starší, tým sú jeho požiadavky na svetlo vyššie. V prípade jedle bielej dokáže táto drevena vyčkávať v tzv. stacionárnom stave (SCHÜTZ 2002) s formovaním tienneho habitu do doby, kým sa svetelné podmienky nezlepšia. Z hľadiska praxe lesného hospodárstva je teda možné udržiavať jedľu vo výrazne tiennom postavení, nakoľko po odclonení dokáže v raste ďalej pokračovať a zvyšovať svoj terminálny prírastok.

## Podakovanie:

Táto štúdia vznikla vďaka podpore grantu VEGA 1/0381/12.

## LITERATÚRA

- AMMER CH., BRANG P., KNOKE T., WAGNER S. 2004. Methoden zur waldbaulichen Untersuchungen von Jungwüchsen. Forstarchiv, 75: 83–110.
- CESCATTI A. 1996. Selective cutting, radiative regime and natural regeneration in a mixed coniferous forest, a model analysis. In: Skovsgaard, J.P. (ed.): Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Proceeding IUFRO Conference held in Copenhagen, 10–13 June 1996. Horsholm: 474–483.
- COATES K.D. 2002. Tree recruitment in gaps of various size, clearcuts and undisturbed mixed forest of interior British Columbia, Canada. Forest Ecology and Management, 155: 387–398.
- CUMMING G., FIDLER F., VAUX D.L. 2007. Error bars in experimental biology. The Journal of Cell Biology, 177: 7–11.
- 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.
- DOBROWOLSKA D., VELEN T. 2008. Treefall-gap structure and regeneration in mixed *Abies alba* stands in central Poland. Forest Ecology and Management, 255: 3469–3476.
- 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.
- FABJANOWSKI J., JAWORSKI A., MUSIEL W. 1974. The use of certain morphological features of the fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea excelsa* Link.) in the evaluation of the light requirements and quality of their up-growth (Orig. Poln.). Acta Agraria Silvestris, 14: 3–29.

- GRASSI G., BAGNARESI U. 2000. 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
- CHRIMES D., NILSON K. 2005. Overstorey density influence on the height of *Picea abies* regeneration in northern Sweden. *Forestry*, 78: 433–442.
- JAĎUŠ J., SANIGA M. 2012. Rastová a regeneračná dynamika vybratých typov výberkových lesov v orografickom celku Nízke Tatry. *Acta Facultatis Forestalis*, 54 (2): 21–30.
- KŁOPCIC 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.
- KOBE R.K., PASCALA S.W., SILANDER JR. J.A. 1995. Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. *Ecological Applications*, 5 (2): 517–532.
- KUCBEL S. 2011. Štruktúra porastov a regeneračné procesy vo vysokohorských ochranných lesoch Nízkych Tatier. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 138 s.
- LIN C.J., LAIHO O., LÄHDE E. 2011. 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.
- LÜSCHER F. 1989. Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Zürich: 83 s. Diss. Techn. Wiss. ETH Zürich, Nr. 8879.
- MOSANDL R. 1991. Die Steuerung von Waldökosystemen mit waldbaulichen Mitteln. Dargestellt am Beispiel des Bergmischwaldes. München: 246 s. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 46.
- RIMARČÍK M. 2007. Štatistika pre prax. Košice, M. Rimarčík: 200 s.
- ROBAKOWSKI P., SAMARDAKIEWICZ S., KIERZKOWSKI D. 2004. Variation in structure of needles of silver fir (*Abies alba* Mill.) saplings growing under the canopies of diverse tree species. *Polish Journal of Ecology*, 52: 563–568.
- SANIGA M., VENCURIK J. 2007. Dynamika štruktúry a regeneračné procesy lesov v rôznej fáze prebudovy na výberkový les v LHC Korytnica. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 82 s.
- SCHÜTZ, J.-PH. 2002. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. ETH Zentrum. Zürich: 132 s.
- 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*, 212: 101–108.
- ŠPULÁK O., MARTINCOVÁ J. 2011. Variabilita parametrov fluorescence chlorofylu v rámci mladých stíněných a nestíněných sazenic jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.) měřená dvěma odlišnými přístupy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56: 189–197.
- TEUFEL K., BAUMGARTEN M., HANEWINKEL M., SAUTER H., WILPERT K., KONOLD W., SPIECKER H. 2005. Waldumbau für eine zukunftsorientierte waldwirtschaft. Ergebnisse aus dem Südschwarzwald. Berlin, Springer: 422 s.
- VENCURIK J., KUCBEL S. 2008. Hrubkový prírastok smreka a jedle vo výberkovom lese Oravských Beskýd. *Beskydy*, 1 (2): 209–214.
- VENCURIK J., KUCBEL S., SNOPOKOVÁ Z. 2013. Štruktúra, rast a klimatická senzitivita prirodzenej obnovy smreka obyčajného (*Picea abies* /L./ Karst.) a jedle bielej (*Abies alba* Mill.) vo výberkových lesoch severozápadných Karpát. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58: 123–130.

## IMPACT OF LIGHT AND SOIL CONDITIONS ON THE HEIGHT GROWTH OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) IN THE LOWER LAYER OF SELECTION FORESTS

### SUMMARY

Silver fir (*Abies alba* Mill.) is the main tree species of mixed stands, structurally heterogeneous mountain forests (TEUFEL et al. 2005). Forest stands with adequate representation of fir are suitable for selection system management. The selection forest is characteristic by its ecological profile. In the bottom layer of the selection forest, there are several critical factors that affect the height growth of trees. These are especially the light penetration into the forest stand, the temperature, the soil type and the competitive vegetation (COATES 2002; GRASSI et al. 2004).

The light condition environment significantly affects the mortality of trees in structurally heterogeneous forest stands. Growth processes of fir in less suitable light conditions were described by SZYMURA (2005), STANCIOIU, O'HARA (2006), VENCURIK, KUCBEL (2008) and DIACI, FIRM (2011). Considering the overall assessment of the fir growth, the index of the apical dominance (DUCHESNEAU et al. 2001; GRASSI et al. 2004; SZYMURA 2005) is often used as an indicator. The apical dominance ratio (ADR) expresses the relation between the length of the leader stem and the mean length of first node lateral branches. Application of the index of apical dominance (ADR) allows classifying the dynamics of the height growth. Individuals with ADR values  $>1$  are characterized by good growth potential, the value of individual ADR  $<1$  refers to low growth potential (GRASSI et al. 2004; KUCBEL 2011). The aim of the paper was to evaluate the suitability of light conditions for height growth of the silver fir (*Abies alba* Mill.) in the bottom layer of selection stands and compare the terminal and lateral growth on two different soil types for the last three years.

The research was conducted in the Low Tatras (Slovak Republic) orographic units, demonstration object Donovaly – Mistríky (50.4 ha S48°52'26" and 19°14'28", "V). Compartment 606 with a dominant protective function is located on the northern exposure. The predominant soil type is ranker. Compartment 631 with the dominant production function is located on the southern exposure, predominant soil type is cambisol. Overall we measured 300 individuals with the height of 130 cm and DBH up to 5 cm per compartment. Each individual was assessed by following biometric characteristics: (i) height (h) with an accuracy of 1 cm, (ii) length of terminal shoots (hi) created during the past three years, accuracy of 5 mm, and (iv) length of two perpendicular branches in whorl created during the past three years, accuracy of 5 mm. Light conditions were quantified by the hemispherical photography. Results were expressed as a relative photosynthetic photon flux density under the canopy (% PPFd). Scanning was performed in the compartment 606. A total number of 63 hemispherical images were taken. To quantify the impact of diffuse radiation on the height increment of the selected category of individuals it was necessary to exclude the effect of varying height of individuals. For this purpose the procedure of LÜSCHER (1989) was chosen. The method is based on the linear reduction of the  $n$ -year height increment to the standard height of 100 cm.

The analysis of light conditions and the height growth of the fir in the compartment 606 (Fig. 1) confirmed that the value of diffuse photosynthetic active radiation (PPFD %) correlated with the value of reduced height increment ( $r = 0.44$ ,  $p = 0.0005$ ). The coefficient of determination confirmed that only 19% of this factor was involved in the terminal growth. More than half of the evaluated individuals, where the ADR ratio  $>1$  (good growth potential), showed the light income on the level of more than 16% of full sunlight.

Statistical analysis using the Mann-Whitney U-test confirmed the significant differences in the reduced height increment between samples growing on different soil types at  $p = 0.000$  (Fig. 3). Analysis of differences in the ADR values of the individuals growing on different soil types (Fig. 4) did not confirm a statistically significant difference  $p = 0.80$ . Similarly, the analysis of average height growth of fir during last three years did not confirm statistically significant differences ( $p = 0.14$ ) between soil types (Fig. 5).

Research results confirmed the effect of light on growth of fir and its habit formation in selected height and diameter classes within the lower layer of the selection forest. In the compartment 606, the research confirmed that terminal growth of fir began at the lower threshold of the spectrum 8.47%. The best light conditions for height growth of fir were found on the threshold of 18.34% of diffuse photosynthetic active radiation. Significantly higher values of reduced height increment were found in the selection forest growing on the soil type cambisol. In mentioned compartment, median value of the reduced height increment achieved 0.95 cm. This characteristic reached the value of 0.08 cm on the ranker soil in the compartment 606.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Ján Jad'ud', Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika  
tel.: +421 455 206 245; e-mail: xjadud@tuzvo.sk