

## POČETNOSŤ A VÝŠKOVÁ ŠTRUKTÚRA PRIRODZENEJ OBNOVY VO VYSOKOHORSKOM SMREKOVOM LESE V NPR POĽANA

### DENSITY AND HEIGHT STRUCTURE OF NATURAL REGENERATION IN MOUNTAIN SPRUCE FOREST OF THE POĽANA NNR (SLOVAKIA)

PETER JALOVIAR ✉ - MARIANA KÝPEŤOVÁ - STANISLAV KUCBEL - JAROSLAV VENCURIK - JÁN PITTNER

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

✉ e-mail: jaloviar@tuzvo.sk

#### ABSTRACT

This paper analyses the structure of natural regeneration in spruce subalpine primary forest forest in the Zadná Poľana National Nature Reserve (NNR), Slovakia. The analysis was focused on tree species composition, height structure and increment, intensity of damage by deer browsing, and the proportion of natural regeneration growing on coarse woody debris. Two altitudinal zones (AZ), 1412–1452 m a.s.l. and 1314–1355 m a.s.l., were chosen to show the influence of different stand structure on the natural regeneration properties. In the upper AZ, the natural regeneration consisted of nearby balanced mixture of Norway spruce (*Picea abies* L.) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.). To the contrary, rowan obviously dominated in the lower AZ. Rowan was damaged substantially by ungulate browsing – at least 60% of rowan saplings were browsed in upper AZ, and almost 100% in lower AZ. However, the damage of spruce did not exceed 10% in both AZ. The mean height and the height differentiation of spruce saplings were higher in the upper AZ. The height of rowan was unceasingly reduced by browsing, therefore rowan was not able to compete with the spruce saplings in both AZ. Coarse woody debris (CWD) was confirmed as the favourable substrate for spruce natural regeneration. More than 50% of spruce saplings grew on CWD. Spruce saplings growing on the CWD in the upper AZ were also significantly higher than those from lower AZ and also higher than spruce saplings growing on the soils in the both AZ.

**Kľúčové slová:** vysokohorské lesy, prirodzená obnova, moderové drevo, substrát, výškové pásmo

**Key words:** subalpine forests, natural regeneration, coarse woody debris, substrate, altitudinal zone

#### ÚVOD

Prírodné smrekové lesy v 7. lesnom vegetačnom stupni (lvs) patria v porovnaní s lesmi nižších polôh k najlepšie zachovalým lesným ekosystémom. Dominujúcou drevinou 7. lvs je smrek, pričom platí, že smrekové horské lesy v strednej Európe patria z hľadiska drevinového zloženia medzi najchudobnejšie. Z hľadiska diferencovanosti štruktúry sa vysokohorské smrečiny vyznačujú typickou jednovrstvou štruktúrou s prístupujúcou nadmorskou výškou s medzernatým zápojom (OTT et al. 1995).

Prirodzená obnova vysokohorských smrečín je komplikovaný proces. Vývoj a rast prirodzenej obnovy je ovplyvnený drsnými klimatickými podmienkami, ktoré sa rapídne menia od priaznivých na nepriaznivé už v rámci jednotlivých mikrostanoš. OTT (1989) považuje fázu obnovy vo vysokohorských lesoch za najproblematickejšiu životnú etapu lesných ekosystémov, pritom iba neustále prebiehajúce regeneračné procesy bez dlhších období stagnácie sú schopné zaistiť trvalú prítomnosť vysokohorského lesa (KUCBEL 2003). Limitujúcim klimatickým faktorom je hlavne teplota, výrazné obdobia vlhkostných deficitov sa vyskytujú menej často (KRÄUCHI et al. 2000). Významné postavenie majú regeneračné procesy prebiehajúce na rozkladajúcich sa pňoch

alebo kmeňoch (KORPEL 1989; OTT et al. 1995; HOLEKSA et al. 2007; SVOBODA et al. 2010) a tiež na vyvýšeninách po rozpadnutých koreňových sústavách.

Prítomnosť moderového dreva je vo vysokohorských lesoch kľúčová predovšetkým pre obnovu smreka, pretože vyvýšený mikoreliéf kompenzuje výškový náskok buriny (VORČÁK et al. 2006; SANIGA, BALANĎA 2008) a vznikajúcej obnove smreka zabezpečuje vyšší príkon tepla a dostatočnú zásobu vody v substráte (KRÄUCHI et al. 2000; MORI et al. 2004; BAIER et al. 2007). Podľa Korpela (KORPEL 1989) a Vorčáka (VORČÁK et al. 2006) sa množstvo prirodzenej obnovy rastúcej na moderovom dreve zvyšuje so stúpajúcou nadmorskou výškou a najviac jedincov sa vyskytuje práve v iniciálnej rastovej fáze. V nadmorskej výške nad 1400 m predstavuje mŕtve drevo základnú formu kľúčneho lôžka pre generatívnu prirodzenú obnovu (MAI 1999). Práve obnova smreka rastúca na moderovom dreve zrejme tvorí podstatnú zložku následnej generácie smreka, ktorá sa etabluje po veľkoplošných disturbanciách a predstavuje významný prvok trvalosti horských ekosystémov (ZEPPENFELD et al. 2015).

Výškový rast je zvyčajne veľmi spomalený počas juvenilného obdobia. Avšak ako náhle dreviny prekonajú výškové zóny, v ktorej sú mi-

moriadne citlivé na nepriaznivé účinky snehu, patogénne ochorenia a ohryz zverou, ich výškový rast pohotovo akceleruje (BRANG 1996). Vo vysokohorských polohách sa limitujúcim faktorom pre vznik a odrastanie prirodzenej obnovy stáva dostatočný príkon tepla na povrch pôdy, resp. iného kľúčového substrátu. KÖRNER (2012) uvádza, že spodný teplotný limit pre rast koreňov a nadzemných častí semenáčikov ihličnatých drevín hornej hranice lesa je 4–7 °C. Práve priame slnečné žiarenie má zásadný význam pre rast prirodzenej obnovy smreka, pretože hustota jeho fotónového toku je približne štvornásobná v porovnaní s difúznym žiarením. Nepriame difúzne žiarenie nemá dostatočnú energiu a v podmienkach vysokohorských lesov nie je smrekové prirodzené zmladenie schopné sa vyvíjať ani pri pomerne veľkom difúznom žiarení v poraste (OTT 1989; KUCBEL 2003). Množstvo priameho slnečného žiarenia je ovplyvnené nie len veľkosťou a tvarom medzier vznikajúcich rozpojením korunovej vrstvy, ale aj expozíciou a topografiou daného stanovišťa (KRÄUCHI et al. 2000).

Napriek tomu, že veľkoplošný rozpad horských lesov je dlhodobou známou, potvrdeným a predpokladaným faktom (LEIBUNDGUT 1982; KORPEL 1989; BRANG 1996), nevenovala sa im dostatočná pozornosť najmä kvôli pomerne nízkemu percentuálnemu zastúpeniu, ťažkej prístupnosti a nepatrnému produkčnému významu. História disturbancií, ich rozsah v minulosti a schopnosť týchto ekosystémov opätovne sa vyvinúť do stavu aký bol bežný v období pred nástupom veľkološného rozpadu horských smrečín sa stala predmetom intenzívneho výskumu najmä v posledných 10–15 rokoch.

Výrazné disturbančné procesy enormných rozmerov, spôsobujúce intenzívny rozpad týchto lesov (SVOBODA et al. 2010, 2014), upriamili lesnícku pozornosť na problematiku vysokohorských lesov predovšetkým na proces ich obnovy, a teda zachovania a pestovného usmerňovania s prioritou trvalej udržateľnosti, stability a funkčnosti vysokohorských lesov (KUCBEL 2003). Prírodný les je v tomto smere vhodným modelom práve pre existujúci dlhodobý proces prirodzenej obnovy.

Cieľom tejto práce je analýza prítomnosti prirodzenej obnovy, jej denzity, výškovej štruktúry a jej výškového prírastku vo vzťahu k štruktúre materského porastu. Významnou súčasťou analýzy je stanovenie druhej štruktúry prirodzenej obnovy, miery jej poškodenia ohryzom raticovou zverou ako aj podielu prirodzenej obnovy smreka na moderovom dreve.

## MATERIÁL A METODIKA

Analýzu štruktúry prirodzenej obnovy vysokohorských lesov sme vykonali v NPR Zadná Poľana (48,6383 N; 19,4801 E). Jedná sa o smrekový prírodný les v 7. lvs, ktorý sa nachádza v nadmorskej výške 1200–1458 m n. m. Priemerný ročný úhrn zrážok je 900–1000 mm priemerná teplota 4–4,5 °C. Prírodné smrekové spoločnosti patria do skupiny lesných typov (slt) *Acereto-Piceetum* a *Sorbeto-Piceetum*. Vrchol masívu Poľany (1458 m n. m.) je dlhodobou modelovým objektom pre výskum vysokohorských smrečín (KORPEL 1989; SANIGA 2005; SANIGA et al. 2005, 2013).

Z existujúcej permanentnej siete kruhových 20 výskumných plôch s výmerou 10 árov ( $r = 17,85$  m) v rozstupe 100 m, ktorá bola založená v roku 2013, sme v tejto práci hodnotili 6 plôch vo výškovom pásme 1400 m (1412–1452 m n. m.) a 7 plôch vo výške 1300 m (1314–1355 m n. m.). Dôvodom takéhoto výberu bolo získať dva súbory plôch so zreteľne rozdielnou nadmorskou výškou.

Polohopisná situácia stromov strednej a hornej vrstvy, druh dreveniny, hrúbka ( $d_{1,3}$ ) a poškodenie smreka boli zaznamenané technológiou Field-Map. Hraničnú hodnotu hrúbky  $d_{1,3}$  a výšky stromu pre určenie jeho príslušnosti k dolnej alebo strednej vrstve sme určili na základe vypočítanej výškovej krivky pre smrekový porast a údajov o priemernej hrúbkach a výškach jednotlivých vrstiev (Saniga et al. 2013). Hraničná výška oddelujúca dolnú a strednú vrstvu, t.j. jedna tretina hornej výšky ( $h_{10}$ ) porastu bola 13,8–14,6 m. Jej zodpovedá hrúbkam

$d_{1,3}$  21,3–22,2 cm podľa výškovej zóny. Z údajov o hrúbke stromov sme následne vypočítali kruhovú základňu porastu ( $m^2 ha^{-1}$ ) pre každú výskumnú plochu.

Stav prirodzenej obnovy sme zisťovali v septembri a októbri v roku 2015. Za kategóriu jedincov prirodzenej obnovy sme považovali všetky semenáčky a vyspelú obnovu, pri ktorej bola hrúbka  $d_{1,3}$  menšia ako 8,0 cm. Prírodnú obnovu smreka a jarabiny vyššiu ako 40 cm sme analyzovali na celej výmere každej výskumnej plochy. Semenáčky a obnovu s výškou do 40 cm sme analyzovali na kruhovej ploche s identickým stredom a s polomerom 5,64 m (100  $m^2$ ). Už pri terénnom meraní sme zistili, že nebude možné spoľahlivo a presne zmerať výškový prírastok poškodených jarabiny a meranie sa musí obmedziť iba na stanovenie jej výšky a početnosti. Vzhľadom na vysokú početnosť prirodzenej obnovy jarabiny bol (plošný) rozsah výberu v pásme 1300 m n. m. zmenšený na kruh s výmerou 100  $m^2$  aj pre vyspelú obnovu jarabiny.

Na každom jedinci prirodzenej obnovy sme určili druh dreveniny, zmerali celkovú výšku a výškový prírastok za rok 2015 s presnosťou na 1 cm, určili substrát, na ktorom rastie (moderové drevo alebo ostatný povrch). V prípade viditeľných zvyškov po ležiacich kmeňoch bola identifikácia substrátu jednoznačná. Pri každom jedinci, ktorý rástol na rovnom mikroreliefe, sme odkryli vegetáciu a zistili, či jedinec rastie na *Of-Oh* (A) pôdnom horizonte, alebo bylinná prikrývka zakrýva posledné zvyšky moderového dreva. Poškodenie ohryzom sme hodnotili vizuálne, pričom sme nestanovovali mieru poškodenia, iba jeho samotnú prítomnosť.

Na analýzu vplyvu nadmorskej výšky, druhu dreveniny a substrátu na výšku sme použili všeobecný lineárny model a následne post-hoc Duncanov test. Rovnako sme postupovali aj v prípade hodnotenia vplyvu substrátu na výšku smreka v rôznych nadmorských výškach. Významnosť rozdielov v podiele poškodenia smreka a jarabiny ohryzom v obidvoch výškových pásmach sme hodnotili pomocou dvojvýberového z-testu podielov kvalitatívneho znaku. Rovnako sme hodnotili aj významnosť rozdielov v podieloch z počtov obnovy smreka a jarabiny rastúcich na moderovom dreve a na ostatnom povrchu. Pre zistenie vplyvu kombinácie substrátu a nadmorskej výšky na výškový prírastok po vylúčení vplyvu výšky prirodzenej obnovy sme použili lineárnu regresiu výšky výškového prírastku pre každú z kombinácií substrátu a výškového pásma. Významnosť rozdielov regresných priamok sme hodnotili pomocou testu homogenity priamok (MELOUN, MILITKÝ 2004). Štatisticky významné rozdiely sú označené symbolmi „\*“ pre hladinu významnosti  $\alpha > 95\%$ , „\*\*“ pre  $\alpha > 99\%$  a „\*\*\*“ pre  $\alpha > 99,9\%$ .

## VÝSLEDKY

Stav a štruktúru materského porastu v NPR Zadná Poľana sme charakterizovali pomocou základných dendrometrických veličín a ich variability (tab. 1).

Kruhovú základňu porastu – živých aj odumretých smrekov hornej vrstvy – je veľmi podobná aj pri rozdielnom počte kmeňov. Podiel odumretých stojacich stromov z počtu kmeňov je vyšší ako podiel z kruhovej základne a zároveň je každý z týchto podielov vyšší v pásme 1400 m n. m. Všetky rozdiely medzi hodnotami však majú vzhľadom na ich pomerne vysokú variabilitu prevažne náhodný charakter.

Vrstvu prirodzenej obnovy smrekového prírodného lesa na všetkých trvalých výskumných plochách (TVP) tvorí smrek a jarabina vtáčia. Na plochách s výškou 1300 m k nim pristupuje buk vo forme jednotlivých prímiesi (tab. 2). V nadmorskej výške okolo 1400 m n. m. mierne prevláda smrek, ale v nižšom pásme okolo 1300 m n. m. už z hľadiska počtu jednoznačne dominuje jarabina.

Početnosti jedincov prirodzenej obnovy smreka sa medzi výškovými pásmami líšia náhodne, všetky ostatné rozdiely v početnostiach a podieloch sú štatisticky významné.

Jarabina a smrek sa výrazne líšia v miere poškodenia ohryzom jeleňou zverou (obr. 1). Smrek je v obidvoch pásmach poškodzovaný len

**Tab. 1.**

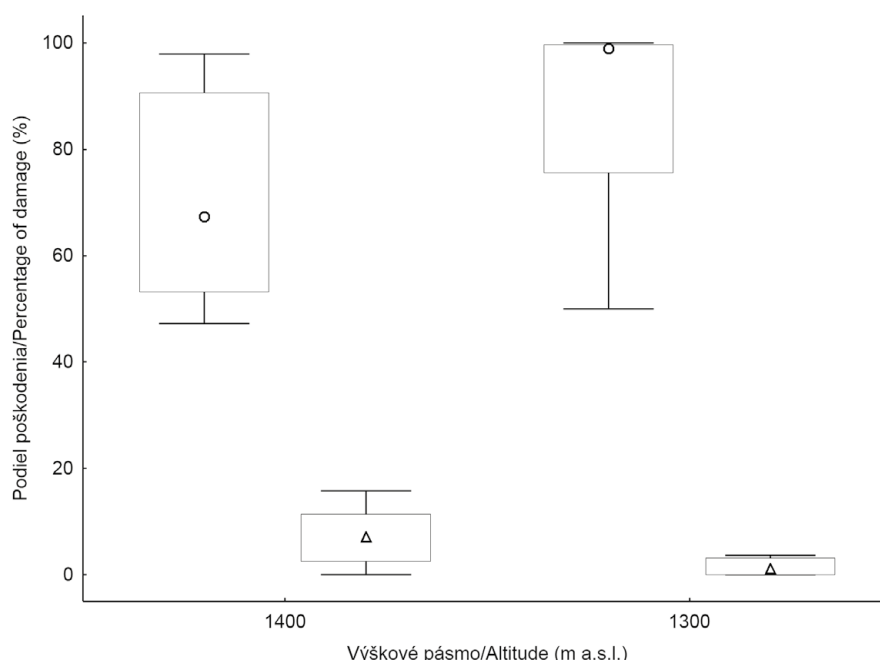
Prehľad priemerných hodnôt ( $\pm$  stredná chyba) základných taxačných veličín smrekového porastu v NPR Poľana podľa výškových pásiem  
 Overview of the average values ( $\pm$ standard error of mean) of basic dendrometric characteristics of spruce stand in the Poľana National Nature Reserve in relation to altitudinal zones

	1300m n. m	1400m n. m.
Počet všetkých stromov (N ha <sup>-1</sup> )/Number of all trees	278,6 $\pm$ 21,1	340,0 $\pm$ 35,4
Počet živých stromov smreka (N ha <sup>-1</sup> )/Number of live spruce trees	212,9 $\pm$ 18,6	246,7 $\pm$ 29,7
Počet stojacich suchých kmeňov (N ha <sup>-1</sup> )/Number of dead-standing stems	48,6 $\pm$ 17,1	80,0 $\pm$ 19,3
Počet kmeňov jarabiny vtáče (N ha <sup>-1</sup> )/Number of <i>Sorbus aucuparia</i> L.	17,1 $\pm$ 9,1	13,3 $\pm$ 7,6
Kruhovú základňu smreka (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )/Basal area of <i>Picea abies</i> L.	43,9 $\pm$ 5,3	42,9 $\pm$ 3,5
Kruhovú základňu stojacich suchárov (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )/Basal area of dead-standing trees	7,8 $\pm$ 3,6	9,1 $\pm$ 2,2
Podiel suchárov na kruhovej základni (%) /Percentage of dead trees	15,8 $\pm$ 5,8	17,5 $\pm$ 4,4

**Tab. 2.**

Počtenosti prirodzenej obnovy smreka a jarabiny a ich podiely na celkovej počtenosti prirodzenej obnovy podľa výškových pásiem  
 Composition of natural regeneration of Norway spruce (*Picea abies* L.) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and percentage of natural regeneration in relation to altitudinal zones

Nadm. výška [m n.m.]/Altitude [m]	Počet [ks.ha <sup>-1</sup> ]/ Number [pcs.ha <sup>-1</sup> ]		Podiel/ Percentage [%]	
	1300	1400	1300	1400
Smrek/ <i>Picea abies</i> L.	5470 $\pm$ 1313	4483 $\pm$ 1170	30,0	55,0
Jarabina/ <i>Sorbus aucuparia</i> L.	24441 $\pm$ 5629	3679 $\pm$ 643	68,3	45,0
Buk/ <i>Fagus sylvatica</i> L.	300 $\pm$ 76	–	1,7	0
Spolu/Sum	29911 $\pm$ 5025,7	8162 $\pm$ 1343	100	100


**Obr. 1.**

Podiely poškodených jedincov podľa drevín a výškových pásiem. Stredná hodnota je medián podielu poškodenia na plochách v danom výškovom pásme, kruh pre jarabinu, trojuholník pre smrek. Box predstavuje rozsah 25–75 % rozsahu hodnôt, úsečky predstavujú celý rozsah poškodenia bez extrémov

**Fig. 1.**

Percentages of damaged individuals of tree species according to altitudinal zones. Mean value is a median of damage in the particular altitudinal zone, circle: *Sorbus aucuparia* L.; triangle: *Picea abies* L.; box: 25–75% of values' range; whisker: the whole scale of damage without extremes

v malom rozsahu a aj plošná variabilita poškodenia je veľmi nízka. Jarabina je naopak masívne poškodená v obidvoch výškových pásmach. V pásme 1300 m n. m. sú poškodené skoro všetky jedince, vo výškovom pásme 1400 m n. m. je priemerné poškodenie nižšie, ale priestorová variabilita je vysoká, takže aj tu sa vyskytujú plochy, kde sú poškodené všetky jedince jarabiny bez ohľadu na ich výškovú vyspelosť. Rozdiely v podiele poškodenia sú štatisticky významné medzi výškovými pásmami významné v rámci jednej dreviny ( $z = 6,5^{**}$  pre jarabinu;  $z = 3,0^{**}$  smrek) a tiež medzi obidvomi drevinami v každom výškovom pásme ( $z = 23,9^{***}$  pre výškové pásmo 1300 m n. m.;  $z = 16,0^{***}$  pre výškové pásmo 1400 m n. m.).

Výšková vyspelosť prirodzenej obnovy je popri jej hustote druhým základným parametrom pre hodnotenie biologického zabezpečenia následnej generácie. Pre základnú charakteristiku vyspelosti prirodzenej obnovy sa použilo porovnanie priemerných výšok jarabiny a smreka podľa výškových pásiem (tab. 3).

Najvyššie priemerné výšky dosahuje smrek vo výškovom pásme 1400 m n. m. Tieto výrazne prevyšujú všetky ostatné priemerné výšky jarabiny aj smreka v nižšom pásme. Priemernú výšku smreka zvyšuje pomerne vysoké zastúpenie jedincov s výškou nad 1,3 metra po stanovenú registračnú výškovú hranicu 200 cm. Vzhľadom na to, že početnosť prirodzenej obnovy je v tomto výškovom pásme malá, prítomnosť vyspelých jedincov výrazne zvýši celkovú priemernú hodnotu.

V prirodzenej obnove jarabiny dominujú v obidvoch výškových pásmach výškové kategórie od 20 cm do 50 cm.

Prirodzená obnova smreka je výškovu diferencovaná najmä v pásme 1400 m n. m. Pri priemernej hodnote výšky 86,1 cm dosahuje mediánová výška 54,0 cm, kým v pásme 1300 m n. m. je to pri priemere 50,3 medián 36,0 cm. Okrem výškovej vyspelosti je teda podstatný rozdiel v diferenciácii vrstvy prirodzenej obnovy (obr. 2).

Medzi jarabinou a smrekom existujú významné rozdiely v obsadzovaní, resp. preferencii moderového dreva ako substrátu pre prirodzenú obnovu. Kým smrek v obidvoch pásmach jednoznačne preferuje moderové drevo (tab. 4), jarabina ho v obidvoch pásmach obsadzuje me-

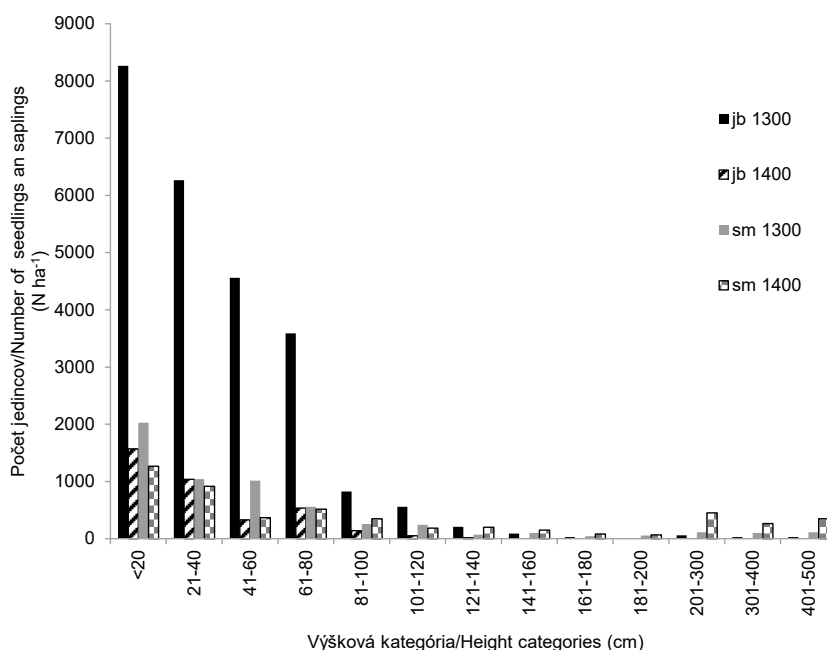
nej, hoci podiel jarabiny na moderovom dreve je vyšší, ako zvyčajne zodpovedá jeho podielu z povrchu porastu. Výškové pásmo má na obsadzovanie jednotlivých substrátov konkrétnou drevinou iba náhodný vplyv ( $z = 1,1^{NS}$  pre smrek;  $z = 1,7^{NS}$  pre jarabinu).

Rozdielne substráty ovplyvňujú nielen početnosti, resp. podiely z celkového počtu, ale aj výškovú vyspelosť prirodzenej obnovy. V obidvoch výškových pásmach sme zistili významný vplyv nadmorskej výšky aj substrátu (tab. 5).

Korelácie výšky a výškového prírastku sú tesnejšie v pásme 1300 m n. m. ( $r^2 = 0,52$  a  $0,74$  pre moderové drevo, resp. ostatný povrch). Vo vyššom pásme je vzťah voľnejší ( $r^2 = 0,30$  a  $0,28$  pre moderové drevo, resp. ostatný povrch), ale všetky korelačné koeficienty  $r$  a rovnako ako aj všetky regresné koeficienty  $b$  sú významne rozdielne od nuly. Závislosti v rámci jedného výškového pásma a v F-kritérium, vypočítané v rámci testu zhody dvojíc priamok dosahuje hodnoty v intervale  $0,67-1,74$ , pričom kritické hodnoty pre ktorúkoľvek testovanú dvojicu priamok nie je nižšie ako  $3,02$ . Regresné  $b$ -koeficienty pre ostatný povrch sú v oboch pásmach štatisticky významne vyššie ako pre moderové drevo. Pri rovnakých výškach jedincov obnovy smreka je v obidvoch pásmach prírastok na moderovom dreve nižší ako na ostatnom povrchu, pričom rozdiel medzi substrátmi je vyšší v pásme 1300 m n. m (obr. 3).

## DISKUSIA

Početnosť stromov hrubších ako 8 cm v NPR Poľana patrí medzi najnižšie spomedzi smrekových prírodných lesov na Slovensku. Podľa Kucbela (KUCBEL 2014) pretrváva z dlhodobého hľadiska klesajúci trend početnosti a naopak, v prípade kruhovej základne, je viditeľný stúpajúci trend. V porovnaní s týmito údajmi, ktoré hodnotili merania do roku 2010 z plôch založených Korpeľom v 70-tych rokoch (KORPEL 1989), alebo s hodnotami, ktoré uvádzajú HOLEKSA et al. (2007) sú naše hodnoty početností živých stromov ešte nižšie ( $213$ , resp.  $247$  ks  $ha^{-1}$ ), čo by mohlo znamenať pokračujúci trend úbytku stromov materského porastu. Rozdiel v početnosti živých stromov medzi výš-



Obr. 2.

Rozdelenie početností prirodzenej obnovy vo výškových kategóriách (20 cm) podľa drevín a výškových pásiem

Fig. 2.

Frequency polygon of natural regeneration in height categories (20 cm) according to tree species (jb – *Sorbus aucuparia* L.; sm – *Picea abies* L.) and altitudinal zones (1300 m and 1400 m a.s.l.)

**Tab. 3.**

Výsledky všeobecného lineárneho modelu výšky prirodzenej obnovy jarabiny a smreka s nezávislými premennými (faktormi): výškové pásmo a drevina. V dolnej tabuľke sú uvedené homogénne skupiny podľa výsledkov Duncanovho testu  
 Results of a general linear model of natural regeneration height (independent variables – factors: altitudinal zone and tree species). Table below shows homogeneous groups as a result of Duncan's test; *Sorbus aucuparia* L.<sup>1</sup>, *Picea abies* L.<sup>2</sup>

	Suma štvorcov Odchýlok/Sum of squares	Počet stupňov voľ- nosti/Degrees of freedom	Stredný štvorec odchýlky/Mean square	F	Hladina významnosti p p-level
Výškové pásmo/Altitudinal zone	6572	1	6572	6,430	0,011
Drevina/Tree species	1105	1	1105	1,081	0,298
Pásmo × Drevina/Zone × Tree species	8251	1	8251	8,073	0,004
Reziduál/Residual	1660851	1625	1022		

Výškové pásmo/ Altitudinal zone	Drevina/ Tree species	Priemerná výška/ Average height (cm)	1	2
1400	Jarabina <sup>1</sup>	45,0	A	
1300	Jarabina <sup>1</sup>	45,6	A	
1300	Smrek <sup>2</sup>	42,3	A	
1400	Smrek <sup>2</sup>	52,2		B

**Tab. 4.**

Podiely prirodzenej obnovy smreka a jarabiny na moderovom dreve a pôde vo výškovom pásme 1300 a 1400 m n. m.  
 Percentage of natural regeneration of Norway spruce and rowan growing on coarse woody debris<sup>1</sup> and soil<sup>2</sup> at the altitudinal zone of 1300 and 1400 m

Nadm. výška/Altitude [m]	Smrek ( <i>Picea abies</i> L.)		Jarabina ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)	
	Moderové/drevo <sup>1</sup>	Ostatný/povrch <sup>2</sup>	Moderové/drevo <sup>1</sup>	Ostatný/povrch <sup>2</sup>
1300	61,8±25,2	38,2±25,5	18,2±12,6	81,8±22,6
1400	54,3±19,4	45,7±19,4	23,7±15,6	76,3±15,6
Priemer/Mean	58,3±22,1	41,7±22,2	20,7±19,1	79,3±19,1

**Tab. 5.**

Výsledky všeobecného lineárneho modelu výšky prirodzenej obnovy smreka na dvoch rozdielnych substrátoch a v dvoch výškových pásmach. V dolnej tabuľke sú uvedené výsledky Duncanovho testu významnosti rozdielov priemerov  
 Results of GLM of natural regeneration height of Norway spruce in two different substrates (coarse woody debris<sup>1</sup> and soil<sup>2</sup>) at two different altitudinal zones. Table below shows the results of Duncan's test of significance of mean differences

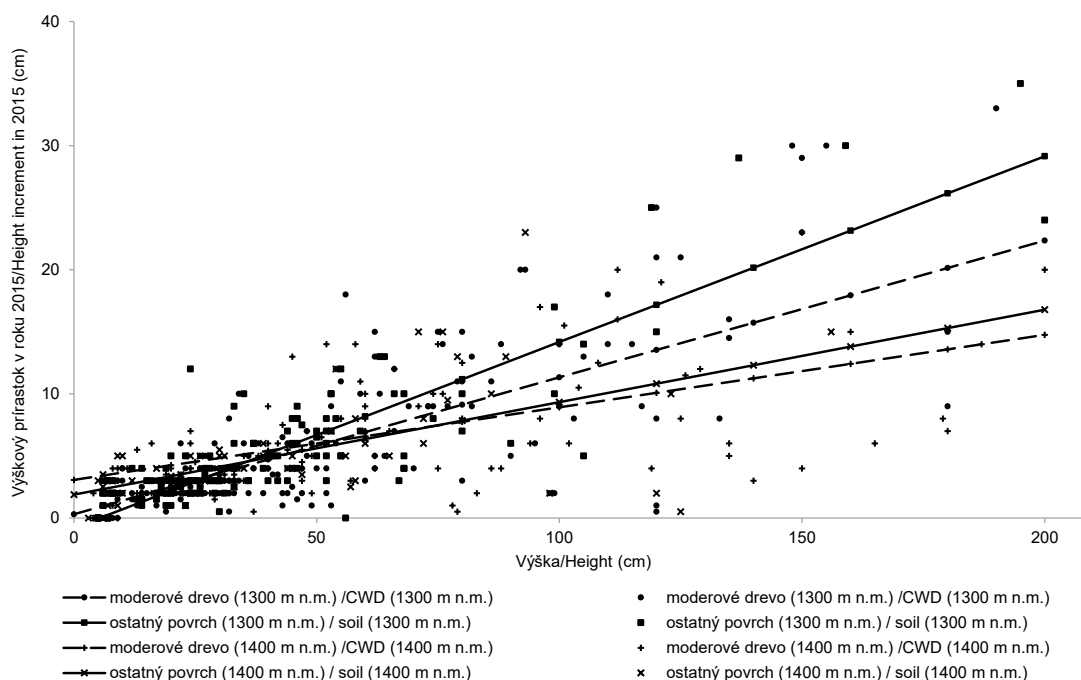
	Suma štvorcov Odchýlok/Sum of squares	Počet stupňov voľ- nosti/Degrees of freedom	Stredný štvorec odchýlky/Mean square	F	Hladina významnosti p p-level
Výškové pásmo (VP)/Altitudinal zone (AZ)	11104	1	11104	7,5134	0,006357
Substrát (S)/Substrate (S)	6999	1	6999	4,7359	0,030035
Interakcia VP × S/Interaction AZ × S	726	1	726	0,4914	0,483628
Reziduálny rozptyl/Residual variability	697560	472	1478		

Výškové pásmo/ Altitudinal zone	Substrát Substrate	Priemerná výška/ Average height (cm)	1	2
1300 m n. m.	Ostatný povrch <sup>2</sup>	44,6	a*	
	Moderové drevo <sup>1</sup>	50,3	a	
1400 m n. m.	Ostatný povrch <sup>2</sup>	52,5	a	
	Moderové drevo <sup>1</sup>	63,6		b

\*zhodné písmená identifikujú príslušnosť k rovnakej homogénnej skupine

\*identical letters indicate reference to homogeneous group



Obr. 3.

Priebeh lineárnych závislostí výškového prírastku smreka za rok 2015 od jeho výšky na moderovom dreve a ostatnom povrchu v oboch výškových pásmach

Fig. 3.

Linear regression trends of the relationship between the height increment of the year 2015 of Norway spruce and height of spruce individuals growing on coarse woody debris and soil in both altitudinal zones

kovými pásmami je evidentný, oveľa vyšší je ale rozdiel v početnosti stojacich suchárov, ktorá je vo výškovom pásme 1400 m vyššia o 60 % v porovnaní s pásmom 1300 m n. m.

Kruhovú základňu smreka je v súčasnosti v oboch výškových pásmach takmer identická (tab. 1). V porovnaní s horskými lesmi iných orografických celkov Slovenska vykazujú prírodné lesy NPR Polana nižšiu priestorovú variabilitu porastových charakteristík (SANIGA et al. 2013; KUCBEL 2014). Okrem toho, že nadmorská výška tu dosahuje iba 1458 m n. m. majú na štruktúru významný vplyv najmä pôdna a geologické pomery neovulkanickej oblasti (HOLEKSA et al. 2007).

Početnosť prirodzenej obnovy je rozdielna v závislosti od výškového pásma. Kým pre pásmo 1400 m n. m. sa naše údaje približujú k zisteniam Holeksu (HOLEKSA et al. 2007), v pásme 1300 m n. m. je početnosť viac ako 3-násobne vyššia. Vysoký rozdiel celkových početností spôsobuje jarabina, ktorej obnova dosahuje aj napriek veľkej miere poškodenia vysoké hustoty. Prírodná obnova však môže dosahovať značne rozdielne hustoty. BAČE et al. (2015) evidovali všeobecne nižšie hodnoty početnosti vyspelej obnovy (50–200 cm) v smrekovom ekosystéme Šumavy pred rozsiahlou kalamitou v rokoch 2007–2008, a to 1095 jedincov smreka a 253 jedincov jarabiny. V našom prípade to bolo v priemere 1784 ks smreka a 4240 ks jarabiny. Uvedení autori však zistili vyššie početnosti semenáčikov (4400 ks ha<sup>-1</sup> vs. 2972 ks ha<sup>-1</sup>). Na druhej strane SVOBODA et al. (2010) uvádzajú rádovo vyššie hodnoty semenáčikov (takmer 43 000 ks ha<sup>-1</sup>) aj vyspelej obnovy (takmer 12 000 ks ha<sup>-1</sup>).

Potvrďilo sa tiež, že obnova smreka je vo vyššom pásme vyspelejšia (tab. 2). HOLEKSA et al. (2007) uvádzajú, že napriek ich očakávaniam existuje významný lineárny vzťah medzi rastúcou nadmorskou výškou a stúpajúcou hustotou prirodzenej obnovy s výškou nad 30 cm.

Vysoká variabilita početnosti prirodzenej obnovy v rámci oboch výškových pásiem (tab. 2) vytvára predpoklad k vytváraniu priestorovo heterogénnych štruktúr v ďalšom vývoji porastu. Priestorová heterogenita obnovy tiež môže byť podmienená rozdielnou mierou poškodenia materského porastu podkôrnym hmyzom. Vyšší počet stojacich odumretých smrekov hornej etáže v pásme 1400 m n. m. umožňuje vytvorenie výškovo vyspelejšej a viac diferencovanej vrstvy prirodzenej obnovy v porovnaní s nižším pásmom. Podľa záverov v práci NILSSON et al. (2002) pri clonnom rube v hospodárskych smrečinách zvyšuje rastúca hustota materského smrekového porastu hustotu semenáčikov smreka a neovplyvňuje negatívne ich prežívanie v porovnaní s brezou alebo borovicou. DEVANEY et al. (2014) v zhode s predchádzajúcim konštatovaním uvádzajú, že hoci na priestorovú variabilitu obnovy vplyva množstvo faktorov, rozhodujúce sú distribúcia semien a dostupnosť vhodných mikrostanovišť pre obnovu.

Jarabina je typickou prípravnou drevinou horských lesov a jej zastúpenie v prirodzenej obnove býva vo väčšine prírodných aj ochranných lesov v 7. lesnom vegetačnom stupni vysoké (KORPEL 1989; KÖRNER 2012). V porastoch smreka zriedka dosahuje postavenie v hornej vrstve porastu, a to najmä vzhľadom na pomerne krátku životnosť. Hoci jarabina pohotovo reaguje na uvoľnené vznikajúce porastové medzery vo vysokohorských smrekových lesoch a dokáže dospieť k reprodukčnej zrelosti, postupne ju svojim rastom predstihnú jedince smreka (ŽYWIEC et al. 2013). Vzhľadom na vysoký rozsah poškodenia je treba uviesť, že výšky jarabiny nie sú výsledkom pomalého rastového rytmu, ale jednoznačne poškodenia spôsobeného jeleňou zverou. Výšková štruktúra jarabiny je neustále homogenizovaná a jarabina je takto udržiavaná v podstate v iniciálnej fáze obnovy.

Buk je na rozdiel od jarabiny klimaxovou drevinou a v porastoch smreka môže dosiahnuť aj úrovňové postavenie. V súčasnosti sa

však nachádza len vo vrstve prirodzenej obnovy vo výškovom pásme 1300 m n. m.

Početnosť prirodzenej obnovy a jej výškovú štruktúru zásadne ovplyvňuje miera poškodenia biotickými alebo abiotickými škodlivými činiteľmi. V našom prípade je najvýznamnejším škodlivým činiteľom jelenia zver, ktorá významným spôsobom redukuje výškovú vyspelosť a zrejme aj početnosť jarabiny (obr. 1). Rozsah poškodenia lesných porastov zverou je okrem druhu, hustoty a populačnej štruktúry zveri závislý podľa publikácie AMMER et al. (2010) hlavne od zastúpenia drevín z hľadiska ich atraktivity pre zver, regeneračnej schopnosti a štruktúry porastu. Mimoriadne závažným, ale asi aj najviac prehliadaným negatívnym dôsledkom je ochudobňovanie alebo zánik prirodzených drevinových zmesí a posilnenie tendencie k vytváraniu rovnorodých porastov drevín ako je napríklad smrek alebo buk (BAUHUS et al. 2013). Selektívne poškodenie jarabiny, ktoré sa vyskytuje najmä vo výškovom pásme 1300 m n. m. slúži ako ukázkový príklad negatívneho vplyvu vysokých stavov raticovej zveri na lesný ekosystém. Pri zohľadnení početnosti jedincov prirodzenej obnovy smreka a jarabiny, ich variabilitu a poškodenia nepredpokladáme, že ďalší vývoj horskej smrečiny v NPR Poľana by smeroval k vytvoreniu súvislejších častí prípravného lesa tvoreného v hornej vrstve jarabinou. Aj v prípade akcelerácie odumierania stromov hornej vrstvy bude vyspelá obnova schopná zabezpečiť trvalú existenciu ekosystému s dominanciou smreka podobne, ako uvádzajú ZEPPEFELD et al. (2015).

Mimoriadne významnú úlohu v obnove smreka má moderové drevo, ktoré síce pokrýva malý podiel plochy porastu, ale predstavuje substrát pre vysoký podiel prirodzenej obnovy. HOLEKSA (1998) uvádza sumárnu plochu mŕtveho dreva v rozsahu do 300 m<sup>2</sup> na 1 ha, t. j. do 3 %. Podiel prirodzenej obnovy na mŕtvom dreve bez ohľadu na to, či sa jedná o ležiace kmene, pne a pod. je pritom približne 50 % z počtu všetkých jedincov dolnej vrstvy porastu. Pre proces prirodzenej obnovy je dôležitý podiel moderového dreva v najvyšších stupňoch rozkladu, čerstvo padnuté sucháre sú pre tento typ obnovy málo vhodné (ORMAN, SZEWCZYK 2015). Tvorba takéhoto dreva je však mimoriadne pomalý proces, trvajúci v podmienkach subalpínskych smrečín aj viacero decénií (PETRILLO et al. 2016).

## ZÁVER

Prírodné smrekové lesy v 7. lvs v NPR Poľana sú charakteristické homogénnejšou porastovou štruktúrou v porovnaní s ostatnými vysokohorskými lesmi na Slovensku. Štruktúra hornej etáže pralesa sa prejavuje aj vo vývoji a drevinovom zložení následnej generácie. Napriek dominancii smreka v materskom poraste dominuje v prirodzenej obnove v nižšom pásme jarabina, ktorej výškovú štruktúru však významne ovplyvňuje raticová zver. Novovznikajúca generácia smreka sa prejavuje výraznou preferenciou moderového dreva, ktoré jej poskytuje priaznivejšie podmienky pre vývoj a rast. Treba si však uvedomiť, že tvorba moderového dreva je síce spontánny, ale v podmienkach vysokohorských smrekových lesov aj mimoriadne dlhodobý proces.

Napriek tomu, že najmä v hornom výškovom pásme nie je početnosť jedincov následnej generácie smreka vysoká, stále je dostatočná na to, aby sa udržala dynamika regeneračných procesov. Aj napriek tomu, že podiel odumretých stojacich smrekov, ako výsledok poškodenia podkôrnym hmyzom je vysoký, môžeme predpokladať, že zachovanie prírodného smrekového lesa nie je v ďalšom období ohrozené. Pri zistenej dynamike regeneračných procesov a odumierania hornej etáže je tak zabezpečené plynulé vystriedanie generácií prírodného lesa.

## Podakovanie:

Táto štúdia vznikla vďaka podpore grantu VEGA 1/0057/14 „Dynamika a disturbančný režim horských smrečín v orografickom celku Nízke

Tatry“ a projektu VEGA 1/0492/17 “Regeneračné procesy zmiešaných listnatých a vysokohorských smrekových prírodných lesov a možnosti ich využitia pri konverzii hospodárskych smrečín“.

## LITERATÚRA

- AMMER C., VOR T., KNOKE T., WAGNER S. 2010. Der Wald-Wild-Konflikt. Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. Göttingen, Universitätsverlag Göttingen: 184 s.
- BAČE R., SVOBODA M., JANDA P., MORRISSEY R.C., WILD J., CLEAR, J.L., ČADA V., DONATO, D.C. 2015. Legacy of pre-disturbance spatial pattern determines early structural diversity following severe disturbance in montane spruce forests. PloS one, 10 (9): e0139214doi.org/10.1371/journal.pone.0139214
- BAIER R., MEYER J., GÖTTLEIN A. 2007. Regeneration niches of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) saplings in small canopy gaps in mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps. European Journal of Forest Research, 126 (1): 11–22.
- BAUHUS J., PUETTSMANN K.J., KÜHNE C. 2013. Close-to-nature forest management in Europe. In: Messier C. et al. (eds.): Managing forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change. London, Routledge: 187–213.
- BRANG P. 1996. Experimentelle Untersuchungen zur Ansammlungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. Zürich, Schweizerischer Vorstverein: 375 s.
- DEVANEY J.L., JANSEN M.A.K., WHELAN M.P. 2014. Spatial patterns of natural regeneration in stands of English yew (*Taxus baccata* L.); Negative neighbourhood effects. Forest Ecology and Management, 321: 52–60.
- HOLEKSA J. 1998. Warunki odnowienia świerka a wielkopowierzchniowy rozpad warstwy drzew w Karpackim borze górnoeregłowym. In: Saniga, M., Jaloviar, P. (eds.): Stav, vývoj, produkčné schopnosti a využívanie lesov v oblasti Babej hory a Pilska. Zborník referátov. Zvolen, Technická univerzita: 40–54.
- HOLEKSA J., SANIGA M., SZWAGRYK J., DZIEDZIC T., FERENC S., WODKA M. 2007. Altitudinal variability of stand structure and regeneration in the subalpine spruce forests of the Poľana biosphere reserve, Central Slovakia. European Journal of Forest Research, 126 (2): 303–313.
- KÖRNER CH. 2012. Alpine treelines. Functional ecology of the global high elevation tree limits. Basel, Springer: 85–91.
- KORPEL Š. 1989. Pralesy Slovenska. Bratislava, Veda. 328 s.
- KRÄUCHI N., BRANG P., SCHÖNENBERGER W. 2000. Forests of mountainous regions: gaps in knowledge and research needs. Forest Ecology and Management, 132 (1): 73–82.
- KUCBEL S. 2003. Charakteristika modelovej štruktúry vysokohorského smrekového lesa v oblasti Prašivej v Nízkych Tatrách. Acta Facultatis Forestalis, 45: 173–186.
- KUCBEL S. 2014. Časová a priestorová variabilita štruktúry vysokohorských smrekových lesov Slovenska. Habilitačná práca. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta: 35–38.
- LEIBUNDGUT H. 1982. Europäische Urwälder der Bergstufe: dargestellt für Forstleute, Naturwissenschaftler und Freunde des Waldes. Bern, Haupt: 308 s.
- MAI W. 1999. Über Ammenstämme im Gebirgswald. LWF aktuell – Magazin für Wald, Wissenschaft und Praxis, 18: 18–20.
- MELOUN M., MILITKÝ J. 2004. Statistická analýza experimentálnych dat. Praha, Academia: 610–613.

- MORI A., MIZUMACHI E., OSONO T., DOI Y. 2004. Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*, 196 (2–3): 287–297.
- NILSSON U., GEMMEL P., JOHANSSON U., KARLSSON M., WELANDER T. 2002. Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic-dry site in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 161 (1–3):133–145.
- ORMAN O., SZEWCZYK J. 2015. European beech, silver fir, and Norway spruce differ in establishment, height growth, and mortality rates on coarse woody debris and forest floor—a study from a mixed beech forest in the Western Carpathians. *Annals of Forest Science*, 72 (7): 955–965.
- OTT E. 1989. Verjüngungsprobleme in hochstaudenreichen Gebirgsnadelwäldern. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 140 (1): 23–42.
- OTT E., KORPEL Š., HLADÍK M., SANIGA M. 1995. Pestovanie horských lesov Švajčiarska a Slovenska (I.). Zvolen, Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR Zvolen: 127 s.
- PETRILLO M., CHERUBINI P., FRAVOLINI G., MARCHETTI M., ASCHERJENULL J., SCHÄRER M., SYNAL H.A., BERTOLDI D., CAMIN F., LARCHER R., EGLI M. 2016. Time since death and decay rate constants of Norway spruce and European larch deadwood in subalpine forests determined using dendrochronology and radiocarbon dating. *Biogeosciences*, 13 (5): 1537–1552.
- SANIGA M. 2005. Štruktúra a regeneračné procesy smrekového pralesa NPR Zadná Poľana. *Acta Facultatis Forestalis*, 47: 175–186.
- SANIGA M., HOLEKSA J., SZWARGRZYK J. 2005. Štruktúrna diverzita smrekového prírodného lesa v národnej prírodnej rezervácii Zadná Poľana. In: *Biosférická rezervácia Poľana po pätnástich rokoch. Zborník referátov z vedeckej konferencie, ktorá sa konala v dňoch 21.–22.9.2005 na Technickej univerzite vo Zvolene. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 115–119.*
- SANIGA M., BALANDA M. 2008. Natural regeneration of the Norway spruce natural forest in the National Nature Reserve Kosodrevina. *Beskydy*, 1 (2): 171–178.
- SANIGA M., BALANDA M., PITTNER J., KUCBEL S., JALOVIAK P. 2013. Structural diversity and regeneration patterns of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) dominated virgin forest in NNR Zadná Poľana. *Beskydy*, 6 (2): 127–134.
- SVOBODA M., FRAVER S., JANDA P., ZEHNÁLIKOVÁ J. 2010. Natural development and regeneration of a Central European montane spruce forest. *Forest Ecology and Management*, 260: 707–714.
- SVOBODA M., JANDA P., BAČE R., FRAVER S., NAGEL T.A., REJZEK J., MIKOLÁŠ M., DOUDA J., BOUBÍK K., ŠAMONIL P., ČADA V., TROTSIUK V., TEODOSIU M., BOURIAUD O., BIRIŞ A.I., SÝKORA O., UZEL P., ZELENKA J., SEDLÁK V., LEHEJČEK J. 2014. Landscape-level variability in historical disturbance in primary *Picea abies* mountain forests of the Eastern Carpathians, Romania. *Journal of Vegetation Science*, 25 (2): 386–401.
- VORČÁK J., MERGANIČ J., SANIGA M. 2006. Structural diversity change and regeneration processes of the Norway spruce natural forest in Babia hora NNR in relation to altitude. *Journal of Forest Science*, 52 (9): 399–409.
- ZEPPENFELD T., SVOBODA M., DE ROSE R.J., HEURICH M., MÜLLER J., ČÍŽKOVÁ P., STARÝ M., BAČE R., DONATO D.C. 2015. Response of mountain *Picea abies* forests to stand-replacing bark beetle outbreaks: neighbourhood effects lead to self-replacement. *Journal of Applied Ecology*, 52: 1402–1411.
- ŽYWIĘC M., HOLEKSA J., WESOŁOWSKA M., SZEWCZYK J., ZWIJACZ-KOZICA T., KAPUSTA P. 2013. *Sorbus aucuparia* regeneration in a coarse-grained spruce forest—a landscape scale. *Journal of Vegetation Science*, 24 (4): 735–743.



## DENSITY AND HEIGHT STRUCTURE OF NATURAL REGENERATION IN MOUNTAIN SPRUCE FOREST OF THE POĽANA NNR (SLOVAKIA)

### SUMMARY

Natural regeneration of mountain spruce forests is a complex process determined mainly by climatic conditions. There is apparent importance of regeneration processes occurring on decaying stumps or stems. Besides protection against vegetation coarse woody debris provide other benefits for the development and growth of Norway spruce seedlings.

The height growth is usually very slow during the juvenile period. However, as soon as the tree overcomes height categories of particular vulnerability to the unfavorable conditions (snow, pathogenic disease and browsing by herbivores), its height growth accelerates promptly.

The objective of this paper was to analyze the height structure of natural regeneration, and to assess the growth dynamics in relation to the mature stand structure. Important parts of the analysis were determination of species composition of natural regeneration, degree of damage by ungulate browsing, and proportion of spruce natural regeneration growing on coarse woody debris.

Analysis of the natural regeneration structure of mountain forests was performed in the Zadná Poľana National Nature Reserve (Slovakia). Experimental measurements were carried out on circular sample plots with an area of 1000 m<sup>2</sup> distributed in two altitudinal zones 1300 m and 1400 m a.s.l. Tree species composition was dominated by Norway spruce (*Picea abies* L.), with admixture of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.) (Tab. 1).

At all permanent research plots, natural regeneration consisted of Norway spruce and rowan (Tab. 2). European beech was present at an altitudinal zone of 1300 m in the form of individual admixture. The altitudinal zone of 1400 m was characterised by the predominance of spruce, but the lower zone of 1300 m was dominated by rowan. In contrast to massively damaged rowan, the damage of spruce was less severe in both altitudinal zones (Fig. 1).

We found significant differences between spruce and rowan in preference of coarse woody debris (CWD) as a substrate for natural regeneration. While spruce definitely preferred CWD as substrate, rowan occupied this seedbed type sporadically (Tab. 4). We found higher average height of natural regeneration growing on coarse woody debris in both altitudinal zones. Slower growth rates of juveniles were observed on both substrates in the altitudinal zone of 1400 m.

In both altitudinal zones, spruce seedlings density was sufficient to maintain the continuous growth of natural regeneration that is necessary for ensuring the self-regulation in its further development.

Zasláno/Received: 11. 05. 2016

Přijato do tisku/Accepted: 23. 08. 2016