

## ALOKÁCIA BIOMASY SMREKOVCA OPADAVÉHO PRVÉHO VEKOVÉHO STUPŇA VO VYSOKÝCH TATRÁCH

*Jozef Pajtík, Bohdan Konôpka, Vladimír Šebeň, Peter Michelčík, Peter Fleischer*

### ÚVOD

Smrekovec opadavý (*Larix decidua*) je svetlomilná drevina svojimi ekologickými nárokmi dobre prispôsobená drsnej kontinentálnej klíme. PAGAN a RANDUŠKA (1987) uvádzajú, že smrekovec opadavý sa pôvodne vyskytoval v Alpách a Karpatoch, na Slovensku je typický pre najsevernejšie oblasti Slovenska spravidla v nadmorských výškach od 400 do 1600 m. Vytvára skôr prímies v porastoch iných drevín, mimo spoločenstiev skupiny lesných typov *Lariceto-Piceetum* (typické pre Vysoké Tatry) sa smrekovec nepovažuje za prirodzený druh vo vyššom zastúpení ako 5-15%. V nižších polohách sa pokladá za úplne nepôvodný druh, ale vzhľadom na jeho ekonomický význam sa s obľubou umelo vysádza aj v nižších polohách. Podľa výsledkov Národnej inventarizácie a monitoringu lesov (NIML) SR 2005–2006 sa smrekovec vyskytol vo všetkých lesných vegetačných stupňoch, a to už od nadmorskej výšky 184 m, až po vyše 1400 m. Sústava chránených biotopov NATURA 2000 eviduje smrekovec s hojnejším zastúpením iba v jednom biotope, a to 9420 Smrekovcovo-limbové lesy (9420 „*Alpine Larix decidua and/ or Pinus cembra forests*“). V zmysle interpretačného manuálu Európskej komisie ide o lesy subalpínskeho a miestami horského stupňa s význačným zastúpením smrekovca opadavého alebo borovice limbovej. Tieto druhy môžu vytvárať čisté alebo zmiešané porasty, resp. vyskytovať sa spolu so smrekom obyčajným alebo borovicou barinnou. Podľa aktuálne dostupných údajov dosahuje výmera tohto biotopu na Slovensku asi 10 tisíc ha a vyskytuje sa len vo Vysokých Tatrách (ŠEBEŇ 2013).

Podľa výsledkov NIML SR 2005–2006 (udávaných priemernou hodnotou a výberovou chybou so 68 %-nou spoľahlivosťou) predstavovala výmera smrekovca v lesoch Slovenska  $31 \pm 7$  tisíc ha a jeho podiel bol iba  $1,4 \pm 0,3$  %. Z hľadiska výmery či výskytu sa v rámci Slovenska vyskytoval na 15. mieste. Podiel na celkovej zásobe s hodnotou  $8,7 \pm 2,2$  mil. m<sup>3</sup> ho však radil už na 9. miesto drevín Slovenska. Vplývali na to staršie porasty 7. vekovej triedy (VT, vo veku nad 120 rokov), kde mal mierne vyššie zastúpenie (podľa NIML  $3,6 \pm 2,3$  %). Podľa NIML SR 2005 – 2006 bol skutočný výskyt porastov s nenulovým zastúpením smrekovca až na  $150 \pm 15$  tisíc ha lesa (čiže ide o 5x väčšie územie ako samotná stanovená redukovaná výmera smrekovca). Takmer polovica plôch s výskytom smrekovca mala jeho skutočné zastúpenie pod 10 %, zastúpenie vyššie ako 20 % mala naopak iba 1/3 plôch.

V novodobej histórii bol smrekovec významnou zložkou lesných ekosystémov Tatranského národného parku (TANAP), keďže tu po smreku obyčajnom (*Picea abies*) predstavoval

druhú najrozšírenejšiu drevinu (VOLOŠČUK a kol. 1994). Predpokladá sa že po rozsiahlych vetrových (najmä 2004, t.j. víchrica „Alžbeta“ a 2014, tzv. „Žofia“) a podkôrníkových kalamitách bude smrekovec ešte významnejšou (ako stabilizujúci prvok budúcich starších porastoch s prevahou smreka; JANKOVIČ 2010) a aj rozšírenejšou drevinou ako v minulosti. Toto naznačuje práca ŠEBEŇA (2010) podľa ktorého po vetrovej kalamite „Alžbeta“ smrekovec s podielom 26 % predstavoval na kalamitnom území po smreku druhú najvysádzanejšiu drevinu.

Na druhej strane tu treba pripomenúť, že v máji 2014 došlo k poškodeniu časti mladých smrekovcových porastov nepriaznivými poveternostnými podmienkami (obr. 1). Vtedy víchrica „Žofia“ sprevádzaná intenzívnymi lejakmi spôsobila vyvrátenie (čiastočné vytiahnutie či uvoľnenie koreňov), resp. zlomenie kmeňov spravidla na ich báze, t.j. na mieste napojenia koreňov na kmeň (pre detailnejší opis tejto epizódy pozri prácu MICHELČÍK 2014). Napriek tomuto javu možno predpokladať, že ďalší vývoj prežívšich jedincov smrekovca by mal byť už úspešný.



**Obr. 1: Víchrica „Žofia“ poškodila hlavne vyššie jedince smrekovca opadavého (vpredu). Smrekovce s výškou do cca 2 m spravidla náporu odolali (pravá strana záberu)**

Táto prekvapivá a v podmienkach Slovenska pravdepodobne bezprecedentná epizóda poškodenia mladých smrekovcov vetrom otvorila otázku, či iniciálne vývojové štádiá nie sú kontraste k jeho starším rastovým fázam labilnejšie. Respektíve labilnejšie v porovnaní s mladými porastmi smreka, ktorý na danej lokalite bol v máji 2014 poškodený len v menšom rozsahu. Borovicu lesnú (*Pinus sylvestris*) podľa terénnych zisťovaní poškodila víchrica „Žofia“ intenzívnejšie ako smrek, avšak menej než smrekovec. Otázka rôznej medzidruhovej odolnosti medzi uvedenými tromi ihličnatými drevinami v mladých rastových fázach (vek do cca 10 rokov) sa preto stala podnetom pre náš výskum.

Dôvodom zisťovania celkovej kvantity biomasy a jej alokácie v mladých smrekovcoch je aj určitá „poznatková diera“. Tak napríklad WIRTH a kol. (2004), PAJTÍK a kol. (2011), či BLUJDEA a kol. (2012) poukazujú na fakt, že kým modely pre biomasu sú pomerne dobre rozpracované pre väčšie stromy (najmä pre hrúbku  $d_{1,3}$  nad 7 cm), takéto funkcie chýbajú pre malé jedince. KONÔPKA a kol. (2010) poukázal na výrazné zmeny v štruktúre biomasy, t.j. v podiele jednotlivých stromových komponentov, t.j. asimilačné orgány, konáre, kmeň a korene s vývojom jedinca pre mladé štádiá smreka, borovice, buka (*Fagus sylvatica*) a duba (*Quercus petraea*). Keďže proporcie štruktúry biomasy sa menia s veľkosťou, resp. vekom stromu, modely biomasy doteraz odvodené pre staršie (väčšie) stromy sú nevhodné pre odha-

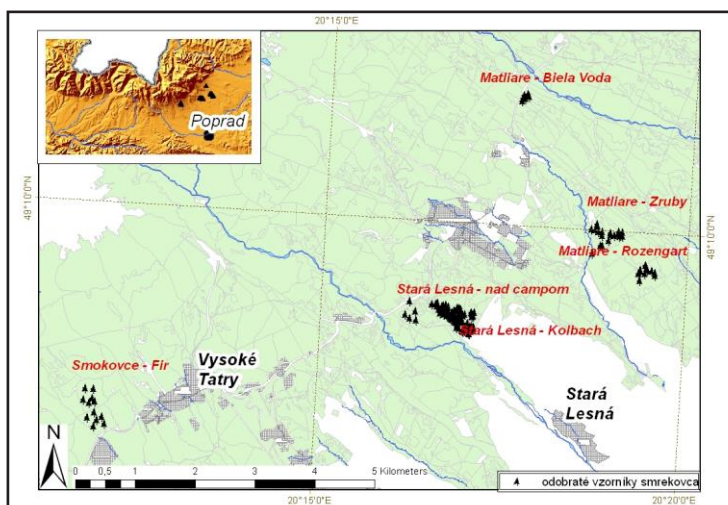
dy v iniciálnych, či mladých vývojových štádiách (napr. WIRTH a kol. 2004, CLAESSON a kol. 2011). Podľa PAJTIKA a kol. (2008) potreba modelov pre odhady biomasy v mladých porastoch narastá s postupným zvyšovaním podielu nerovnovekých lesných porastoch vo väčšine európskych krajín. Na Slovensku je to zároveň z dôvodu nárastu plošného podielu mladých lesných porastov spôsobeného rozsiahlymi kalamitami v ostatnom desaťročí.

Zhodnotenie celkovej stromovej biomasy a jej štruktúry je dôležité taktiež pre kvantifikáciu sekvestrácie a obehu uhlíka v lesných ekosystémoch. Dôležitý je fakt, že v stredo-európskych podmienkach je v lesnej biomase viazané väčšie množstvo uhlíka ako v lesnej pôdy (BRUNNER a GODBOLD 2007). Zároveň je treba poznať aj štruktúru biomasy lesných drevín, pretože nie všetky stromové komponenty viažu uhlík počas rovnakého časového obdobia (napr. HALMISAARI a kol. 2002, TATENO a kol. 2004).

Cieľom tejto práce je odvodiť alometrické vzťahy pre celkovú stromovú biomasu, ako aj jednotlivé komponenty (t.j. ihlice, konáre, kmeň s kôrou, a korene) smrekovca opadavého. Získané poznatky analyzovať vo vzťahu k statickej stabilite smrekovca v mladých rastových štádiách. Ďalej alokáciu biomasy smrekovca konfrontovať s existujúcimi (celoslovenskými) modelmi skonštruovanými pre smrek, resp. borovicu, pritom prípadné medzidruhové rozdiely interpretovať vo vzťahu k potenciálnym odlišnostiam v stabilite týchto troch drevín, resp. k ich produkčno-ekologickým vlastnostiam.

## MATERIÁL A METODIKA

Odber vzorníkov smrekovca opadavého sa vykonal v juhovýchodnej časti teritória TANAPu, konkrétne na šiestich lokalitách (obr. 2). Tieto lokality sa nachádzali v nadmorských výškach od 790 do 1080 m, prevažne na pôdach charakterizovanými ako kambizemné podzoly, resp. modálne kambizeme s vysokým podielom skeletu. Terénne práce sa vykonali niekoľko mesiacov po kalamite Žofia, počas letného obdobia roku 2014, teda v období keď boli ihlice smrekovca úplne vyvinuté a ukončený bol výškový prírastok.



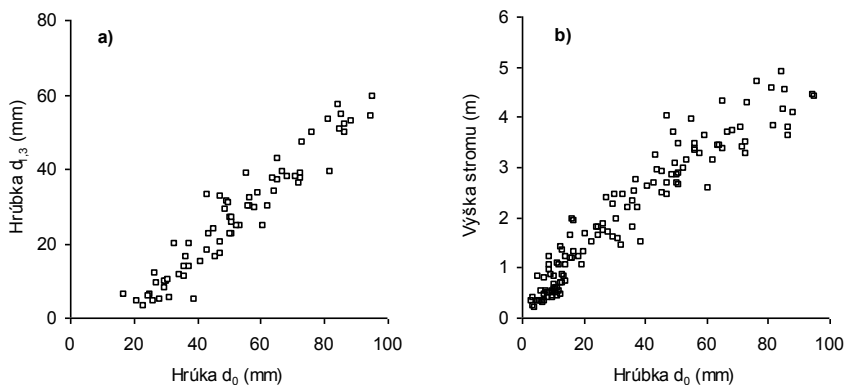
Obr. 2: Poloha lokalít s odberom vzorníkov smrekovca opadavého

Na vybraných šiestich lokalitách sa vytypovalo 131 jedincov smrekovca opadavého (tab. 1). Vzorníky rovnomerne reprezentovali výškové triedy (v intervaloch po 25 cm) do maximálnej dimenzie hrúbky  $d_{1,3}$  okolo 60 mm a výšky do 5 m (obr. 3a, 3b). Pritom 54 kusov smrekovca bolo z prirodzenej obnovy a 77 z umelej obnovy. Zároveň bolo 61 jedincov vetrom nepoškodených (takmer všetky mali výšku do 2 m) a 70 jedincov poškodených vetrom (spravidla s výškou nad 2 m).

Každý vybraný jedinec sa vykopal, pritom sa terénni pracovníci snažili vybrať všetky korene okrem ich najjemnejších hrúbkových frakcií (t.j. tzv. jemné korene, v literatúre charakterizované hrúbkou do 2 mm; napr. Böhm 1979). Pri exkavácii sa na kmeni fixkou poznačilo miesto úrovne pôdy, ktoré oddeľuje koreňovú časť od kmeňa. Ďalej sa na kmeň zaznačil kód (poradové číslo) špecifický pre každý strom. Následne sa smrekovce odviezli do skladu, kde sa uložili na celtové plachty. Tu sa ponechali na presušenie – až do doby kedy opadali z konárov ihlice. Ihlice z každého jedinca sa zosypali do papierového vrečka. Následne sa odpílili konáre od kmeňa, resp. kmeň od koreňového systému. Každý z týchto komponentov jednotlivého vzorníka sa vložil do papierového vreca, označil príslušným stromovým kódom a spolu sa previezli do laboratória na ďalšie spracovanie.

**Tab. 1: Deskriptívna štatistika pre namerané veličiny súboru vzorníkov smrekovca opadavého**

Premenná	Počet	Priemer	Medián	Min	Max	Dolný kvartil	Horný kvartil	Sm. odch.	Sm. chyba	Šikmosť	Špicatosť
Hrúbka $d_0$ (mm)	131	34,9	29,8	3,4	95,2	12,0	52,6	25,7	2,3	0,628	-0,770
Hrúbka $d_{1,3}$ (mm)	71	27,0	26,9	3,1	59,2	13,5	37,7	15,5	1,8	0,268	-0,869
Výška (m)	131	2,05	1,80	0,21	4,89	0,82	3,23	1,32	0,12	0,306	-1,148
Objem kmeňa (cm <sup>3</sup> )	131	1396	351	1	8204	24	2029	2004	179	1,749	2,389
Nadzemná biomasa (g)	131	1606	584	3	8836	42	2233	2225	199	1,695	2,165
Celková biomasa (g)	131	1869	624	4	10133	48	2630	2610	233	1,717	2,239



**Obr. 3: Grafické zobrazenie (a) hrúbok  $d_0$  a hrúbok  $d_{1,3}$ , resp. (b) hrúbok  $d_0$  a výšok súboru vzorníkov smrekovca opadavého**

Na kmeňoch vzorníkov sa zmerala celková dĺžka (t.j. výška stromu), resp. hrúbka  $d_{1,3}$  a hrúbka na báze kmeňa ( $d_0$ ). Kmene väčších jedincov sa rozpíli na 1 m sekcie, pri menších stromoch na minimálne tri rovnako dlhé sekcie. Tieto merania sa použili na presné zistenie

objemu kmeňa, ktorý sa vypočítal ako suma objemov jednotlivých sekcií. Pritom objem každej sekcie sa vyjadril podľa Newtonovho vzorca (pozri napr. WEST 2009):

$$V = \frac{L(A_b + 4A_m + A_s)}{6}$$

kde  $V$  je objem sekcie (drevo s kôrou),  $L$  dĺžka sekcie,  $A_b$  predstavuje plochu prierezu hrubšieho,  $A_s$  plochu prierezu tenšieho konca sekcie a  $A_m$  plochu v strede sekcie.

Všetky stromové komponenty sa vysušili v sušičke pri teplote 105°C počas 48 hodín na konštantnú hmotnosť a následne odvážili s presnosťou na 0,1 g. Údaje o hmotnosti jednotlivých komponentov sa následne využili na konštrukciu alometrických vzťahov, pritom sa použila jedna (výška stromu, resp. hrúbka  $d_0$ ) alebo dve (výška stromu a hrúbka  $d_0$ ) nezávislé premenné. Použil sa základný tvar alometrickej rovnice pre jednu nezávislú premennú:

$$Y = aX^b \quad (1)$$

ako aj rozšírený tvar alometrickej rovnice pre  $n$  nezávislých premenných:

$$Y = aX_1^{b_1} X_2^{b_2} \dots X_n^{b_n} \quad (2)$$

pričom  $Y$  je závislá premenná (hmotnosť komponentu),  $X_1, X_2, \dots, X_n$  sú nezávislé premenné a  $a, b_1, b_2, \dots, b_n$  sú parametre rovnice

Na rozdiel od našich predchádzajúcich prác zaoberajúcich sa tvorbou alometrických modelov na základe logaritmicko-*transformácie* alometrických rovníc a ich spätnej retransformácie – PAJTÍK a kol. (2008), KONÔPKA a kol. (2010), PAJTÍK a kol. (2011) boli v tejto práci modely vytvorené pomocou netransformovaných alometrických rovníc metódami nelineárnej štatistiky. Linearizácia pomocou logaritmicko-*transformácie* dovoľuje použitie odskúšanej a zavedenej metódy regresnej analýzy, ktorá je jednoduchšia predovšetkým ak obsahuje viac nezávislých premenných (CIENCALA a kol. 2006). Na druhej strane nevýhodou je to, že logaritmická transformácia deformuje originálne dáta a na ich retransformáciu musí byť použitý logaritmický bias (SPRUGEL 1983). Aj keď v našej práci sú uvedené iba výsledky z nelineárnej regresie, urobili sme aj porovnanie oboch spomínaných metód a nelineárna procedúra vyhovovala lepšie pre všetky komponenty biomasy. Podobné výsledky uvádza napríklad CIENCALA a kol. 2006.

Pre kmeň sa zistila hustota, a to ako pomer medzi jeho objemom a hmotnosťou sušiny. Tento pomer vyjadruje nielen jeho hustotu, ale aj tzv. konverzný a expanzný faktor (BCEF, biomass conversion and expansion factor; napr. LEHTONEN a kol. 2004). Tento faktor sa používa nielen pre odhad biomasy kmeňa, ale aj ostatných stromových komponentov. Inými slovami, faktor prepočítava objem kmeňa na hmotnosť daného stromového komponentu.

Konštrukcia alometrických vzťahov a výpočet ich štatistických charakteristík sa vykonal v programe Statistica 10 (StatSoft, Praha, Česká republika). Niektoré charakteristiky biomasy smrekovca opadavého sa porovnali s vlastnosťami smreka obyčajného a borovice lesnej. Išlo o celoslovenské modely, ktoré sa publikovali v prácach PAJTÍK a kol. (2008 a 2011). Tieto porovnania boli len rámcové, pretože pre lepšie zhodnotenie medzidruhových rozdielov by boli najvhodnejšie „in situ“ modely, tieto však pre smrek a borovicu nie sú dostupné.

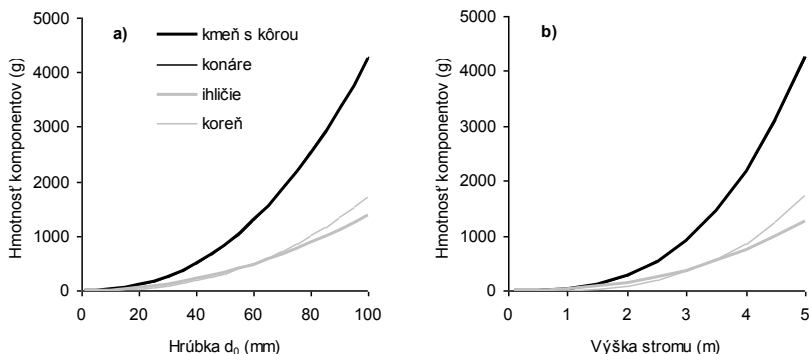
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hrúbka  $d_0$  ale aj výška stromu sa zo štatistického hľadiska ukázali ako vhodné nezávislé premenné pre odhad všetkých stromových komponentov (tab. 2). Z praktického hľadiska, t.j. jednoduchšieho meranie v porastoch, však možno odporúčať výšku. Táto napríklad na rozdiel od hrúbky  $d_{1,3}$  sa dá použiť pre konštrukciu modelov biomasy nielen veľkých jedincov, ale aj malých stromov (do výšky 130 cm). Hrúbka  $d_0$  spravidla vykazuje s kvantitou biomasy tesnejší vzťah (pozri aj KONÔPKA a kol. 2010 – „supplementary material“), ale je z hľadiska získavania empirického materiálu menej komfortná. Alometrické vzťahy ukázali, že s veľkosťou smrekovca najstrmšie stúpala biomasa kmeňa (vrátane kôry) a konárov. Tieto dva komponenty mali prekvapivo podobné, až takmer zhodné množstvá (obr. 4a, 4b). Výrazne menší nárast biomasy s veľkosťou stromu bol pri koreňoch a najmenší pri ihličí. Tak napríklad podľa modelu pri stromoch s hrúbkou  $d_0$  rovnou 50 mm (t.j. s výškou okolo 3,0 m) bola biomasa komponentov takáto: 841 g kmeňa, 851 g konárov, 332 g ihličia a 317 g koreňov, pritom celková stromová biomasa predstavovala 2 341 g. V prípade stromu s hrúbkou  $d_0$  rovnou 100 mm (výška cca 4,5 m) boli množstvá biomasy: 4 249 g kmeňa, 4 307 g konárov, 1 379 g ihličia a 1 746 g koreňov, spolu 11 681 g stromovej biomasy.

**Tab. 2: Štatistické charakteristiky alometrických vzťahov pre biomasu stromových komponentov smrekovca opadavého založených na hrúbke kmeňa  $d_0$  alebo/a výške stromu**

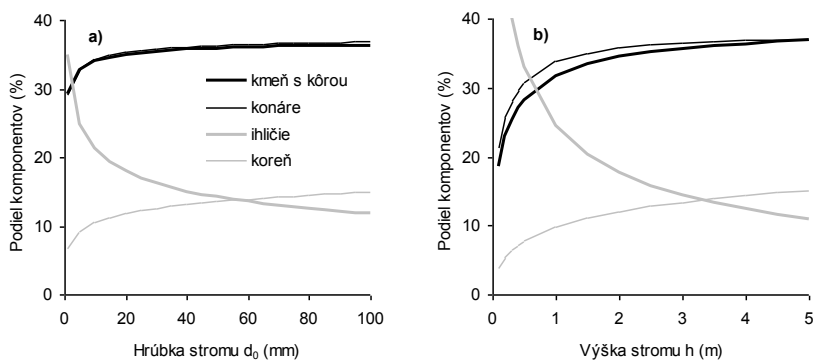
Nezáv. premen.	Komponent	$b_0$ (S. E.) P	$b_1$ (S. E.) P	$b_2$ (S. E.) P	R <sup>2</sup>	MSE
Hrúbka $d_0$	Kmeň s kôrou	0,090 (0,031) 0,004	2,337 (0,079) <0,001	--	0,949	45680
	Konáre	0,090 (0,039) 0,022	2,340 (0,100) <0,001	--	0,921	75376
	Ihlice	0,108 (0,046) 0,020	2,053 (0,098) <0,001	--	0,901	10753
	Korene	0,021 (0,011) 0,058	2,460 (0,120) <0,001	--	0,900	15711
	Nadzemná časť	0,256 (0,086) 0,003	2,294 (0,077) <0,001	--	0,949	252995
	Spolu	0,269 (0,091) 0,004	2,319 (0,078) <0,001	--	0,949	346839
Výška	Kmeň s kôrou	33,714 (6,258) <0,001	3,006 (0,133) <0,001	--	0,916	75840
	Konáre	35,938 (8,364) <0,001	2,969 (0,166) <0,001	--	0,870	124585
	Ihlice	26,109 (6,298) <0,001	2,414 (0,177) <0,001	--	0,803	21533
	Korene	10,540 (3,045) <0,001	3,176 (0,205) <0,001	--	0,832	26483
	Nadzemná časť	92,346 (18,464) <0,001	2,897 (0,143) <0,001	--	0,896	518032
	Spolu	102,429 (21,055) <0,001	2,934 (0,147) <0,001	--	0,893	732075
Hrúbka $d_0$ a výška	Kmeň s kôrou	0,573 (0,134) <0,001	1,454 (0,072) <0,001	1,449 (0,096) <0,001	0,982	16753
	Konáre	0,435 (0,184) 0,020	1,593 (0,131) <0,001	1,223 (0,173) <0,001	0,942	55735
	Ihlice	0,183 (0,094) 0,054	1,816 (0,166) <0,001	0,366 (0,213) 0,088	0,904	10602
	Korene	0,084 (0,044) 0,060	1,740 (0,160) <0,001	1,273 (0,209) <0,001	0,922	12387
	Nadzemná časť	1,205 (0,352) <0,001	1,563 (0,091) <0,001	1,190 (0,120) <0,001	0,971	147149
	Spolu	1,234 (0,363) <0,001	1,592 (0,091) <0,001	1,197 (0,120) <0,001	0,971	200779

**Vysvetlivka skratiek:**  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  – parametre, R<sup>2</sup> – koeficient determinácie, MSE – priemerná štvorcová chyba



**Obr. 4: Hmotnosť biomasy stromových komponentov vo vzťahu k (a) hrúbke  $d_0$  a (b) výške smrekovca opadavého**

Rôzny nárast biomasy s veľkosťou stromu súvisí s určitou rastovou stratégiou jedince, meniac sa počas jeho ontogenézy. Toto má za následok aj výrazne štrukturálne zmeny biomasy s rastom smrekovca. Konkrétne sa zaznamenal nárast podielu kmeňovej, konárovkej a koreňov biomasy a naopak, pokles podielu ihličia (obr. 5a, 5b). Najvýraznejšie „štrukturálne“ zmeny sa objavili pri najmenších jedincoch, t.j s hrúbkou  $d_0$  do 10 mm (výška do 0,6 m). Takže sa pri porovnaní najmenších a najväčších jedincov vo výberovom súbore smrekovcov zistili výrazné rozdiely v podiele jednotlivých komponentov na celkovej biomase. Model naznačil, že kým jedince s hrúbkou  $d_0$  rovnou 5 mm (výška okolo 0,3 m) mali podiel konárov 33 %, kmeňa 33 %, ihlič 25 % a koreňov 9 %, jedince s hrúbkou  $d_0$  100 mm (výška približne 4,5 m) mali podiel konárov 36 %, kmeňa 37 %, ihlič 12 % a koreňov 15 %.



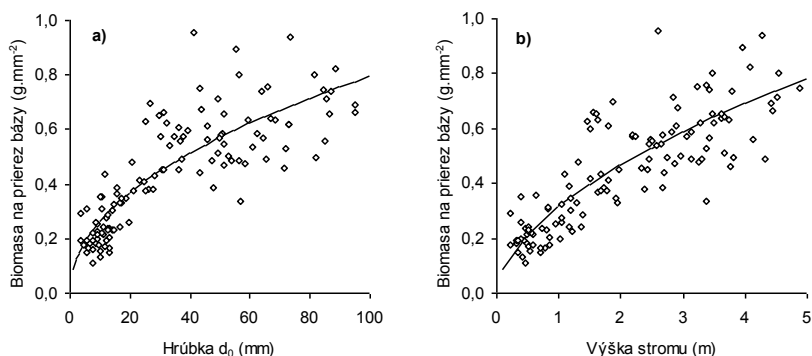
**Obr. 5: Percentuálny podiel biomasy komponentov na celkovej stromovej biomase vo vzťahu k (a) hrúbke  $d_0$  a (b) výške smrekovca opadavého**

Ďalej sme vyjadrili biomasu konárov a ihlič smrekovca na plošnú jednotku prierezu bázy kmeňa vo vzťahu k hrúbke  $d_0$  (vyrovnanie bodového poľa rovnicou:  $y = 0,0897 \cdot d_0^{**0,4735}$ ; obr. 6a) a výške stromu ( $y = 0,3173 \cdot h^{**0,5603}$ ; obr. 6b). Tento pomer sa ako indikátor statickej stability smrekovca zvolil na základe predpokladu, že v prípade víchrice najväčšiu záchytnú plochu predstavujú ihlice a hlavne konáre. Pri vychýľovaní kmeňa zo zvislej osi dochádza k zaťaženiu bázy kmeňa jednak silou vetra zachyteného korunou stromu ale aj hmotnosťou

konárov a ihlič (pozri aj MATTHECK a kol. 1995). Uvedený pomer prudko narastal s veľkosťou stromu, pričom pri jedincoch s výškou 2 m osciloval okolo hodnoty 0,5 g biomasy konárov a ihlič na 1 mm plochy na priereze bázy kmeňa. V odbornej literatúra sme nenašli relevantné údaje týkajúce sa kritických hodnôt tohto indikátora pre stromy takýchto dimenzií.

Vo vzťahu k medzidruhovým rozdielom statickej stability sa porovnal smrekovec s ostatnými ihličnanmi významnými z hľadiska výskytu na pokalamitných plochách v TANAPe, t.j. so smrekom a borovicou. Pre tento účel sa okrem vlastných výsledkov využili národné modely biomasy odvodené PAJTIKOM a kol. (2011). Porovnanie pomeru biomasy koreňov k celkovej biomase (obr. 7a, 7b) sa zistilo, že kým v prípade smreka a borovice podiel koreňov s veľkosťou klesal, opačná tendencia bola pri smrekovci. Avšak jedince smrekovca s výškou 2 – 4 m mali uvedený pomer väčší ako borovica, avšak menší ako smrek. Smrekovce s výškou nad 4 m dokonca vykazovali vyšší podiel koreňov než smrek, ktorý májovej víchrici odolal. Takže v tomto prípade sa nepreukázal žiadny zjavný rozdiel vysvetľujúci rôznu intenzitu poškodenia medzi týmito drevinami.

Podobným spôsobom sa porovnali modelové hustoty (špecifické hmotnosti) kmeňa smrekovca, smreka a borovice (obr. 8a, 8b, resp. tab. 3). Pri všetkých drevinách klesala hustota kmeňa s veľkosťou stromu. Kým najmenšie jedince všetkých troch drevín vykazovali hodnoty medzi 0,9 a 1,0 g na cm<sup>3</sup>, kmene najväčších jedincov mali hustotu približne dvakrát nižšiu. V medzidruhovom porovnaní od výšky stromov nad 2 m smrekovec vykazoval najvyššie a borovica najnižšie hodnoty hustoty kmeňa. Pritom maximálne rozdiely medzi smrekovcom a borovicou boli pomerne malé (cca 0,05 g na cm<sup>3</sup>). Môžeme konštatovať, že ani toto porovnanie neprinieslo zjavné vysvetlenie rôznej frekvencie poškodenia týchto troch drevín víchricou Žofia.

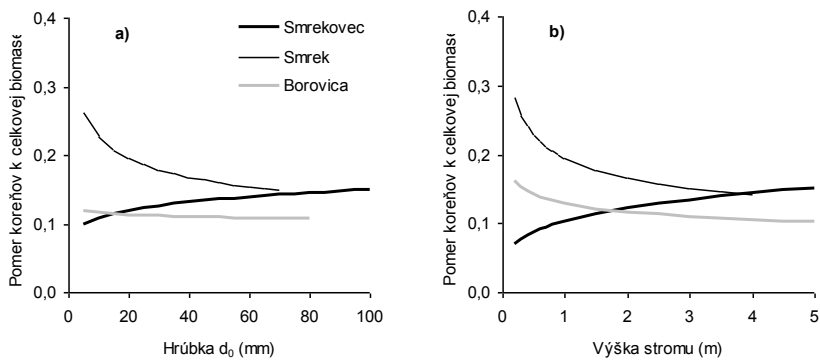


**Obr. 6:** Hmotnosť biomasy konárov a ihlič na mm<sup>2</sup> prierezu bázy kmeňa smrekovca opadavého voči (a) hrúbke  $d_0$ , resp. (b) výške

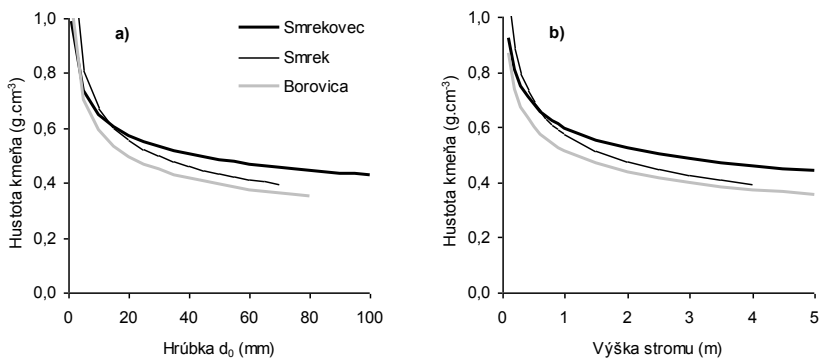
Z hľadiska medzidruhových rozdielov statickej stability istú nevýhodu smrekovca oproti smreku a borovici naznačuje množstvo konárov vzhľadom na hrúbku či výšku jedinca (obr. 9a, 9b). Keďže možno predpokladať, že konáre sú komponentom, ktorý vytvára najväčšiu „záchytnú plochu“ pre vietor, veľké množstvo konárovej biomasy pri smrekovci by mohlo mať súvis s jeho poškodením víchricou Žofia. Naše medzidruhové porovnanie naznačilo, že kým smrekovce s hrúbkou  $d_0$  60 mm mali približne 1300 g konárov, pri rovnako hrubých



smrekoch to bolo okolo 900 g a pri borovici 590 g. Na druhej strane, väčšie množstvo konárov pri smreku než borovici nekorešponduje s vyššou frekvenciou poškodenia borovice než smreka.



**Obr. 7: Medzidruhové porovnanie pomeru biomasy koreňového systému k celkovej stromovej biomase vzhľadom na (a) hrúbku  $d_0$  a (b) výšku**



**Obr. 8: Medzidruhové porovnanie hustoty kmeňa vzhľadom na (a) hrúbku  $d_0$  a (b) výšku**

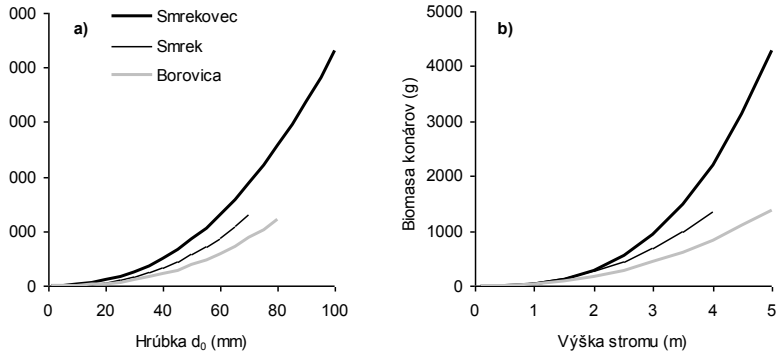
**Tab. 3: Štatistické charakteristiky pre rovnice na výpočet BCEF (špecifickej hustoty) kmeňa smrekovca opadávého založených na hrúbke kmeňa  $d_0$  alebo výške stromu**

Nezáv. premenná	Komponent	$b_0$ (S. E.) P	$b_1$ (S. E.) P	$R^2$	MSE
Hrúbka $d_0$	Kmeň s kôrou	0,989 (0,047) <0.001	-0,182 (0,015) <0.001	0,525	0,007
Výška	Kmeň s kôrou	0,598 (0,008) <0.001	-0,188 (0,015) <0.001	0,525	0,007

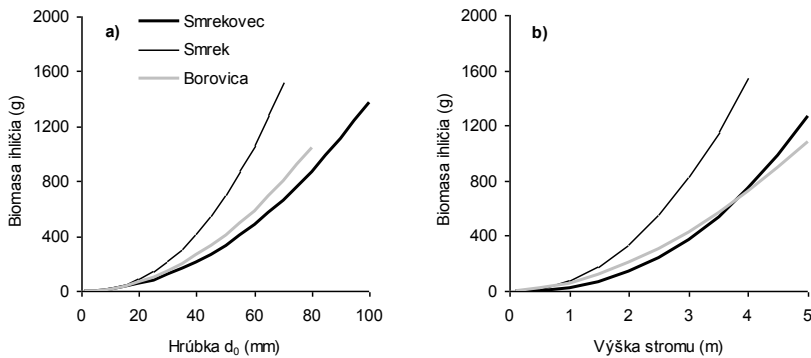
**Vysvetlivka skratiek:**  $b_0$ ,  $b_1$  – parametre,  $R^2$  – koeficient determinácie, MSE – priemerná štvorcová chyba

Ak odhliadneme od „kuriózneho“ poškodenia mladých smrekovcov víchricou Žofia, mnohé literárne pramene uvádzajú (napr. MICHALÍK a kol. 2000, VAKULA a kol. 2015), že smrekovec vo všeobecnosti patrí medzi dreviny mimoriadne odolné voči škodcom a aj biotickým škodlivým činiteľom. Podobne aj výsledky NIML SR 2005-2006 potvrdili malú náchylnosť smrekovca na poškodenie. Najväčší podiel zo zaznamenaných škodlivých činiteľov pri ňom malo poškodenie ťažbou a približovaním, aj to s hodnotou iba okolo 5 %. Nasledovalo poškodenie hubami (2%), ostatné poškodenia (hmyz, zver, abiotické) sa takmer nezazname-

nali. Vo všeobecnosti možno predpokladať, že keďže smrekovec odoláva drsnej klíme a má len stredné nároky na vlhkosť pôdy, mohol by byť perspektívnou drevinou aj do budúcnosti, teda v kontexte prebiehajúcej klimatek zmeny.



**Obr. 9: Medzidruhové porovnanie biomasy konárov vzhľadom na (a) hrúbku  $d_0$  a (b) výšku stromu**



**Obr. 10: Medzidruhové porovnanie biomasy ihličia vzhľadom na (a) hrúbku  $d_0$  a (b) stromu**

Ako sa už v úvode práce načrtlo, poznatky o štruktúre stromovej biomasy sú dôležité aj pre kvantifikáciu sekvestrácie a obehu uhlíka v stromovej zložke lesného ekosystému. Významným faktom je, že kým hrubé drevné časti stromu (kmeň, hrubé konáre a korene) dokážu viazať uhlík počas celého životného cyklu jedinca, asimilačné orgány, časť konárov a jemné frakcie koreňového systému uhlík rotujú v cykle niekoľkých mesiacov či rokov. Doba rotácie uhlíka napríklad prostredníctvom asimilačných orgánov varíruje medzidruhovo (najmä opadavé verzus neopadavé druhy). Napríklad v prípade smrekovca je životnosť ihlíc smrekovca jeden rok, pri borovici je to približne tri roky (KONÔPKA 2003) a pri smreku približne šesť rokov (SCHMIDT-VOGT 1977).

V našom prípade sa zistilo, že smrek mal výrazne viac ihlíc než smrekovec a borovica. Tak napríklad pri jedincoch s hrúbkou  $d_0$  60 mm mal smrek až 1070 g ihlíc, smrekovec 480 g a borovica 590 g. Pritom kým pri smrekovci je ročná produkcia (resp. zásoba vo vegetačnom

období) ihlič rovnaká ako jej ročný opad, pri borovici opadne ročne približne 1/3 a pri smreku len 1/6 zo zásoby ihlič. Takže odhadom by ročný opad ihlič pri týchto drevinách s hrúbkou  $d_0$  rovnou 60 mm bol pre smrekovec 480 g, smrek 178 g a pre borovicu 197 g. Preto smrekovec v porovnaní s borovicou, ale hlavne smrekom, by mohol mať výrazne odlišný vplyv aj na vývoj prízemného humusu a množstvo uhlíka viazaného na pôdne prostredie.

## ZÁVER

Závažné poškodenie mladých lesných porastov víchricou v máji 2014, a to najmä smrekovca, nastolilo otázku potenciálnej lability tejto dreviny v mladých rastových štádiách. Medzidruhové porovnanie alokácie biomasy smrekovca, smreka a borovice nevysvetlilo jednoznačne, prečo boli smrekovce poškodené oveľa častejšie ako smrek. Určitou slabou stránkou tohto porovnania bolo, že sa pre smrek a borovicu použili národné modely, ktoré sa môžu líšiť od situácie na území TANAPu. Na druhej strane sa dá predpokladať, že poškodenie smrekovca súvisí nielen s jednou stromovou charakteristikou, ale viacerými (napr. kombinácia vyššieho podielu konárov, menšej ohybnosti kmeňa, morfológie jednotlivých častí stromu a pod.) vlastnosťami. Predpokladáme, že poškodené jedince boli vzhľadom na svoju stabilitu v určitom „kritickom“ vývojovom štádiu, po jeho prekonaní by mali byť smrekovcové porasty, a to približne od štádia žrdkovní, už voči poškodeniu vetrom relatívne odolné. Z odobratého empirického materiálu vyplýva, že viac poškodených vzorníkov bolo z umelej obnovy, ktoré boli zároveň väčšie (kým jedince smrekovca z prirodzenej obnovy vyvíjali pomalšie a teda boli po kalamite všeobecne mladšie ako sadenice vysadené hneď po páde kalamity). Ešte raz treba zdôrazniť, že poškodenie mladých smrekovcov sa počas danej epizódy udialo za extrémnych poveternostných pomerov, t.j. mimoriadne silný vietor meniaci smer spolu s enormným množstvom zrážok. Vodou presiaknutá pôda a množstvo vody zadržanej v jednotlivých stromových orgánoch pravdepodobne spôsobili výrazné zmeny mechanických vlastností pôdy a dreva. V takýchto prípadoch dochádza k zníženiu súdržnosti pôdy, ako aj kohéznych vzťahov medzi koreňmi a pôdou.

Významným poznatkom je výrazne väčšie množstvo asimilačných orgánov (teda aj uhlíka) smrekovca „otočeného“ počas jedného roka v porovnaní s ostatnými ihličnanmi v danom rastovom štádiu. Takto smrekovec spolu s listnatými drevinami môže pozitívne ovplyvňovať vlastnosti pôdy na pokalamitných územiach. Otázkam množstva a kvality nadzemného opadu v mladých „pokalamitných“ porastoch, resp. jeho vplyvmi na pôdne prostredie by sme sa chceli zaoberať v budúcej výskumnej činnosti.

## Podakovanie

Tento príspevok vznikol realizáciou projektu „Progressívne technológie ochrany lesných drevín juvenilných rastových štádií“ (ITMS 26220220120), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50 %). Ďalej vďaka finančnej podpory z Agentúry na podporu výskumu a vývoja v Bratislave v rámci projektov APVV-0273-11, APVV-0584-12 a APVV-0707-12.

## LITERATÚRA

- BLUJDEA, V.N.B., PILLI, R., DUTCA, I., CIUVAT, L., ABRUDAN, I.V., 2012: Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. *Forest Ecology and Management*, 264:172–184.
- BÖHM, W. 1979: *Methods of Studying Root Systems*. Springer–Verlag, Berlin, 188 p.
- BRUNNER, I., GODBOLD, D., 2007: Tree roots in a changing world. *Journal of Forest Research* 12, 78–82.
- CIENCALA, E., ČERNÝ, M., TATARINOV, F., APLTAUER, J., EXNEROVÁ, Z., 2006: Biomass function applicable to Scots pine. *Trees*, 20: 483–495.
- CLAESSON, S., SAHLÉN, K., LUNDMARK, T., 2001: Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in northern Sweden with high stand density. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16, 138–146.
- HELMISAARI, H.S., MAKONEN, K., KELLOMAKI, S., VALTONEN, E., MALKONEN, E., 2002: Bellow– and above–ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 165, 317–326.
- JANKOVIČ, J. 2010: Konceptia obnovy lesa vo Vysokých Tatrách v zmysle revitalizačného projektu. In: Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi. Vedecký recenzovaný zborník, NLC, Zvolen, p. 39–63.
- KONÔPKA, B., 2003: Needle traces as indicators of growing conditions in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Journal of Forest Science* 49: 1–10.
- KONÔPKA, B., PAJTÍK, J., MORAVČÍK, M., LUKAC, M., 2010: Biomass partitioning and growth efficiency in four naturally regenerated forest tree species. *Basic and Applied Ecology* 11, 234–243.
- MATTHECK, C., BETHGE, K., ALBRECHT, W., 1995: Failure models of trees and related failure criteria. In: *Wind and Tress*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 195–203).
- MICHALÍK, P. a kol., 2000: *Ochrana lesov a prírody*. Príroda, Bratislava, 367 p.
- MICHELČÍK, P., 2014: Smrekovec a májová víchrica v Tatrách. *Tatry* 6: 18–21.
- PAGAN, J., RANDUŠKA, D., 1987: *Atlas drevín I. (Pôvodné dreviny)*. Obzor, Bratislava, 360 p.
- PAJTÍK, J., KONÔPKA, B., LUKAC, M., 2008: Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management* 256, 1096–1103.
- PAJTÍK, J., KONÔPKA, B., LUKAC, M., 2011: Individual biomass factors for beech, oak and pine in Slovakia: a comparative study in young naturally regenerated stands. *Trees* 256, 277–288.
- SCHMIDT–VOGT, 1977: *Die Fichte*. Band I. Taxonomie – Verbände – Band I. Taxonomie – Verbreitung – Morphologie Ökologie – Waldgesellschaften. Hamburg and Berlin, Verlag Paul Parey 472 p.
- SPRUGEL, D., G., 1983: Correcting for bias in log–transformed allometric equations. *Ecology* 64: 209–210.
- ŠEBEŇ, V., 2010: Podiel a skladba prežívajúcej umelej obnovy na kalamitisku vo Vysokých Tatrách. In: Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi. Vedecký recenzovaný zborník, NLC, Zvolen, p. 309–320.
- ŠEBEŇ, V., 2013: Metodiky na monitorovanie lesných biotopov európskeho významu. Výstup riešenia hospodárskej zmluvy, Národné lesnícke centrum, Zvolen, 230 s.
- TATENO, R., HISHI, T., TAKEDA, H., 2004: Above – and belowground biomass and net primary production in a cool-temperate deciduous forest in relation to topographical changes in soil nitrogen. *Forest Ecology and Management* 193: 297–306.
- VAKULA, J., ZÚBRIK, M., KUNCA, A. a kol., 2015: *Nové metódy ochrany lesa*. NLC, Zvolen, 291 p.
- VOLOŠČUK, I. a kol., 1994: *Tatranský národný park*. Biosférická rezervácia. Gradus, Martin, 557 p.
- WEST, P.W., 2009: *Tree and Forest Measurements*. Springer, Dordrecht, p. 190.
- WIRTH, C., SCHUMACHER, J., SCHULZE, E.D., 2004: Generic biomass functions for Norway spruce in central Europe – a meta–analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology* 24, 121–139.

## SÚHRN

Práca sa zaoberá alokáciou biomasy v mladých jedincoch smrekovca opadavého na území Vysokých Tatier. Pre tento účel sa skonstruovali alometrické vzťahy vyjadrujúce kvantitu stromových komponentov, t.j. ihlice, konáre, kmeň a korene, resp. celú stromovú biomasu. Pritom sa použila hrúbka na báze kmeňa a výška stromu ako nezávislé premenné.

Zistili sa dynamické zmeny v štruktúre biomasy vzhľadom na veľkosť stromu. Alometrické vzťahy smrekovca sa porovnali s národnými modelmi pre smrek obyčajný a borovicu lesnú. Medzidruhové rozdiely sa analyzovali v kontexte statickej stability, resp. obehu uhlíka cez opad ihličia. Poškodenie mladých lesných porastov, najmä smrekovca, v dôsledku víchrice Žofia sa zhodnotilo ako mimoriadna, bezprecedentná epizóda. Aj napriek tejto udalosti možno smrekovec, konkrétne jeho staršie rastové štádiá, považovať za stabilizujúci a perspektívny prvok lesných porastov vo Vysokých Tatrách.

### BIOMASS ALLOCATION OF COMMON LARCH IN THE FIRST AGE CLASS IN THE HIGH TATRA MTS.

#### ABSTRACT

The paper deals with biomass allocation in young growth stages of common larch in the territory of the High Tatra Mts. We constructed allometric relations for tree components, i.e. needles, branches, stem, and roots as well as for whole-tree biomass. Stem diameter (measured on a base) and tree height was utilized as predictors.

Dynamic changes in biomass structure with regard to tree dimensions were found. Our allometric relations were compared with the national biomass models in Norway spruce and Scots pine. Inter-specific differences were analyzed in context of static stability (resistance to wind) and also to carbon rotation through needle litter. Damage to young stands, especially common larch, caused by “Žofia” windstorm was commented as very exceptional, non-precedent episode. In spite of this episode, larch – especially its older growth stages would be accepted as stabilizing and perspective part of forests stands in the High Tatra Mts.

#### Adresy autorov:

Ing. Jozef Pajtík<sup>1,2</sup>, doc. Dr. Ing. Bohdan Konôpka<sup>1,2</sup>

Ing. Vladimír Šebeň, PhD.<sup>1</sup>, Ing. Peter Michelčík<sup>3</sup>, doc. Ing. Peter Fleisher PhD.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav

T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen

e-mail: pajtik@nlcsk.org, bkonopka@nlcsk.org, seben@nlcsk.org

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Kamýcká 129

165 21 Praha 6 - Suchdol

<sup>3</sup>Výskumná stanica a Múzeum ŠL TANAP-u

Tatranská Lomnica, 059 60 Vysoké Tatry

e-mail: pflischer@lesytanap.sk, pmichelcik@lesytanap.sk <sup>4</sup>Technická univerzita Zvolen

Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen