



## Vplyv vybraných morfolometrických charakteristík na poškodenie lesa vetrom na území Nízkyh Tatier

Effect of selected morphometric characteristics on the incidence of wind damage to forest in the Low Tatras Mts. (Slovakia)

Vladimír Papaj<sup>1\*</sup>, Maroš Sedliak<sup>2</sup>, Ján Tuček<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Výskumný ústav melioráci a ochrany pôdy, v.v.i., Žabovřeská 250, CZ – 156 27 Praha 5 – Zbraslav, Česká republika

<sup>2</sup>Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen, Slovenská republika

### Abstract

The paper addresses the occurrence of incidental felling caused by wind in relation to selected morphometric characteristics. The investigation was conducted in the Nízke Tatry Mts. and Kozie chrbty Mts. (Slovakia) in the period of 1984–2003. A frequency of incidental felling in response to the elementary morphometric factors - altitude, slope and aspect – was evaluated. The assessment was based on the probability analysis. The results describe the probability of incidental felling occurrence in the prescribed categories of used morphometric factors across the study area. The most susceptible forest stands were found to be distributed in the elevation range from 731 – 1,120 m a.s.l. (48.13% of the research area); on slopes less than 58% (75.89% of the research area); with the aspect from 106 to 40° (53.06% of the research area). The proposed methodology can be used for the assessment of the effect of diverse factors on the occurrence of incidental felling caused by various forest disturbances. The results can be used as input data for risk models supporting forest management.

**Keywords:** harmful agent; wind damage; damage probability; wind throw

### Abstrakt

Článok sa venuje téme výskytu náhodných ťažieb zapríčinených vetrom vo vzťahu k vybraným morfolometrickým charakteristikám reliéfu. Výskum bol vykonaný na území Nízkyh Tatier, Kozie chrbty (Slovensko) v období rokov 1984–2003. Početnosť výskytu náhodných ťažieb bola hodnotená na základe troch morfolometrických faktorov – nadmorská výška, sklon a expozícia, s využitím analýzy pravdepodobnosti. Výsledky popisujú pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb v identifikovaných kategóriách morfolometrických faktorov v skúmanom území. Najviac náchylné lesné porasty boli identifikované v rozmedzí hodnôt nadmorskej výšky 731 – 1 120 m n. m. (48,13 % rozlohy skúmaného územia), so sklonom menším ako 58 % (75,89 % rozlohy skúmaného územia) a v rozmedzí hodnôt expozície reliéfu 106 – 40° (53,06 % rozlohy skúmaného územia). Navrhnutá metodika môže byť použitá pre hodnotenie aj iných faktorov vplyvajúcich na vznik náhodných ťažieb zapríčinených rozličnými škodlivými činiteľmi. Výsledky môžu byť použité ako vstupné údaje pre model rizika hospodárenia na lesnej pôde.

**Kľúčové slová:** škodlivý činiteľ; poškodenie vetrom; pravdepodobnosť poškodenia; veterný polom

## 1. Úvod a problematika

V posledných desaťročiach je často diskutovanou témou prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady ovplyvňujúce aj lesné ekosystémy. Jej najčastejšími škodlivými prejavmi sú predovšetkým nebezpečný vietor, búrky, povodne a dlhotrvajúce suchá (Lindner et al. 2010).

Počas obdobia rokov 1850 – 2000 boli najčastejším škodlivým činiteľom na území 30 štátov Európy búrky v spojení s nebezpečným vetrom, ktoré zapríčinili 53 % objemu všetkých náhodných ťažieb. Druhým najčastejším činiteľom boli lesné požiare (16 %) a tretím podkôrny a drevokazný hmyz (8 %) (Schelhaas et al. 2003).

Medzi najvýznamnejšie škodlivé činitele na Slovensku z pohľadu ich rozsahu a frekvencie výskytu patria mechanicky pôsobiace prírodné abiotické škodlivé činitele a z nich je to predovšetkým vietor (Konôpka et al. 2008; Suchomel et al. 2011; Kunca et al. 2012). V roku 2007 bola vypracovaná prognóza vývoja náhodných ťažieb pre vietor, sneh

a námraza (Konôpka et al. 2007). V práci je analyzovaný vývoj náhodných ťažieb na Slovensku za obdobie rokov 1950 – 2006 v dôsledku pôsobenia všetkých škodlivých činiteľov. Osobitná pozornosť je venovaná vetru, snehu a námraze, pre ktoré bola vypracovaná prognóza ďalšieho vývoja náhodných ťažieb do roku 2025 v 5-ročných intervaloch. Autori očakávajú pokračovanie stúpajúcej tendencie objemu náhodných ťažieb.

Významnými faktormi ovplyvňujúcimi výskyt škodlivých činiteľov v smrekových porastoch sú nadmorská výška, sklon, topografické charakteristiky, pôdne charakteristiky, drevinové zloženie, štruktúra kmeňa, fáza vývoja porastu, heterogenita lesnej krajiny a umiestnenie porastových stien voči prúdiacemu vetru (Mitchell 1998; Klopčic et al. 2009).

Klimánek & Mikita & Kolejka (2012) na základe analýzy veternej smršte v Národnom parku Šumava uvádzajú, že najviac boli zničené porasty s neprirodzeným drevinovým zložením, ktoré sa nachádzali na záveterných svahoch s vyš-

\*Corresponding author. Vladimír Papaj, e-mail: [papaj.vladimir@yumop.cz](mailto:papaj.vladimir@yumop.cz), phone: +421 45 5314 306

ším zakmenením. Zároveň poukazujú na významnú úlohu tvaru reliéfu pre zmenu rýchlosti a smeru vetra.

Okrem štatistického vyhodnotenia rizika výskytu náhodných ťažieb, ktorého podkladmi sú zvyčajne údaje o výskyte náhodných ťažieb v minulosti, sú využívané aj metódy modelovania. Z modelov zameraných na zničenie lesných porastov vplyvom pôsobenia vetra je možné uviesť, napr. Wind Atlas and Applications Program (WASP), WINDA, Wind Damage Risk Classification (WINDARC), HWIND (Lekeš & Dandul 2000; Blennow & Sallnäs 2004; Zubizarreta-Gerendiain et al. 2012), na Slovensku sa modelovaniu výskytu škodlivých činiteľov venovali Hlásny et al. (2009) a modelovaniu šírenia sa požiarov Majlingová & Vida (2008).

Cieľom práce je identifikovať a vyhodnotiť výskyt náhodných ťažieb na území Nízkych Tatier, Kozie chrbty počas obdobia rokov 1984–2003. Následne bude vykonaná štatistická analýza s cieľom zistiť, aká je pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb vplyvom vetra z hľadiska morfologetických charakteristík reliéfu (nadmorská výška, sklon, expozícia). Cieľom analýzy je identifikovať hodnoty charakteristík s preukázateľne vyššou pravdepodobnosťou výskytu náhodnej ťažby, čím bude možné určiť zraniteľnosť územia z hľadiska pôsobenia vetra.

## 2. Materiál a metódy

### 2.1. Charakteristika územia

Záujmové územie predstavuje lesnú oblasť (LO) Nízke Tatry, Kozie chrbty (LO 46) s celkovou výmerou pôdneho fondu 143 214 ha, z toho 116 939 ha lesnej porastovej plochy.

Dané územie bolo vybrané na základe jeho vysokej ohrozenosti škodlivým činiteľom – vetrom (Konôpka et al. 2008). Ďalším kritériom bola dostatočná veľkosť výberového súboru a diferenciácia územia z hľadiska hodnotených morfologetických charakteristík.

Lesnatosť oblasti je 83 %. Na území má najvyššie zastúpenie 6. smrekovo-jedľovo-bukový vegetačný stupeň (46,9 %), nasledovaný 5. jedľovo-bukovým (31,2 %) a 7. smrekovým vegetačným stupňom (14,5 %). S výraznou dominanciou sa na území vyskytuje smrek obyčajný (70,6 %). Ďalšími najviac zastúpenými drevinami sú buk lesný (9,1 %) a jedľa biela (5,5 %). Územie sa nachádza v rozsahu nadmorskej výšky 690 – 1 770 m n. m., sklon reliéfu je v rozpätí 0 – 184 % a sú zastúpené všetky kategórie expozície voči sveto-

vým stranám, vrátane roviny.

Podkladom pre analýzu výskytu náhodných ťažieb boli údaje o jednotkách priestorového rozdelenia lesa (JPRL) nachádzajúce sa v záujmovej lesnej oblasti, konkrétne z územia lesných hospodárskych celkov (LHC) Benkovo, Čierny Váh, Javorinka, Malužiná, Svarínka a Liptovská Teplička (Obr. 1).

Podkladovými údajmi pre analýzu bola lesná hospodárska evidencia (LHE) o výskyte náhodných ťažieb, konkrétne knihy LHE dostupné na príslušných lesných správach, lesný hospodársky plán (LHP) s porastovými charakteristikami a analógové porastové mapy lesných hospodárskych celkov (LHC), príp. lesných užívateľských celkov (LUC) poskytnuté Lesným závädom v Liptovskom Hrádku a Národným lesníckym centrom.

Na odvodenie hodnôt nadmorskej výšky, sklonu a expozície bol použitý digitálny model reliéfu (DMR) s priestorovým rozlíšením 10 × 10 m (Zdroj: Topografický ústav plukovníka Jána Lipského v Banskej Bystrici). Analógové porastové mapy boli zdigitalizované do vektorových polygónových vrstiev v softvéri ArcGIS Desktop, reprezentujúcich JPRL. Celkovo bolo do spracovania zahrnutých 5 458 JPRL. Do analýzy vstupovali len údaje zo záznamov LHE a LHP, ktoré obsahovali údaje potrebné pre lokalizovanie náhodnej ťažby v JPRL a údaje o škodlivom činiteľi, druhu dreveniny a objeme realizovanej náhodnej ťažby po drevinách. Údaje LHE a LHP boli prepojené na základe identifikácie JPRL (dielec, čiastková plocha, porastová skupina a etaž). Hodnoty morfologetických charakteristík boli určené pre JPRL z rastrovej vrstvy DMR pomocou nástrojov GIS. Údaje o JPRL a náhodných ťažbách boli uložené do databázy vo formáte softvéru Microsoft Office Access.

### 2.2. Analýza pravdepodobnosti výskytu náhodných ťažieb

Metóda analýzy pravdepodobnosti výskytu náhodných ťažieb vplyvom vetra je založená na porovnaní relatívnych početností výskytu hodnôt charakteristiky na ploche s realizovanou náhodnou ťažbou a na celkovej hodnotenej ploche (Tuček et al. 2005; Tuček & Majlingová 2009).

Prvým krokom analýzy bolo porovnanie rozdelení relatívnych početností výskytu hodnôt nadmorskej výšky, sklonu a expozície na plochách s výskytom náhodnej ťažby vplyvom



Obr. 1. Poloha záujmového územia

Fig. 1. Location of the experimental area.

vetra v záujmovom území a na celkovej porastovej ploche počas sledovaného obdobia. Následne bola overovaná štatistická hypotéza o významnosti rozdielov medzi relatívnymi početnosťami (pravdepodobnosťami) na identifikovaných skupinách hodnôt charakteristík. Pomocou štatistického testu o rovnosti relatívnych početností bola overovaná nulová hypotéza:

$$H_0: p_1 - p_2 = 0; \text{ teda } p_1 = p_2 \quad [1]$$

$p_1, p_2$  – relatívne početnosti plôch s výskytom náhodných ťažieb na skupinách hodnôt charakteristík,

$H_0$  – nulová hypotéza.

Testovacie kritérium  $z$  na posudzovanie štatistickej významnosti rozdielov medzi relatívnymi početnosťami výskytu náhodných ťažieb vplyvom vetra na skupinách hodnôt charakteristík bolo vypočítané podľa:

$$z = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{H_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{H_2}}} \quad [2]$$

$p_1, p_2$  – relatívne početnosti plôch s výskytom náhodných ťažieb na skupinách hodnôt charakteristík,

$H_1, H_2$  – celkové plochy identifikovaných skupín hodnôt charakteristík v záujmovom území.

Vypočítané hodnoty testovacích kritérií  $z$  boli porovnávané s kritickou hodnotou normovaného normálneho rozdelenia pre obojstranný test na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$  (2,58). Medzi skupinami hodnôt charakteristík, pri ktorých boli hodnoty vypočítaných testovacích charakteristík  $z$  väčšie ako kritické hodnoty, bolo možné  $H_0$  o rovnosti relatívnych početností zamietnuť na  $\alpha$  percentnej hladine významnosti a prijať  $H_A$  o štatisticky významných rozdieloch medzi relatívnymi početnosťami porovnávaných skupín hodnôt charakteristík. Na základe štatistického testu [1, 2] boli overované relatívne početnosti na jednotlivých hodnotách charakteristík. Hodnoty charakteristík, pre ktoré bola potvrdená štatistická významnosť, boli zoskupené do skupín hodnôt a opätovne bol vykonaný štatistický test o významnosti rozdielov medzi týmito skupinami. Test [2] bol vykonaný vždy medzi dvomi rozsahmi hodnôt. V prípade, ak boli identifikované viaceré skupiny hodnôt, bolo vykonaných viacero štatistických testov ( $z_1$  – test medzi skupinou 1 a 2,  $z_2$  – test medzi skupinou 2 a 3,  $z_3$  – test medzi skupinou 3 a 4). Týmto postupom boli identifikované skupiny hodnôt charakteristík, na ktorých boli relatívne početnosti plôch s výskytom náhodnej ťažby vyššie ako na celkovej hodnotenej porastovej ploche.

Následne bola pravdepodobnosť výskytu plôch s realizovanou náhodnou ťažbou na príslušných skupinách hodnôt charakteristík  $P(A_i)$  korigovaná pravdepodobnosťou hypotéz.

Hodnota je vypočítaná ako súčin pravdepodobnosti hypotéz  $P(H_i)$  a relatívnej početnosti plôch s realizovanými náhodnými ťažbami na príslušných skupinách hodnôt charakteristík  $P(A_i/H_i)$ .

$P(H_i)$  vyjadruje pravdepodobnosť zastúpenia príslušného rozsahu hodnôt charakteristiky v celkovom rozsahu hodnôt skúmaného územia.  $P(A_i)$  je pravdepodobnosť výskytu plôch s realizovanou náhodnou ťažbou v príslušných rozsahoch hodnôt charakteristík korigovaná pravdepodobnosťou hypotéz.

V ďalšom kroku analýzy boli vypočítané podmienené pravdepodobnosti výskytu skupín hodnôt charakteristík po vzniku náhodnej ťažby pomocou Bayesovej vety o pravdepodobnosti hypotéz. Pre výpočet podmienenej pravdepodobnosti bol použitý vzťah (Carlin & Louis 2000):

$$P(H_i/A) = \frac{P(A/H_i) \times P(H_i)}{P(A)} \quad [3]$$

$H_i$  – identifikované skupiny hodnôt charakteristík

Podmienená pravdepodobnosť hypotéz  $H_i$  po vzniku náhodnej ťažby  $P(H_i/A)$  vyjadruje pravdepodobnosť, že 1 ár plochy s realizovanou náhodnou ťažbou v záujmovom území počas sledovaného obdobia patril práve do príslušného rozsahu hodnôt charakteristiky.

Následne boli vypočítané hodnoty ich vzájomných podielov.  $P(H_i/A)/P(H_i)$  predstavuje podiel podmienenej pravdepodobnosti hypotéz  $H_i$  po vzniku náhodnej ťažby  $P(H_i/A)$  a pravdepodobnosti hypotéz  $P(H_i)$ . Hodnota vyjadruje koeficientom je pravdepodobnosť výskytu hypotéz na plochách s realizovanou náhodnou ťažbou vyššia ako na celkovej porastovej ploche [4].

$$\frac{P(H_i/A)}{P(H_i)} \quad [4]$$

$P(H_i/A)$  – podmienená pravdepodobnosť výskytu skupín hodnôt charakteristiky,

$P(H_i)$  – pravdepodobnosť výskytu skupín hodnôt charakteristiky v celkovej porastovej ploche záujmového územia.

### 3. Výsledky

V záujmovom území bolo v sledovanom období realizovaných 12 315 náhodných ťažieb s celkovým objemom 596 346 m<sup>3</sup>. Dominantnou drevinou náhodných ťažieb bol smrek s objemom 563 422 m<sup>3</sup>, čo predstavuje 94,48 % z celkového objemu realizovaných náhodných ťažieb. Najviac náhodných ťažieb, zároveň aj s najväčším objemom, bolo realizovaných v roku 1993, konkrétne 812 v objeme 56 430 m<sup>3</sup>. Najmenej náhodných ťažieb bolo realizovaných v roku 2001 (467) a najmenší objem dreva bol vyťažený v roku 1999 (19 577 m<sup>3</sup>). Priemerný ročný objem náhodných ťažieb bol 29 817 m<sup>3</sup>. Najvýznamnejším škodlivým činiteľom bol vietor, ktorý zapríčinil 82,96 % náhodných ťažieb. Na drevine smrek spôsobil náhodné ťažby v objeme 466 799 m<sup>3</sup>, čo predstavuje 78,28 % z celkového objemu realizovaných náhodných ťažieb. Druhým najčastejšie sa vyskytujúcim škodlivým činiteľom boli imisie s podielom 11,62 % z celkového objemu realizovaných náhodných ťažieb. Podiel ostatných škodlivých činiteľov nepresiahol hranicu 3,5 % z objemu náhodných ťažieb. Počas hodnoteného obdobia sa nevyskytla ani jedna náhodná ťažba spôsobená požiarom, námrazou alebo krádežou.

Bolo dokázané, že relatívna početnosť (pravdepodobnosť) plôch s realizovanou náhodnou ťažbou v rozmedzí nadmorskej výšky 731 – 1 120 m n. m. je vyššia ako relatívna početnosť plôch v ostatných hodnotách nadmorskej výšky. Identifikované rozmedzie nadmorskej výšky predstavuje 48,13 % skúmaného územia. Pre ostatné hodnoty nadmorskej výšky

bola vypočítaná nižšia relatívna početnosť plôch náhodných ťažieb. Pre sklon boli identifikované dve skupiny hodnôt, pri ktorých boli dokázané rozdiely v pravdepodobnostiach výskytu náhodných ťažieb. Skupinu s vyššou relatívnou početnosťou plôch s realizovanou náhodnou ťažbou predstavovali plochy so sklonom do 58 %, čo predstavuje 78,56 % skúmaného územia. Pre expozíciu boli štatisticky dokázané 4 rozsahy hodnôt. Vyššia pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb vplyvom vetra bola dokázaná v dvoch z nich, na lokalitách s expozíciami 41 – 82° a 106 – 285° azimutu (SV, JV, J, JZ a Z expozícia), čo predstavuje 53,06 % územia. Menšia výmera porastovej plochy (PP) charakteristiky expozícia je spôsobená vylúčením územia nachádzajúceho sa na rovine, teda bez orientácie na niektorú zo svetových strán (Tabuľka 1).

**Tabuľka 1.** Výsledky štatistického testovania výskytu náhodných ťažieb hodnotených na charakteristikách nadmorská výška, sklon a expozícia

**Table 1.** Results of statistical test of incidental felling occurrence in relation to altitude, slope and aspect.

Nadmorská výška <sup>1)</sup> [m n. m.]	Porastová plocha <sup>2)</sup> (PP) [ár]	Plocha náhodných ťažieb <sup>3)</sup> (PT) [ár]	Podiel plôch <sup>4)</sup> (PP/PT) [%]	z1 <sup>5)</sup>	z2 <sup>6)</sup>	z3 <sup>7)</sup>
1 do 730	10 684	4 401	41,19	—	—	—
2 731 – 1 120	2 407 240	1 484 668	61,68	4,29	—	—
3 nad 1 120	2 583 490	1 010 934	39,13	0,43	51,67	—
Σ	5 001 414	2 500 003	49,99			
Sklon <sup>8)</sup> [%]						
1 do 58	3 795 462	1 938 316	51,04	—	—	—
2 nad 58	1 205 952	561 687	46,26	8,61	—	—
Σ	5 001 414	2 500 003	49,99			
Expozícia <sup>9)</sup> [°]						
1 286 – 40	2 003 550	977 831	48,80	—	—	—
2 41 – 82	738 638	379 147	51,33	3,90	—	—
3 83 – 105	343 376	163 336	47,57	1,34	3,65	—
4 106 – 285	1 913 782	978 193	51,11	4,57	0,32	3,83
Σ	4 999 346	2 498 507	49,98			

<sup>1)</sup>Altitude, <sup>2)</sup>Stand area, <sup>3)</sup>Incidental felling area, <sup>4)</sup>Area ratio, <sup>5)</sup>Final value of z1 test parameter, <sup>6)</sup>z2 test parameter value, <sup>7)</sup>z3 test parameter value <sup>8)</sup>Slope, <sup>9)</sup>Aspect

Vysvetlivky – Explanatory notes: z1 – výsledná hodnota testovacieho kritéria, na základe ktorej bola prijatá hypotéza  $H_A$  – test parameter value z1; z2 – hodnota testovacieho kritéria – test parameter value z2; z3 – hodnota testovacieho kritéria – test parameter value z3.

Výsledky výpočtu pravdepodobností sú zobrazené v tabuľke 1. Na základe pravdepodobnosti  $P(H_i)$  sú v záujmovom území najviac zastúpené plochy s nadmorskou výškou nad 1 120 m n. m. a plochy so sklonom do 58 %. Z hľadiska expozície sú najzastúpenejšie plochy orientované v intervale 106 – 40° azimutu.

Najvyššia pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb ( $P(A/H_i)$ ) bola zistená na plochách v rozsahu nadmorskej výšky 731 – 1120 m n. m. Až na takmer 62 % plochy v tomto rozsahu nadmorskej výšky došlo počas dvoch decenií k náhodnej ťažbe. Z hľadiska sklonu bola najvyššia pravdepodobnosť na plochách do 58 %, z hľadiska expozície na plochách v intervale 41 – 82°, 106 – 285° a na rovine. Celková najvyššia pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb je na rovine (72,34 %), čo je spôsobené veľmi malým zastúpe-

ním plôch roviny v rámci celej hodnotenej plochy. Vzhľadom na malé zastúpenie tejto plochy, realizácia náhodnej ťažby aj v malom rozsahu sa prejavila jej veľkým relatívnym zastúpením. Celkovo boli náhodné ťažby realizované na takmer polovici porastovej plochy (49,98 %).

Výsledky podmienenej pravdepodobnosti  $P(H_i/A)$  vyjadrujú, že 59,39 % ( $P(H_i/A) = 0,5939$ ) plôch s realizovanou náhodnou ťažbou sa nachádzalo v rozsahu nadmorskej výšky 731 – 1 120 m n. m. Najvyššie zastúpenie zo všetkých troch charakteristík majú plochy s realizovanou náhodnou ťažbou so sklonom do 58 % (77,53 %). Pre expozíciu boli identifikované 4 rozsahy hodnôt a rovina, z toho v dvoch rozsahoch hodnôt je pravdepodobnosť vyššia ako 39 % (106 – 285°, 286 – 40°).

Hodnoty podielov pravdepodobností  $P(H_i/A)/P(H_i)$  vyjadrujú, ako sa zmení pravdepodobnosť výskytu plôch skupín hodnôt charakteristík po vzniku náhodnej ťažby. Pri tých skupinách hodnôt charakteristík, pri ktorých bola pravdepodobnosť výskytu náhodných ťažieb vplyvom vetra vyššia a rozdiel od ostatných skupín hodnôt charakteristiky bol potvrdený ako štatisticky významný, boli hodnoty tohto podielu vyššie ako 1. Hodnoty vyššie ako 1 prislúchajú plochám v rozmedzí nadmorskej výšky 731 – 1 120 m n. m., plochám so sklonom do 58 % a plochám s expozíciou v rozmedzí 41 – 82°, 106 – 285° a rovine. Na ostatných skupinách hodnôt boli hodnoty podielu nižšie ako 1.

**Tabuľka 2.** Pravdepodobnosti výskytu náhodných ťažieb vo vzťahu k hodnoteným morfometrickým charakteristikám

**Table 2.** Occurrence probability of incidental felling in relation to evaluated morphometric characteristics.

	Rozsah hodnôt <sup>1)</sup>	$P(H_i)$	$P(A/H_i)$	$P(A_i)$	$P(H_i/A)$	$P(H_i/A)/P(H_i)$
Nadmorská výška <sup>2)</sup> [m n. m.]	do 730	0,0021	0,4119	0,0008	0,0018	0,8241
	731 – 1120	0,4813	0,6167	0,2968	0,5939	1,2338
	nad 1120	0,5165	0,3914	0,2021	0,4044	0,7828
Σ		1,0000	0,4999	0,4999	1,0000	1,0000
Sklon <sup>3)</sup> [%]	0 – 58	0,7589	0,5107	0,3875	0,7753	1,0217
	nad 58	0,2411	0,4658	0,1124	0,2247	0,9318
	Σ		1,0000	0,4999	0,4999	1,0000
Expozícia <sup>4)</sup> [°]	R	0,0004	0,7234	0,0003	0,0006	1,4481
	286 – 40	0,4006	0,4880	0,1955	0,3914	0,9769
	41 – 82	0,1477	0,5133	0,0759	0,1518	1,0275
	83 – 105	0,0687	0,4757	0,0327	0,0654	0,9522
	106 – 285	0,3826	0,5111	0,1956	0,3915	1,0232
Σ		1,0000	0,4999	0,4999	1,0000	1,0000

<sup>1)</sup>Range of values, <sup>2)</sup>Altitude, <sup>3)</sup>Slope, <sup>4)</sup>Aspect

Vysvetlivky – Explanatory notes:  $P(H_i)$  – relatívna početnosť (pravdepodobnosť) – relative frequency expressing any are of area in research area belongs to specific range of values;  $P(A/H_i)$  – relatívna početnosť výskytu plôch s realizovanou náhodnou ťažbou na príslušných skupinách hodnôt faktorov – relative frequency of incidental felling area belonging to specific range of values,  $P(A_i)$  – pravdepodobnosť výskytu plôch s realizovanou náhodnou ťažbou na príslušných skupinách hodnôt faktorov korigovaná pravdepodobnosťou hypotéz – probability – result of multiplying incidental felling area  $P(A/H_i)$  with relative frequency  $P(H_i)$ ;  $P(H_i/A)$  – podmienená pravdepodobnosť hypotéz  $H_i$  – conditional probability;  $P(H_i/A)/P(H_i)$  – podiel podmienenej pravdepodobnosti hypotéz  $H_i$  po uskutočnení javu A  $P(H_i/A)$  a pravdepodobnosti  $P(H_i)$  – dividing conditional probability  $P(H_i/A)$  with probability  $P(H_i)$ .

## 4. Diskusia a záver

Práca rieši aktuálnu tému výskytu škodlivých činiteľov a následnej realizácie náhodných ťažieb, ktoré sú nielen na Slovensku častým záujmom výskumu. Vzhľadom

na doterajší vývoj, prebiehajúcu klimatickú zmenu a jej dopady, očakávané extrémne prejavy počasia možno v budúcnosti predpokladať pokračujúci trend zväčšovania vplyvu škodlivých činiteľov na lesné porasty (Schelhaas et al. 2003; Parry et al. 2007). Pre zmiernenie vplyvu škodlivých činiteľov je potrebné poznať podmienky a faktory, ktoré vplyvajú na vznik a pôsobenie škodlivého činiteľa. Na základe ich poznania je možné navrhnúť opatrenia pre zmiernenie ich vplyvu a dopadov na les.

Tvar reliéfu vplyva na smer a rýchlosť prúdenia vzduchu (Stolina et al. 1985; Klimánek et al. 2012). Pri dosiahnutí tzv. nebezpečného vetra môže spôsobiť nielen lokálne vetrové polomy ale aj kalamity rozsiahlejšieho charakteru. V práci je posudzovaný vplyv charakteristík reliéfu (nadmorská výška, sklon, expozícia), ktoré ovplyvňujú negatívne účinky vetra na lesný porast. Vznik náhodných ťažieb závisí od vzájomného pôsobenia viacerých charakteristík, ktoré neboli zahrnuté do práce, ako sú napríklad pôdne, stromové, porastové a meteorologické charakteristiky (Mitchell 1998; Fabrika & Vaculčíak 2009; Ionut & Bogdan 2012).

Zdrojom údajov o lesných porastoch bol lesný hospodársky plán (v súčasnosti plán starostlivosti o les) a lesná hospodárska evidencia. Vzhľadom na spôsoby ich zisťovania je možné vyjadriť pochybnosť nad správnosťou použitých údajov ako zdrojov pre štatistickú analýzu. Vzhľadom na použitý rozsiahly výberový súbor a relatívne dobrú dostupnosť údajov o realizácii náhodných ťažieb v minulosti je použitá LHE jedným z vhodných zdrojov reálnych údajov.

Z výsledkov vyplýva, že najčastejšou príčinou vzniku náhodných ťažieb v záujmovom území počas hodnotených dvoch decénií bol vietor, ktorý zapríčinil takmer 83 % objemu realizovaných náhodných ťažieb v 8 095 prípadoch. Najvyšší podiel realizovaných náhodných ťažieb v skúmanej oblasti bol vykonaný na drevine smrek (96,07 %). Táto skutočnosť je zapríčinená predovšetkým vysokým podielom smreka v lesných porastoch (70,6 %), ktorý je charakteristický relatívne nízkou odolnosťou voči vplyvu vetra (Konôpka 1997; Konôpka et al. 2008; Panayotov et al. 2011).

Z výsledkov realizovaných analýz vyplýva, že najviac zraniteľné územie z pohľadu nadmorskej výšky bolo v intervale 731 – 1 120 m n. m. s pravdepodobnosťou 59,39 %. Zistené údaje čiastočne zodpovedajú výsledkom prác, v ktorých je za najviac zraniteľnú oblasť vplyvom vetra považované výškové pásmo v intervale 600 až 1 000 m n. m. (Lekeš & Dandul 1997; Konôpka 1999). Stolina et al. (1985) uvádza, že so zväčšujúcim sklonom povrchu sa zväčšujú aj negatívne účinky vetra na lesné porasty, čo ale nebolo dokázané, pretože najčastejší výskyt náhodných ťažieb bol na svahoch so sklonom do 58 % s pravdepodobnosťou 77,53 %.

Najvyššia pravdepodobnosť výskytu (približne 39 %) na hodnotenom území bola zistená na veľkom rozsahu expozície (106 – 285°, 286 – 40°). Nie vždy boli dosiahnuté výsledky a závery totožné s inými autormi, čo môže byť spôsobené špecifickými podmienkami záujmového územia z pohľadu reliéfu, prípadne dominantným zastúpením smreka.

V práci bola použitá metodika, ktorá bola vyvinutá pre posudzovanie rizika výskytu lesných požiarov pre územie NP Slovenský raj v rámci projektu „Wildland Urban Interface Fire Risk Management (WARM)“ (Tuček et al. 2005). Na základe dosiahnutých výsledkov je možné usúdiť, že metodika je

vhodná pre hodnotenie výskytu aj iných škodlivých činiteľov, ako lesných požiarov.

Výsledky môžu slúžiť ako základ pre ďalší výskum a analýzu ďalších charakteristík, ako sú napr. pôdne, stromové alebo porastové charakteristiky, ktoré sú taktiež dôležité z pohľadu ich odolnosti voči mechanickému pôsobeniu vetra. Môžu slúžiť pre hodnotenie územia z pohľadu zraniteľnosti na výskyt náhodných ťažieb zapríčinených vetrom.

Na základe dosiahnutých výsledkov by bolo možné závery zhrnúť:

- Vietor bol potvrdený ako najčastejší a objemovo najzastúpenejší škodlivý činiteľ na skúmanom území s prevládajúcim zastúpením smreka,
- Plochy s vyššou pravdepodobnosťou výskytu náhodnej ťažby sa nachádzali v rozmedzí nadmorskej výšky 731 – 1 120 m n. m., v sklone do 58 % a v rozsahu expozície 106 – 40°.

## Podakovanie

Príspevok vznikol na základe výskumu riešeného v projekte Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR VEGA 1/0953/13: Geografická informácia o lese a lesnej krajine – špecifiká tvorby a využitia.

## Literatúra

- Blennow, K., Sallnäs, O., 2004: WINDA – a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecological Modelling* 175:87–99.
- Carlin, B. P., Louis, T. A., 2000: *Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis*. London: Chapman and Hall, CRC Press, 2000 – XVII, 419 p.
- Fabrika, M., Vaculčíak, T., 2009: Modeling natural disturbances in tree growth model SIBYLA. In: Střelcová, K. et al. (ed.): *Bioclimatology and natural hazards*. Springer: Dordrecht, p. 155–164.
- Hlásny, T., Vizi, L., Turčáni, M., Koreň, M., Kulla, L., Sitková, Z., 2009: Geostatistical simulation of bark beetle infestation for forest protection purposes. *Journal of Forest Science* 55: 518–525.
- Ionut, J., Bogdan, M., 2012: Geographic information system (GIS) application for windthrow mapping and management in lezer Mountains, Southern Carpathians. *Journal of Forestry Research* 23:175–184.
- Klimánek, M., Mikita, T., Kolečka, J., 2012: Geoinformation Analysis of Factors Affecting Wind Damage in the Šumava National Park. *Journal of Landscape Ecology* 1:52–66.
- Klopčič, M., Poljanec, A., Gartner, A., Boncina, A., 2009: Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) forests in the Julian Alps. *Ecoscience* 16:48–57.
- Konôpka, B., 1997: Analysis of damage caused by wind, snow and ice in the forests of Slovakia. *Forestry – Lesnictví* 43:296–304.
- Konôpka, J., 1999: Ohrozenie lesných porastov mechanicky pôsobiacimi abiotickými činiteľmi. *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 45:51–72.
- Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, Ch., Raši, R., 2007: Vývoj náhodnej ťažby dreva na Slovensku a jej prognóza pre vietor, sneh a námrazu do roku 2025. *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 53:273–291.
- Konôpka, J., Konôpka, B., Nikolov, Ch., 2008: Analýza náhodnej ťažby dreva podľa škodlivých činiteľov a lesných oblastí. *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 54:107–126.

- Kunca, A. et al., 2012: Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska za rok 2011 a ich prognóza na rok 2012. Zvolen, Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 134 p.
- Lekeš, V., Dandul, I., 1997: Klasifikace území z pohledu rizika výskytu větrných kalamit – I. část. Lesnická práce 76:264–265.
- Lekeš, V., Dandul, I., 2000: Using airflow modelling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WIN-DARC). *Forest Ecology and Management* 135:331–344.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., 2010: Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259:698–709.
- Majlingová, A., Vida, T., 2008: Possibilities of forest fire modelling in Slovak conditions In: *Symposium GIS Ostrava 2008: sborník z mezinárodního sympozia, Ostrava: VŠB Technická univerzita*, 10 p.
- Mitchell, S. J., 1998: A diagnostic framework for windthrow risk estimation. *Forestry Chronicle* 74:100–105.
- Panayotov, M., Kulakowski, D., Laranjeiro Dos Santos, L., Bebi, P., 2011: Wind disturbances shape old Norway spruce-dominated forest in Bulgaria. *Forest Ecology and Management* 262: 470–481.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Linden, P. J., Hanson, C. E., 2007: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge: Cambridge University Press, 976 p.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., Schuck, A., 2003: Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9:1620–1633.
- Stolina, M. et al., 1985: Ochrana lesa. Bratislava: Príroda, 473 p.
- Suchomel, J., Gejdoš, M., Tuček, J., Jurica, J., 2011: Analýza náhodných ťažieb dreva na Slovensku. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 140 p.
- Tuček, J., Holécý, J., Škvarenina, J., Mindáš, J., 2005: Poznanky o výskyte lesných požiarov – Tvorba a aplikácie v prostredí GIS a SDSS. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*, Brno 4 p.
- Tuček, J., Majlingová, A., 2009: Forest fire vulnerability analysis. In: Štrélcová K. et al. (ed.): *Bioclimatology and natural hazards*. Springer: Dordrecht, p. 219–230.
- Zubizarreta-Gerendiain, A., Pellikka, P., Garcia-Gonzalo, J., Ikonen, V.-P., Peltola, H., 2012: Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: Assessment based on inventoried damage and mechanistic modelling, *Silva Fennica* 46:181–196.

## Resumé

Harmful agents have caused extensive damage of Slovak forests. The paper deals with the occurrence of incidental felling in the Slovak forest region No. 46 – Nízke Tatry, Kozie chrbty, Priehyba, Sever (Fig. 1) in the period of 1984–2003. The main objective was to identify the conditions and sites with the highest susceptibility to incidental felling. Almost 83% of incidental felling in the experimental area was caused by wind. The most frequently disturbed tree species is Norway spruce with more than 96% share of incidental felling in this area. This species was also the most frequent (70.6%) species in the area. Incidental felling resulting from wind damage was assessed on the basis of morphometric factors - altitude, slope, aspect. The assessment was based on the probability analysis of incidental felling occurrence (Tuček et al. 2005). The value ranges of the analysed factors, which are significant for the susceptibility of the experimental area to the incidental felling caused by wind, were identified (Table 1). The identification was based on the comparison of relative frequencies of incidental felling. The significance was tested by statistical test (2). Relative frequencies of factor values were higher on the sites at altitude range 731 – 1,120 m a.s.l., slope up to 58 %, and ranges of aspect 41 – 82° and 106 – 285°. The results of the conditional probability  $P(H_i/A)$  are: 59.39% of sites with incidental felling were located at altitudes between 731 and 1120 m a.s.l., 77.53% of sites with incidental felling were located on slopes up to 58%. The conditional probability was higher than 39 % in two ranges of aspect (106° – 285°, 286° – 40°) (Table 2). These results differ from the results of other works. The differences can be caused by the specific area or dominant tree species (Norway spruce). This work was focused on the impact of three morphometric factors on the occurrence of incidental felling. The incidental felling occurrence caused by wind can be influenced by many factors and characteristics, e.g. soil, tree and stand characteristics, climate characteristics. The methodology can be used for the assessment of the impact of other factors on the occurrence of incidental felling. The results can be used to assess the total risk of performed management activities in forests at present and also under the conditions of continuously changing climate.