

# **Analýza faktorov ovplyvňujúcich vznik veterných kalamít smreka v oblasti Nízkyh Tatier.**

Ing. Vladimír Papaj<sup>1</sup>, prof. Ing. Ján Tuček, CSc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 956 01, Zvolen, Slovenská Republika  
vladopapaj@hotmail.com

<sup>2</sup>Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 956 01, Zvolen, Slovenská Republika  
tucek@vsl.d.tuzvo.sk

**Abstrakt.** Práca sa zaoberá problematikou využitia nástrojov GIS pri analýze faktorov ovplyvňujúcich vznik veterných kalamít smreka vo vybranom lesnom hospodárskom celku v lesnej oblasti Nízke Tatry v období rokov 1994 – 2003. Hodnotenými faktormi boli charakteristiky odvodené z digitálneho modelu reliéfu, pedologické charakteristiky, fytoecologické charakteristiky a vybrané porastové a stromové charakteristiky. Na hodnotenie vplyvu uvedených faktorov bola použitá neparametrická jednofaktorová metóda analýzy variancie (Kruskal-Wallisov test). Porovnávanou premennou bol podiel náhodnej ťažby smreka zo zásoby dreveniny na začiatku platnosti lesného hospodárskeho plánu. Výsledkom analýzy bola identifikácia významných faktorov a vytvorenie homogénnych skupín úrovní faktorov z hľadiska ich vplyvu na vznik veterných kalamít. Využitím získaných poznatkov bolo možné vytvoriť klasifikačný systém na identifikáciu oblastí trvale a dočasne ohrozených nepriaznivým vplyvom vetra. V závere práca uvádza možnosti využitia získaných poznatkov pri obhospodarovaní lesa.

**Kľúčové slová:** náhodné ťažby, veterné kalamity, Kruskal-Wallisov test

**Abstract.** Analysis of factors influencing wind disasters of spruce in Low Tatras region. Paper deals with GIS tools capabilities for analysis factors influencing spruce wind disasters in selected forest district in Low Tatras during the period from 1994 to 2003. Analyzed factors were characteristics derived from digital elevation model, soils characteristics, phytosociology characteristics and selected forest stand and tree characteristics. For evaluation of mentioned factors was used nonparametric one-way analysis of variance (Kruskal-Wallis test). Compared variable was share between spruce wind disaster volume in forest stand and spruce volume in forest stand in the beginning of validity of forest management plan. Main result of analysis was identification of significant factors and creating homogenous groups of factors' levels from wind disasters point of view. With using obtained information about factors we were able to create classification system for identification permanent and temporary endangered areas by wind. In conclusion, paper presents possibilities for taking advantage of gained information in forest management.

**Keywords:** unpredicted cuttings, wind disasters, Kruskal-Wallis test

## 1 Úvod

Zo všetkých škodlivých činiteľov na Slovensku poškodzujú lesné porasty najväčšou mierou prírodné abiotické škodlivé činitele pôsobiace mechanicky a z nich hlavne vietor. Význam tohto škodlivého činiteľa v posledných štyroch desaťročiach výrazne stúpol, čo súvisí predovšetkým so zhoršujúcim sa celkovým stavom lesných porastov a s meniacimi sa klimatickými podmienkami, ktoré zapríčiňuje antropogénna činnosť ([6]).

Viacerý autori na Slovensku definovali pestovno-ochranné opatrenia a zásady ich uplatňovania ([2], [5], [11],) s cieľom čo možno v najväčšej miere obmedziť negatívny vplyv škodlivých činiteľov na lesné porasty. Aby bol efekt z ich uplatnenia čo najvyšší, je potrebné vedieť kedy, kde a za akých podmienok sa môžu škodlivé činitele negatívne prejaviť. Preto je potrebné sledovať a objektívne vyšetrovať príčiny vzniku náhodných ťažieb v konkrétnych podmienkach a na ich základe adresne použiť vhodné pestovno-ochranné opatrenia pri zakladaní, výchove a obnove porastov.

S určitým podielom náhodných ťažieb je však nutné vždy počítať ako s rizikom hospodárenia, ktoré vyplýva z prirodzenej podstaty produkčného procesu a dlhej produkčnej doby.

## 2 Problematika a cieľ

Z lesníckeho hľadiska sa za nebezpečné považujú silné vetry a víchrice pri rýchlosti prúdenia vetra väčšej ako  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ([5]). Najväčšie riziko poškodenia lesných porastov však vzniká pri nárazových vetroch a v horských oblastiach pri prepadávacích vetroch ([11]).

Z abiotických faktorov, ktoré majú vplyv na vznik nebezpečného vetra sú to predovšetkým poveternostné podmienky a orografické pomery územia ([4], [5]). Tvar reliéfu významne ovplyvňuje prúdenie vzduchu v najnižších vrstvách atmosféry. Najviac ohrozené sú dlhé a úzke údolia, ohyby kľukatých dolín, náveterné svahy a porasty pod horskými sedlami na záveternej strane. Do úvahy ďalej prichádza nadmorská výška, sklon a expozícia. Uvedené faktory vplývajú na rast jednotlivých stromov v lesnom poraste jednak fyzikálne – formovaním ich koreňov, kmeňov a korún, ale aj chemicky – ovplyvňovaním obsahu vody, vzduchu a živín v pôde ([7], [8], [9], [11]).

Ďalšou dôležitou skupinou faktorov sú pôdne charakteristiky, hlavne prostredníctvom ich vplyvu na zakorenenie jednotlivých stromov. Okrem toho, sa vlastnosti pôdy, cez ich celkovú produkčnú schopnosť, odrážajú aj na taxačných charakteristikách porastov ([10]).

Vplyv uvedených faktorov na odolnosť lesných porastov voči pôsobeniu vetra nie je možné vôbec, alebo len veľmi ťažko, ovplyvniť pestovno-ochrannými opatreniami a preto je možné ich považovať za preddispozitívne faktory prostredia. Navyše, všetky uvedené faktory sú vo vzájomnej interakcii a každý z nich je ovplyvnený pôsobením iného či iných faktorov ([7], [8], [9]).

Z porastových charakteristík sa za najvýznamnejší faktor, ovplyvňujúci odolnosť lesných porastov voči vetru považuje drevinové zloženie, najmä pomer medzi zastúpením labilných a stabilných druhov drevín. Ďalšími veľmi významnými faktormi sú výstavba porastov, ich výšková a hrúbková diferencovanosť a zápoj a jeho genéza ([11]).

Z ostatných porastových charakteristík je potrebné spomenúť vek a výšku porastu, bonitu, zakmenenie, stanovištnú vhodnosť drevinového zloženia a v neposlednom rade aj zdravotný stav koreňov a spodnej časti kmeňa. Zo stromových charakteristík sa za najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce odolnosť stromu voči pôsobeniu vetra považujú predovšetkým jeho tvarové charakteristiky koruny (rovnomernosť, dĺžka), kmeňa (štrhlostný koeficient) a mohutnosť koreňa a jeho zakorenenie ([11]). Samozrejme aj tieto faktory sú vo vzájomných interakciách a navzájom sa ovplyvňujú.

Uvedené faktory predstavujú vlastnosti vegetačného krytu a ako také môžu byť ovplyvnené činnosťou človeka. To znamená, že vhodnými pestovnými opatreniami je možné ich pozitívne usmerňovanie z hľadiska stability lesných porastov.

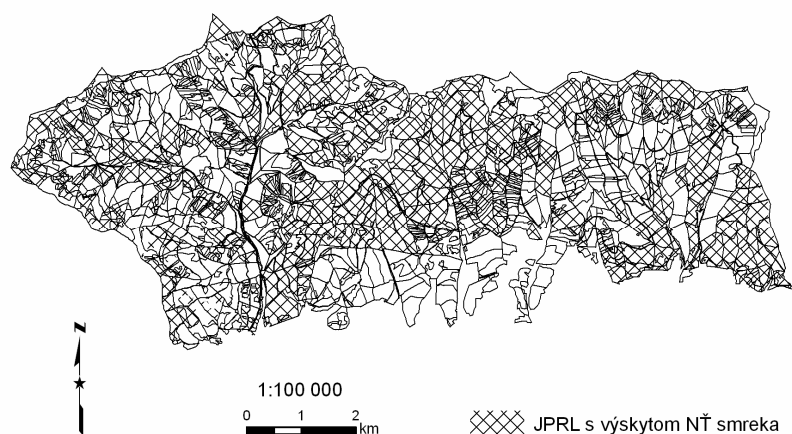
Hlavným cieľom predkladanej práce bolo zistiť, ktoré z vybraných faktorov reliéfu, pedologických, fytoecologických, porastových a stromových charakteristík majú vplyv na vznik veterných kalamít smreka v záujmovom území počas sledovaného obdobia rokov 1994 – 2003. U faktorov, u ktorých sa ich vplyv potvrdil, zistiť na ktorých úrovniach faktora je vplyv štatisticky preukázateľný. S využitím získaných poznatkov navrhnuť systém na klasifikáciu územia z hľadiska ohrozenosti vetrom pre drevinu smrek.

### 3 Materiál a metodika

Záujmovým územím bol lesný hospodársky celok (LHC) z lesnej oblasti Nízke Tatry, Kozie chrby (LO 46). Územie je výrazne členité s dlhými výraznými hrebeňmi, nachádzajúce sa v nadmorských výškach od 625 do 1655 m n. m., s priemerným sklonom 45 % a prevahou južných expozícií. Výraznú prevahu v ňom má 5. jedľovo-bukový lesný vegetačný stupeň (lvs) s plošným podielom 49,5 %, za ktorým nasleduje 6. smrekovo-bukovo jedľový lvs s podielom 38,8 % a 7. smrekový lvs s podielom 10,6 %. Z pedologického hľadiska prevláda skupina hnedých lesných pôd s plošným podielom 79,5 %. Z pôdných druhov je najviac zastúpená piesočnato-hlinitá pôda s 80,3 % plošným podielom a hlinitá pôda s 15,9 % podielom. Z hľadiska hĺbky pôdy sú dominantné stredne hlboké pôdy (61 – 120 cm) s 90,4 % plošným podielom.

V sledovanom období bola v LHC realizovaná náhodná ťažba (NĚ) smreka vplyvom vetra v 245 jednotkách priestorového rozdelenia lesa (JPRL). Pretože sa v niektorých JPRL vyskytla NĚ opakovane, bolo do analýzy zahrnutých 814 záznamov. Za celé obdobie platnosti lesného hospodárskeho plánu (LHP) boli v LHC za všetky dreviny a škodlivé činitele realizované NĚ v objeme 27 699 m<sup>3</sup>. Z tohto objemu pripadlo 23 693 m<sup>3</sup> na NĚ smreka vplyvom vetra, čo predstavuje 85,5 % z celkového objemu.

Podkladový materiál pre analýzu tvorili v prvom rade údaje z lesnej hospodárskej evidencie (LHE)<sup>3</sup> a údaje z opisu porastov z LHP<sup>4</sup>. Na lokalizáciu JPRL s výskytom NĚ a vytvorenie vektorovej vrstvy hraníc postihnutých porastov boli použité nekolorované porastové mapy<sup>5</sup> v mierke 1:10 000. Pre odvodenie faktorov reliéfu (sklon, expozícia) bol k dispozícii digitálny model reliéfu (DMR)<sup>6</sup> s rozlíšením 10 m a pre odvodenie pedologických a fytoologických charakteristík boli k dispozícii vektorové informačné vrstvy pôdnych predstaviteľov a fytoocenologických jednotiek<sup>7</sup>.



**Obr. 1** Porasty s výskytom náhodnej ťažby smreka vplyvom vetra.

Cieľom bolo posúdiť vplyv vybraných faktorov a ich rôznych úrovní na vznik vetrových kalamít smreka. Hodnotené boli:

- faktory odvodené z DMR (nadmorská výška, sklon, expozícia)
- pedologické faktory (hĺbka pôdy, pôdny druh, pôdny typ)
- fytoocenologické faktory (edaficko-trofický rad, lesný vegetačný stupeň)
- priemerné porastové charakteristiky (priemerný vek, zakmenenie)
- priemerné stromové charakteristiky (stredná hrúbka, stredná výška)

Vplyv uvedených faktorov na vznik NĚ bol hodnotený metódou analýzy variancie (rozptylu). Metóda umožňuje naraz, v jednom vyhodnocovacom postupe, testovať rozdiely medzi väčším počtom stredových hodnôt (priemerov) kvantitatívnej premennej vo viacerých výberoch. Hodnotenou premennou bol podiel NĚ smreka, spôsobenej vetrom v danom roku zo zásoby dreveniny na začiatku platnosti LHP (ďalej len *P*). Uvedená charakteristika bola vypočítaná pre všetky JPRL s výskytom NĚ samostatne, po jednotlivých rokoch sledovaného obdobia. To znamená že v prípade opakovaného výskytu NĚ v JPRL v priebehu decénia bola uvedená charakteristika

<sup>3</sup> údaje poskytol Lesný závod Beňuš

<sup>4</sup> údaje poskytlo Národné lesnícke centrum – Ústav lesníckych zdrojov a informatiky

<sup>5</sup> údaje poskytla Lesná správa Polomka

<sup>6</sup> údaje poskytlo Topografický ústav Banská Bystrica

<sup>7</sup> údaje poskytlo Národné lesnícke centrum – Ústav lesníckych zdrojov a informatiky

vypočítaná samostatne pre každý výskyt NĚ. Do analýzy potom bola príslušná JPRL zahrnutá toľkokrát, koľkokrát sa v nej v priebehu decénia vyskytla NĚ. Hodnota podielu  $P$  však bola pre jednotlivé výskyt NĚ vždy rôzna.

Vzhľadom na to, že predbežná analýza preukázala výrazné porušenie podmienok použitia parametrickej formy, najmä normality rozdelenia, ale aj homogenity rozptylu, bola na hodnotenie vplyvu faktorov použitá neparametrická forma jednofaktorovej analýzy variancie, tzv. Kruskal – Wallisov test ([1]). Rovnako ako pri parametrickej forme aj tu testujeme  $H_0$  o rovnosti stredových hodnôt v jednotlivých výberoch (na jednotlivých úrovniach faktorov). Metóda je založená na princípe nahradenia hodnôt testovanej premennej ich poradím. Vypočítaná hodnota testovacieho kritéria sa porovná s kritickou hodnotou pre zvolenú hladinu významnosti a počet stupňov voľnosti. Pokiaľ je testovacie kritérium menšie ako kritická hodnota, nezamietame  $H_0$ . V opačnom prípade prijímame  $H_A$  o významných rozdieloch medzi výberovými stredovými hodnotami.

Pri zamietnutí  $H_0$  bolo ďalej zisťované medzi ktorými úrovňami faktorov existujú štatisticky významné rozdiely. Na testovanie bol použitý Dunnov test ([1]) pre výbery s nerovnakým počtom prvkov a výskytom skupín rovnakých hodnôt. Vypočítané testovacie kritérium  $Q$  bolo porovnávané s kritickou hodnotou pre zvolenú hladinu významnosti a počet porovnávaných úrovní faktora. Ak bola jeho hodnota menšia, nebola  $H_0$  o rovnosti stredových hodnôt porovnávaných úrovní faktora zamietnutá. Rozdiel medzi úrovňami nebol štatisticky významný, resp. spracovávané údaje ho nepotvrďujú. V opačnom prípade ( $Q > Q_{\alpha,k}$ ) bolo možné  $H_0$  zamietnuť na  $\alpha$  % hladine významnosti a považovať rozdiely medzi výberovými stredovými hodnotami za štatisticky významné. Úrovně faktorov, medzi ktorými neboli rozdiely štatisticky preukázané bolo možné pre účely ďalšieho spracovania zlúčiť a ďalej ich považovať za homogénnu skupinu úrovní z hľadiska ich vplyvu na vznik NĚ smreka vetrom. Nasledujúcim bodom analýzy bolo porovnanie priemerných podielov  $P$  v homogénnych skupinách s celkovým priemerným podielom  $P_C$ .

Pretože hodnoty faktorov reliéfu, pôdných a fytoecologických charakteristík môžu v rámci jednej JPRL nadobúdať rôzne, niekedy veľmi rozdielne hodnoty, neboli za štatistické jednotky považované jednotlivé JPRL, ale bunky rastra. Preto bola z rastrovej vrstvy JPRL s realizovanou NĚ vytvorená bodová vektorová informačná vrstva. Vznikol tak súbor 237 630 bodov. Pomocou vhodných operácií v prostredí GIS boli z príslušných rastrových vrstiev pre jednotlivé body extrahované hodnoty uvedených faktorov. Pomocou operácie priradenia boli k bodom pripojené aj údaje z LHE a LHP. Ďalej sa už spracovával databázový súbor bodov s ich atribútmi. Pretože hodnoty priemerných porastových a priemerných stromových charakteristík sa vzťahujú na JPRL, boli pri hodnotení týchto faktorov štatistickými jednotkami jednotlivé JPRL.

Výsledkom hodnotenia faktorov a ich úrovní uvedenou metódou boli poznatky o tom, ktoré faktory a na ktorých úrovniach významne ovplyvnili vznik NĚ vetrom na drevine smrek. S využitím týchto poznatkov bolo možné identifikovať oblasti trvalého, dočasného a celkového ohrozenia vplyvom vetra pre drevinu smrek. Trvale ohrozené oblasti boli identifikované na základe kritických úrovní faktorov reliéfu, pedologických a fytoecologických charakteristík. Dočasne ohrozené oblasti boli identifikované na základe kritických úrovní porastových a stromových charakteristík.

Kombináciou trvale a dočasne ohrozených oblastí boli identifikované oblasti celkového ohrozenia.

Postup identifikácie oblastí ohrozenia bol nasledovný. Na základe porovnania  $P/P_C$  boli homogénnym skupinám úrovni priradené stupne ohrozenia vetrom. Stupeň 1 bol priradený úrovniam, na ktorých sa NĚ v sledovanom období nevyskytla a skupinám úrovni na ktorých bola NĚ nižšia ako 25 % celkového priemeru. Stupne 2 až 5 boli skupinám úrovni priradené podľa tabuľky 1.

**Tabuľka 1.** Stupne ohrozenia vetrom.

$P/P_C$	stupeň ohrozenia	popis stupňa ohrozenia
do 0,25	1	veľmi nízky
0,26 – 0,75	2	nízky
0,76 – 1,25	3	stredne vysoký
1,26 – 1,75	4	vysoký
nad 1,76	5	veľmi vysoký

Pre každý z hodnotených faktorov bola vytvorená samostatná rastrová vrstva, v ktorej boli skupinám úrovni priradené hodnoty ich stupňa ohrozenia. Rastrové vrstvy faktorov boli následne kombinované v rámci skupín faktorov pomocou operácie sčítania. Kombináciou vytvorených rastrových vrstiev stupňov ohrozenia podľa faktorov odvodených z reliéfu, pedologických a fytoecologických faktorov bola vytvorená rastrová vrstva oblastí trvalého ohrozenia. Kombináciou rastrových vrstiev stupňov ohrozenia podľa porastových a stromových charakteristík bola vytvorená rastrová vrstva oblastí dočasného ohrozenia. Kombináciou rastrových vrstiev oblastí trvalého a dočasného ohrozenia boli identifikované oblasti celkového ohrozenia vplyvom vetra pre drevinu smrek.

## 4 Výsledky

Pred použitím uvedenej metódy hodnotenia boli pre všetky posudzované faktory stanovené ich jednotlivé úrovne a to na základe variačného rozpätia hodnôt faktora a jeho povahy. Hodnotenie faktorov bolo realizované v programe Štatistika.

Analýza preukázala že pri všetkých testovaných faktoroch je rozdiel medzi ich stredovými hodnotami na jednotlivých úrovniach štatisticky veľmi významný.  $P$ -level dosiahol pri všetkých faktoroch hodnotu 0,000. Preto bolo možné pri všetkých faktoroch pristúpiť k testovaniu významnosti rozdielov medzi ich jednotlivými úrovňami pomocou *Dunn*-ovho testu. Zvolená bola hladina významnosti 5 %.

V nasledujúcej časti príspevku budú v tabuľkovej forme uvedené porovnávané úrovne hodnotených faktorov, ich zatriedenie do homogénnych skupín úrovni a podiely priemerných  $P$  v homogénnych skupinách z celkového priemerného podielu  $P_C$  ( $P/P_C$ ). Ako príklad budú u faktora – pôdny typ uvedené aj výsledky testu významnosti rozdielov stredových hodnôt na jednotlivých úrovniach faktora. Vzhľadom na obmedzený rozsah príspevku nebudú výsledky tohto testu uvádzané u ostatných faktorov.

**Tabuľka 2.** Úrovne a skupiny faktora – pôdny typ.

úroveň	kód	popis úrovni faktora	skupina	$P/P_C$
1	03	Rankrová pôda	1	0,526
2	04	Rendzina	1	0,526
3	09	Hnedozem	2	1,011
4	12	Terra rossa	3	0,964
5	22	Solonec	1	0,526

**Tabuľka 3.** Výsledky testu rozdielov medzi úrovňami faktora – pôdny typ.

Porovnávané úrovne	$R_A - R_B$	$SE$	$Q$	$Q_{a,k}$	Výsledok testu $H_0$
1 – 2	-4595.1	2348.4	1.957	2.807	nezamietame
1 – 3	9957.6	1190.3	8.365	2.807	zamietame
1 – 4	25467.3	1273.6	19.996	2.807	zamietame
1 – 5	-5170.4	3510.2	1.473	2.807	nezamietame
2 – 3	14552.7	2034.9	7.152	2.807	zamietame
2 – 4	30062.4	2084.7	14.420	2.807	zamietame
2 – 5	-575.3	3878.8	0.148	2.807	nezamietame
3 – 4	15509.7	498.03	31.142	2.807	zamietame
3 – 5	-15128.0	3308.7	4.572	2.807	zamietame
4 – 5	-30637.7	3339.5	9.174	2.807	zamietame

U tohto faktora tvorili úrovne jednotlivé pôdne typy. Z výsledkov testu je zrejmé, že rozdiel medzi stredovými hodnotami úrovni 1, 2 a 5 je len náhodný a nie je štatisticky významný. Preto je možné uvedené úrovne zlúčiť do samostatnej homogénnej skupiny (skupina č. 1). Rozdiely medzi ostatnými úrovňami sú štatisticky významné. Z porovnania podielov  $P/P_C$  je zrejmé, že na rankrových pôdach, rendzinách a soloncoch je priemerný podiel NĚ v porovnaní s celkovým priemerom najnižší. Dosahuje len takmer 53 % jeho hodnoty. Na hnedozemiach priemerný podiel NĚ presiahol celkový priemer o 1,2 %. Pri pôdnom type Terra rossa dosiahol priemerný podiel 96 % hodnoty celkového priemeru. Na základe týchto výsledkov je možné konštatovať, že v podmienkach vybraného LHC je možné očakávať výrazne nižší podiel NĚ na pôdach zaradených do skupiny č. 1. Rovnakým spôsobom boli výsledky interpretované aj u ostatných faktorov.

**Tabuľka 4.** Úrovne a skupiny faktora – geologické podložie.

úroveň	podložie	skupina	$P/P_C$	úroveň	podložie	skupina	$P/P_C$
1	AL	1	0,525	7	R/SV	4	3,399
2	K	2	1,456	9	R/Z	4	3,399
4	R	3	0,757	10	SV	2	1,456
5	R/F	4	3,399	11	SV/R	5	1,039
6	R/K	1	0,525	12	V	1	0,515

Z výsledkov testu vyplynulo, že rozdiel medzi stredovými hodnotami úrovni 1, 6, 12 a úrovňami 5, 7, 9 je štatisticky nevýznamný. Uvedené úrovne boli preto zlúčené do samostatných skupín. Na úrovniach 3 (K/R – kremence na rulách) a 8 (R/V – ruly na vápencoch) sa NĚ nevyskytla. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejmé, že najvyšší podiel NĚ je na podložkách tvorených rulami na fylitoch, svoroch a žulách. Naopak na alúviach, rulách na kremencoch a vápencoch bol podiel NĚ najnižší.

**Tabuľka 5.** Úrovne a skupiny faktora – hĺbka pôdy.

úroveň	kód	popis úrovni faktora	skupina	$P/P_C$
1	2	plytká pôda 16 – 30 cm	1	0,677
2	3	mierne hlboká pôda 31 – 60 cm	2	1,000
3	4	stredne hlboká pôda 61 – 120 cm	2	1,000

Z výsledkov testu vyplynulo, že rozdiel medzi stredovou hodnotou úrovne 1 a ostatnými úrovňami je štatisticky významný, zatiaľ čo medzi úrovňami 2 – 3 rozdiel nepotvrdil. Uvedené úrovne boli preto zlúčené do jednej skupiny. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejmé, že na plytkých pôdach bol podiel NĚ nižší ako celkový priemer. Dosiahol len 68% celkového priemeru. Na mierne a stredne hlbokých pôdach sa priemerný podiel zhodoval s celkovým priemerom.

**Tabuľka 6.** Úrovne a skupiny faktora – pôdny druh.

úroveň	kód	popis úrovni faktora	$P/P_C$
1	2	hlinito – piesočnatá pôda	1,174
2	3	piesočnato – hlinitá pôda	0,739
3	4	hlinitá pôda	2,029

Výsledky testu preukázali štatisticky významný rozdiel medzi stredovými hodnotami na všetkých úrovniach. Úrovne nebolo možné zlúčiť do homogénnych skupín. Z porovnania  $P/P_C$  vyplynulo, že zrejme najvyšší vplyv na vznik NĚ má hlinitá pôda, na ktorej priemerný podiel NĚ viac ako dvojnásobne presiahol celkový priemer. Naopak najnižší podiel NĚ bol na piesočnato-hlinitých pôdach.

**Tabuľka 7.** Úrovne a skupiny faktora – sklon.

úroveň	interval (%)	skupina	$P/P_C$	úroveň	interval (%)	skupina	$P/P_C$
1	0 – 10	1	1,062	5	41 – 50	2	1,036
2	11 – 20	2	1,036	6	51 – 60	4	0,858
3	21 – 30	2	1,036	7	61 – 70	5	0,737
4	31 – 40	3	1,101	8	71 – 86	6	0,666

Test preukázal, že rozdiel v stredových hodnotách medzi úrovňami 2, 3 a 5 nie je štatisticky významný. Úrovne boli preto zlúčené do spoločnej skupiny. Z porovnania



$P/P_C$  je zrejme, že na sklonoch do 50 % (skupiny 1, 2, 3) bol podiel NĚ vyšší ako priemerný, zatiaľ čo na vyšších sklonoch podiel NĚ postupne klesal. Na svahoch so sklonom vyšším ako 70 % už dosiahol len približne 67 % celkového priemeru.

**Tabuľka 8.** Úrovnne a skupiny faktora – expozícia.

úroveň	označenie	skupina	$P/P_C$	úroveň	označenie	skupina	$P/P_C$
1	S	1	1,018	5	J	3	1,299
2	SV	2	0,985	6	JZ	4	0,814
3	V	1	1,018	7	Z	5	0,559
4	JV	3	1,299	8	SZ	6	0,675

Test preukázal, že rozdiel medzi stredovými hodnotami úrovní 1, 3 a 4, 5 je štatisticky nevýznamný. Úrovnne boli preto zlúčené do samostatných skupín. Jednu skupinu vytvorila severná a východná expozícia a druhú juhovýchodná a južná expozícia. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejme, že na JV a J expozíciách bol podiel NĚ najvyšší, zatiaľ čo na Z expozíciách výrazne najnižší.

**Tabuľka 9.** Úrovnne a skupiny faktora – nadmorská výška.

úroveň	m n. m.	skupina	$P/P_C$	úroveň	m n. m.	skupina	$P/P_C$
1	626 – 700	1	0,867	6	1101 – 1200	4	0,970
2	701 – 800	1	0,867	7	1201 – 1300	5	0,704
3	801 – 900	2	1,071	8	1301 – 1400	4	0,970
4	901 – 1000	3	1,142	9	1401 – 1511	6	1,252
5	1001 – 1100	4	0,970				

Z výsledkov testu vyplynulo, že je možné zlúčiť úrovnne 1 a 2 do jednej skupiny a úrovnne 5, 6 a 8 do druhej skupiny. Výsledky však neboli jednoznačné, pretože medzi úrovňami 6 a 8 bolo nutné  $H_0$  zamietnuť. Rozdiel medzi hodnotou testovacej charakteristiky a kritickou hodnotou bol však veľmi malý. Preto bola úroveň 6 zlúčená s úrovňami 5 a 8. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejme, že v nadmorských výškach 801 až 1000 m n. m. bol podiel NĚ vyšší ako celkový priemer, potom postupne klesal a svoje minimum dosiahol pri nadmorských výškach 1201 až 1300 m n. m. V nadmorských výškach od 1401 m do 1511 m bol podiel NĚ najvyšší.

**Tabuľka 10.** Úrovnne a skupiny faktora – edaficko-trofický rad.

úroveň	označenie	edaficko-trofický rad	skupina	$P/P_C$
1	A	kyslý	1	0,932
2	A/B	prechodný z A do B	2	0,479
3	B	živný	3	1,124
4	B/C	prechodný z B do C	3	1,124
5	C	nitrofilný	2	0,479
6	D	vápencový	4	0,423

Test preukázal nevýznamný rozdiel stredových hodnôt medzi úrovňami 2, 5 a úrovňami 3 a 4. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejmé, že najvyšší podiel NĚ bol dosiahnutý v živnom rade a v prechodnom rade zo živného do nitrofilného, zatiaľ čo najnižší podiel NĚ bol v prechodnom rade z kyslého do živného, v nitrofilnom a vápencovom. V kyslom rade sa podiel NĚ veľmi nelíšil od celkového priemeru.

**Tabuľka 11.** Úrovne a skupiny faktora – lesný vegetačný stupeň.

úroveň	lvs	lesný vegetačný stupeň	skupina	$P/P_C$
1	5	jedľovo-bukový	1	1,098
2	6	smrekovo-bukovo jedľový	2	0,731
3	7	smrekový	3	1,033
4	8	kosodrevinový	3	1,033

Na základe výsledkov testu bolo možné pri lvs zlúčiť úrovne 3 a 4 do jednej skupiny. Porovnanie  $P/P_C$  ukázalo, že najnižší podiel NĚ bol v 6. smrekovo-bukovo jedľovom lvs. V ostatných skupinách úrovní sa podiel NĚ výrazne neodlišoval od celkového priemeru.

**Tabuľka 12.** Úrovne a skupiny faktora – priemerný vek.

úroveň	vek	skupina	$P/P_C$	úroveň	vek	skupina	$P/P_C$
5	51 – 60	1	0,261	9	91 – 100	2	1,948
6	61 – 70	1	0,261	10	101 – 110	2	1,948
7	71 – 80	1	0,261	11	111 – 120	2	1,948
8	81 – 90	1	0,261	12	121 – 130	2	1,948
				13	131 – 140	2	1,948

Vzhľadom na nízku početnosť JPRL nebolo možné hodnotiť vek nižší ako 50 a vyšší ako 140 rokov. Na základe výsledkov testu bolo možné zlúčiť vekové stupne 5 až 8 do jednej skupiny a vekové stupne 9 až 13 do druhej skupiny. Z porovnania  $P/P_C$  je jednoznačne viditeľný vplyv vyššieho veku na vznik NĚ. Priemerný podiel NĚ pri veku od 91 do 140 rokov dosiahol takmer dvojnásobok celkového priemeru, zatiaľ čo v JPRL s priemerným vekom od 51 do 90 rokov je to len okolo 26 % celkového priemeru.

**Tabuľka 13.** Úrovne a skupiny faktora – zakmenenie.

úroveň	zakmenenie	skupina	$P/P_C$	úroveň	zakmenenie	skupina	$P/P_C$
2	4	1	2,597	5	7	2	0,498
3	5	1	2,597	6	8	2	0,498
4	6	1	2,597				

Vzhľadom na nízku početnosť JPRL nebolo možné hodnotiť zakmenenie nižšie ako 4 a vyššie ako 8. Z výsledkov testu zostávajúcich úrovní vyplynulo, že je možné zlúčiť

zakmenenia 4 až 6 do jednej skupiny a zakmenenia 7 a 8 do druhej skupiny. Výsledky porovnania  $P/P_C$  preukázali výrazne vyšší podiel NT v JPRL s nižším zakmenením.

**Tabuľka 14.** Úrovne a skupiny faktora – priemerná výška.

úroveň	výška (m)	skupina	$P/P_C$
4	16 – 20	1	0,379
5	21 – 25	1	0,379
6	26 – 30	2	0,896
7	31 – 35	3	4,166

U faktora priemerná výška tvorili jednotlivé úrovne výškové triedy po 5m. Vzhľadom na nízku početnosť však nebolo možné hodnotiť priemernú výšku dreviny nižšiu ako 16 m. Na základe výsledkov testu bolo možné zlúčiť úrovne 4 a 5, čiže výšky od 16 do 25 m, do jednej skupiny. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejmé, že podiel NT s rastúcou výškou dreviny smrek výrazne stúpal a maximum dosiahol pri priemernej výške nad 31 m.

**Tabuľka 15.** Úrovne a skupiny faktora – priemerná hrúbka.

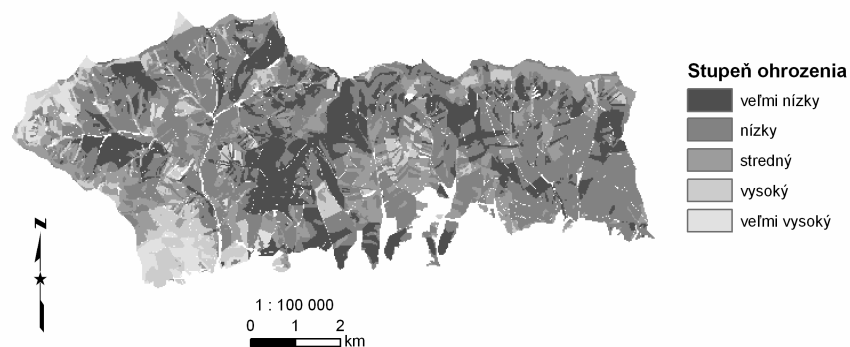
úroveň	hrúbka (cm)	skupina	$P/P_C$	úroveň	hrúbka (cm)	skupina	$P/P_C$
4	20 – 24	1	0,389	8	36 – 40	2	2,180
5	24 – 28	1	0,389	9	40 – 44	2	2,180
6	28 – 32	1	0,389	10	44 – 48	2	2,180
7	32 – 36	1	0,389	11	48 – 52	2	2,180

Pri faktore priemerná hrúbka tvorili jednotlivé úrovne hrúbkové stupne. Vzhľadom na nízku početnosť JPRL s menšou priemernou hrúbkou, bolo možné hodnotiť len úrovne od 20 cm do 52 cm. Z porovnania  $P/P_C$  je zrejmé, že podiel NT s rastúcou hrúbkou dreviny smrek stúpal. Maximum dosiahol pri priemernej hrúbke nad 36 cm.

Na základe uvedených výsledkov je možné povedať, že v záujmovej oblasti boli v sledovanom období najviac ohrozené porasty na mierne až stredne hlbokých hlinitých pôdach na južných a juhovýchodných expozíciách v nadmorských výškach 901 – 1000 m a 1401 – 1511 m na sklonoch do 50 %. Z hľadiska porastových a stromových charakteristík boli najviac ohrozené porasty s vekom nad 90 rokov so zakmenením 4 až 6 s priemernou výškou dreviny smrek nad 31 m a priemernou hrúbkou nad 36 cm.

Ako už bolo uvedené v predchádzajúcich častiach ďalším s cieľom bolo preveriť možnosti využitia získaných poznatkov pri návrhu klasifikácie územia z hľadiska ohrozenosti vplyvom vetra pre drevinu smrek. Postupom popísaným v metodike boli postupne kombinované rastrové vrstvy ohrozenia územia podľa jednotlivých faktorov a skupín faktorov (faktory reliéfu, pedologické charakteristiky, ...). Výsledkom boli rastrové vrstvy identifikovaných oblastí trvalého, dočasného a celkového ohrozenia.

Výsledok klasifikácie – rastrová vrstva oblastí celkového ohrozenia vplyvom vetra pre drevinu smrek je uvedená na obrázku 2.



**Obr. 1** Oblasti v stupňoch ohrozenia vplyvom vetra pre drevinu smrek.

Použitím uvedeného spôsobu klasifikácie bolo v záujmovom území 22 % plochy zaradených do stupňa ohrozenia 1 (veľmi nízke ohrozenie), 46 % plochy do stupňa 2, 19 % plochy do stupňa 3, 9 % plochy do stupňa 4 a len 4 % plochy do stupňa 5 (veľmi vysoké ohrozenie).

## 5 Záver a diskusia

Vietor, ako škodlivý činiteľ je v celej lesnej oblasti Nízke Tatry, Kozie chrbty najvýznamnejším škodlivým činiteľom, pričom najväčšie škody spôsobuje práve na drevine smrek. Vo vybranom LHC počas sledovaného obdobia rokov 1994 – 2003 pripadlo na náhodné ťažby smreka vplyvom tohto činiteľa viac ako 85 % z celkového objemu všetkých náhodných ťažieb. Je predpoklad, že jeho vplyv bude aj v budúcnosti pretrvávať, či dokonca narastať.

Uvádza sa, že ohrozenie lesných porastov závisí predovšetkým od pôsobenia škodlivého činiteľa a od ich dispozície k poškodeniu. Tá je ovplyvňovaná predovšetkým porastovými a stromovými charakteristikami (drevinové zloženie, porastová výstavba, zdravotný stav) ale v neposlednom rade aj charakteristikami reliéfu a pôdnymi pomermi ([4]). Predkladaná práca bola zameraná na hodnotenie vybraných faktorov odvodených z reliéfu, fytoecologických, pedologických, porastových a stromových charakteristík. Hodnotené faktory je možné, z hľadiska odolnosti lesných porastov, zaradiť medzi preddispozitívne vlastnosti prostredia a časť z nich medzi vlastnosti vegetačného krytu. Zatiaľ čo vplyv vlastností prostredia na vznik náhodných ťažieb nie je možné vôbec, alebo len veľmi ťažko ovplyvniť vhodnými pestovno-ochrannými opatreniami, faktory vegetačného krytu môžu byť činnosťou človeka ovplyvňované ([7], [8], [9]).

Na základe porovnania dosiahnutých výsledkov hodnotenia faktorov a ich úrovní s výsledkami iných autorov ([2], [3], [4], [7], [8], [9], [10], [11]) je možné

konštatovať, že sa do značnej miery zhodujú. Je však potrebné povedať, že počet prác zaoberajúcich sa hodnotením faktorov, ktoré vplyvajú na vznik veterných kalamít v konkrétnych podmienkach je na Slovensku veľmi málo. Kritické hodnoty faktorov uvádzané v literatúre sú obyčajne výsledkom zovšeobecnenia pre väčšie oblasti (orografické celky, lesné oblasti), alebo dokonca celé Slovensko. Rozdiely vo výsledkoch je tiež možné vysvetliť špecifickými podmienkami v záujmovom území, jeho malou výmerou, ale aj pomerne krátkou dĺžkou sledovaného obdobia. Aj napriek rozdielom je možné výsledky hodnotenia faktorov považovať za veľmi uspokojivé. Je ale potrebné povedať, že do hodnotenia neboli zahrnuté také dôležité faktory ako je zastúpenie stabilných a labilných druhov drevín, stanovištná vhodnosť drevinového zloženia, bonita, šťhlostný koeficient a mnohé ďalšie.

Ako už bolo uvedené, charakteristiky reliéfu, pedologické a fytoecologické charakteristiky sa považujú za preddispozitívne faktory prostredia a ich vplyv na odolnosť lesných porastov z hľadiska pôsobenia vetra nie je možné vôbec, alebo len veľmi ťažko ovplyvniť pestovno-ochrannými opatreniami. S využitím získaných poznatkov je však možné identifikovať najviac exponované lokality, čo je nevyhnutným predpokladom na prijímanie správnych preventívnych opatrení. Na druhej strane porastové a stromové charakteristiky sa považujú za faktory vegetačného krytu, a ako také môžu byť činnosťou človeka priaznivo usmerňované. S využitím získaných poznatkov je možné identifikovať porasty ohrozené vplyvom vetra a na ne zamerať realizáciu vhodných pestovno-ochranných opatrení.

## 6 Zhrnutie

Predkladaná práca sa zaoberala vplyvom vybraných faktorov reliéfu, pedologických, fytoecologických, porastových a stromových charakteristík na vznik veterných kalamít smreka v lesnej oblasti Nízke Tatry, Kozie chrby. V úvode stručne uvádza prehľad doterajších poznatkov o vplyve uvedených faktorov na jednotlivé stromy a celé porasty z hľadiska ich odolnosti voči vetru. Cieľom práce bolo posúdiť či vybrané faktory mali, alebo nemali vplyv na vznik náhodných ťažieb a ak áno, tak na ktorých úrovniach. Práca predkladá vlastnú metodiku posúdenia ich vplyvu. Ide o neparametrickú jednofaktorovú metódu analýzy variancie známu pod názvom Kruskal-Wallisov test. Pomocou tejto metódy boli porovnávané stredové hodnoty jednotlivých úrovní faktorov. V prípade pozitívneho výsledku testu (zamietnutie  $H_0$ ) bol prijatý záver že, medzi jednotlivými úrovňami faktora existuje štatisticky významný rozdiel z hľadiska ich vplyvu na vznik veterných kalamít smreka. Použitím Dunn-ovho testu boli tieto úrovne identifikované. Na základe výsledkov testov bolo možné z úrovní faktorov vytvoriť homogénne skupiny úrovní z hľadiska ich vplyvu na vznik veterných kalamít smreka. Následne boli priemerné podiely náhodných ťažieb vo vytvorených skupinách porovnané s celkovým priemerným podielom v celom záujmovom území. Takto získané poznatky boli použité pri návrhu klasifikácie územia z hľadiska ohrozenosti vetrom pre drevinu smrek. V ďalšej časti práce boli prezentované výsledky hodnotenia vybraných faktorov a ich jednotlivých úrovní uvedenou metódou. V závere práca uvádza možnosti využitia získaných poznatkov pri obhospodarovaní lesa.

## Referencie

1. Drápela, K. *Statistické metody II (pro odbory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství)*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, Brno, ISBN 80-7157-474-0.
2. Kodrík, J. Kalamity v lesoch Slovenska, ich príčiny a prognóza. *Zborník referátov zo seminára: Podmienky, príčiny a prognóza škôd kalamitného charakteru v lesných porastoch*. TU vo Zvolene, 1996, Zvolen.
3. Kodrík, J. Vietor – významný škodlivý činiteľ v smrekových porastoch. *Zborník referátov z odbornej konferencie: Manažment likvidácie následkov kalamit mimoriadneho rozsahu*. Lesnícky výskumný ústav, 1997, Zvolen.
4. Konôpka, B. Ohrozenie lesných porastov vetrom, snehom a námrazou. *Časopis Les*, 1997, č. 7.
5. Konôpka, J., Kodrík, J. *Zásady ochrany lesných porastov voči mechanickému pôsobeniu vetra, snehu a námrazy*. VÚLH, 1976, Zvolen.
6. Konôpka, J., Konôpka, B. Vplyv hlavných druhov abiotických škodlivých činiteľov na lesné ekosystémy, výskum a prax. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2002, sv. 47, č. 1.
7. Lekeš, V., Dandul, I. Klasifikace území z pohledu rizika výskytu větrných kalamit – I. část. *Lesnická práce*, 1997, roč. 76, č. 7.
8. Lekeš, V., Dandul, I. Klasifikace území z pohledu rizika výskytu větrných kalamit – II. část. *Lesnická práce*, 1997, roč. 76, č. 8.
9. Lekeš, V., Dandul, I. Using airflow modeling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC). *Forest Ecology and Management* 135, 2000.
10. Račko, J. a kol. Analýza príčin vzniku vetrovej kalamity lesných porastov v oblasti Horehronia. *Záverečná správa referenčnej úlohy*, 1997, č. 7.
11. Stolina, M., a kol. *Ochrana lesa*. Příroda, 1985, Bratislava, ISBN 64-051-85.

## **Annotation**

### *Analysis of factors influencing wind disasters of spruce in Low Tatras region*

Paper deals with GIS tools capabilities for analysis factors influencing spruce wind disasters in selected forest district in Low Tatras. The main aim of the paper was to analyze spruce wind disasters in period from 1994 to 2003. Material for analysis consisted primarily of records from forest management evidence and forest management plan of selected forest district. Vector layer of forest stands was created from georeferenced forest maps. Analyzed factors were characteristics derived from digital elevation model, soils characteristics, phytosociology characteristics and selected forest stand and tree characteristics. For evaluation of mentioned factors was used nonparametric one-way analysis of variance (Kruskal-Wallis test). Variable compared on individual factor levels was share between spruce wind disaster volume in forest stand and spruce volume in forest stand in the beginning of validity of forest management plan. Main result of analysis was identification of significant factors and creating homogenous groups of factors levels from wind disasters angle. With using obtained information about factors we were able to create classification system for identification permanent and temporary endangered areas by wind. In conclusion, paper presents possibilities for taking advantage of gained information in forest management.