



VZÁJOMNÉ VZŤAHY UMELEJ A PRIRODZENEJ OBNOVY LESA NA KALAMITISKU VO VYSOKÝCH TATRÁCH PO ŠTYROCH ROKOCH OD ZNÁMEJ VETERNEJ SMRŠTE

ĽUBICA ŠMELKOVÁ¹⁾, ŠTEFAN ŠMELKO²⁾

¹⁾Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen

²⁾Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22,
SK – 960 92 Zvolen, e-mail: smelkovci@gmail.com

ŠMELKOVÁ Ľ., ŠMELKO Š., 2011: Relationships between artificial and natural regeneration of forest growing on wind-throw area in High Tatras four years since the wind storm. Lesn. Čas. – Forestry Journal, 57(4): 269 – 277, 10 fig., 2 tab. 6, ref. 5. ISSN 0323 – 1046. Original paper.

The paper refers to the first information about the process of revitalization of forest ecosystem based on data acquired during monitoring of forest ecosystems in High Tatras, established four years after the huge wind storms by National Forest Centre. The sample plots were established over the whole territory of High Tatras in the grid of 500 × 500 m. It assesses the relationship between artificial and natural forest regeneration on the wind-throw area. Attention focuses on three variables – number of tree species and number and spacing of individuals for the same (87) plots. Relationships between them for both regenerations are quantified in two ways – regression and correlation analysis and special index. The results confirm that natural regeneration is very successful and that its relations to artificial regeneration are quite variable and little tight. Generally -, the higher number of natural regeneration, the less number of artificial regeneration and vice versa.

Key words: windthrow area of High Tatras (Slovakia), artificial and natural regeneration, relationships, number of tree species, number and spacing of individuals

Príspevok nadväzuje na prvé údaje o priebehu revitalizácie lesného ekosystému vo Vysokých Tatrách, ktoré po štyroch rokoch od známej veternej smršte získalo Národné lesnícke centrum realizáciou výberového monitoringu na skusných plochách v sieti 500 × 500 m. Hodnotí sa vzťah umelej a prirodzenej obnovy lesa na kalamitisku. Pozornosť sa sústreďuje na tri veličiny – počet drevín a počet jedincov a ich spon na tých istých (87) skusných plochách. Vzájomné vzťahy medzi nimi v umelej a prirodzenej obnove sa kvantifikujú dvojako – regresnou a korelačnou analýzou a špeciálnym indexom. Výsledky potvrdzujú, že prirodzená obnova na kalamitisku je veľmi úspešná a že jej vzťahy k umelej obnove sú dosť premenlivé a málo tesné. Všeobecne platí, že ak je prirodzenej obnovy veľa, umelej obnovy je menej a naopak.

Kľúčové slová: kalamitisko Vysoké Tatry (Slovensko), umelá a prirodzená obnova, vzájomné vzťahy, počet drevín, počet a spon jedincov

1. Problematika

V novembri 2004 zasiahla viaceré oblasti Slovenska silná veterná smršť a v najväčšom národnom parku „TANAP“ rozvrátila viac ako 12 tisíc hektárov lesných porastov. Svojou intenzitou a rozsahom vzbudila záujem nielen domácej, ale aj zahraničnej odbornej i laickej verejnosti. Na revitalizáciu dotknutých lesov bol širokým kolektívom špecialistov z odborných, vedeckých

a akademických pracovísk vypracovaný projekt (JANKOVIČ *et al.* 2007), ktorý obsahuje súbor opatrení na obnovenie stabilného lesného ekosystému. Odporúča využívať prírodné procesy, sukcesný vývoj a prirodzenú obnovu, ale na veľkej časti postihnutého územia aj umelú obnovu s autochtónnymi drevinami vyhovujúcimi súčasným podmienkam ako aj podmienkam vyplývajúcim z očakávanej klimateckej zmeny. Štátne lesy TANAP-u

v týchto intenciách vykonali rozsiahle zalesňovacie práce (MARHEFKA 2009). Aplikovala sa sejba aj sadba a bol v nej zastúpený široký sortiment drevín (smrek, jedľa, borovica, smrekovec, javor horský, jaseň, brest, jelša, jarabina, lipa). V maximálnej miere sa pritom využila a následnými pestovnými opatreniami podporila existujúca prirodzená obnova a prítomnosť prípravných drevín. V roku 2007 – 2008 Národné lesnícke centrum za účelom priebežného sledovania obnovy tatranského lesa založilo výberový monitorovací systém (KULLA *et al.* 2007). To umožnilo získať prvé výsledky o stave a postupnej rekonštrukcii dotknutého lesného ekosystému 3 – 4 roky po kalamite. Údaje získané monitoringom sa priebežne zhodnocujú. ŠEBEŇ *et al.* (2008) podali komplexnú charakteristiku stavu lesa na založenej terestrickej monitorovacej sieti na kalamitisku i na okolitom kalamitou nepoškodenom území. ŠMELKOVÁ a JANKOVIČ (2009) urobili rozbor parametrov umelej obnovy na kalamitisku a v nasledujúcej práci (JANKOVIČ, ŠMELKOVÁ 2011) porovnali charakteristiky umelej a prirodzenej obnovy lesa na kalamitnom a nekalamitnom území. Okrem toho vznikli aj ďalšie zaujímavé publikácie o revitalizácii tatranského lesa.

V predkladanom príspevku sa zameriame na vzájomné vzťahy medzi jedincami umelej a prirodzenej obnovy lesa na kalamitisku. Tie veľmi úzko súvisia s kompetíciou, pod ktorou sa v odbornej ekologickej literatúre rozumie vo všeobecnosti vzájomná konkurencia (súťaživosť) druhov a ich jedincov v ekosystéme. Vyplýva z toho, že druhy a jedinci čerpajú látky potrebné pre svoj život z rovnakých zdrojov, uplatňujú rovnaké nároky na živiny a životný priestor, čiže majú podobné ekologické požiadavky. Výsledkom je sieť vzájomných väzieb, ktoré môžu byť neutrálne, kladné alebo záporné. Vo vznikajúcich ekosystémoch – akým je aj obnovovaný les na kalamitisku – prevládajú zväčša silné záporné vzťahy, avšak v priebehu ďalšieho vývoja sa záporné interakcie vytrácajú v prospech kladných (BARNES *et al.* 1998, Bioweb a i.). V lesných ekosystémoch sa prejavujú v dvoch známych procesoch – v autoregulácii (prirodzenom samozriedovaní), ktorá vedie k zmenšovaniu počtu jedincov a v diferenciacii vitality a výškového rastu, ktorá vedie k vytváraniu vývojových fáz (náletu, nárastu a mladiny) budúceho lesného porastu. Obidva procesy a možnosti ich zámerného ovplyvňovania pestovnými opatreniami sú veľmi dobre opísané v učebniciach pestovania lesa (napr. KORPEL 1991). Okrem toho kompetícia je aj predmetom výskumu, pričom vzájomné vzťahy medzi druhmi a jedincami drevín sa vyjadrujú kompetičnými indexmi. Skoncipované sú rôznym spôsobom. Najčastejšie berú do úvahy vplyv korún konkurujúcich susedných jedincov, ich výšku a vzdialenosť od jedinca, na ktorého vplyvajú. Podrobnejšie túto problematiku rozoberá v osobitnej štúdií SANIGA (1992) a aj sám navrhuje matematickú formulu pre tzv. výškový kompetičný index a používa ho na skúmanie kompetície v smrekovo-

-bukových a smrekovcovo-bukových porastoch v rastovej fáze mladín.

Aby sme získali poznatky o tomto fenoméne pri obnove lesa na kalamitisku vo Vysokých Tatrách a prispeli aj k metodike jeho kvantifikácie, budeme vzájomné vzťahy umelej a prirodzenej obnovy skúmať pomocou troch veličín, ktoré sú k dispozícii z vykonaného monitoringu – počtu drevín, počtu jedincov obnovy a ich sponu. Na biometrickú kvantifikáciu a posúdenie vzťahov zavedieme nové číselné ukazovatele – koreláciu a regresiu medzi uvedenými veličinami a špeciálny index.

2. Podkladový materiál a použité metodické postupy

Podkladový materiál pochádza z výberového terestrického monitoringu lesa vo Vysokých Tatrách v sieti 500 × 500 m, ktorý pripravil a realizoval kolektív špecialistov NLC v r. 2007 – 2008. Na kalamitnom území TANAP-u bolo založených 368 monitorovacích plôch (MP), každá reprezentovala 25 ha lesa. Predmetom zisťovania bol veľký počet znakov a veličín charakterizujúcich všetky podstatné znaky ekosystému. Obnova lesa sa posudzovala na satelitoch – štyroch kruhových skusných plochách založených okolo spoločného bodu v smere S, V, J, Z vo vzdialenosti 8 m, pričom polomer kruhov r sa optimalizoval tak, že pre prirodzenú obnovu bol premenlivý $r = 1, 2$ alebo 3 m podľa hustoty jedincov, pre umelú obnovu bol konštantný $r = 3$ m. Celková výmera satelitu (štyroch kruhov spolu) bola pri prirodzenej obnove 12,56 až 113,04 m² a pri umelej obnove 113,04 m². Na každom jedinci (nachádzajúcim sa v kruhu) sa zistil druh dreviny, pôvod (umelý, prirodzený), poškodenie a vitalita, pri prirodzenej obnove aj vývojová fáza (rastový stupeň): RS1 – nálet s výškou do 50 cm, RS2 – nárast s výškou 50 – 130 cm a RS3 – mladina s výškou nad 130 cm. Podrobnosti sú uvedené v metodike terénneho zberu údajov (KULLA *et al.* 2007).

Z celkového počtu založených monitorovacích plôch sme pre našu štúdiu vybrali iba tie, na ktorých sa nachádzala umelá aj prirodzená obnova, ich počet bol 87. Získané údaje na nich sme spracovali a zovšeobecnilí podľa biometrického postupu, ktorý navrhol ŠMELKO (2009). Keďže inventarizačné plochy boli rozmiestnené po území systematicky, satelity sa považovali za jednu spoločnú výberovú jednotku. Preto sa z údajov o jedincoch obnovy na kruhoch v rámci každého satelitu najprv určili priemerné hodnoty prepočítané na 1 ha a potom sa z nich odvodili príslušné štatistické charakteristiky pre celý súbor satelitov (pri kvantitatívnych veličinách aritmetický priemer \bar{y} , smerodajná odchýlka s_y , variačný koeficient $s_y\%$ a stredná výberová chyba priemeru s_y , $s_y\%$, pri kvalitatívnych znakoch relatívne podiely $p\%$ a ich stredné výberové chyby $s_p\%$, tie sa pre podrobnejšiu analýzu doplnili aj ďalšími údajmi – minimálnou a maximálnou hodnotou, mediánom, častotou výskytu danej kategórie obnovy $n\%$). To umožnilo všetky skúmané veličiny a znaky charakterizovať intervalom spoľahlivosti

$$\bar{y} \pm S_y \quad \text{a} \quad p\% \pm S_p\% \quad [1]$$

Interval je mierou presnosti výberového výsledku. Vymedzuje rámec, v ktorom sa so 68%-nou pravdepodobnosťou nachádza skutočná priemerná hodnota danej veličiny alebo znaku na celom monitorovanom území. Na grafoch je znázornený tzv. chybovými úsečkami. Okrem toho veľmi uľahčuje vzájomné porovnávanie výsledkov na princípe zjednodušeného štatistického testu, podľa ktorého sa priemerné údaje \bar{y} , resp. $p\%$ môžu považovať s 95%-nou spoľahlivosťou za rozdielne iba vtedy, ak diferenciacia je väčšia ako dvojnásobná šírka intervalu, resp. chybovej úsečky porovnáwanej veličiny.

Pre číselné vyjadrenie a posúdenie vzájomných vzťahov obnovy sa použili špeciálne postupy, ktoré budú opísané v nasledujúcich statiach.

3. Základné parametre umelej a prirodzenej obnovy na kalamitisku

Východiskom pre posúdenie kompetičných vzťahov sú údaje, ktoré charakterizujú zvolené veličiny – drevinová skladba, počet drevín, počet jedincov a spon jedincov umelej a prirodzenej obnovy na jednotlivých monitorovacích plochách i na celom kalamitnom území. Prezentačný ich tabuľka 1 a obrázky 1 – 4. Vyplývajú z nich viaceré zaujímavé skutočnosti:

- **Drevinová skladba** v umelej obnove (UO) aj v prirodzenej obnove (PO) je pomerne pestrá. Zastúpenie jednotlivých drevín (ZDr%, tab. 1), ktoré je určené dvojako – a) z počtu jedincov príslušnej kategórie obnovy a b) z počtu jedincov celkovej obnovy, je veľmi rozdielne. Umelá obnova tvorí iba 8,6 % z celkovej obnovy a prevládajú v nej ihličnany (SM,

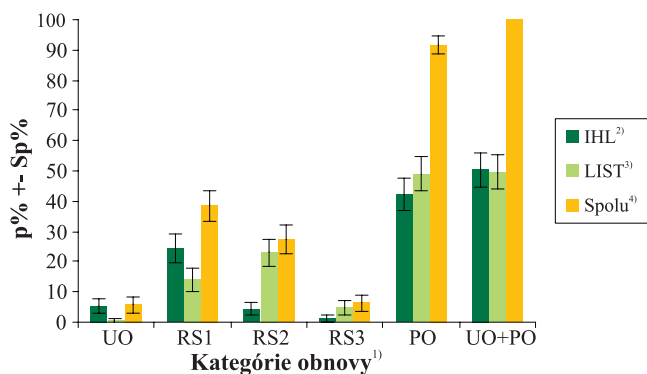
Tabuľka 1. Zastúpenie drevín v umelej (UO) a prirodzenej (PO) obnove a v jej rastových stupňoch (RS1, RS2, RS3) vyjadrené v percentách z celkového počtu jedincov a) v príslušnej kategórii obnovy, b) v celkovej obnove na tých istých ($n = 87$) monitorovacích plochách

Table 1. Tree species composition for the artificial (UO) and natural (PO) regeneration and its growth stages (R1, R2, R3) calculated in % according to the total number of individuals a) in the given category, b) in the total regeneration on the same ($n = 87$) monitoring plots

Dre- viny ¹⁾	UO			RS1			RS2			RS3			PO		U+P
	n%	a)	b)	n%	a)	b)	n%	a)	b)	n%	a)	b)	a)	b)	b)
SM ²⁾	36	33,5	2,9	72	56,5	32,6	33	14,7	4,0	23	19,0	1,2	41,4	37,9	40,7
JD ³⁾	16	12,3	1,1	10	4,6	2,6	3	0,2	0,1	3	1,1	0,1	3,0	2,8	3,8
BO ⁴⁾	42	20,4	1,7	9	1,8	1,0	1	0,2	0,0	2	1,1	0,1	1,2	1,1	2,9
SC ⁵⁾	41	25,5	2,2	5	0,5	0,3	5	0,9	0,3	1	0,4	0,0	0,6	0,6	2,8
BČ ⁶⁾	1	1,0	0,1												0,1
LB ⁷⁾	1	0,7	0,1												0,1
IHL ⁸⁾		93,3	8,0		63,3	36,6		16,1	4,4		21,6	1,4	46,3	42,4	50,3
BK ⁹⁾										1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
BR ¹⁰⁾	1	1,2	0,1	30	5,8	3,4	30	29,9	5,7	18	25,9	1,6	11,7	10,7	10,8
JB ¹¹⁾	2	0,4	0,0	51	15,2	8,8	57	46,2	12,6	23	30,0	1,9	25,5	23,3	23,3
JH ¹²⁾	10	4,8	0,4	6	0,2	0,1	7	1,1	0,3	3	0,6	0,0	0,5	0,5	0,9
JL ¹³⁾	1	0,1	0,0				1	0,1	0,0	1	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1
JS ¹⁴⁾	1	0,1	0,0	1	4,3	2,5	2	1,8	0,5				3,3	3,0	3,0
JX ¹⁵⁾				5	1,0	0,6	7	1,8	0,5	8	7,4	0,5	1,7	1,6	1,6
LM ¹⁶⁾				1	0,0	0,0							0,0	0,0	0,0
OS ¹⁷⁾				8	2,0	1,1	5	1,6	0,4	6	6,7	0,4	2,2	2,0	2,0
VB ¹⁸⁾							1	0,1	0,0				0,0	0,0	0,0
VR ¹⁹⁾				38	8,0	4,6	33	10,0	2,7	9	7,2	0,5	8,6	7,8	7,8
TP ²⁰⁾							2	0,3	0,1	1	0,4	0,0	0,1	0,1	0,1
LIST ²¹⁾		6,7	0,6		36,6	21,2		83,9	23,0		78,4	5,0	53,7	49,1	49,7
Σ		100	8,6		100	57,7		100	27,4		100	6,3	100	91,4	100

Vysvetlivky – Explanatory notes: n% – relatívny počet monitorovacích plôch na ktorých sa drevo vyskytlo – Frequency of monitoring plots with occurrence of the tree species; hodnota 0,00 označuje zastúpenie menšie ako 0,05 % – The value 0.00 marks that the composition is less than 0.05%.

¹⁾Tree species, ²⁾Picea abies, ³⁾Abies alba, ⁴⁾Pinus sylvestris, ⁵⁾Larix decidua, ⁶⁾Pinus nigra, ⁷⁾Pinus cembra, ⁸⁾Coniferous, ⁹⁾Fagus sylvatica, ¹⁰⁾Betula pendula, ¹¹⁾Sorbus aucuparia, ¹²⁾Acer pseudoplatanus, ¹³⁾Alnus glutinosa, ¹⁵⁾Alnus incana, ¹⁶⁾Tilia cordata, ¹⁷⁾Populus tremula, ¹⁸⁾Salix alba, ¹⁹⁾Salix caprea, ²⁰⁾Padus avium, ²¹⁾Broadleaves



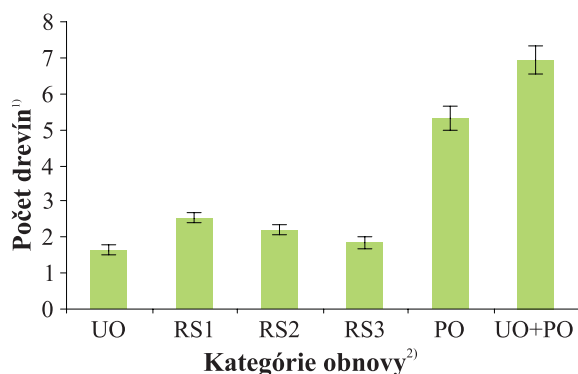
Obr. 1. Zastúpenie ($p\% \pm Sp\%$) ihličnatých (IHL) a listnatých (LIST) drevín v kategóriách obnovy (UO, PO, RS1, RS2, RS3)

Fig. 1. Composition ($p\% \pm Sp\%$) of coniferous (IHL) and broadleaved tree species (LIST) in regeneration categories (UO – artificial regeneration AR, PO – natural regeneration NR, RS – growth stages GS)

¹⁾Regeneration categories, ²⁾Conifers, ³⁾Broadleaf, ⁴⁾Together

BO, SC – 93 %). Zdôrazniť treba, že podiely hospodárskych drevín v UO sa celkom dobre približujú k cieľovej skladbe, ktorá bola naplánovaná podľa typologického prieskumu pre výslednú rekonštrukciu kalamitného lesa a je nasledovná: smrek 42 %, jedľa 20 %, borovica 7 %, smrekovec 15 %, javor a jaseň 10 % a ostatné listnáče 6 %. Prirodzenej obnovy je až 91,4 % a prevahu majú okrem smreka (38 %) najmä prípravné listnaté dreviny (jarabina, breza, rakyta, osika – 49 %). O tom ako sa na celkovej obnove lesa podieľajú ihličnaté a listnaté dreviny v sledovaných kategóriách obnovy vrátane rastových stupňov RS1 – nálet, RS2 – nárast a RS3 – mladina informuje obrázok 1. Podotknúť treba, že zistené zastúpenie sa týka len tých monitorovacích plôch, na ktorých sa príslušná drevina v UO a PO vyskytla. Počet takých plôch bol rozdielny a v UO kolísal od 37 po 1, v PO od 63 po 1. Z celkového počtu monitorovacích plôch (87) to relatívne predstavuje 42 až 1 %, resp. 72 až 1 %. Pre jednotlivé dreviny je uvedený v tabuľke 1, v stĺpci označenom ako n%. Táto skutočnosť spôsobila, že pri skúmaní vzťahov medzi UO a PO nebolo možné vytvoriť párové dvojice hodnôt pre každú vyskytujúcu sa drevinu a preto sa skúmanie vykonalo pre všetky druhy drevín spoločne. Uvedený stav súvisí s tým, že umelá obnova sa v zmysle revitalizačného projektu nevykonávala na kalamitisku celoplošne, ale cielene s prihliadnutím na lokálne podmienky (existenciu prirodzeného zmladenia a prípravných drevín) a že sa realizovala v skupinách so zámerom vytvoriť mozaikovitú štruktúru budúceho lesa.

- **Počet drevín (PDr)** na rôznych miestach po kalamitisku (na monitorovacích plochách) kolíše v celkovej obnove od 2 po 19, v UO od 1 po 11 a v PO od 1 do 14, takže vykazuje veľmi veľkú variabilitu.



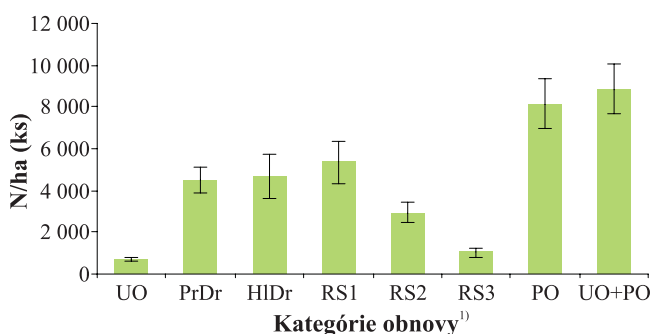
Obr. 2. Počet drevín v kategóriách obnovy (UO, RS1 – 3, PO)

Fig. 2. Number of tree species in the regeneration categories (UO = AR, PO = NR, RS1 – 3 = growth stages)

¹⁾Tree species number, ²⁾Regeneration categories

Variačný koeficient $s_{PDr}\%$ v uvedených kategóriách obnovy je 51, 80 a 62 %. V jednotlivých rastových stupňoch (RS1 – nálet, RS2 – nárast, RS3 – mladina) je rozpätie vyskytujúcich sa drevín menšie (1 až 6). Ich priemerné hodnoty a chybové úsečky umožňujú porovnať obrázok 2.

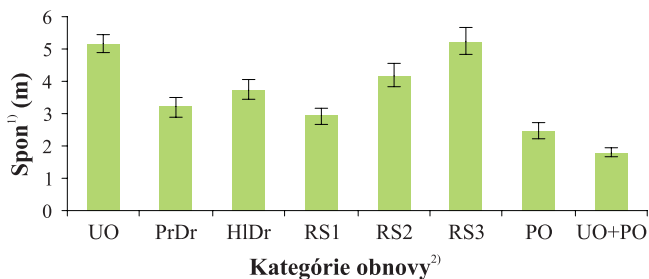
- **Počet jedincov ($N \cdot ha^{-1}$)** je v UO a PO podstatne rozdielny, čo je celkom prirodzené a zodpovedá očakávaniu. Veľké rozdiely sú aj v jednotlivých zložkách PO – v prípravných a hlavných drevinách a v rastových stupňoch, o čom informuje obrázok 3. Aj variabilita $N \cdot ha^{-1}$ na rôznych miestach po kalamitisku je pomerne veľká, najmenšia je v UO (94 %), najväčšia pri hlavných drevinách PO (200 %), v ostatných kategóriách PO sa pohybuje na úrovni 120 až 170 %.
- **Spon jedincov (S)** súvisí s počtom jedincov, preto má opačnú tendenciu ako $N \cdot ha^{-1}$. Najväčší je pri UO



Obr. 3. Počet jedincov (N/ha) v kategóriách obnovy (UO, PrDr, HIDr – prípr. a hlavné dreviny, RS1 – 3, PO)

Fig. 3. Number of individuals per hectare (N/ha) in regeneration categories (UO = AR, PO = NR, RS = growth stages, PrDr = pionner species, HIDr = main species)

¹⁾Regeneration categories



Obr. 4. Spon jedincov (v metroch) v kategóriách obnovy (symboly ako v obr. 3)

Fig. 4. Spacing of individuals (in meters) in regeneration categories (symbols as in the fig. 3)

a svojou priemernou hodnotou sa vyrovná sponu v RS3, oveľa menší je v RS1 a v celkovej PO – pozri obrázok 4. Zaujímavé je, že relatívna variabilita sponov $s_s\%$ je podstatne menšia a dosahuje zhruba iba polovicu z variability $N\cdot ha^{-1}$.

- Dôležitou informáciou je skutočnosť, že **uvedené zložky obnovy nemajú rovnakú časť výskytu n%**. Kým umelá obnova a prirodzená obnova sa nachádza na všetkých $n = 87$ monitorovacích plochách (ich $n\% = 100\%$), prípravné a hlavné dreviny majú $n\% = 91$ a 87% a RS1 – RS2 – RS3 majú $n\% = 94 - 87 - 54\%$.

4. Vzájomné vzťahy medzi parametrami umelej a prirodzenej obnovy na monitorovacích plochách

Prvý spôsob, ktorým sme preskúmali vzťahy medzi UO a PO bolo vyjadrenie závislosti zvoleného znaku (počtu drevín, počtu jedincov a sponu) týkajúceho sa jedincov prirodzenej obnovy Y_{PO} od toho istého znaku týkajúceho sa jedincov umelej obnovy Y_{UO} na monitorovacích plochách pomocou vhodnej regresnej funkcie

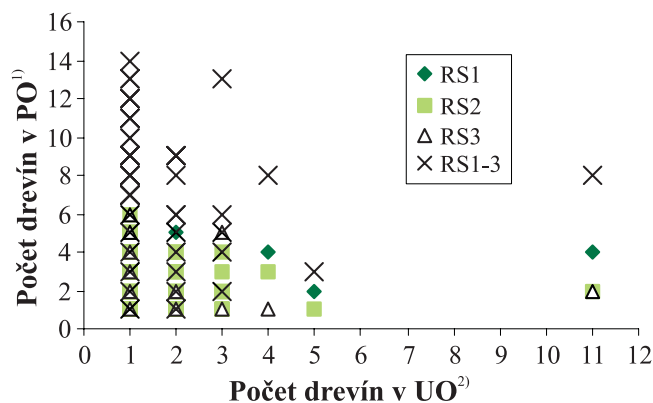
$$Y_{PO} = f(Y_{UO}) \quad [2]$$

a odmeranie tesnosti tejto závislosti koeficientom determinácie $R_{PO,UO}^2$. To umožní zistiť ako sa mení znak PO so zmenou znaku UO, aký je tvar (tendencia) tejto zmeny a aký tesný je tento vzájomný vzťah. Ak sa zistená miera korelácie $R_{PO,UO}^2$ porovná s kritickou hodnotou $R_{0,05}^2$ zodpovedajúcou príslušnému počtu monitorovacích plôch (n), dá sa preveriť, či vzťah je skutočný, štatisticky významný na úrovni 95%-nej spoľahlivosti (ak $R_{PO,UO}^2 > R_{0,05}^2$), alebo iba náhodný (ak $R_{PO,UO}^2 < R_{0,05}^2$).

Pre náš súbor monitorovacích plôch na tatranskom kalamitisku sme získali výsledky uvedené na obrázkoch 5 až 7. Spracované sú tak, aby sa dali analyzovať vzťahy medzi UO a PO jednak vcelku, jednak osobitne pre homogénnejšie kategórie prirodzenej obnovy – rastové stupne. Logicky sa dajú očakávať silnejšie vzťahy medzi veličinami UO a veličinami RS1 a RS2, pretože jedince

z umelého zalesňovania by sa svojimi rozmermi a biologickými vlastnosťami mali najviac približovať náletu (do výšky 50cm) a nárastu (s výškou 50 – 130cm). V skutočnosti je situácia pomerne zložitá a vyplývajú z nej tieto poznatky:

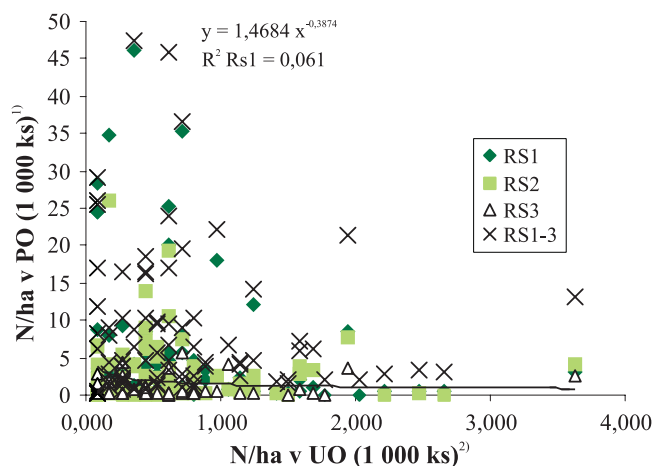
- Vo všetkých vzťahoch prevláda mimoriadne veľká variabilita párových hodnôt veličín UO a PO. Pri počte drevín, počte a sponu jedincov badať však určitú zákonitosť, že so zväčšovaním veličiny UO veličina PO mierne klesá. To znamená, že ak je prirodzenej obnovy veľa, umelej obnovy je menej a naopak.
- Vzťahy $PO = f(UO)$ sú krivočiare, vhodnou vyrovnávacou funkciou bola logaritmická alebo mocninová funkcia, ale tesnosť korelácie bola väčšinou slabá.



Obr. 5. Závislosť počtu drevín v prirodzenej (PO) a umelej (UO) obnove podľa rastových stupňov (RS)

Fig. 5. Relationship of the number of tree species in natural (NR) and artificial (AR) regeneration according to the growth stages (RS)

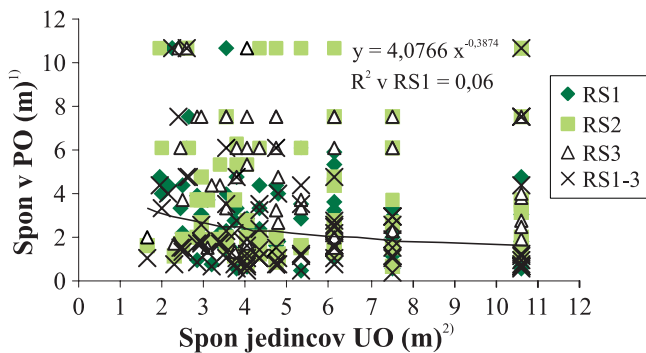
¹⁾Species number in NR, ²⁾Species number in AR



Obr. 6. Závislosť počtu jedincov (N/ha) v prirodzenej (PO) a umelej (UO) obnove podľa rastových stupňov (RS)

Fig. 6. Relationship of the number of individuals (N/ha) in natural (NR) and artificial (AR) regeneration according to the growth stages (RS)

¹⁾N/ha in NR, ²⁾N/ha in AR (1000 p)



Obr. 7. Závislosť sponu jedincov (m) v prirodzenej (PO) a umelej (UO) obnove podľa rastových stupňov (RS)

Fig. 7. Relationship of spacing (m) in natural (NR) and artificial (AR) regeneration according to the growth stages (RS)

¹⁾Spacing in NR, ²⁾Spacing in AR

Kritická hodnota indexu determinácie $R_{0,05}^2$ na 95%-nej hladine spoľahlivosti bola pre RS1 – 2 – 3 – spolu nasledovná: 0,0357 – 0,0361 – 0,059 – 0,0324. Viaceré vzťahy ju neprekročili, čiže neboli štatisticky významné, ale iba náhodné. Preto sú v grafoch uvedené vyrovnávacie regresné krivky iba pre štatisticky preukazné prípady.

- Ako vidno, štatisticky potvrdené sú regresné vzťahy $PO = f(UO)$ iba pre dve veličiny – počet jedincov $N \cdot ha^{-1}$ a spon, a to – podľa očakávania – práve v prvom rastovom stupni RS1. Naproti tomu počet drevín vyskytujúcich sa v umelej i prirodzenej obnove na rôznych miestach (monitorovacích plochách) po kalamitisku je natoľko premenlivý, že nevykazuje vzájomnú koreláciu, čo je celkom pochopiteľné.

5. Indexy umelej a prirodzenej obnovy na monitorovacích plochách a na celom kalamitnom území

Druhý spôsob, ktorý sme pri posudzovaní vzájomných vzťahov medzi umelou a prirodzenou obnovou na tatranskom kalamitisku použili boli indexy. Definovali sme ich ako pomer veličiny Y_{PO} prirodzenej obnovy k veličine Y_{UO} umelej obnovy na tých istých monitorovacích plochách (i), čiže vzťahom

$$I_{PO/UO(i)} = \frac{Y_{PO(i)}}{Y_{UO(i)}} = \frac{y_i}{x_i} = R_i \quad [3a]$$

Vzhľadom na to, že veličiny v čitateli aj v menovateli zlomku náhodne kolíšu a môže byť medzi nimi aj korelačná závislosť, priemer indexu zistený výberovým monitoringom na n monitorovacích plochách a jeho strednú chybu je potrebné stanoviť zložitejším spôsobom ako je obvyklé, a to postupom platným pre tzv. „Ratio R“ (COCHRAN 1977, ŠMELKO 2009) podľa týchto vzorcov

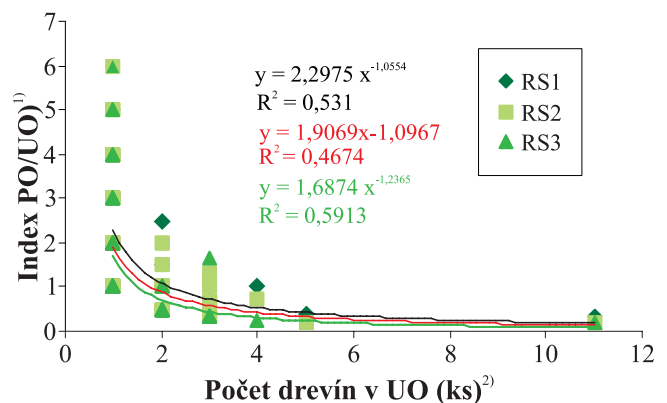
$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \hat{R} \quad [3b]$$

$$S_{\bar{I}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 + \bar{I}^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2\bar{I} \sum_{i=1}^n y_i x_i}{\bar{x}^2 \cdot n \cdot (n-1)}} \quad [3c]$$

Ináč by sa dostali veľmi skreslené informácie o priemernej hodnote i presnosti výsledného indexu. Ak sa vo vzorci [3c] vynechá „n“, získa sa smerodajná odchýlka s_I jednotlivých hodnôt indexu I_i a z nej sa ľahko vypočíta aj príslušný variačný koeficient $s_I\% = s_I / \bar{I} \cdot 100$.

Navrhnutý index má viacero výhod: je relatívnym pomerom PO k UO, udáva koľkokrát je znak PO väčší ako ten istý znak UO, dá sa aplikovať pre jednotlivé lokality (monitorovacie plochy) po posudzovanej ploche i ako priemer pre všetky lokality spolu, umožňuje analyzovať vzťahy lokálnych indexov k ľubovoľnej veličine umelej alebo prirodzenej obnovy a pomocou s_I a $s_I\%$ posudzovať aj priestorovú variabilitu uvedených vzťahov v celom lesnom objekte. Ak sa index navrhnutým spôsobom zistí aj pri opakovaných monitoringoch, umožní sledovať aj vývoj vzájomných vzťahov umelej a prirodzenej obnovy na kalamitisku v dlhšom časovom rade.

Pre $n = 87$ monitorovacích plôch na kalamitisku v TANAP-e sú podľa tejto metodiky odvodené výsledné charakteristiky indexu UO a PO pre počet drevín, počet jedincov a ich spony a zhrnuté sú v tabuľke 2 a v obrázkoch 8 – 10. Poskytujú oveľa viac informácií a poznatkov ako predchádzajúci priamy rozbor vzťahov medzi uvedenými veličinami:



Obr. 8. Index pre počet drevín PO/UO v závislosti od počtu drevín v umelej obnove v rámci RS

Fig. 8. Index for number of species NR/AR in relation to the number of species in artificial regeneration according to the growth stages (RS)

¹⁾Index NR/AR, ²⁾Species number in AR

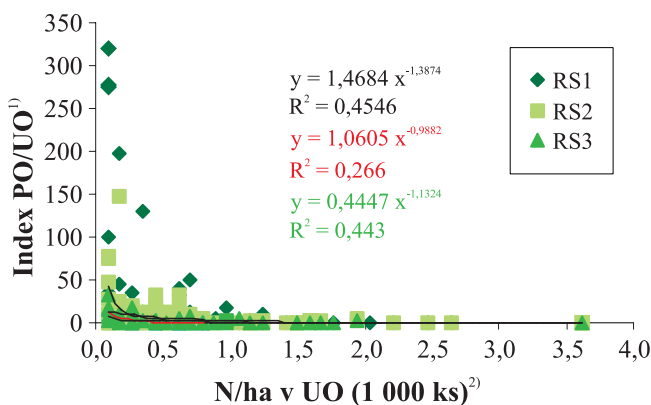
Tabuľka 2. Štatistické charakteristiky hodnôt indexu umelej a prirodzenej obnovy ($I_{PO/UO}$) pre počet drevín, hektárový počet a spon jedincov v kategóriách prirodzenej obnovy (rastových stupňoch, prípravných a hlavných drevinách) na monitorovacích plochách tatranského kalamitiska

Table 2. Statistical characteristics of indexes between artificial and natural regeneration (INR/AR) for number of tree species, number of individuals and spacing in regeneration categories (growth stages, pioneer and main species) on monitoring plots of wind-throw area in High Tatras

Kategória obnovy ¹⁾	Min	Max	Variačný koeficient ²⁾	Priemer ³⁾ „Ratio“	Stredná chyba ⁴⁾	Stredná chyba % ⁵⁾	Medián ⁶⁾
Počet drevín v obnove ⁷⁾							
RS1	0,33	6	92,8	1,45	0,14	9,1	2
RS2	0,18	6	112,1	1,17	0,14	12,0	1
RS3	0,18	6	153,9	0,61	0,10	16,5	1
RS1 – 3	0,50	14	100,5	3,23	0,34	10,8	3
Počet jedincov obnovy N.ha ⁻¹ (1 000ks) ⁸⁾							
Prípravné dreviny ⁹⁾	0,05	108,0	87,6	6,29	0,62	9,8	4,37
Hlavné dreviny ¹⁰⁾	0,04	323,2	141,8	6,61	1,10	16,6	2,00
RS1	0,04	319,1	120,4	7,59	1,01	13,3	3,95
RS2	0,03	147,2	107,2	4,10	0,51	12,3	2,27
RS3	0,05	31,6	95,3	1,44	0,20	13,9	0,71
RS1 – 3	0,04	354,2	97,9	11,48	1,22	10,5	6,50
Spon jedincov obnovy (m) ¹¹⁾							
Prípravné dreviny ⁹⁾	0,10	5,48	110,4	0,56	0,07	11,8	0,47
Hlavné dreviny ¹⁰⁾	0,08	4,79	107,8	0,61	0,07	11,6	0,71
RS1	0,06	4,77	105,2	0,54	0,06	11,3	0,50
RS2	0,08	5,47	98,5	0,71	0,07	10,6	0,66
RS3	0,18	4,47	129,2	0,55	0,08	13,8	1,19
RS1 – 3	0,05	4,79	104,8	0,48	0,05	11,2	0,39

¹⁾Regeneration category, ²⁾Coefficient of variation, ³⁾Average, ⁴⁾Standard error, ⁵⁾Standard error %, ⁶⁾Median, ⁷⁾Number of tree species,

⁸⁾Number of individuals in regeneration N.ha⁻¹ (1 000 p), ¹¹⁾Spacing of individuals in regeneration (m)

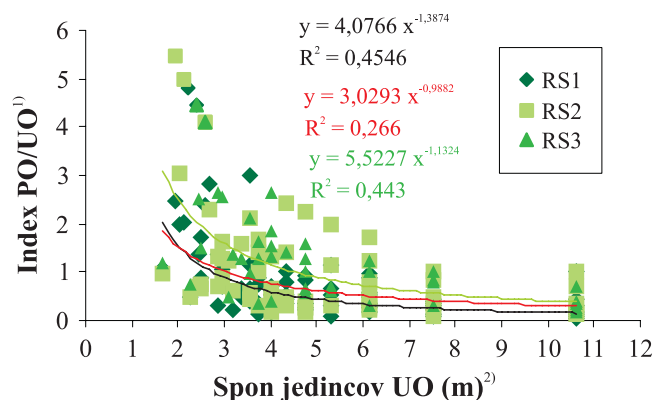


Obr. 9. Index pre počet jedincov PO/UO v závislosti od počtu jedincov N/ha v umelej obnove v rámci RS

Fig. 9. Index for number of individuals NR/AR in relation to the number of individuals N/ha in artificial regeneration according to the growth stages (RS)

¹⁾Index NR/AR, ²⁾SN/ha in AR (1000 p)

- **Počet drevín** je podľa indexu v celej PO v priemere 3,2-krát väčší ako v UO, ale v rámci rastových stupňov je relatívne drevinovo bohatší iba RS1 a RS2 (1,4- a 1,2-krát), v RS3 má naopak index hodnotu podstatne nižšiu, len 0,61.



Obr. 10. Index pre spon jedincov PO/UO v závislosti od sponu jedincov (m) v umelej obnove v rámci RS

Fig. 10. Index for spacing of individuals NR/AR in relation to the spacing (m) in artificial regeneration according to the growth stages (RS)

¹⁾Index NR/AR, ²⁾Spacing in AR

- **Počet jedincov N.ha⁻¹** je v PO 11,5-krát väčší ako v UO, ale v jednotlivých kategóriách – pri prípravných a hlavných drevinách a v RS sa tento násobok (index) postupne znižuje na hodnotu od 7 po 1,4.

- Index pre **spon jedincov** má opačnú tendenciu ako pre $N \cdot ha^{-1}$. Pre celú PO dosahuje v priemere hodnotu 0,5 a v ďalších kategóriách kolíše od 0,5 po 0,7. Spon v PO je teda zhruba 2-krát menší ako v UO. Je to celkom zákonité, pretože obidve veličiny navzájom úzko súvisia a to tak, že čím väčšia je početnosť jedincov, tým je ich spon na tej istej ploche menší.
- Zaujímavé je, že **variabilita hodnôt indexu** po kalamitisku nie je veľmi veľká. Variačný koeficient pre celú PO dosahuje okolo 100 %, v ďalších kategóriách obnovy sa zvyšuje na maximálne 150 %. Je teda zhruba na rovnakej úrovni, alebo len o niečo vyšší ako pri absolútnych hodnotách počtu drevín a počtu i sponu jedincov obnovy. Závisí od toho, ako sa vo vzťahu [3a], ktorý definuje index skombinuje variabilita hodnôt čitateľa Y_{PO} a menovateľa Y_{UO} a tiež od toho, či závislosť medzi nimi je kladná (vtedy sa variabilita indexu zníži) alebo je záporná (vtedy sa variabilita indexu zvýši).
- **Presnosť zistených priemerných hodnôt indexu** vyjadrená strednou relatívnou chybou je s ohľadom na pomerne malý počet hodnotených monitorovacích plôch ($n = 87$) celkom dobrá, pre celú PO ± 11 % a pre jej kategórie ± 9 až 16 %. Keby sa umelá obnova nachádzala rovnomerne po celej ploche kalamitiska, vyskytla by sa na všetkých $n = 368$ monitorovacích plochách a stredná chyba by klesla pomerom $\sqrt{87} / \sqrt{368}$ zhruba na polovicu, presnosť výsledku by bola dvakrát vyššia.
- Pozornosť si zaslúži aj **porovnanie mediánu a priemeru indexov**, ktoré môže poskytnúť veľmi dobré informácie o spôsobe rozdelenia jednotlivých hodnôt indexu po kalamitisku. Pri súmernom rozdelení (približne rovnakom výskyte menších aj väčších hodnôt) by sa medián (prostredná hodnota, od ktorej nadol aj nahor je rovnaký počet hodnôt) mal zhodovať s priemerom. V tabuľke 2 vidno, že vo väčšine prípadov je medián menší ako priemer, čo znamená, že rozdelenie je ľavostranne nesúmerné a že prevahu majú menšie hodnoty indexu.
- Upozorniť treba tiež na skutočnosť, ktorú sme uviedli pri definícii [3a], že **priemer a stredná chyba indexu sa musia počítať podľa modelu [3b, 3c] platného pre „Pomer = Ratio“** a nie ako bežne používaný jednoduchý aritmetický priemer a jeho stredná chyba. Aby sme sa presvedčili aké diferencie môžu vzniknúť pri nerešpektovaní tohto pravidla, vyčíslili sme pre niektoré naše indexy výsledné štatistické charakteristiky obidvomi spôsobmi. Výsledok pre 68%-ný interval spoľahlivosti podľa modelu „Ratio“ a „Aritmetický priemer“ je nasledovný a rozdiely sú skutočne veľké a nezanedbateľné:

68% IS pre index	Počet drevín	Počet jedincov $N \cdot ha^{-1}$	Spon
Metóda „Ratio“	3,23 \pm 0,34	11,48 \pm 1,22	0,48 \pm 0,05
Metóda „Ar.pr.“	4,27 \pm 0,37	32,48 \pm 7,54	0,63 \pm 0,09

6. Diskusia

Získané poznatky o vzájomných vzťahoch umelej a prirodzenej obnovy lesa na kalamitisku vo Vysokých Tatrách sú prvé tohto druhu na danom území a súčasne znamenajú aj nový metodický prístup k skúmaniu tohto fenoménu. Zavedenie dvoch biometrických ukazovateľov – regresných vzťahov a indexov umožnilo objektívne kvantifikovať súvislosti medzi drevinovou skladbou a hustotou jedincov v umelej a prirodzenej obnove. Doteraz sa tieto vzťahy zvyčajne hodnotili iba slovným opisom. Za originálny možno považovať aj spôsob získania podkladového materiálu. Výberový monitoring uskutočnený štyri roky po kalamite na kalamitnom i okolitom nekalamitnom území v TANAP-e je svojim rozsahom a metodikou jedinečný. Okrem jedného prípadu v lesnej prírodnej rezervácii Rorwald vo Švajčiarsku (REICH, LÄSSIG, WOHLGEMUTH 2010) nebol podobným spôsobom uplatnený nikde v Európe, napriek rozsiahlym veľkoplošným kalamitám, ktoré sa tu vyskytli (napr. na Šumave v Českej republike, v Bavorskom lese v Nemecku a p.). Rozmiestnenie skusných plôch po celom kalamitisku umožnilo preskúmať nielen vzťahy medzi umelou a prirodzenou obnovou na rôznych miestach, ale získal informácie aj o ich priestorovej variabilite a stanovil tiež výpovednú hodnotu (rámec presnosti) pre všetky výsledné charakteristiky. Takéto možnosti chýbajú pri skúmaní procesov obnovy na ojedinelých výskumných plochách alebo tranzektoch, ktoré sa bežne v lesníctve používajú. Preto je potrebné upozorniť na to, aby sa tento veľkoplošný prístup k skúmaniu vzťahov medzi umelou a prirodzenou obnovou zohľadnil aj pri interpretácii predkladaných výsledkov, ktoré sú priemerom za všetky hodnotené skusné plochy na kalamitisku a aby sa nezamieňal s poznatkami získanými na jednotlivých lokalitách.

7. Závěry a odporúčania

Vykonaná analýza vzťahov medzi umelou a prirodzenou obnovou lesa na tatranskom kalamitisku po prvých štyroch rokoch intenzívneho úsilia o revitalizáciu lesného ekosystému v postihnutej oblasti umožňuje konštatovať nasledovné:

- Prirodzená obnova na kalamitisku je veľmi úspešná a umelú obnovu predstihuje v bohatosti drevín trojnásobne a v počte jedincov jedenásťnásobne. Pri sponu jedincov je tendencia pochopiteľne opačná – ten je v umelej obnove 2-krát väčší ako v prirodzenej obnove.

- Vzťahy medzi uvedenými veličinami umelej a prirodzenej obnovy na tých istých lokalitách (skusných plochách) vykazujú veľkú variabilitu a sú všeobecne málo tesné (obr. 5 – 7). Lepšia korelácia sa vyskytuje iba pri počte jedincov a ich sponu v prvom rastovom stupni (vo výškovej kategórii do 50 cm).
- Navrhnutý index [3a], ktorý relativizuje vzťah prirodzenej obnovy k umelej obnove poskytuje viac informácií a väčšiu jednoznačnosť zákonitostí ako jednoduchá regresia medzi absolútnymi hodnotami porovnávaných veličín. S rastom počtu drevín, počtu jedincov a veľkosti sponu umelej obnovy index krivochiaro klesá a koeficient determinácie $R^2 = 0,27$ až $0,59$ (obr. 8 – 10). Keďže index je relatívny pomer, v ktorom čitateľ i menovateľ náhodne kolíšu, dôležitá je jeho priemer a stredná chyba za súbor skusných plôch vypočítaná podľa vzorcov [3b, 3c], lebo ináč vznikne veľké skreslenie skutočnosti. Rovnaký spôsob výpočtu strednej hodnoty a jej strednej chyby by sa mal aplikovať aj pri ďalších často sa vyskytujúcich relatívnych pomeroch a percentách, keď sa tieto vzťahujú na rozdielny základ (napr. zastúpenie drevín porastov rôznej výmery, podiel poškodených stromov na pokusných plochách alebo v porastoch s rozdielnym celkovým počtom stromov a p.).
- Prezentované výsledky charakterizujú vzťah umelej a prirodzenej obnovy jednak vcelku, jednak pre jednotlivé homogénne kategórie prirodzenej obnovy (rastové stupne, hlavné a prípravné dreviny) po štyroch rokoch od vzniku kalamitiska. K všetkým sú pripojené aj miery variability a presnosti (tab. 2), takže sú vytvorené predpoklady na ich priebežné porovnanie aj s výsledkami, ktoré sa získajú pri následných opakovaných monitoringoch, a to na princípe objektívneho štatistického testu. Potom bude možné objektívne zistiť aj to, ako sa vzájomné vzťahy medzi jedincami umelej a prirodzenej obnovy prejavujú v zmene bohatosti drevín a hustoty jedincov a tiež v ich prechode do vyšších rastových stupňov počas ďalšieho vývoja lesa na tatranskom kalamitisku. Zistené zmeny už bude možné považovať aj za prejav konkurencie medzi zložkami umelej a prirodzenej obnovy.

Podakovanie

V príspevku sa využila databáza získaná terestrickým výberovým monitoringom lesa v roku 2007 – 2008 na vybranom území v TANAP-e. Autori ďakujú za jej poskytnutie všetkým členom kolektívu NLC vo Zvolene, ktorí sa na monitoringu zúčastnili.

Citovaná literatúra

- BARNES V. B., ZAK R. D., DENTON R. S., SPURR H. S., 1998: Forest Ecology. 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., USA, 774 pp.
- BIOWEB [on-line]. Dostupné na internete: <<http://www.bioweb.genезis.eu/>>.
- COCHRAN W. G., 1977: Sampling techniques. Wiley, New York, 428 pp.
- JANKOVIČ J. *et al.*, 2007: Projekt revitalizácie lesných ekosystémov na území Vysokých Tatier postihnutom kalamitou dňa 19. 11. 2004. Zvolen: NLC, 75 s.

- JANKOVIČ J., ŠMELKOVÁ L., 2011: Porovnanie stavu obnovy lesa vo Vysokých Tatrách na kalamitou poškodenom a nepoškodenom území. Journal of Forest Science (v tlači).
- KORPEL Š. *et al.*, 1991: Pestovanie lesa. Bratislava: Príroda, 472 s.
- KULLA L., ŠMELKO Š., ŠEBEŇ V., RIZMAN I., JANKOVIČ J., 2007: Monitoring poškodených lesných ekosystémov Vysoké Tatry. Metodika terénneho zberu údajov. Zvolen: NLC, 42 s.
- MARHEFKA J., 2009: Výkony a úlohy v obnove lesa po vetrovej kalamite v ŠL TANAP-u. Pracovný materiál, ŠL TANAP-u, 5 s.
- REICH T., LÄSSIG R., WOHGEMUTH T., 2010: Waldentwicklung nach Windwurf im Waldreservat Rorwald, Kanton Obwalden. Birmesdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 42 pp. (pdf).
- SANIGA M., 1992: Kompetičné vzťahy v smrekovo-bukových a smrekovcovobukových porastoch v rastovej fáze mladín. Vedecké a pedagogické aktuality, 3, Zvolen: ES TU vo Zvolene, 52 s.
- ŠEBEŇ V., JANKOVIČ J., KULLA L., BOŠEĽA M., 2008: Stav lesa po vetrovej kalamite zistený z terestrickej monitorovacej siete na sledovanie jeho vývoja. In: FLEISCHER P., MATEJKA F. (eds.), 2008: Pokalamitný výskum v TANAP-e, zborník príspevkov, s. 1-12.
- ŠMELKO Š., 2009: Metodika biometrického spracovania údajov získaných v rámci monitoringu poškodených lesných ekosystémov Vysoké Tatry 2007 – 2008. In: TUŽINSKÝ L., GREGOR J. (eds.), 2009: Vplyv vetrovej kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách, zborník recenzovaných vedeckých prác, p. 193-204.
- ŠMELKOVÁ L., JANKOVIČ J., 2009: Rozsah a stav umelej obnovy lesa na kalamitných plochách v TANAP-e podľa monitorovania v roku 2007 – 2008. In: TUŽINSKÝ L., GREGOR J. (eds.), 2009: Vplyv vetrovej kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách, zborník recenzovaných vedeckých prác, p. 205-213.

Summary

The analysis of relationships between artificial and natural regeneration of forests in the High Tatra's wind-throw area after the first four years of intensive efforts to revitalize the forest ecosystem in the affected areas states the following:

- Natural regeneration is very successful and even three times more successful than artificial regeneration in tree species richness and eleven times more successful in their numbers. On the contrary, the spacing is higher in artificial regeneration compared to the natural regeneration.
- Relationships between these variables in artificial and natural regeneration on the same sites (sample plots) show great variability and are generally less tight (Fig. 5 – 7). Better correlation was found only in the number of individuals and their spacing in the first growth stage (in a high category up to 50 cm).
- Designed index [3a], which determines the ratio of natural to artificial regeneration provides more information and greater clarity of principles than a simple regression between the absolute values of the compared variables. With the growth of number of species, individuals and size of spacing of artificial regeneration the regression descends non-linear, and the coefficient of determination is $R^2 = 0.27$ to 0.59 (Fig. 8 – 10). Since the index is relative ratio where the numerator and denominator vary randomly, it is important to calculate its average and standard error for group of sample plots by formulas [3b, 3c], because otherwise there is a significant distortion.
- Presented results characterize the relationships of artificial and natural regeneration and for each homogeneous category of natural regeneration (growth stages, and major, pioneer species) four years after the wind storm. Variability as well as standard error are also included in all results (Table 2), thus it is possible to compare the results with results from repeated measures within the monitoring using the standard statistic tests.

Translated by author