

## HODNOTENIE KRAJINNEJ ŠTRUKTÚRY A EKOLÓGICKEJ VÝZNAMNOSTI EKOTONOV LESNEJ VEGETÁCIE V STAROHORSKÝCH VRCHOCH

Alfonz Gajdoš, Michal Klaučo, Martina Škodová\*

\* Katedra geografie, geológie a krajinnej ekológie FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica,  
Alfonz.Gajdos@umb.sk, Michal.Klauco@umb.sk, Martina.Skodova@umb.sk

### Ecological significance of the forest ecotone vegetation in the Starohorské Hills

The paper deals with the determination of the ecological significance of the forest ecotone vegetation in the semi-natural landscape of the Starohorské Hills. For this purpose, the quantitative metrics of landscape structure in the investigated area is interpreted, with emphasis on the forest ecotone vegetation. The quantity (number, size, density, size variation) and spatial character (layout, orientation and shape) of the landscape patches is examined. The impact assessment on forest ecotone species diversity of vegetation was included in. We assign the first degree of ecological significance for the forest ecotones vegetation according to the ecological carrying capacity methodology by Hrnčiarová et al. (1997)..

**Key words:** ecotones, Starohorské hills, landscape pattern, ecological significance, landscape patches

### ÚVOD

Krajina je podľa Formana (2006) špecifickým objektom, resp. fenoménom s atribútmi, ktoré je možné analyzovať, modelovať, pozmeňovať, interpretovať, hodnotiť atď. Pri elementárnom pohľade na krajinu sa nám ponúka pohľad na jej prvky (krajinné prvky), ktoré sú usporiadané do určitej štruktúry, t. j. do priestorovej konfigurácie a krajinnej kompozície. Podľa McGarigala a Marksa (1994) môžu jednotlivé krajinné prvky v rámci krajinnej štruktúry nezávisle na sebe alebo spoločne ovplyvňovať rôzne ekologické procesy prebiehajúce v krajine. Krajinnú štruktúru je možné kvantifikovať prostredníctvom spektra indikátorov, akými sú napr. indexy krajiny alebo krajinné metriky. Na základe kvantitatívnych veličín sa dá krajinná štruktúra interpretovať v podobe kvalitatívnych ukazovateľov (napr. ekologickej významnosti krajiny).

Súčasná krajina, ako ju dnes vidíme, je výsledkom pôsobenia rôznych faktorov (abiotické, biotické a sociálno-ekonomické vplyvy). Z dôvodu vysokej fragmentácie a mozaikovosti pôvodných krajinných prvkov je pre súčasnú krajinu typický zvýšený podiel prechodných zón medzi lesnou a človekom rôzne pretvorenou krajinou. Tieto prechodné zóny sa označujú ako ekotony. Ich priestorové vlastnosti v podstatnej miere ovplyvňujú funkciu, stabilitu a ďalšie ekologické vlastnosti krajiny. V ekotonoch dochádza k intenzívnej trofickej, hydrickej a svetelnej konkurencii so špecifickou koncentráciou rastlinných a živočíšnych druhov. Ekotony majú aj významnú biokoridorovú funkciu (Wiens 1992). Ekotony lesnej vegetácie v Starohorských vrchoch vznikli v súvislosti so spoločensko-historickým vývojom krajiny a následnou fragmentáciou pôvodne súvislých lesných porastov. Cieľom príspevku je hodnotenie ekologickej významnosti ekotonov lesnej vegetácie v Starohorských vrchoch. Na tento účel

sme interpretovali kvantitatívne metriky krajinnej štruktúry Starohorských vrchov s dôrazom na ekotony lesnej vegetácie. Výskum je doplnený o hodnotenie vplyvu lesných ekotonov na druhovú diverzitu vegetácie.

## MATERIÁL A METÓDY

### Skúmané územie

Skúmané územie predstavujú Starohorské vrchy vymedzené podľa Gajdoša (1995). Územie s výmerou 18 212 ha je zaradené do Fatransko-tatranskej oblasti Západných Karpát. Zasahuje do oblasti jadrových pohorí a vnútrokarpatského paleogénu. Najvyšším vrcholom je Kozí chrbát (1 330 m n. m.), najnižším bodom je riečna niva Bystrice pri Jakube (360 m n. m.). Pomerne vysoká výšková amplitúda ovplyvňuje aj charakter klímy. Hydrologicky patria Starohorské vrchy do povodia Hrona, menšia časť do povodia Váhu. Pestré fyzicko-geografické podmienky územia podmienili rozmanité floristické zastúpenie. Do nadmorskej výšky cca 500 m n. m. prevládajú dubohrabiny, na ne nadväzujú bučiny, do ktorých v nadmorskej výške okolo 800-900 m n. m. vstupujú aj ihličnany. V exponovaných polohách Kozieho chrbta prechádzajú bukové porasty do sutinových lesov. Prevažne lesná krajina Starohorských vrchov sa v posledných storočiach vyznačuje výraznou dynamikou lesných porastov súvisiacou najmä s baníckou činnosťou a pastierstvom, v súčasnosti aj s rekreáciou. Výsledkom je fragmentácia pôvodných lesných porastov a zvyšovanie podielu antropicky podmienených lesných ekotonov.

### Metodika

Pre kvantifikáciu krajinnej štruktúry boli zvolené štatistické postupy, podľa ktorých sme analyzovali priestorové a atribútové informácie o krajine. Vzhľadom na rozsiahlu výmeru územia (18 212 ha), sa krajinný priestor Starohorských vrchov analyzoval v referenčnej mierke 1:50 000 s minimálnou veľkosťou analyzovanej jednotky 10 ha (minimálna veľkosť polygónu). Krajinná pokrývka bola abstrahovaná v dvoch odlišných mierkach 1:10 000 a 1:100 000

V mierke 1:10 000 došlo ku „generalizovaniu“ údajov na úroveň mierky 1:50 000. Uvedená mierka vznikla agregáciou areálov (menších ako 10 ha) do ucelených dátových komplexov. Primárnym zdrojom údajov pre mierku 1:10 000 bolo terénne mapovanie a údaje z databáz Informačného systému lesného hospodárstva (NLC 2012).

V mierke 1:100 000 došlo k „spresneniu“ údajov na úroveň mierky 1:50 000. Vrstva geografických informácií CORINE Land Cover bola doplnená o podrobnejšie údaje zo základných topografických máp a leteckých meračských snímok. V uvedenej mierke išlo hlavne o doplnenie takých polygónov, ktoré predstavujú výmeru väčšiu ako 10 a menšiu ako 25 ha.

Kombináciou zvolených postupov vznikla opísaná referenčná mierka (1:50 000) a minimálna veľkosť polygónov (10 ha) pre celé sledované územie Starohorských vrchov. Ide o základné vstupné parametre, na ktoré nadväzuje hodnotenie krajinnej štruktúry a ekologickej významnosti ekotonov lesnej vegetácie v Starohorských vrchoch.

Na kvantifikáciu krajiny štruktúry sme použili softvérový produkt ESRI ArcGIS 9.x (ESRI 1999-2008) a jeho voľne dostupné rozšírenie V-LATE (vector-based landscape analysis tools extension), ktoré je k dispozícii na webovej stránke Salzburskej univerzity (LARG V-LATE 2007). Determinovali sme množstvo (počet, veľkosť, hustotu a variabilitu veľkosti) a priestorový charakter (usporiadanie, orientáciu a tvar) krajinných prvkov. Jednotlivé krajinné prvky skúmaného územia boli kvantifikované cez nasledovné krajinné indexy:

- MPS – priemerná veľkosť plochy (mean patch size) v ha PSSD,
- PSSD – štandardná veľkostná odchýlka (patch size standard deviation) v ha,
- PSCV – koeficient variácií veľkostí plôch (patch size coefficient of variation) v %,
- ED – hustota hrán (edge density) v m/ha,
- MSI – priemerný index tvaru polygónu (mean shape index),
- CA – rozloha triedy (class area),
- NP – počet plôch (number of patches).

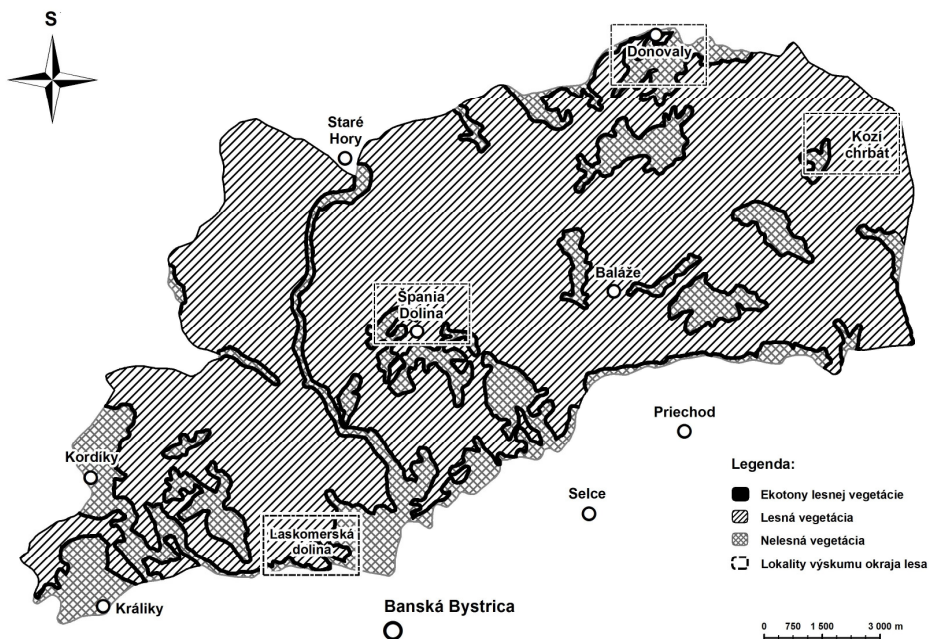
Digitálne priestorové informácie o lesnej vegetácii Starohorských vrchov pochádzajú z Informačného systému lesného hospodárstva (NLC 2012). Informácie o nelesnej vegetácii a ostatných plochách boli čerpané z environmentálneho dátového centra Európskej environmentálnej agentúry a CORINE Land Cover 2000 (CLC 2000). V príspevku sme z množstva rôznych typov ekotonov, ktoré vznikajú prirodzene aj vplyvom človeka, hodnotili len antropicky podmienené ekotony lesného ekosystému. Zónu ekotonu sme vyčlenili vytvorením polygónu so šírkou 20 m smerom dovnútra lesa od línie priemetu drevín jeho porastového plášťa alebo krovinového lemu s min. zápojom korún 40 % (Škodová 2009). Okrem použitých indexov, ktoré transparentne vyjadrujú rolu ekotonov z pohľadu krajiny štruktúry, je možné vyjadriť kvalitatívne vlastnosti entity – tzn. druhové zloženie ekotonu. Druhovou diverzitou cievnatých rastlín sme sledovali na 99 fytoecologických zápisoch so štandardnou veľkosťou 25 m<sup>2</sup> (les 200 m<sup>2</sup>) v rámci 31 transektov ekotonov lesa v rôznych typoch lesných porastov. Transekty boli lokalizované v rámci štyroch výskumných lokalít (Laskomerská dolina, Špania Dolina, Donovaly a Kozí chrbát). Transekt zachytáva komplex nelesná plocha – okraj lesa (krovinový lem a porastový plášť) – les. Šírka transektu je 10 m, dĺžka je rôzna v závislosti od typu ekotonu. Rastlinstvo sme zapísali s použitím sedemmiestnej kombinovanej stupnice abundancie a dominancie. Na hodnotenie druhovej diverzity sme vybrali zo skupiny indexov druhovej bohatosti index  $N_0$  (Hill 1973), Shannonov index  $H'$  (Shannon a Weaver 1949), a index druhovej vyrovnanosti  $E5$  (Hill 1973). Vypočítané boli pomocou programu TURBOWIN (Hennekens 1995). V programovom balíku CANOCO sme metódou unimodálnej nepriamej ordinácie DCA testovali  $H'$  ako doplnujúci faktor variability vegetácie.

## VÝSLEDKY

## Kvantifikácia krajinej štruktúry Starohorských vrchov

Počet stanovených krajinných prvkov a kategórií predstavuje vstupný parameter pre vyjadrenie diverzity, ktorá následne ovplyvňuje druhovú interakciu v spoločenstvách krajinných prvkov (Kareiva 1990). S diverzitou priamo úmerne stúpa aj rôznorodosť ekologických procesov, ktoré v krajinnom priestore prebiehajú. Indikuje mieru antropického tlaku ako palety širokej ľudskej činnosti v krajine. Výsledkom antropickej činnosti je zvýšený počet krajinných prvkov (najmä ekotonov), čím podľa Franklina a Formana (1987) dochádza k narušeniu celistvosti krajinného priestoru. Takto narušený priestor reaguje rozdielne na vonkajšie rušivé vplyvy, napr. požiare alebo vietor.

V Starohorských vrchoch sa podľa tabuľky 1 nachádza 421 plôch krajinných prvkov (NP), ktoré sú štruktúrované do 58 kategórií (class). Krajinné prvky lesnej vegetácie (181 plôch) sú štruktúrované do 28 kategórií, krajinné prvky ekotonov lesnej vegetácie (185 plôch) spadajú do 23 kategórií a krajinné prvky nelesnej vegetácie (55 plôch) sú štruktúrované do 7 kategórií. V rámci lesnej vegetácie sa vyskytuje päť kategórií krajinných prvkov, na ktorých neboli zaznamenané žiadne ekotony. Z pohľadu výmery a počtu plôch krajinných prvkov je najvýraznejšie zastúpená kategória živné bučiny a živné jedľové bučiny, ktoré spolu zaberajú takmer 33 % plochy územia. Lúky a pasienky s počtom 25 plôch, zaberajúce 11 % z celkovej výmery, patria medzi najvýraznejšie zastúpené krajinné prvky v rámci kategórie nelesnej vegetácie (obr. 1).



Obr. 1. Hlavné kategórie krajinných prvkov Starohorských vrchov a lokality výskumu (2011)

Tab. 1. Indexy krajinskej konfigurácie I.

	Názov krajinného prvku	Výskyt ekotonu	CA lesnej vegetácie		CA ekotonov*		NP	
			ha	%	ha	%	A	B
Kategória lesnej vegetácie	Extrémne kyslé dubové bučiny	ÁNO	23,77	0,13	9,92	0,05	1	1
	Extrémne kyslé jedľové bučiny	ÁNO	416,93	2,20	1,29	0,01	5	3
	Extrémne kyslé jedľovo-bukové smrečiny	NIE	20,50	0,11	-	-	1	-
	Extrémne vápencové bučiny	ÁNO	766,97	4,05	26,10	0,14	3	7
	Extrémne vápencové dubové bučiny	ÁNO	69,15	0,36	9,85	0,05	1	1
	Kamenité bučiny s lipou	ÁNO	701,75	3,70	24,12	0,13	8	3
	Kamenité extrémne kyslé smrečiny	ÁNO	61,45	0,32	1,72	0,01	2	1
	Kamenité jedľové bučiny	ÁNO	289,79	1,53	14,02	0,07	13	8
	Kamenité jedľové bučiny so smrekom	NIE	40,00	0,21	-	-	1	-
	Kamenité jedľové smrečiny s bukom	ÁNO	38,36	0,20	1,77	0,01	2	1
	Kamenité jedľovo-bukové smrečiny	ÁNO	78,05	0,41	12,63	0,07	2	3
	Kyslé bučiny	ÁNO	127,19	0,67	7,37	0,04	6	5
	Kyslé dubové bučiny	ÁNO	20,00	0,11	5,70	0,03	1	1
	Kyslé jedľové bučiny	ÁNO	306,56	1,62	23,03	0,12	11	9
	Kyslé jedľovo-bukové smrečiny	ÁNO	216,25	1,14	17,92	0,09	2	3
	Sutinové javoriny	ÁNO	149,43	0,79	5,86	0,03	6	2
	Sutinové lipové bučiny	ÁNO	239,91	1,27	23,52	0,12	3	4
	Svieže bučiny	ÁNO	1 664,94	8,78	120,56	0,64	17	20
	Svieže dubové bučiny	ÁNO	174,78	0,92	36,17	0,19	3	5
	Svieže vápencové bučiny	ÁNO	1 421,93	7,50	122,59	0,65	17	26
	Svieže vápencové dubové bučiny	ÁNO	336,74	1,78	61,55	0,32	6	8
	Svieže vápencové jedľové bučiny	ÁNO	641,58	3,38	24,95	0,13	17	11
	Vápencové boriny	NIE	24,96	0,13	-	-	1	-
	Vlhké jedľové bučiny	ÁNO	355,59	1,88	5,26	0,03	3	2
	Vrcholové bučiny	NIE	60,57	0,32	-	-	2	-
	Živné bučiny	ÁNO	2 263,70	11,94	118,70	0,63	23	31
	Živné jedľové bučiny	ÁNO	3 953,35	20,85	148,01	0,78	22	30
	Živné jedľovo-bukové smrečiny	NIE	228,17	1,20	-	-	2	-
Kategória celkom		28/23	14 692,39	77,50	822,61	4,34	181	185
Kategória nelesnej vegetácie	Názov krajinného prvku		CA				NP	
			ha	%				
	Areály športu a voľného času		241,20	1,27			3	
	Lúky a pasienky		2 018,51	10,65			25	
	Nesúvislá zástavba		323,86	1,71			9	
	Nezavlažovaná orná pôda		66,44	0,35			2	
	Prevažne poľnohospodárska krajina		703,83	3,71			14	
	Priemyselné a obchodné areály		27,60	0,15			1	
	Ťažba nerastných surovín		60,47	0,32			1	
Kategória celkom (7 kategórií)		3 441,92	18,16			55		

Vysvetlivky:

CA – rozloha triedy (*Class area*)NP – počet plôch (*Number of patches*)

CA ekotonov\* – ide len o ekotony lesnej vegetácie

A/B – lesná vegetácia / ekotony

Podľa *hustoty krajinných prvkov* (PD) má kategória ekotonov lesnej vegetácie najhustejšie pokrytie krajinnými prvkami (tab. 2). Vzhľadom na vzájomnú kombináciu hodnôt hustoty ekotonov lesnej vegetácie (PD = 1,02 na 100 ha), výmery ekotonov lesnej vegetácie (CA = 68,10 ha, t. j. 4,58 % z celkovej plochy) a počet krajinných prvkov ekotonov lesnej vegetácie (NP = 185) je možné uviesť, že ekotony lesnej vegetácie oproti ostatným kategóriám predstavujú veľmi malé plochy, sú rozmiestnené v celom krajinnom priestore, vykazujú značnú fragmentáciu a zvyšujú heterogenitu celého krajinného priestoru Starohorských vrchov.

**Tab. 2. Hustota krajinných prvkov (PD) v roku 2011**

Kategória krajinných prvkov	Hustota krajinných prvkov (PD)
Prvky lesnej vegetácie	0,99 na 100 ha
Prvky ekotonov lesnej vegetácie	1,02 na 100 ha
Prvky nelesnej vegetácie	0,30 na 100 ha

Z počtu krajinných prvkov (NP) a ich výmery (CA) je možné stanoviť *priemernú veľkosť plochy* (MPS). Výstupné hodnoty MPS (tab. 3) poukazujú na to, že krajinné prvky, ktoré majú malé plošné zábery a sú zastúpené v menšom počte plôch (NP) vykazujú aj malé hodnoty indexu MPS. Naopak, čím je väčšia plocha s menším počtom prvkov (NP), tým sú aj hodnoty MPS väčšie. Priemerná veľkosť plôch krajinných prvkov potvrdzuje to, že ekotony lesnej vegetácie vykazujú veľmi malé hodnoty, čím sa opäť potvrdzuje ich výrazná fragmentácia. Priemernú veľkosť prvkov (MPS) je potrebné vždy interpretovať vo vzťahu k počtu plôch krajinných prvkov (NP) a ich výmery (CA).

Na základe priemernej veľkosti plochy (MPS) je možné stanoviť *štandardnú veľkostnú odchýlku krajinných prvkov* (PSSD), t. j. veľkostný rozdiel (v ha) medzi plochami krajinných prvkov. Pre jednoduchšiu interpretáciu sa veľkostná odchýlka (PSSD) dáva do relatívneho vzťahu s priemernou veľkosťou plochy (MPS), čím vzniká nový ukazovateľ – koeficient variácií veľkosti plôch krajinných prvkov (PSCV). Pri obidvoch metrikách platí, že čím je stanovená hodnota väčšia, tým je aj väčšia veľkostná odchýlka medzi krajinnými prvkami. V Starohorských vrchoch má najmenšiu veľkostnú odchýlku kategória ekotonov lesnej vegetácie. Plochy krajinných prvkov ekotonov vykazujú približne rovnaké výmery.

Podľa výsledkov uvedených pre nelesnú vegetáciu (tab. 3), sa môžeme oprieť o tvrdenie McGarigala a Marksa (1994), že krajinný priestor ovplyvnený ľudskou aktivitou obsahuje viac uniformných a veľkosťou jednotných prvkov než krajinný priestor bez výrazného vplyvu človeka.

*Tvar krajinných prvkov* patrí k ďalším dôležitým fenoménom, ktoré ovplyvňujú kvalitu prebiehajúcich ekologických procesov. Rôzne tvary plôch výrazne ovplyvňujú zastúpenie ekotonov a vznik okrajového efektu. Tvar krajinných prvkov podmieňuje napr. veterné prúdenie v priestore lesnej vegetácie, čo sa môže odraziť v zmene mikroklimy a následne aj v zmene vegetačnej štruktúry. Vysoko kontrastné – ostré hrany krajinných prvkov môžu zbrzdiť alebo zabrániť prieniku organizmov medzi prvkami.

Tab. 3. Indexy krajinnnej konfigurácie II.

Názov krajinného prvku	MPS		PSSD		PSCV		ED		MSI	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Extr. kyslé dubové bučiny	23,77	9,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,27	1,76	4,52
Extr. kyslé jedľové bučiny	83,39	0,43	34,34	0,21	41,18	47,64	1,50	0,05	1,73	1,34
Extr. kyslé jedľovo-bukové smrečiny	20,50	-	0,00	-	0,00	-	0,14	-	1,63	-
Extr. vápencové bučiny	255,66	3,73	338,82	3,93	132,53	105,29	1,19	0,73	1,68	2,66
Extr. vápencové dubové bučiny	81,01	9,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,26	1,56	4,50
Kamenité bučiny s lipou	87,72	8,04	155,17	4,60	176,90	57,23	2,15	0,65	1,82	3,96
Kam. extrémne kyslé smrečiny	30,72	1,72	6,57	0,00	21,38	0,00	0,26	0,05	1,23	2,02
Kam. jedľové bučiny	22,29	1,75	18,01	0,67	80,81	38,21	1,59	0,42	1,44	2,07
Kam. jedľové bučiny so smrekom	40,00	-	0,00	-	0,00	-	0,22	-	1,85	-
Kam. jedľové smrečiny s bukom	19,18	1,77	14,05	0,00	73,25	0,00	0,20	0,05	1,31	2,05
Kam. jedľovo-bukové smrečiny	39,02	4,21	29,92	1,08	76,66	25,56	0,31	0,35	1,48	3,01
Kyslé bučiny	21,20	1,47	11,29	0,53	53,26	35,80	0,77	0,22	1,48	1,95
Kyslé dubové bučiny	20,00	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,15	1,26	3,47
Kyslé jedľové bučiny	27,87	2,56	28,99	1,39	104,01	54,20	1,46	0,66	1,51	2,39
Kyslé jedľovo-bukové smrečiny	108,13	5,97	44,16	3,12	40,84	52,16	0,73	0,49	1,82	3,42
Sutinové javoriny	24,91	2,93	18,11	0,76	72,71	26,04	0,81	0,17	1,52	2,57
Sutinové lípové bučiny	79,97	5,88	81,35	3,35	101,73	56,93	0,78	0,65	1,53	3,42
Svieže bučiny	97,94	6,03	198,23	4,99	202,41	82,83	4,49	3,28	1,62	3,35
Svieže dubové bučiny	58,26	7,23	47,13	6,55	80,90	90,51	0,80	0,98	1,92	3,55
Svieže vápencové bučiny	83,64	4,72	111,34	4,17	133,12	88,49	4,82	3,36	1,79	2,95
Svieže vápencové dubové bučiny	56,12	7,69	26,36	6,45	46,97	83,87	1,48	1,65	1,79	3,75
Svieže vápencové jedľové bučiny	37,74	2,27	41,48	2,20	109,91	97,05	2,89	0,70	1,53	2,16
Vápencové boriny	13,11	-	0,00	-	0,00	-	0,10	-	1,44	-
Vlhké jedľové bučiny	118,53	2,63	100,93	1,93	85,16	73,50	1,47	0,15	2,46	2,28
Vrcholové bučiny	30,29	-	17,16	-	56,66	-	0,38	-	2,10	-
Živné bučiny	98,42	3,83	163,65	3,70	166,27	96,60	6,09	3,28	1,63	2,70
Živné jedľové bučiny	179,70	4,93	385,41	4,24	214,48	85,98	9,29	4,04	1,82	3,08
Živné jedľovo-bukové smrečiny	114,09	-	6,22	-	5,45	-	0,80	-	1,99	-
Kategória celkom	66,90	4,58	67,10	2,34	74,16	52,08	45,23	22,61	1,67	2,40
Názov krajinného prvku	MPS		PSSD		PSCV		ED		MSI	
Areály športu a voľného času	80,40		16,37		20,37		0,90		1,78	
Lúky a pasienky	80,74		62,88		77,88		7,84		1,94	
Nesúvislá zástavba	35,98		24,20		67,24		2,10		2,09	
Nezavlažovaná orná pôda	33,22		23,82		71,71		0,37		1,98	
Prevažne poľnohosp. krajina	50,27		35,61		70,84		3,77		2,09	
Priemyselné a obchodné areály	27,60		0,00		0,00		0,20		2,06	
Ťažba nerastných surovín	60,47		0,00		0,00		0,20		1,37	
Kategória celkom (7 kategórií)	52,67		23,27		44,01		15,39		1,90	

Vysvetlivky:

MPS – priemerná veľkosť plochy (Mean patch size) v ha

PSSD – štandardná veľkostná odchýlka (Patch size standard deviation) v ha

PSCV – koeficient variácií veľkostí plôch (Patch size coefficient of variation) v %

ED – hustota hrán (Edge density) v m/ha

MSI – priemerný index tvaru polygónu (Mean shape index)

*Priemerný index tvaru polygónu* (MSI) v Starohorských vrchoch indikoval kontrastnosť a ostrosť hrán medzi krajinnými prvkami. V tab. 3. sú uvedené hodnoty priemerného indexu tvaru polygónu (MSI) za jednotlivé kategórie a ich krajinné prvky. Ak sa výsledná hodnota indexu blíži viac k číslu 1, krajinné prvky majú pravidelný (kruhový) tvar. Hodnota MSI rastie s nepravidelnosťou tvarov krajinných prvkov. Najnepravidelnejší tvar vykazuje kategória ekotonov lesnej vegetácie. Mladé lesné ekotony tvoria priame línie, staršie a sukcesne sa rozširujúce ekotony majú laločnatý tvar, prípadne tvoria difúzny prechod či mozaiku medzi lesným a nelesným ekosystémom.

*Hustota hrán* (ED), ktorá je uvedená v tab. 3, poukazuje na dĺžku obvodových hraníc krajinných prvkov na jeden hektár. Najväčšiu hustotu hrán vykazuje kategória lesnej vegetácie (45,23 m/ha). Dĺžka ekotonu lesa vo vzťahu k celkovej ploche územia je do značnej miery podmienená plošným usporiadaním lesov, tvarom a premenlivosťou ich okrajov (Gonzalez et al. 2010). Vyplýva zo spôsobu hospodárenia, ako aj zo spôsobu a foriem obnovy lesných porastov. Podľa hodnôt hustoty hrán (ED) je možné opäť konštatovať, že krajinné prvky ekotonov lesnej vegetácie sú rozptýlené v celom krajinnom priestore. Táto kategória vykazuje väčšie hodnoty (ED) než kategória nelesnej vegetácie, ktorá má niekoľkonásobne väčšiu výmeru. Podľa kombinácie výstupných hodnôt hustoty hrán (ED) a indexu tvaru krajinných prvkov (MSI) je možné konštatovať, že prírodné, človekom málo pozmenené krajinné prvky majú menej pravidelný tvar.

Krajinnými metrikami ako sú *diverzita*, *dominancia* a *rovnováha* sa vyjadruje krajinná kompozícia na úrovni kategórií krajinných prvkov.

*Diverzitu* Starohorských vrchov je možné analyzovať cez Shannonov index diverzity (SHDI). Čím je hodnota indexu väčšia, tým je väčšia diverzita (heterogenita) krajinných prvkov. SHDI sa rovná nule za podmienky, že daná kategória krajinných prvkov obsahuje len jeden prvok. Hodnota SHDI pre danú kategóriu rastie s počtom prvkov nachádzajúcich sa v nej. Podľa tab. 4 najväčšiu diverzitu krajinných prvkov vykazuje kategória ekotonov lesnej vegetácie, čím sa potvrdzujú výstupy z analýzy priestorovej konfigurácie (vysoká heterogenita ekotonov lesnej vegetácie a zároveň aj fragmentácia).

*Dominancia* je funkciou diverzity, čím je väčšia hodnota indexu, tým je kategória krajinných prvkov dominantnejšia na úkor ostatných. Zároveň nižšie hodnoty vyjadrujú, že krajinné prvky sú v rámci svojej kategórie zastúpené v rovnakej miere (proporcii). Podľa tab. 4 je možné identifikovať, že najnižšie hodnoty majú práve ekotony lesnej vegetácie, čo koreluje s hodnotami indexov PSSD a PSCV. Dominantné postavenie v rámci krajinskej kompozície má kategória prvkov lesnej vegetácie.

*Rovnováhu* krajinných prvkov je možné analyzovať cez Shannonov index rovnováhy (SHEI). Rovnováha je vyjadrená ako pozorovateľná úroveň diverzity (SHDI), delená maximálnym počtom kategórií krajinných prvkov. Úmerná redukcia počtu plôšok a kategórií zapríčiňuje aj zníženie celkovej rovnováhy. Čím je hodnota bližšie k 1, tým je menej narušená rovnováha v krajinnom priestore. Optimálne hodnoty (tab. 4) vykazujú ekotony lesnej vegetácie, čím sa potvrdzujú hodnoty PD, PSSD a PSCV.



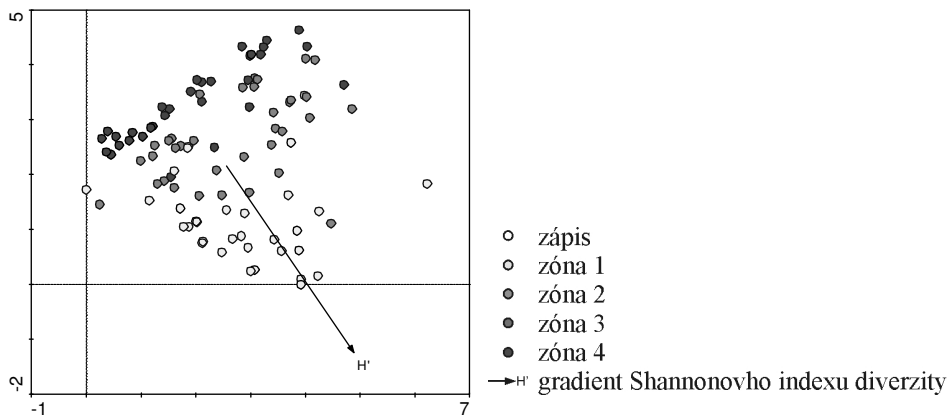
**Tab. 4. Krajinná kompozícia Starohorských vrchov**

Kategória krajinných prvkov	Shannonov index diverzity (SHDI)	Dominancia	Shannonov index diverzity (SHDI)
Prvky lesnej vegetácie	2,49	0,84	0,74
Prvky ekotonov lesnej vegetácie	2,51	0,67	0,79
Prvky nelesnej vegetácie	1,23	0,71	0,63

### DRUHOVÁ DIVERZITA EKOTONOV LESNEJ VEGETÁCIE

Ekoton, ako hraničná zóna medzi dvoma krajinnými prvkami, sa svojím druhovým zložením organizmov môže považovať za samostatnú ekologickú jednotku (Turner et al. 1991). Pri súčasnom trende fragmentácie lesov predstavujú lesné ekotony významné plochy s potenciálom zvýšenej druhovej diverzity. Na štruktúru a druhovú diverzitu ekotonov lesa pôsobí celý komplex ekologických faktorov a antropogénnych vplyvov.

Pri porovnaní hodnôt vybraných indexov druhovej diverzity ( $N_0$ ,  $H'$ ,  $E_5$ ) pri nelesných zónach (Z1), krovinovom a bylennom leme (Z2), porastovom plášti (Z3) a lesnom poraste (Z4) transektu ekotonu lesa a príľahlých ekosystémov sme najvyššie hodnoty indexov identifikovali vo vegetačných zápisoch nelesných zón (prevažne travinno-bylinných porastov). Priemerný počet druhov v Z1 je 29, v Z2 26 a v Z3 je 22. Druhovo najbohatšie ekotony sme identifikovali pri listnatých a zmiešaných lesných porastoch s výskytom krovín a bylinného podrastu v porastovom plášti a najmä pri sukcesne sa rozširujúcich lesných ekotonoch. Priemerný počet druhov tu vystupuje na 31. Najnižšiu druhovú bohatosť (často aj nižšiu ako nelesná a lesná zóna) majú okraje nepôvodných ihličnatých porastov (smreka, borovice čiernej a lesnej) prevažne na kontakte s intenzívne využívanými travinno-bylinnými porastami. Priemerne sa tu vyskytuje len 17 druhov. Z 382 druhov identifikovaných cievnatých rastlín sa 101 druhov vyskytovalo výlučne v Z1 ekotonu lesa, 55 druhov sa vyskytovalo len v okrajovej zóne (Z2+Z3) a 13 druhov len v Z4.



Obr. 2. Výstupný ordinačný graf z DCA analýzy zobrazujúci gradient Shannonovho indexu diverzity a zápisy rozčlenené podľa príslušnosti k jednotlivým zónam transektu ekotonu lesa

H' a E5 vyjadrujú, že vo väčšine transektov je menej dominantných druhov a rovnomernejšia distribúcia jedincov medzi jednotlivými druhmi v Z1 (priemerná hodnota H' je 2,43 a E5 je 0,81). V zónach lesa narastá počet dominantných druhov a distribúcia jedincov medzi druhmi je menej rovnomerná (priemerná hodnota H' je 1,43 a E5 je 0,59). Toto potvrdila aj nepriama DCA ordinácia, v ktorej sme testovali H' ako dopĺňajúci faktor variability vegetácie (obr. 2).

## Ekologická významnosť ekotonov lesnej vegetácie Starohorských vrchov

Výstupy kvantifikácie priestorovej konfigurácie a krajinej kompozície sú číselné údaje (relevantné ukazovatele) o faktoroch, ktorými môžeme determinovať kvalitu prebiehajúcich ekologických procesov. Kvantitatívne ukazovatele o krajinej štruktúre je možné spolu s ukazovateľmi druhovej diverzity aplikovať do podoby ekologickej významnosti ako kvalitatívneho ukazovateľa priebehu ekologických procesov v ekotonoch lesnej vegetácie Starohorských vrchov. Ekologická významnosť krajiny je v zmysle Hrnčiarovej et al. (1997 a 1999) účelová vlastnosť krajiny, ktorou stanovujeme stupeň prirodzenosti a fungovania prírodných (autoregulačných) procesov v ekosystéme pre zachovanie a udržanie podmienok na regeneráciu a obnovu genofondu, prírodných zdrojov, ekologickej stability, biodiverzity a plnenia rôznych úžitkových funkcií v krajine. Ekologická významnosť krajiny vyplýva z fungovania biologicko-ekologických procesov. Hodnotenie prebieha na úrovni krajinných prvkov, ktorým sa priraduje rozmedzie stupňov ekologickej významnosti (1 – veľmi významné, 2 – významné, 3 – stredne významné, 4 – málo významné a 5 – nevýznamné).

Na základe metodiky ekologickej únosnosti krajiny v zmysle Hrnčiarovej et al. (1997), výstupov kvantifikácie krajinej štruktúry Starohorských vrchov a hodnotenia druhovej diverzity vegetácie ekotonov bol ekotonov lesnej vegetácie priradený stupeň ekologickej významnosti 1 (veľmi významné krajinné prvky). Dôvody boli nasledovné: Ekotony lesnej vegetácie svojím počtom, veľkosťou plochy a celoplošným rozptylom zväčšujú diverzitu a rôznorodosť prebiehajúcich ekologických procesov v Starohorských vrchoch. Plochy ekotonov lesnej vegetácie majú najmenšiu veľkostnú odchýlku, čo indikuje približne rovnakú veľkosť (kompaktnosť) jednotlivých plôch. Zároveň však kompaktnosť a „univerzálna“ veľkosť plôch indikuje výrazný vplyv ľudskej aktivity na krajinné prvky, s ktorými ekotony susedia. Ide o tzv. fragmentáciu plôch ekotonov lesnej vegetácie. Ekotony lesnej vegetácie vykazujú najmenej pravidelný tvar, čo indikuje vysoko kontrastné hrany, ktoré môžu zabrzdiť alebo zabrániť prieniku organizmov medzi krajinnými prvkami. Najvyšší ekologický potenciál majú členité, sukcesne sa rozširujúce ekotony.

## Diskusia a záver

Ťažiskom práce bolo analyzovať, resp. kvantifikovať krajinnú štruktúru Starohorských vrchov a následne interpretovať kvalitu prebiehajúcich ekologických procesov v ekotonoch lesnej vegetácie. Aby bolo možné stanoviť ekologickú významnosť, analyzovali sme všetky kategórie krajinných prvkov. Hlavným dôvodom celoplošnej analýzy bolo vytvorenie priestoru na vzájomné

porovnávanie jednotlivých kategórií. Stanoviť ekologickú významnosť len na základe jednej kategórie (ekotonov lesnej vegetácie) bez následného porovnávania by bolo nekompaktné a neúčelné. Ťažiskom pre interpretáciu však ostala len kategória ekotonov lesnej vegetácie. Ide len o štatistické konštatovanie, preto sme ho prepojili s terénnym výskumom druhovej diverzity, ktorá je ukazovateľom diverzity krajiny.

Metóda kvantifikácie a následnej interpretácie len jedného skúmaného územia nebola na Slovensku doposiaľ aplikovaná. Mnohí autori, ako je Olah et al. (2006), Sviček a Nováková (2008), Boltížiar (2010), Olah a Gallay (2010), Mojses a Boltížiar (2011) a Oláhová et al. (2011 a 2012) analyzovali časový alebo priestorový aspekt viacerých skúmaných území, ktoré následne medzi sebou porovnávali. V uvedenom príspevku je analyzované a interpretované len jedno skúmané územie, v ktorom sa navzájom medzi sebou porovnávali jednotlivé kategórie krajinných prvkov. Z pohľadu voľby analytických ukazovateľov (krajinné metriky, resp. krajinné indexy) je veľmi dôležité vybrať také spektrum ukazovateľov, ktorými sa nevytvorí určitá duplicita stanovených hodnôt. Jednotlivých ukazovateľov sa musia vždy interpretovať len vo vzájomnej kombinácii s ďalšími metrikami. Podľa číselných údajov, ktoré sú viazané k ekotonom lesnej vegetácie, sa môžeme prikloniť k tvrdeniu Formana (2006), že malé krajinné prvky predstavujú celistvé typy biotopov. Naopak veľké krajinné prvky zahŕňajú niekoľko typov biotopov až ekosystémov. Každý jeden ekoton v Starohorských vrchoch predstavuje celistvý typ biotopu. V nadväznosti na hustotu plôch (PD) sa opäť môžeme prikloniť k tvrdeniu Formana (2006), že niekoľko menších krajinných prvkov, ktoré sú rozdistribuované v krajinnom priestore (ekotony lesnej vegetácie), zvyšuje celkovú heterogenitu krajiny, ale zároveň ju aj fragmentuje. V súvislosti s fragmentáciou krajiny dochádza k významnému riziku zvyšovaniu podielu lesných ekotonov na úkor prirodzených lesných biotopov (Fahrig 2003) a výlučne lesných druhov. Účinky fragmentácie na jednotlivé druhy sú odlišné. Bolo preukázané, že lesná fragmentácia postihuje drevíny odlišne v závislosti od spôsobu ich šírenia alebo stavu ich sukcesie (Kolb a Diekmann 2005).

Komplex ekotonu lesa predstavuje ekologický gradient viacerých ekologických faktorov (Pietzarka a Roloff 1993). Početné pozorovania (Otto 1994, Laurance 2000 a Batáry a Báldi 2004) dokazujú, že lesné ekotony sú charakteristické nápadným zvýšením floristickej i faunistickej rozmanitosti najmä v porovnaní s pôvodnou lesnou krajinou. Tento jav sa zvykne označovať ako okrajový líniový efekt (edge effect). Toto potvrdil aj náš výskum. Hodnoty indexov druhovej diverzity sa však v rôznych typoch lesných ekotonov líšia. Výsledky výskumu poukazujú na výrazný rozdiel v druhovej diverzite pri silne antropogénne ovplyvnených a prirodzených – zmladených a napred postupujúcich lesných okrajoch. Pri ostrých, úzkych ekotonoch smrekových a borovicových kultúr je druhová diverzita dokonca nižšia ako pri susediacich ekosystémoch a takéto ekotony predstavujú v rámci krajiny značné diskontinuum s mnohými negatívnymi javmi (bariérový efekt, vplyv vetra a znečistenia). Na záver je možné konštatovať, že zvoleným pracovným postupom sa stanovila ekologická významnosť ekotonov lesnej vegetácie s dôrazom na ich potenciál pre zvýšenie druhovej diverzity vegetácie.

## LITERATÚRA

- BATÁRY, P., BÁLDI, A. (2004). Evidence of an edge effect on avian nest success. *Conservation Biology*, 18, 389-400.
- BOLTIŽIAR, M. (2010). Analýza vývoja heterogenity a vybraných vlastností plôšok štruktúry vysokohorskej krajiny (na príklade vybraných modelových území Tatier). *Folia Geographica*, 16, 105-124.
- CLC (2000). *CORINE Land Cover 2000*. Dostupné na: <http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/interactive/clc-download> (cit: 2011-08-09).
- ESRI (1999-2008). *ArcGIS 9.x*. Dostupné na: <[www.arcgis.com](http://www.arcgis.com)> (cit: 2011-12-08).
- FAHRIG, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 34, 487-515.
- FORMAN, R. T. T. (2006). *Landscape mosaic*. Cambridge (Cambridge University Press).
- FRANKLIN, J. F., FORMAN, R. T. T. (1987). Creating landscape pattern by forest cutting: ecological consequences and principles. *Landscape Ecology*, 1, 5-8.
- GAJDOŠ, A. (1995). Starohorské vrchy – hranica celku a návrh jeho územného členenia. In Trizna, M., ed. *Vybrané problémy súčasnej geografie a príbuzných disciplín*. Bratislava (Prírodovedecká fakulta UK), pp. 96-101.
- HENNEKENS, S. M. (1995). *TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. User's guide*. Lancaster (University of Lancaster).
- HILL, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427-432.
- HRNČIAROVÁ, T. (1999). Prepojenie metodiky LANDEP na metodiku EÚK. *Životné prostredie*, 33, 11-17.
- HRNČIAROVÁ, T. et al. (1997). *Ekologická únosnosť krajiny: metodika a aplikácia na 3 benefičné územia, I. – IV. časť*. Ekologický projekt MZP SR Bratislava. Bratislava (ÚKE SAV).
- KAREIVA, P. (1990). *Population dynamics in spatially complex environments: theory and data*. London (Philosophical Transactions of the Royal Society of London).
- KOLB, A., DIEKMANN, M. (2005). Effects of life-history traits on responses of plant species to forest fragmentation. *Conservation Biology*, 19, 929-938.
- McGARIGAL, K., MARKS, B. J. (1994). *Fragstats – Spatial pattern analysis for quantifying landscape structure*. Corvallis (Oregon State University).
- MOJSES, M., BOLTIŽIAR, M. (2011). Using spatial metrics for assessment of the landscape structure changes of the Bešu dry polder. *Tájökölógiai Lapok*, 9, 415-428.
- NLC (2012). Informačný systém lesného hospodárstva. Dostupné na: [http://www.nlcsk.sk/nlc\\_sk/ustavy/ulzi/cinnosti/is\\_lh.aspx](http://www.nlcsk.sk/nlc_sk/ustavy/ulzi/cinnosti/is_lh.aspx) (cit: 2011-08-22).
- LARG (Landscape and Resource Management Research Group) V-LATE – Vector-based Landscape Analysis Tools Extension. Dostupné na: <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm> (cit: 2007-01-31).
- LAURANCE, W. F. (2000). Do edge effects occur over large spatial scales? *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 134-135.
- OLAH, B., BOLTIŽIAR, M., PETROVIČ, F., GALLAY, I. (2006). *Vývoj využitia krajiny slovenských biosférických rezervácií UNESCO*. Vedecké štúdie 2/B. Zvolene (Technická univerzita vo Zvolene).
- OLAH, B., GALLAY, B. (2010). Využitie krajinných indexov pri hodnotení štruktúry krajiny. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovien-sis. Folia Geographica*, 40, 143-163.
- OLÁHOVÁ, J., VOJTEK, M., BOLTIŽIAR, M. (2011). Use of selected extensions for the analysis of secondary landscape structure in GIS. In *Young Researchers 2011 - PhD Students, Young Scientists and Pedagogues Conference Proceedings*. Nitra (FNS CPU), pp. 592-600.

- OLÁHOVÁ, J., VOJTEK, M., BOLTIŽIAR, M. (2012). Analýza druhotnej krajinej štruktúry mesta Handlová prostredníctvom krajinnno-ekologických indexov. *Envi-rofórum: zborník príspevkov z konferencie*. Banská Bystrica (SAŽP), 17-20.
- OTTO, H. J. (1994). *Walkdökologie*. Stuttgart (Verlag E. Ulmer).
- PIETZARKA, U., ROLOFF, A. (1993). Waldrandgestaltung unter Berücksichtigung der natürlichen Vegetationsdynamik. *Forstarchiv*, 64, 107-113
- SHANNON, C. E., WEAVER, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. London and New York (Univ. Illinois Press).
- SVIČEK, M., NOVÁKOVÁ, M. (2008). Stanovenie environmentálnych indexov pre územie SR na základe rámcových prieskumov. In Navrátil, R., ed. *Environmentálne aspekty analýzy a hodnotenia krajiny: identifikácia a stanovenie indikátorov (a indexov) na báze prieskumov krajiny a údajov DPZ*. Bratislava (VÚPOP a SAPV), pp. 86-94.
- ŠKODOVÁ, M. (2009). Okrajový efekt lesného ekosystému. *Geografická revue*, 5, 107-116 (CD-ROM).
- TURNER, M. G., GARDNER, H. R., O'NEILL, R. V. (1991). Potential responses of landscape boundaries to global environmental change. In Holland, M. M., Rissen, P. G., Naiman, R. J., eds. *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments*. New York (Chapman and Hall), pp. 52-75.
- WIENS, J. A. (1992). Ecological flows across landscape boundaries: a conceptual overview. In Hansen, A. J., di Castri, F., eds. *Landscape boundaries: consequences for biotic diversity and ecological flows*. New York (Springer), pp. 217-235.

*Alfonz Gajdoš, Michal Klaučo, Martina Škodová*

## ECOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE FOREST ECOTONE VEGETATION IN THE STAROHORSKÉ HILLS

Due to the high degree of fragmentation of natural landscape elements in the Starohorské Hills the proportion of transition zones (ecotones) between the forest and the anthropized landscape is increasing. Ecotones of the forest vegetation are among the main elements of the landscape pattern. Their spatial properties influence the stability and other environmental features in the landscape. The theme of ecotones in cultural landscape is given little attention. The paper may fill the existing gap and contribute to research and land management of the Starohorské Hills.

The aim of this paper is to establish the ecological significance of forest ecotones in the semi-natural landscape of the Starohorské Hills. The focus of this work is on analysis and quantification of landscape structure, followed by the interpretation of the quality of on-going ecological processes in the forest ecotone vegetation. A methodology with a mathematical basis was selected for the quantification of the landscape structure. The quantity (number, size, density, size variation) and spatial character (layout, orientation and shape) of patches of the landscape were observed. As far as species diversity of vascular plants is concerned, 99 phytopathological entries with a standard size of 25 m<sup>2</sup> in the 31 transects ecotones forest in different forest types and in the four zones of the forest ecotones were researched. N0 index, Shannon's index H', and E5 indexes were calculated using the TURBOWIN (Hennekens 1995). By means of the program package CANOCO and the DCA unimodal indirect method, H' as an additional factor of variability in vegetation was tested. In terms of landscape area and number of the patches, the category of fir beech forests, which occupy almost 33% of the Starohorské Hills, is most abundantly represented. The forest ecotones compared to other categories represent a very small area, but show a considerable fragmentation and increasing heteroge-

neity of the land area and increase the diversity and variety of the on-going ecological processes in the Starohorské hills. Ecotones show the most irregular shape, indicated by the high-contrast edges, which may inhibit or prevent the passage of organisms between landscape features. Ecotones expanding via the succession boast the highest ecological potential. Forest ecotones secure the optimal ecological landscape stability.

Ecotones with a particular species composition of organisms can be considered a single ecological unit (Gosz 1991 and Turner et al. 1991). With the present trend, the forests constitute the most important area with huge potential for the increased species diversity. Species diversity values progressively decrease from the forest area to the deforested landscape. The richest ecotone species were identified in deciduous and mixed forests with the presence of shrubs and herbaceous undergrowth in the canopy next to the forest edge and the forest ecotones expanding by succession (an average of 31 species). The lowest species diversity was found in ecotones of young coniferous growths (an average of 17 species). The ecological significance of forest ecotones was completed by the methodology for the assessment of the ecological carrying landscape capacity according to Hrnčiarová et al. (1997).