

POZNATKY Z VÝSKUMU DIVERZITY A DYNAMIKY LESNÝCH EKOSYSTÉMOV NA BÁZE LESNÍCKEJ TYPOLOGIE

JOZEF VLADOVIČ¹, FRANTIŠEK MÁLIŠ¹, JÁN MERGANIČ^{2,3}

¹Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22,
SK–960 92 Zvolen, e-mail: vladovic@nlcsk.org; malis@nlcsk.org

²FORIM, Výskum, inventarizácia a monitoring lesných ekosystémov,
Kpt. Nálepku 277/11, SK–073 01 Sobrance, e-mail: j.merganic@forim.sk

³Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská,
Kamýčká 1176, CZ–165 21 Praha 6 – Suchdol

VLADOVIČ, J., MÁLIŠ, F., MERGANIČ, J.: Knowledge from the research on diversity and dynamics of forest ecosystems on the basis of forestry typology. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 54(3): 213 – 233, 2008, 15 fig., 3 tab., 29 ref. Original paper. ISSN 0323–10468

The paper present the knowledge on the dynamics of diversity research of forest ecosystems in Slovakia on the basis of renewal of typological representative research plots (TRP) in the spectrum of all typological units in Slovakia, which are presented by a typological grid. During the years 2005–2007 there were renewed 2,310 plots with 50 – 30 years lapse. The results of ecological analysis based on Ellenberg indicator values, corrected ecological analysis and gradient analysis of fir-beech altitudinal vegetation zone (in detail in forest type group *Abieto-Fagetum inferiora* (AF nst) are presented. The corrected ecological analysis is performed to eliminate the influence of external undesirable factors between the periods of establishment and renewal. The method is based on linear regression models. The partial results of corrected ecological analysis show statistically significant changes with 68% confidence interval for factors Nutrient, Continentality, Reaction and Temperature and with 95% confidence interval for factor Light. Partial results of gradient analysis show the changes and main gradients in the diversity of floristic composition. The demand of reclassification of some typological units is presented. The empirical material is included into the project information system with the use of geographical information systems, and it is interconnected with central geodatabase.

Key words: *typological representative plot, phytological relevé, corrected ecological analysis, gradient analysis, dynamics, diversity, ecological grid, information system*

Práca uvádza poznatky z výskumu diverzity a dynamiky lesných ekosystémov Slovenska na báze opakovaných zisťovaní na typologických reprezentatívnych výskumných plochách (TRP) v celom spektre typologických jednotiek lesov Slovenska vyjadrených ekologickou mriežkou. Počas rokov 2005–2007 bolo obnovených celkom 2 310 identických dvojíc TRP s časovým odstupom 50 až 30 rokov. Prezentujú sa

výsledky ekoanalýzy, korigovanej ekoanalýzy a gradientových analýz na príklade analýzy empirického materiálu jedľovo-bukového vegetačného stupňa a podrobnejšie v skupine lesných typov *Abieto-Fagetum inferiora* (AF nst). Zavedením metódy tzv. korigovanej ekoanalýzy s uplatnením lineárnych regresných modelov sa eliminuje vplyv externých nežiaducich faktorov medzi opakovanými zisťovaniami. Čiastkové výsledky korigovanej ekoanalýzy naznačujú štatisticky signifikantné zmeny pri 68 % hladine spoľahlivosti vo faktoroch „Dusík“, „Kontinentalita“, „Reakcia“ a „Teplota“ a pri 95 % hladine vo faktore „Svetlo“. Čiastkové výsledky gradientových analýz poukazujú na zmeny a hlavné gradienty v diverzite druhovej skladby. Poukazuje sa tiež na potrebu typologickej reklasifikácie vybraných spoločenstiev. Materiál výskumných plôch je súčasťou informačného systému (IS) projektu s využitím GIS, pričom vytváraná banka údajov je naviazaná na centrálnu geodatabázu.

Kľúčové slová: *typologická reprezentatívna plocha, fytoocenologický zápis, korigovaná ekoanalýza, gradientové analýzy, dynamika, diverzita, ekologická mriežka, informačný systém*

1. Úvod a problematika

Štúdium vplyvu klimatických zmien na druhovú diverzitu fytoocenóz nadobúda v súčasnej dobe pomerne veľký význam, s čím súvisí aj množstvo kvantifikačných matematicko-štatistických metód. Medzi veľmi často používané metódy pri výskume dopadu klimaticko-antropogénnych vplyvov na lesné ekosystémy patria bioindikačné metódy založené na ekologických nárokoch jednotlivých rastlinných druhov. Takúto metodiku navrhol aj ELLENBERG (1979, 1992), ktorý definoval pre väčšinu rastlinných druhov ich ekologické nároky vo vzťahu k šiestim najdôležitejším ekologickým faktorom: svetlo, teplota, kontinentalita, vlhkosť, reakcia na pH a dusík. Analýza spočíva na fytoocenologickej analýze spoločenstiev v určitej oblasti (fytoocenologickom zápise) a následnom priradení Ellenbergových ekohodnôt každému rastlinnému druhu. Po spracovaní takéhoto fytozáznamu je možné indikovať vplyv prevládajúceho faktora v hodnotenej oblasti. V prípade, že sú k dispozícii opakované merania, teda časové rady, môže byť analýza rozšírená na kvantifikáciu predpokladaných klimaticko-antropogénnych vplyvov. Z výsledkov takýchto štúdií vyplýva, že naozaj dochádza k zmene druhového zloženia, resp. pokryvnosti (kvantitatívneho podielu) rastlinných druhov, čo indikuje zmenu ekologických podmienok (MARKERT *et al.* 2003). Prevažná väčšina autorov konštatuje tieto zmeny v súvislosti s depozíciou dusíka a zakysľovaním (PITCAIRN *et al.* 2003, LING 2003, BOHLING 2003, ABOLINA *et al.* 2001, SORENSEN & TYBIRK 2001, BRUNET *et al.* 2000, OREDSSON 1999, DIEKMANN 1999, TYLER & OLSSON 1997, DIEKMANN *et al.* 1998, RODER *et al.* 1996). Čiastočným metodickým nedostatkom je spôsob, akým sa výsledky zhodnocujú. Vo väčšine prípadov sa počíta vážený alebo nevážený (jednoduchý) priemer z ekočísel pre konkrétny faktor napriek tomu, že Ellenbergove ekočísla sú kategoriálne veličiny. Z pohľadu matematicko-štatistického zhodnotenia to nie je celkom korektný postup, k čomu sa prikláňajú aj PIGNATTI *et al.* (2001). Ďalším závažným problémom pri interpretácii výsledkov hodnotenia je to, že bylinná vrstva pomerne silne reaguje aj na zmeny štruktúry lesného porastu. Nový návrh je postavený na korektnejšom matematicko-štatistickom vyhodnotení a uvažuje aj s korekciou vzhľadom na zmenu stavu stromovej vrstvy a ďalších vedľajších

faktorov (MERCANIČ 2007). Výhodou tohto postupu je jednoznačnejšia interpretácia dosiahnutých výsledkov.

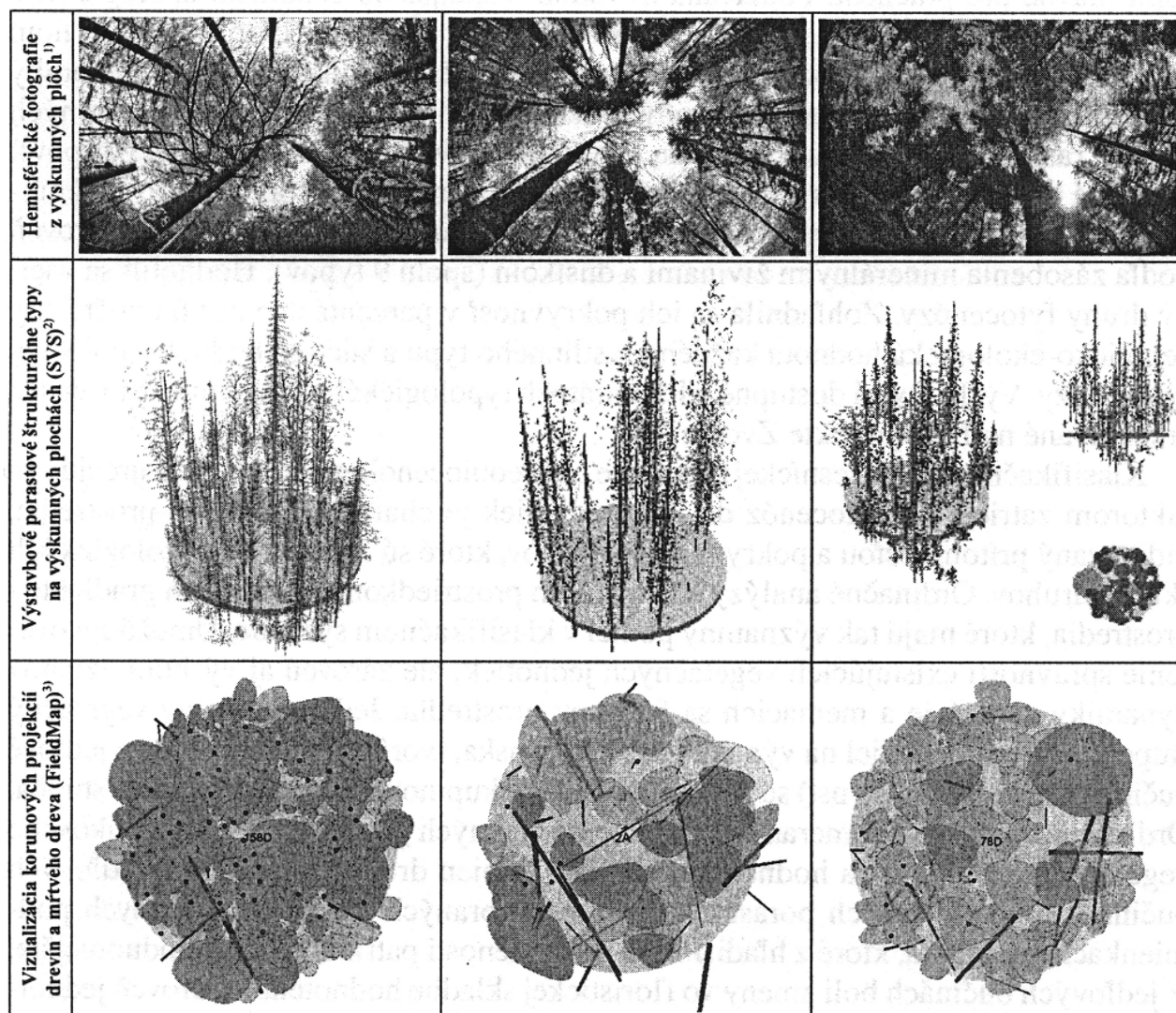
Práca obsahuje poznatky z výskumu diverzity a dynamiky lesných ekosystémov Slovenska pomocou obnovených zápisov na typologických reprezentatívnych plochách (TRP) po 30 – 50 rokoch. Podobné, tzv. cenoticko-ekologické zhodnotenie fytoce-nóz na TRP sa vykonávalo pravidelne v rámci spracovania typologického materiálu z typologického prieskumu lesov Slovenska pracovníkmi bývalého Lesoprojektu Zvolen už v 50-tych rokoch 20. storočia. Jeho výsledky sa nachádzajú v samostatných typologických elaborátoch zo spracovaného územia lesných závodov. Vykonávalo sa rok pred obnovou lesných hospodárskych plánov (LHP). Približne od 60-tych rokov minulého storočia sa typologický prieskum lesov už nespracovával v samostatných elaborátoch, ale ako súčasť LHP. Cenoticko-ekologické hodnotenie sa neskôr prestalo robiť hlavne pre prácnosť. Používaná metodika vtedajšieho cenoticko-ekologického spracovania fytoce-nóz na TRP sa nachádza v práci ZLATNÍK (1956). V uvedenom cenoticko-ekologickom hodnotení fytoce-nóz sa podľa Zlatníkovej (1956) metodiky hodnotila: cenotická príslušnosť a pôvod rastlinných druhov (spolu 13 rastlinných typov); rastlinné typy podľa ich vzťahu k svetelnej povahe prostredia (spolu 6 typov); rastlinné typy podľa vzťahu k vode v prostredí a jej periodicite (spolu 9 typov, v kombinácii ďalších 6 typov); rastlinné typy podľa vzťahu k reakcii rizosféry a zároveň podľa zásobenia minerálnymi živinami a dusíkom (spolu 9 typov). Hodnotili sa všetky druhy fytoce-nózy. Zohľadnila sa ich pokryvnosť v percentách a cez ňu počtársky cenoticko-ekologická hodnota každého rastlinného typu a súčtom hodnota spoločnej fytoce-nózy. Výsledky sú dostupné v Elaborátoch typologického prieskumu Slovenska archivované na Lesoprojekte Zvolen.

Klasifikačný systém lesníckej typológie má geobiocenologický základ a určujúcim faktorom zatriedenia fytoce-nóz do jeho jednotiek je charakter pôdneho prostredia, indikovaný prítomnosťou a pokryvnosťou druhov, ktoré sú zaradené do ekologických skupín druhov. Ordinačné analýzy sú vhodným prostriedkom pre výskum gradientov prostredia, ktoré majú tak významný podiel v klasifikačnom systéme. Umožňujú overenie správnosti existujúcich vegetačných jednotiek, ale zároveň aj výskum vzťahov dynamiky vegetácie a meniacich sa faktorov prostredia. Jedľovo-bukový vegetačný stupeň má vysoký podiel na výmere lesov Slovenska, tvorí približne 21,5 %, a jedľové bučiny (*Abieto-Fagetum nst*) sú najzastúpenejšou skupinou lesných typov tohto stupňa. Ordinačné analýzy sú zamerané na objasnenie hlavných gradientov jedľovo-bukového vegetačného stupňa a na hodnotenie intenzity zmien druhovej skladby v jedľových bučinách a vo vybraných porastoch, resp. na vybraných plochách, v rôznych podmienkach prostredia, ktoré z hľadiska ich prirodzenosti patria medzi najhodnotnejšie. V jedľových bučinách boli zmeny vo floristickej skladbe hodnotené na úroveň jednotlivých druhov v jednotlivých vrstvách.

Cieľom práce je uviesť vybrané poznatky z výskumu diverzity a dynamiky lesných ekosystémov Slovenska na báze opakovaných zisťovaní na typologických reprezentatívnych výskumných plochách s dôrazom na uplatnenie metód tzv. korigovanej ekoanalýzy a gradientových analýz.

2. Materiál a metódy

Empirický materiál predstavujú údaje získané z obnovy typologických reprezentatívnych plôch (TRP), ktoré boli zakladané v rámci všeobecného (1951–1955) a podrobného (1956–1977) typologického prieskumu a v súčasnosti boli obnovované v rámci projektu „Reakcia diverzity lesných fytoocenóz na zmenu edaficko-klimatických podmienok Slovenska“ (VLADOVIČ, MERGANIČ *et al.* 2005–2008) na celom území Slovenska. Zabezpečené sú identické dvojice zápisov z terénneho výskumu: údaje pôvodné a údaje po obnove TRP s časovým odstupom 50 až 30 rokov. Počas riešenia sa v teréne znovu obnovilo 2 310 TRP, z toho 200 na TRP sa vykonali podrobné dendrometrické merania vrátane stojaceho a ležiaceho mŕtveho dreva technológiou FieldMap (obr. 3, 6, 9). Na vybraných obnovených TRP sa celkom odobralo a analyzovalo 1 772 pôdnych vzoriek a vzoriek pokrývneho humusu. Vzorky sa odoberali z identických hĺbok ako v minulosti, podľa možnosti aj z identických pôdnych sond. Plochy sa obnovili v celom spektre typologických jednotiek podľa ekologickej mriežky lesov Slovenska (tab. 1). Uvádza sa prehľad



Obr. – Fig. 1–3 TRP 158D
PR Mašianske skalky – NP
Muráňska planina

Obr. – Fig. 4–6 TRP 2A
NPR Pod Latiborskou hoľou
– NP Nízke Tatry

Obr. – Fig. 7–9 TRP 78D
Lomníštá dolina – NP Nízke
Tatry

¹⁾Hemispheric photos from research plots, ²⁾Stand structure types on research plots, ³⁾Visualization of crown projections of tree species and dead wood (Field Map)

Tabuľka 1 Ekologická mriežka lesov Slovenska (Výmery skupín lesných typov; početnosti obnovených TRP)

Table 1 Ecological grid of the forests in Slovakia (acreage of forest type groups, number of renewed TRP plots)

Vegetačné stupne ¹⁾	Spolu ²⁾ ha	Edaficko-trofické rady a medzirady, skupiny lesných typov (*SLT) ³⁾					
		A rad oligotrofný ³⁾	A/B medzirad prechodný ⁴⁾	B rad mezotrofný ⁵⁾	B/C medzirad prechodný ⁴⁾	C rad nitrofilný ⁶⁾	D rad alkalofilný ⁷⁾
1. dubový ⁸⁾	83 384	PiQ 2 985 ha 17 TRP		CQ 59 942 ha 54 / 4 TRP	CQ ac 3 305 ha	CAc nst 69 ha	CoQ 462 ha
							CoQ pub 5354 ha
		Q 9 017 ha 20 TRP					CoQ car 2 142 ha
		CoQ ac 106 ha					
2. bukovo-dubový ⁹⁾	264 119	Fq nst 5 896 ha 23 / 1 TRP		FQ 238 784 ha 274 / 24 TRP	FQ ac 10 099 ha 12 / 4 TRP	CAc vst 2 850 ha 4 TRP	CoQ fag 4 497 ha
							FQ de 1 930 ha 1 TRP
							Pide nst 63 ha
3. dubovo-bukový ¹⁰⁾	438 794	Fq vst 10 564 ha 35 / 5 TRP		QF 226 140 ha 230 / 15 TRP	QF til 22 606 ha 24 / 2 TRP	TAc nst 9 904 ha 12 / 4 TRP	CoF 3 073 ha
				Fp nst 159 056 ha 168 / 14 TRP			QF de 4 915 ha 5 TRP
		QP i nst 115 ha		PP i nst 723 ha			Pide vst 1 698 ha 5 TRP
4. bukový ¹¹⁾	379 355	QP i vst 318 ha	AQF 2 890 ha 2 / 1 TRP	Fp vst 126 659 ha 120 / 5 TRP	F til 36 939 ha 68 / 5 TRP	TAc vst 10 063 ha 24 / 3 TRP	Fde nst 16 262 ha 47 / 3 TRP
		Fqa 9 412 ha 14 TRP		Ft 166 003 ha 124 / 8 TRP			
		Fa 4 362 ha 14 / 2 TRP		PP i vst 2 553 ha	AQ til 1 217 ha		
		Aq 125 ha		AQ 2 551 ha			

1. Pokračovanie tabuľky 1 – *Contd.*

Vegetačné stupne ¹⁾	Spolu ²⁾ ha	Edaficko-trofické rady a medzirady, skupiny lesných typov (*SLT) ³⁾					
		A rad oligotrofný ³⁾	A/B medzirad prechodný ⁴⁾	B rad mezotrofný ⁵⁾	B/C medzirad prechodný ⁴⁾	C rad nitrofilný ⁶⁾	D rad alkalofilný ⁷⁾
5. jedľovo-bukový ¹²⁾	397 875	Fap nst 23 786 ha 22 / 3 TRP	FA nst 125 495 ha 79 / 5 TRP	AF nst 156 648 ha 139 / 13 TRP	FAC nst 40 552 ha 90 / 12 TRP	FrAc nst 5 687 ha 21 / 2 TRP	Fde vst 27 159 ha 83 / 2 TRP
		PiP nst 5 828 ha	PA nst 6 619 ha		AAc nst 288 ha		Ppide 960 ha
		Pa nst 3 180 ha 9 TRP	F hum nst 477 ha	AcA nst 1 033 ha	FAC hum nst 1 970 ha		Pade 89 ha
		F acid nst 136 ha					PAC 72 ha
6. smrekovo-bukovo-jedľový ¹³⁾	176 594	Fap vst 25 039 ha 54 / 9 TRP	FA vst 62 554 ha 65 / 6 TRP	AF vst 23 416 ha 61 / 13 TRP	FAC vst 19 056 ha 61 / 6 TRP	FrAc vst 2 282 ha 8 TRP	FP nst 12 203 ha 32 / 1 TRP
		Fap hum 2 969 ha			PA vst 9 441 ha 7 TRP		
		PiP vst 81 ha 1 TRP	AcA vst 382 ha				AAc vst 428 ha
		Pa vst 9 311 ha 21 / 2 TRP		F hum vst 2 204 ha 15 TRP	AcP nst 31 ha		PiL nst 1 386 ha 6 TRP
		F acid vst 97 ha			SP 14285 ha 90 / 12 TRP		AcP vst 8 561 ha 24 / 3 TRP
		LP nst 2 116 ha		LP vst 3702 ha 12 / 2 TRP			
	CP 1 079 ha 8 / 1 TRP						
7. smrekový ¹⁴⁾	30 419						

2. Pokračovanie tabuľky 1 – *Contd.*

Vegetačné stupne ¹⁾	Spolu ²⁾ ha	Edaficko-trofické rady a medzirady, skupiny lesných typov (*SLT) ³⁾					
		A rad oligotrofný ³⁾	A/B medzirad prechodný ⁴⁾	B rad mezotrofný ⁵⁾	B/C medzirad prechodný ⁴⁾	C rad nitrofilný ⁶⁾	D rad alkalofilný ⁷⁾
8. kosodrevinový ¹⁵⁾	19 206	M 11 994 ha 6 TRP					
		PM 2 868 ha 1 TRP			RM 611 ha 2 TRP		Mc 948 ha 1 TRP
		CM 2 785 ha 1 TRP					
Spolu ¹⁶⁾ (ha)	1 812 056	160 055	204 559	1 178 866	146 207	31 728	90 640

*skratky SLT (ZLATNÍK 1959, HANČINSKÝ 1972 doplnené) – SLT abbreviations (ZLATNÍK 1959, HANČINSKÝ 1972 completed)

Súbor ¹⁷⁾ „a“	8 558	BQ 2 586 ha 14 TRP	BAI 1 874 ha 7 TRP	AP 3 607 ha 13 / 1 TRP	Pil 491 ha 4 TRP			
Súbor ¹⁷⁾ „c“	36 227	FrAl 4 949 ha 7 / 1 TRP	Alj 1 568 ha 1 TRP	SAI 2 781 ha	QFr 4 095 ha	UFrp 4 165 ha 1 TRP	UFrc 17 493 ha 10 TRP	U 1 021 ha
Spolu ¹⁶⁾ (ha)	44 785							

¹⁾Altitudinal vegetation zone, ²⁾Together, ³⁾Edaphic-trophic orders and interorders, groups of forest types, ⁴⁾Order oligotrophic, ⁵⁾Interorder transitional, ⁶⁾Order mesotrophic, ⁷⁾Order nitrophilous, ⁸⁾Order alkaliphilous, ⁹⁾1st (oak), ¹⁰⁾2nd (beech-oak), ¹¹⁾3rd (oak-beech), ¹²⁾4th (beech), ¹³⁾5th (fir-beech), ¹⁴⁾16) Together, ¹⁷⁾Set

výmer skupín lesných typov (slt), podľa vegetačných stupňov, edaficko-trofických radov a medziradov, hydrických súborov slt. Zároveň sa uvádzajú aj celkové početnosti obnovených TRP, z toho početnosti dendrometricky podrobne meraných TRP (plôch tzv. druhej úrovne). Získal sa rozsiahly materiál z opakovaného zisťovania na dvojiciach záznamov identických výskumných plôch, ktorý umožňuje posúdenie vývoja lesných fytoocenóz, drevinovej štruktúry, diverzity a vybraných pôdnych parametrov lesných pôd s odstupom 50 až 30 rokov, čo je základnou podmienkou obnovy TRP. Dizajn obnovených plôch je v prevažnej miere kruhový prípadne štvoruholníkový so štandardizovanou výmerou 1 000 m² (dendrozložka) a 500 m² (zápis bylinnej synúzie). Plochy sa lokalizovali prostredníctvom GPS, vybrané sa vizualizovali v systéme Stand Visualization System (SVS; McGAUGHEY 2002) (obr. 2, 5, 8) a vyhotovila sa digitálna fotodokumentácia.

Informačné spektrum pozostáva zo základných údajov: Lesná oblasť (VLADOVIČ *et al.* 1994), jednotka priestorového rozdelenia lesa (JPRL) a i.; stanovištných a terénnych charakteristík: lesný typ (lt) (HANČINSKÝ 1972), skupina lesných typov (slt) a novšie zaradenie slt podľa ZLATNÍKA (1976), pôdny predstaviteľ,

reliéf terénu, nadmorská výška, expozícia a sklon; porastových charakteristík: zastúpenie dreviny, vek, zakmenenie, zápoj; fytoocenologických charakteristík: pokryvnosť druhov podľa Zlatníkovej kombinovanej stupnice abundancie a dominancie; pedologické charakteristiky a odbery pôdnych vzoriek. Z biometrických veličín stromovej etáže sa na plochách zisťovali: výška stromu, hrúbka stromu, nasadenie koruny, korunová projekcia, druh dreviny, poškodenie stromu, parametre stojaceho a ležiaceho mŕtveho dreva.

Pre ilustráciu uplatnenia ekoanalýzy a korigovanej ekoanalýzy sa z uvedeného súboru TRP vybrali plochy reprezentujúce 5. jedľovo-bukový vegetačný stupeň (443 TRP) a slt *Abieto-Fagetum* nižší stupeň (AF nst), s celkovou početnosťou 139 obnovených a analyzovaných TRP.

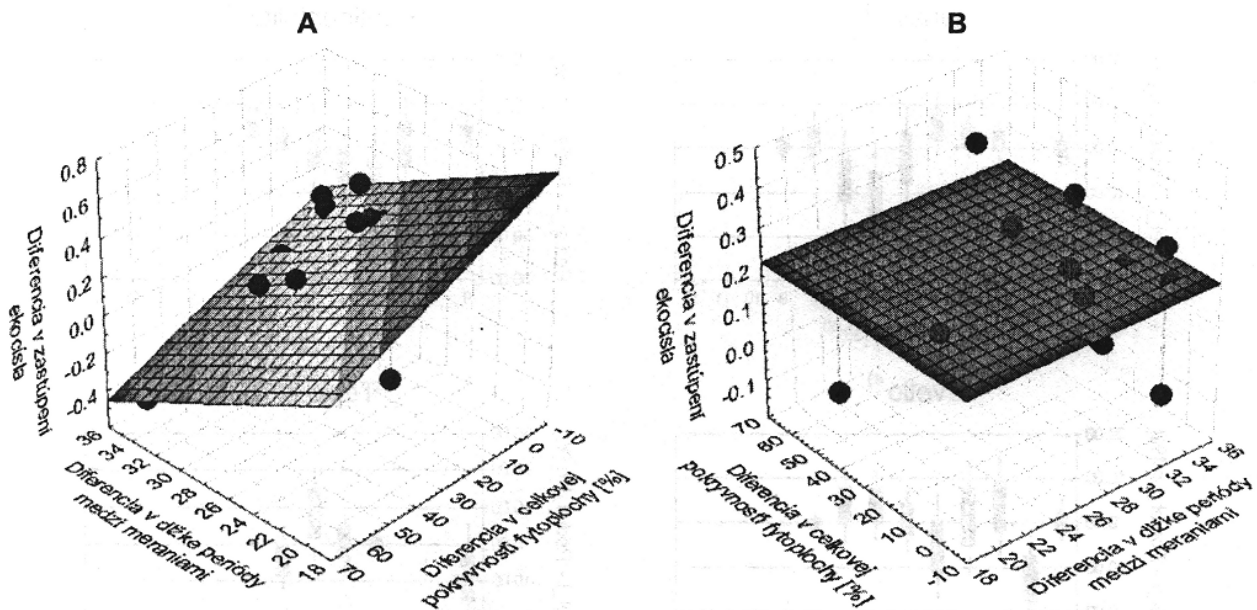
Ekoanalýza reakcie bylinnej vrstvy na vplyv edaficko-klimatických zmien spočíva v štatistickom teste priemernej zmeny frekvencie alebo podielu ekočísła konkrétneho ekofaktora v rámci určitej vopred definovanej kategorizačnej jednotky, napr. v skupine lesných typov (MERGANIČ 2007). Zmena ekočísła je definovaná ako diferencia hodnôt frekvencie (výskyt indikujúcich druhov) alebo podielu (pokryvnosť indikujúcich druhov) ekočísła v čase t_2 a t_1 . V druhom kroku prebieha eliminácia vplyvu externých nežiaducich faktorov ako veku porastu, zápoja, celkovej pokryvnosti a dĺžky periódy (intervalu) medzi opakovaným meraním v situácii, ak sa ich vplyv potvrdil štatisticky významne (korigovaná ekoanalýza). V takom prípade sú priemerné hodnoty diferencií korigované jednoduchým resp. viacnásobným lineárnym regresným modelom, ktorý je výsledkom optimalizácie pre všetky možné kombinácie nežiaducich faktorov (15 lineárnych modelov) a má najtesnejší vzťah k hodnotenej zmene. Korekcia je zameraná na vynulovanie resp. minimalizáciu vplyvu nežiaducich faktorov. Anulácia vplyvu sa používa v prípadoch a pri tých veličinách, ktorých diferencie majú priebeh v definičnom obore záporných a súčasne aj kladných čísel (prevažne zápoj a celková pokryvnosť). Minimalizácia vplyvu sa používa pri veličinách, ktorých diferencie nadobúdajú hodnoty len v obore kladných čísel alebo len záporných čísel (prevažne vek porastu, interval hodnotenia). Prepočet, korekcia sa uskutoční na stav minimálnej (kladné diferencie) resp. maximálnej (záporné diferencie) diferencie. Na obrázkoch 10 a 11 sa uvádza ukážka korekcie ako aj výsledok takejto analýzy pre faktor reakcia na pH.

Pre ďalšie práce s fytoocenologickými dátami a stanovenie percentuálnej konštantnosti a fidelity (vernosti druhu) bol použitý program Juice (TICHÝ 2002). Fidelita bola stanovená mierou phi koeficient a testovaná Fisherovým testom. Hodnoty priemerného ekočísła použité v ordinačných analýzách boli tiež vypočítané v programe Juice, z hodnôt pre jednotlivé druhy v zmysle práce ELLENBERG *et al.* (1992), ale spôsobom bez zohľadnenia pokryvnosti druhov. Gradientové analýzy boli realizované v programe Canoco (TER BRAAK, ŠMILAUER 2006) a keďže boli zamerané na diverzitu a zmeny v bylinnej synúzii, druhy drevín a krov boli z údajov vstupujúcich do analýz odstránené (okrem DCA analýzy jedľových bučín (*Abieto-Fagetum* nižší stupeň) kde bola do analýzy zahrnutá aj stromová zložka). Nomenklatúra taxónov je uvádzaná podľa Zoznamu vyšších a nižších rastlín Slovenska (MARHOLD, HINDÁK 1998). Skratky názvov druhov v ordinačných grafoch sú prevzaté z programu Turboveg (HENNEKENS 1995). Číselné kódy za názvom druhu informujú o vrstve, ku ktorej druh patrí (číselný kód – vrstva drevín, resp. bylín: 1–1a2, 2–3, 3–4, 4–51a, 6–byliny, 7–51b, 8–52, 9–machy), vrstvy drevín (aj v ostatných prípadoch) sú uvádzané podľa Zlatníkovej klasifikácie vrstiev porastu (ZLATNÍK 1953).

3. Výsledky a diskusia

3.1. Ekoanalýza

Z výsledkov korigovanej ekoanalýzy posudzovanej slt vyplýva, že za hodnotené obdobie došlo k niekoľkým štatisticky signifikantným zmenám. Signifikantné zmeny pri 95 % spoľahlivosti sme zaznamenali iba pri faktore „Svetlo“. Z analýzy vyplýva, že za sledované obdobie 39 rokov (aritmetický priemer) došlo k významnému úbytku podielu druhov plnotieňomilných. Zmeny pri 68 % spoľahlivosti sme zaznamenali pri faktoroch „Dusík“, „Kontinentalita“, „Reakcia“ a „Teplota“. Pri faktore „Dusík“ pribudol podiel druhov chudobných pôd na úkor podielu druhov bohatých pôd. Zme-

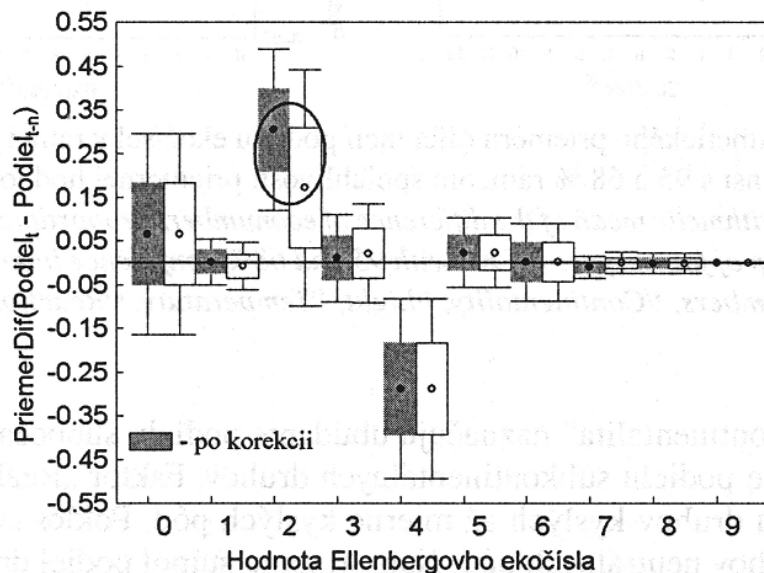


Obr. 10 Ukážka princípu korekcie v prípade, že na zastúpenie ekočísla vplyvajú dva nežiaduce faktory (dĺžka periódy medzi meraniami a celková pokrývnosť fytoplochy).

A – pred korekciou, silný vplyv nežiaducich faktorov na zmenu v zastúpení ekočísla; B – po korekcii, je odstránená závislosť zmeny v zastúpení ekočísla od nežiaducich faktorov

Fig. 10 Demonstration of correction principle in case of the effect of two undesirable factors (time gap between samplings and total herb cover)

A – before correction; B – after correction

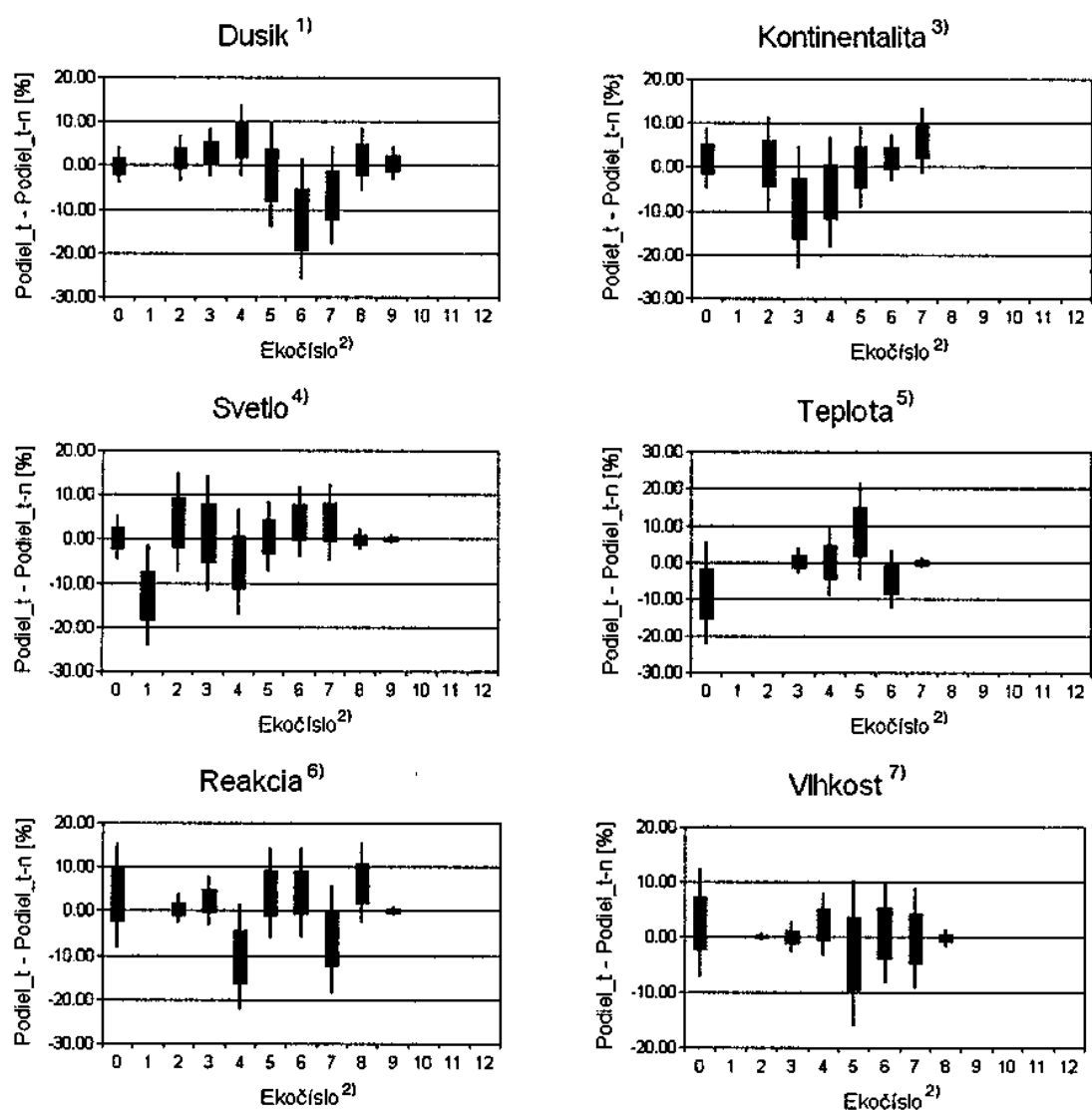


Obr. 11 Názorná ukážka korekcie t. j. očistenia priemernej diferencie zastúpenia ekočísla od vplyvu nežiaducich faktorov a jej vplyv na interpretáciu výsledku (hodnotený faktor reakcia na pH)

Legenda: (• aritmetický priemer, ■ □ ± stredná chyba (IS 68 %), I ± 1,96 stredná chyba (IS 95 %).

Fig. 11 Demonstration of correction by the Reaction factor assessment

Legend: (• average, ■ □ ± mean error (68% confidence interval), I ± 1.96 mean error (95% confidence interval)



Obr. 12 Priebeh aritmetického priemeru diferencií podielu ekočísel v rámci jednotlivých eko-faktorov pri sít AF nst s 95 a 68 % rámcom spoľahlivosti priemernej hodnoty

Fig. 12 Course of arithmetic mean of the difference of econumbers proportions within individual ecofactors for group of forest types AF nst with 95 and 68% confidence interval of mean value
¹⁾Nitrogen, ²⁾Econumbers, ³⁾Continentality, ⁴⁾Light, ⁵⁾Temperature, ⁶⁾Reaction, ⁷⁾Moisture

ny pri faktore „Kontinentalita“ naznačujú ubúdanie podielu suboceanických druhov a naopak zvýšenie podielu subkontinentálnych druhov. Faktor „Reakcia“ poukazuje na pokles podielu druhov kyslých až mierne kyslých pôd. Pokles sme zaznamenali aj pri podiele druhov neutrálnych pôd. Naproti tomu stúpol podiel druhov bázických pôd. Tento bimodálny priebeh zmien priemerných diferencií môže odzrkadľovať vplyv podložia stanovíšť (horniny karbonátové a horniny bez karbonátov). Ako možno vidieť z obrázku 12, posun zmien pri indikačných číslach 4–5 je pravdepodobne viazaný na bezkarbonátové lokality a posun 7–8 na karbonátové podložia. Pri faktore „Teplota“ zmeny poukazujú na pokles podielu indiferentných druhov a nárast podielu druhov mierneho tepla.

Tabuľka 2 Aritmetický priemer diferencie podielu ekočísła (*IS 68%, **IS 95%) v rámci sít AF nst

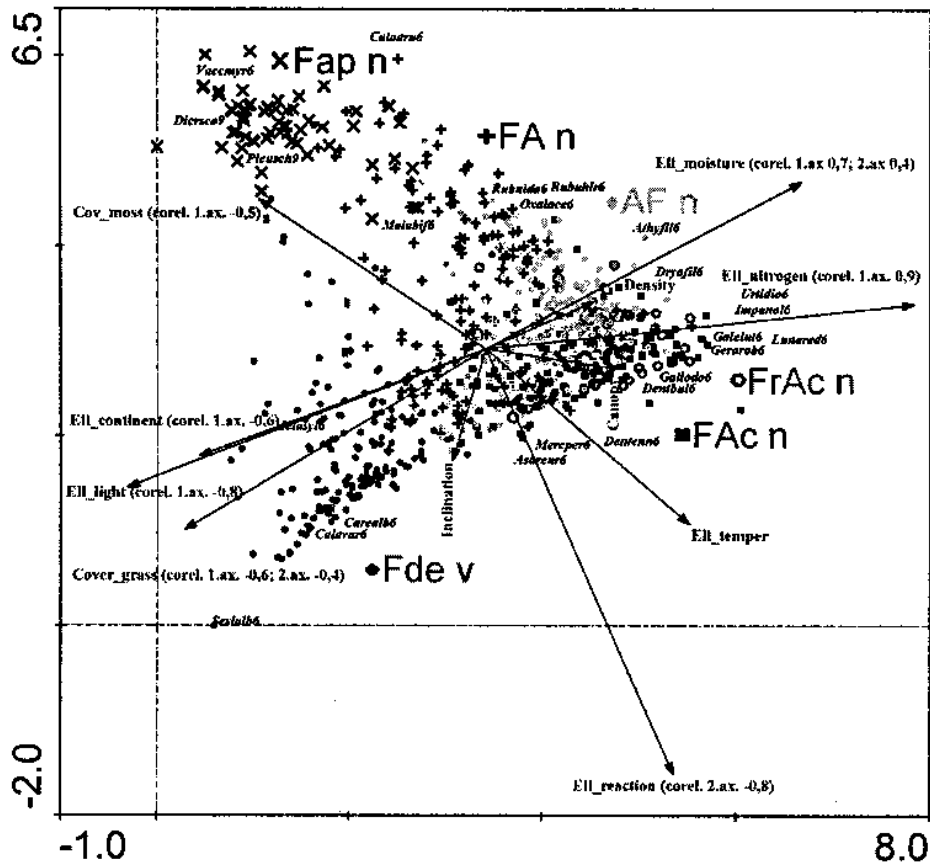
Table 2 Arithmetic mean of the difference of indicator value proportion in forest type group AF nst (*CI 68%, **CI 95%)

Faktor ¹⁾	Dusík ²⁾	Kontinentalita ³⁾	Reakcia ⁴⁾	Svetlo ⁵⁾	Teplota ⁶⁾	Vlhkosť ⁷⁾
0	-0,05	1,93	3,46	0,28	-8,64*	2,49
1				-12,88**		
2	1,67	0,80	0,61	3,68	0,24	0,01
3	2,99*	-9,46*	2,19	1,40	0,43	0,01
4	5,64*	-5,68	-10,43*	-5,34	0,28	2,25
5	-2,07	0,00	4,03	0,56	8,45*	-2,99
6	-12,25*	2,11	4,31	3,74	-4,54*	0,66
7	-6,80*	5,86*	-6,31*	3,75	0,02	-0,25
8	1,50		6,45*	-0,13		-0,27
9	0,54		0,02	-0,01		

¹⁾Factor, ²⁾Nitrogen, ³⁾Continentality, ⁴⁾Reaction, ⁵⁾Light, ⁶⁾Temperature, ⁷⁾Moisture

3.2. Gradientové analýzy

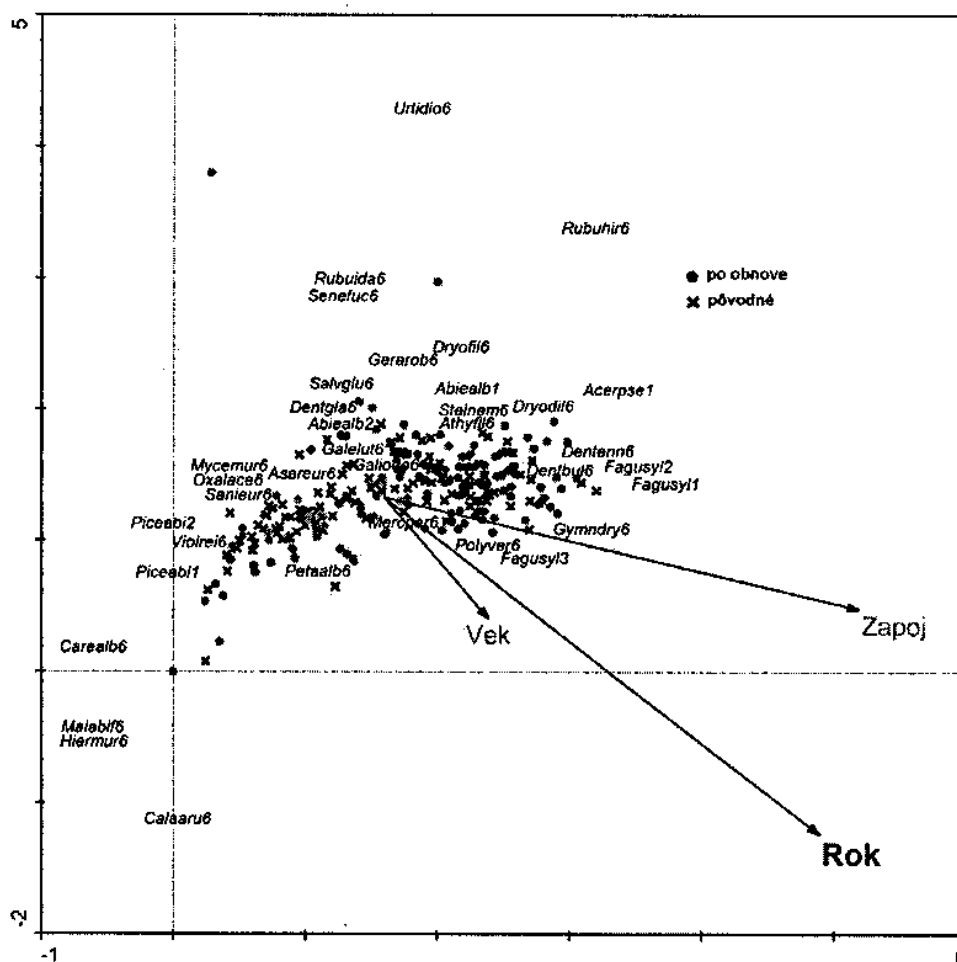
Analyzovaný empirický fytoocenologický materiál reprezentuje široké spektrum ekologických podmienok celého jedľovo-bukového vegetačného stupňa (443 TRP) a to v rozsahu celého územia Slovenska. Vzhľadom k takejto veľkej variabilite dát (dĺžka gradientu bola 6,04) bola použitá nepriama analýza DCA. Prvé dve ordinačné osi vysvetlili spolu síce len 6 % z celkovej variability bylinnej synúzie, ale pri takto veľmi heterogénnom súbore dát je to obvyklé. Na vegetáciu vplýva veľké množstvo faktorov, ktoré vzájomne spôsobujú jej celkovú variabilitu a ordinačné osi reprezentujú fiktívne, analýzou vypočítané faktory, ktoré odrážajú najväčšie smery variability. Porovnaním exaktne zistených veličín (ako nadmorská výška, sklon, pôdna reakcia a podobne) s ordinačnými osami určujeme, ktorá z týchto meraných veličín má najväčší vplyv na variabilitu vegetácie. Kvantifikáciu vplyvu konkrétnej veličiny je možné realizovať na základe priamych gradientových analýz. Aj v prípade tejto analýzy je podiel vysvetlenej variability nízky ale napriek tomu sú v prezentovanom ordinačnom grafe (obr. 13) zrejme jasné gradienty, ktoré dobre vystihujú variabilitu nielen vegetácie ale aj stanovištných podmienok. Interpretácia týchto gradientov je podporená aj zobrazenými pasívnymi premennými, z ktorých niektoré výrazne korelovali s hlavnými osami ordinačné (významnejšie hodnoty korelačných koeficientov sú zobrazené v grafe priamo pri premenných). Jednotlivé body grafu, teda fytoocenologické zápisy, sú znakovo odlíšené na základe príslušnosti k skupinám lesných typov. V ľavej hornej časti grafu sa nachádzajú spoločenstvá oligotrofného radu A, smrekové jedľobučiny (Fap, *Fagetum abietino-piceosum*), v ľavej dolnej časti sú alkalofilné vápencové bučiny radu D (Fde, *Fagetum dealpinum*). Smerom vpravo od týchto dvoch ekologicky najvyhranenejších



Obr. 13 DCA analýza spoločenstiev jedľovo-bukového vegetačného stupňa (Fap n-*Fagetum abietino-piceosum* nižší stupeň, FA n-*Fageto-Abietum* nižší stupeň, AF n-*Abieto-Fagetum* nižší stupeň, FrAc n-*Fraxineto-Aceretum* nižší stupeň, FAc n-*Fageto-Aceretum* nižší stupeň, Fde v-*Fagetum dealpinum* vyšší stupeň, predpona Ell znamená priemerné Ellenbergove ekočíslo pre jednotlivé faktory, cov_moss, resp. cov_grass – pokryvnosť machov, resp. trávovitých druhov, corel. 1.ax – hodnota korelačného koeficientu premennej s príslušnou ordinačnou osou)
 Fig. 13 DCA analysis of plant communities of fir-beech altitudinal vegetation zone (forest type groups: Fap n-*Fagetum abietino-piceosum* superiora, FA n-*Fageto-Abietum* superiora, AF n-*Abieto-Fagetum* superiora, FrAc n-*Fraxineto-Aceretum* superiora, FAc n-*Fageto-Aceretum* superiora, Fde v-*Fagetum dealpinum* inferiora, prefix Ell means average Ellenberg value for each factor, Cover moss, grass – cover of mosses, grass species, corel. 1.ax – value of correlation coefficient of variable with ordination axes)

skupín lesných typov sa so zbiehajúcou tendenciou ordinačného priestoru nachádzajú bukové jedliny (FA, *Fageto-Abietum*) prechodného hemioligotrofného radu A/B, ďalej jedľové bučiny (AF, *Abieto-Fagetum*) mezotrofného radu B s postupným prelínaním sa s bukovými javorinami (FAc, *Fageto-Aceretum*) prechodného heminitrofilného radu B/C s ťažiskom v pravej dolnej časti priestoru. Azonálna povaha jaseňových javorín (FrAc, *Fraxineto-Aceretum*) nitrofilného radu C sčasti vysvetľuje ich mierne rozptýlenú polohu. Najvýznamnejšími faktormi, ktoré ovplyvňujú diverzitu bylinnej synúzie, sú vlhkosť a svetelné pomery, živnosť stanovišťa a pôdna reakcia, nepriamo indikované vegetáciou prostredníctvom ekočísiel. Zaujímavým výsledkom je aj potvr-

denie zvyšujúcej sa pokryvnosti machorastov smerom ku acidofilným a oligotrofným spoločenstvám a takisto zvýšenej pokryvnosti trávovitých druhov vo fytocenózach viazaných na karbonátové horniny. Zo vzájomných korelácií uvádzaných premenných majú vyššie hodnoty korelácie faktory priemerného ekočísła pre faktor dusík a svetlo (záporný koeficient s hodnotou $-0,79$, teda čím viac svetlomilných druhov, tým menej nitrofilných druhov) a pre faktor vlhkosť a dusík (pozitívny koeficient $0,77$ signalizuje koexistenciu vlhkomilných a nitrofilných druhov). Výskyt zápisov bukových jedlín, jedľových bučín a bukových javorín v zóne prechodu od nitrofilných ku alkalofilným spoločenstvám, pričom tieto sú radené do edaficko-trofických radov a medziradov A/B a B, čiastočne aj B/C, je spôsobený zaraďovaním lesných typov týchto spoločenstiev na karbonátových horninách do uvádzaných radov. Toto zatriedenie je sporné a riešenie tohto problému je možné aj na základe práce ZLATNÍK (1976), v ktorej autor navrhol klasifikáciu fytocenóz obsahujúcu aj prechodné edaficko-trofické rady B/D a C/D, ktoré typologický systém zaužívaný na Slovensku neobsahuje. Opodstatnenosť takejto reklasifikácie bude ale potrebné overiť ďalšími analýzami.



Obr. 14 DCA analýza zameraná na vzťah medzi druhovou skladbou fytocenóz jedľových bučín a roka

Fig. 14 DCA focused on relation between fir-beech forest species composition and year

Zmeny v diverzite drevinovej aj bylinnej zložky boli sledované v spoločenstvách jedľových bučín jedľovo-bukového vegetačného stupňa (AF nst, *Abieto-Fagetum* nižší stupeň). Grafické znázornenie nepriamej gradientovej analýzy DCA (obr. 14) vyjadruje rozdelením zápisov na „pôvodné“ (obdobie zakladania plochy) a „po obnove“ (obdobie obnovy plochy) rozdielnosť druhovej skladby fytoocenóz v rámci týchto dvoch období. Ako pasívne premenné sú v grafe zobrazené aj veličiny stredný vek a zápoj porastu a rok zakladania, resp. obnovy plochy. Poloha druhov v ordinačnom priestore indikuje stanovištné pomery. V ľavej dolnej časti sa nachádzajú kalcifilné spoločenstvá a v centrálnej časti sú charakteristické spoločenstvá jedľových bučín s prevahou bučínových druhov. Z posunu zón výskytu záznamov v ordinačnom priestore je zreteľné, že vplyvom časovej zmeny nedošlo k výraznému odchýleniu sa od pôvodného stavu. Zóna výskytu plôch po obnove je mierne posunutá vpravo a sčasti nadol. Prítomné premenné len slabo korelujú s hlavnými osami ordinácie a len na ich základe nie je možné jednoznačne definovať hlavné príčiny zmien.

Zmeny v zastúpení rastlinných druhov v spoločenstvách jedľových bučín (AF n) sú vyjadrené fidelitou (mierou vernosti) a absolútnym rozdielom percentuálnej kon-

Tabuľka 3 Hodnoty fidelity a percentuálnej konštantnosti druhov v období zakladania a obnovy plôch

Table 3 Fidelity value and species percent constancy in period of establishment and renewal of plots

Druh ¹⁾	Vrstva ²⁾ (ZLATNÍK 1953)	Fidelita (vernosť) ³⁾		Percentuálna konštantnosť ⁴⁾		
		obdobie založenia ⁵⁾	obdobie obnovy ⁶⁾	obdobie založenia ⁵⁾	obdobie obnovy ⁶⁾	Rozdiel ⁷⁾
<i>Abies alba</i>	dreviny 4 ⁸⁾	25,5	–	34	12	-22
<i>Pulmonaria obscura</i>	byliny ⁹⁾	19,8	–	41	22	-19
<i>Epilobium montanum</i>	byliny ⁹⁾	17,9	–	35	19	-16
<i>Myosotis sylvatica</i>	byliny ⁹⁾	17,8	–	16	5	-11
<i>Picea abies</i>	dreviny 4 ⁸⁾	17	–	30	16	-14
<i>Ulmus glabra</i>	dreviny 3 ⁸⁾	16,5	–	5	0	-5
<i>Primula elatior</i>	byliny ⁹⁾	15,7	–	19	8	-11
<i>Dentaria bulbifera</i>	byliny ⁹⁾	15,6	–	74	60	-14
<i>Poa chaixii</i>	byliny ⁹⁾	15	–	4	0	-4
<i>Galeobdolon luteum</i>	byliny ⁹⁾	14,7	–	81	68	-13
<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	byliny ⁹⁾	14,7	–	9	2	-7
<i>Ajuga reptans</i>	byliny ⁹⁾	14,6	–	37	24	-13
<i>Mycelis muralis</i>	byliny ⁹⁾	14,5	–	78	65	-13
<i>Carex digitata</i>	byliny ⁹⁾	14,2	–	30	18	-12
<i>Dentaria enneaphyllos</i>	byliny ⁹⁾	14,1	–	28	17	-11
<i>Galium odoratum</i>	byliny ⁹⁾	14,1	–	89	79	-10

Pokračovanie tabuľky 3 – *Contd.*

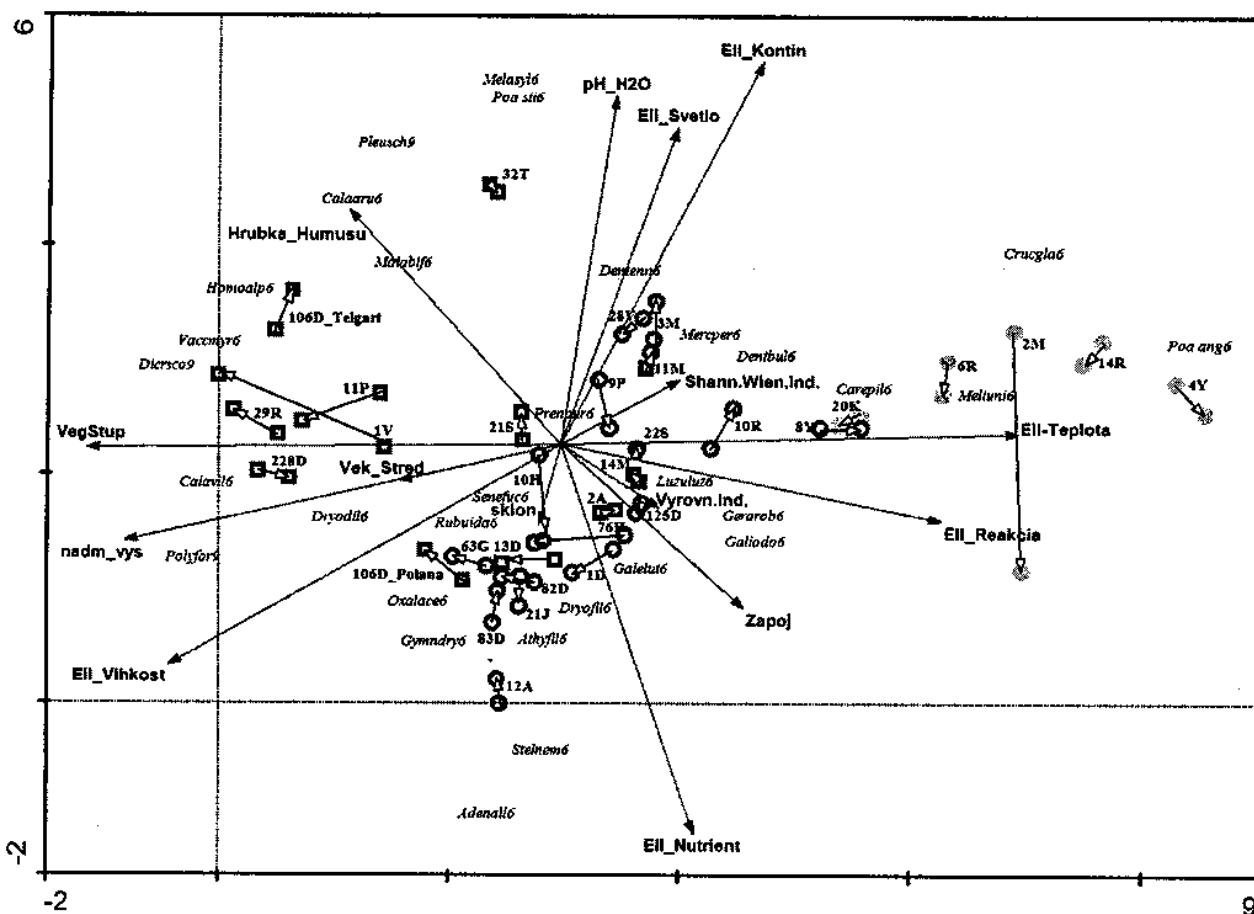
Druh ¹⁾	Vrstva ²⁾ (ZLATNÍK 1953)	Fidelita (vernosť) ³⁾		Percentuálna konštantnosť ⁴⁾		
		obdobie založenia ⁵⁾	obdobie obnovy ⁶⁾	obdobie založenia ⁵⁾	obdobie obnovy ⁶⁾	Rozdiel ⁷⁾
<i>Stachys alpina</i>	byliny ⁹⁾	14	–	7	1	-6
<i>Abies alba</i>	dreviny 3 ⁸⁾	13,8	–	38	25	-13
<i>Cystopteris fragilis</i>	byliny ⁹⁾	13,4	–	4	0	-4
<i>Betula pendula</i>	dreviny 1 a 2 ⁸⁾	13,4	–	5	1	-4
<i>Salix caprea</i>	dreviny 3	13,4	–	4	0	-4
<i>Symphytum cordatum</i>	byliny ⁹⁾	13,4	–	4	0	-4
<i>Lonicera xylosteum</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	13,3	–	12	4	-8
<i>Picea abies</i>	dreviny 3 ⁸⁾	13,3	–	56	42	-14
<i>Campanula trachelium</i>	byliny ⁹⁾	13,2	–	20	11	-9
<i>Valeriana tripteris</i>	byliny ⁹⁾	12,7	–	9	3	-6
<i>Aegopodium podagraria</i>	byliny ⁹⁾	12,2	–	18	9	-9
<i>Cardamine impatiens</i>	byliny ⁹⁾	12	–	11	4	-7
<i>Picea abies</i>	dreviny 1 a 2 ⁸⁾	11,5	–	78	68	-10
<i>Acer pseudoplatanus</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	31,8	46	77	31
<i>Acer pseudoplatanus</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	31,7	31	63	32
<i>Fagus sylvatica</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	27,6	50	77	27
<i>Fagus sylvatica</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	24,1	58	81	23
<i>Fraxinus excelsior</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	22,3	12	29	17
<i>Corylus avellana</i>	dreviny 4 ⁸⁾	–	19	7	20	13
<i>Fraxinus excelsior</i>	dreviny 4 ⁸⁾	–	18,3	0	6	6
<i>Acer platanoides</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	18	4	15	11
<i>Calamagrostis villosa</i>	byliny ⁹⁾	–	17,2	0	6	6
<i>Hordelymus europaeus</i>	byliny ⁹⁾	–	17,1	5	16	11
<i>Picea abies</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	16,7	13	27	14
<i>Daphne mezereum</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	16,3	6	17	11
<i>Acer pseudoplatanus</i>	dreviny 1 a 2 ⁸⁾	–	15,7	30	45	15
<i>Sorbus aucuparia</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	15,5	19	33	14
<i>Corylus avellana</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	15,2	12	23	11
<i>Fraxinus excelsior</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	15,2	12	23	11
<i>Polytrichum formosum</i>	machy ¹⁰⁾	–	15,1	4	12	8
<i>Corylus avellana</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	15,1	4	13	9
<i>Sorbus aucuparia</i>	dreviny 5 _{1b} ⁸⁾	–	14,2	23	36	13
<i>Cardamine trifolia</i>	byliny ⁹⁾	–	13,5	0	4	4
<i>Ulmus glabra</i>	dreviny 5 _{1a} ⁸⁾	–	13,1	2	7	5
<i>Dryopteris filix-mas</i>	byliny ⁹⁾	–	12,3	83	91	8

¹⁾Species, ²⁾Layer, ³⁾Fidelity, ⁴⁾Constancy percent, ⁵⁾Establishment period, ⁶⁾Renewal period, ⁷⁾Difference,

⁸⁾Tree species, ⁹⁾Herbs, ¹⁰⁾Mosses

štantnosti druhov v minulom a súčasnom období, ktoré vyjadruje tabuľka 3. Uvádzané sú len druhy, v prípade ktorých spĺňala hodnota fidelity podmienku signifikantnosti Fisherovho testu $p < 0,05$. Zároveň je ku druhom uvádzaná aj hodnota percentuálnej konštantnosti a jej rozdiel medzi dvoma obdobiami (zmeny neboli testované). Fidelita so zápornou hodnotou nie je uvedená. Výpočet fidelity vychádza len z dát o prítomnosti, resp. neprítomnosti druhov a ich pokryvnosť nezohľadňuje. Spomedzi drevín bol zaznamenaný najvyšší ústup jedle *Abies alba* najmä z podúrovne z vrstiev 3 a 4 a smreka *Picea abies* takmer zo všetkých vrstiev porastu. Zrejme vplyvom týchto zmien sa zlepšili podmienky pre zmladenie drevín, pretože v období obnovy plôch majú vysokú hodnotu fidelity a nárast percentuálnej konštantnosti práve dreviny vo vrstvách 51a a 51b, pričom najvýraznejší nárast bol u javora horského *Acer pseudoplatanus* a buka *Fagus sylvatica*. Podobné zmeny vrátane zmien v bylinnej vrstve v spoločenstvách s dominanciou buka uvádzajú aj KRIŽOVÁ 1994, UJHÁZY *et al.* 2007 a IŠTOŇA 2002. V bylinnej vrstve bol zaznamenaný ústup niektorých jarných efemeroidov (*Dentaria bulbifera*, *Dentaria enneaphyllos*), ktorý môže byť spôsobený aj rozdielnosťou periódy kedy boli realizované fytocenologické zápisy, v rámci vegetačného obdobia, napriek tomu, že na základe pracovných postupov projektu, bola snaha obnovovať plochy v rovnakej perióde. Viaceré z ustúpených bylinných druhov patria podľa Ellenbergovej stupnice pre faktor reakcia medzi druhy neutrálnych a neutrálnych až bázických pôd. Ich úbytok a naopak nárast pri druhoch *Calamagrostis villosa* (výskyt druhu by bolo vhodné overiť, keďže v období zakladania plôch nebol prítomný a jeho výskyt sa viaže na vyššie nadmorské výšky) a *Dryopteris filix-mas* môže byť podmienený aj prípadnou acidifikáciou hlavnej rizosféry bylín. IŠTOŇA 2002, citujúc aj iných autorov, prezentuje názor, že za prejav acidifikácie možno považovať aj šírenie indiferentných (acidotolerantných) druhov. Výsledky korigovanej ekoanalýzy pre faktor reakcia preukázali v súlade s týmto názorom zvýšenie podielu indiferentných druhov. Porovnaním výsledkov ekoanalýzy a ekologických nárokov druhov, ktoré hodnotíme ako ustupujúce, resp. pribúdajúce na základe miery fidelity, sa zmena v prípade pôdnej reakcie jasne potvrdila len u druhov neutrálnych pôd. Táto nezhoda je spôsobená tým, že v ekoanalýze sú zohľadňované aj pokryvnosti druhov a hodnota fidelity pokryvnosť nezohľadňuje. Mieru tejto nezhody by bolo možné znížiť, ak by do výpočtu fidelity pokryvnosť vstupovala. Fidelita bola ale pri analýzach počítaná zámerné len na základe prítomnosti, aby bolo možné hodnotiť výrazné zvýšenie prítomnosti, resp. absencie druhov v dvoch obdobiach. Problematika využitia pokryvnosti druhov vo vegetačných analýzach je často diskutovanou témou a to nielen pri ekologických analýzach, ale aj pri klasifikácii vegetácie. Vhodným riešením pre porovnanie dvoch stavov je využitie oboch prístupov, prípadne logaritmická transformácia pokryvnosti.

Jedným z cieľov riešeného projektu bolo aj prispieť k objasneniu vplyvu predpokladaných edaficko-klimatických zmien na diverzitu fytocenóz. Čiastočne bola táto problematika riešená DCA analýzou, ktorú prezentuje graf (obr. 15). Pre ilustráciu bolo vybraných 31 plôch, na ktorých nedošlo počas obdobia medzi založením a obnovou plochy k žiadnym hospodárskym zásahom. Plochy sa nachádzajú v prírodných rezerváciách a z hľadiska prirodzenosti porastov sú veľmi zachovalé a hodnotné. Ich lokali-



Obr. 15 DCA analýza plôch so zobrazením zmeny bylinnej synúzie plôch a faktorov prostredia, kruh – dominancia druhov *Quercus cerris* a *Quercus petraea* agg., kružnica – dom. *Fagus sylvatica*, štvorec – dom. *Picea abies*, v prípade plôch 14M a 11M *Abies alba*

Fig. 15 DCA analysis of plots with focusing on changes in herb layer and their relation to the environmental factors; filled circle – dominance *Quercus cerris* and *Quercus petraea* agg., empty circle – dom. *Fagus sylvatica*, square – dom. *Picea abies*, in cases 14M and 11M *Abies alba* (Ell_vlhkost – average Ellenberg value for moisture, Ell_reakcia – reaction, Ell_teplota – temperature, Ell_kontin – continentality, Ell_svetlo – light, zapoj – canopy, vek_stred – stand age, nadm_vys – altitude, VegStup – altitudinal vegetation zone, hrubka_humusu – humus thickness, sklon - inclination)

zácia reprezentuje široké spektrum prírodných stanovištných podmienok, nachádzajú sa od 1. dubového až po 7. smrekový vegetačný stupeň v rôznych edaficko-trofických radoch s výnimkou alkalofilného radu D. S prvou ordinačnou osou najvýznamnejšie korelujú faktory vegetačný stupeň, priemerné ekočíslo pre teplotu, nadmorská výška a priemerné ekočíslo pre vlhkosť a pôdnu reakciu (hodnoty korelačného koeficientu od 0,75 do 0,95). Druhá ordinačná os koreluje s jednotlivými faktormi menej významne, najvyššie hodnoty (od 0,51 do 0,63) dosahujú faktory priemerné ekočíslo pre kontinentalitu, živnosť a svetlo, aktívnu pôdnu reakciu.

Z faktorov vstupujúcich do analýzy by vo všeobecnosti mali najlepšie reprezentovať reálne zmeny v skladbe bylinnej synúzie faktory priemerných ekočísiel a indexy

diverzity, pretože tieto sú počítané priamo a výlučne z bylenných druhov. Hodnoty korelačných koeficientov indexov diverzity s ordinačnými osami sú ale pomerne nízke (od 0,08 do 0,24). Najväčšia variabilita je spôsobená vplyvom nadmorskej výšky, čo potvrdzuje veľmi silná korelácia nadmorskej výšky a priemerného ekočísla pre teplotu a vlhkosť (0,91 a 0,75) s prvou ordinačnou osou. Druhovú diverzitu (vyjadrenú indexmi) sa teda pozdĺž gradientu nadmorskej výšky mení len nevýrazne. Ako dôsledok globálnej klimatickej zmeny (GKZ) sa očakáva posun klimatických podmienok v rámci nadmorskej výšky. Ak by sa teda mala potvrdiť hypotéza zmeny fytoocenózy vplyvom GKZ, museli by nastať posuny plôch práve pozdĺž hlavnej osy (smerom doprava). Takýto charakter majú zmeny ale iba výnimočne. Podľa smerov šípok faktorov a šípok zmeny plôch je možná dedukcia, ktorý z faktorov mal vplyv na zmenu. Bylinná skladba na plochách s dominanciou duba (*Quercus sp.*) sa zmenila podobným spôsobom, prevažne v smere zvýšenia podielu nitrofilných a vlhkomilných druhov a zníženia svetlomilných druhov. Zmena v spoločenstvách s prevahou buka (*Fagus sylvatica*), smreka (*Picea abies*), príp. jedle (*Abies alba*) sa najčastejšie prejavuje znížením podielu termofilných a nitrofilných druhov, zvýšením podielu vlhkomilných druhov a poklesom hodnôt indexov druhovej diverzity. Pri vyjadrení rozdielov v priemeroch priemerných ekočísel pre všetky analyzované plochy boli zaznamenané najväčšie zmeny vo faktore reakcia (pokles), vlhkosť (nárast) a teplota (pokles), avšak tieto zmeny sú pomerne nevýrazné.

4. Záver

Zavedením metódy tzv. korigovanej ekoanalýzy s uplatnením lineárnych regresných modelov sa eliminuje vplyv externých nežiaducich faktorov medzi opakovanými zisťovaniami na výskumných plochách, čo sa ukazuje ako významný príspevok pre korektné interpretácie a prezentovanie výsledkov.

Vzhľadom k očakávaným posunom klimatických podmienok pozdĺž gradientu nadmorskej výšky sa sledovanie zmien priemerných ekočísel pre teplotu a vlhkosť môže uplatniť pri hodnotení vplyvu GKZ na vegetáciu. Na základe výsledkov APVV projektu z komplexnej gradientovej analýzy nevyplýval prostredníctvom fytoindikácie posun vegetačnej stupňovitosti. Zmeny v druhovej skladbe bylín vyjadrené výsledkami ekoanalýzy preukazujú na nitrifikáciu 1., 2. a čiastočne 3. vegetačného stupňa (vs); odklon od oceanity v 5. a 6. vs. Pre faktor reakcia nárast indiferentných druhov najmä v 2., 3. a 4. vs a acidifikáciu edaficko-trofických radov A a A/B v 5. a 6. vs. Presvetlenie porastov najmä v 5. a 6. vs. Pre faktor teplota, ktorý by z hľadiska vplyvu klimatických zmien na fytoocenózy mohol vykazovať isté trendy, boli zaznamenané len nevýrazné a rôznorodé zmeny v jednotlivých vegetačných stupňoch. Počet druhov bylín klesol v 5., 6. a 7. vegetačnom stupni. Rovnomernosť zastúpenia bylenných druhov mierne vzrástla vo všetkých vegetačných stupňoch vrátane spoločenstiev edaficko-hydrických súborov.

Komplexný materiál prezentovaných výskumných plôch je súčasťou informačného systému (IS) projektu s využitím GIS, ktorý obsahuje systém informačných vrstiev, okrem iného Digitálnu ortofotomapu Slovenska („Ortofotomapa © Geodis Slovakia,

s.r.o. 2002–2003“, „Letecké snímkovanie a Digitálna ortofotomapa © Eurosense, s.r.o. 2002–2003), digitálny model terénu, bodovú vrstvu lokalizácie typologických reprezentatívnych plôch (TRP) a výskumných plôch z prípravných prác, s priradenými informáciami. Polygónovú vrstvu lesných oblastí, podoblastí a častí a hlavnú klimatickú rozdeľovaciu čiaru Slovenska podľa Zlatníka (VLADOVIČ *et al.* 1994). Porastovú vrstvu jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) s vybranými informáciami. Masku lesa a aktuálne drevinové zloženie odvodené z klasifikácií diaľkového prieskumu Zeme (BUCHA *et al.* 1996). Systém obsahuje aj digitálnu vrstvu typologických máp Slovenska (NLC Zvolen 2006). Vrstvu maloplošných a veľkoplošných chránených území SR, území európskeho významu a chránených vtáčích území (ŠOP SR, 2007). Do GIS sú zahrnuté aj lokalizácie vybraných kalamitných a bezbukových území. Databáza je kompletizovaná v softvérových aplikáciách v prostredí MS Access, pričom sa zabezpečujú relačné vzťahy, dotazy na informácie, napojenie na GIS vrstvu TRP a vytváraná banka údajov je naviazaná na centrálnu geodatabázu.

V IS je polohovo lokalizovaných viac ako 18 500 TRP z jednotlivých etáp typologického mapovania, výskumu a prieskumov. Empirický materiál 2 310 výskumných plôch, obnovených v rámci prezentovaného projektu, predstavuje unikátnu bázu dát zachytávajúcu diverzitu a zmeny vegetácie v širokom spektre variabilných prírodných podmienok Slovenska. Z hľadiska komplexnosti, názornosti a prezentateľnosti je prínosom aj digitálna fotodokumentácia väčšiny obnovených TRP, ich polohová GPS lokalizácia, Stand Visualisation System a FieldMap vizualizácia 200 TRP s podrobnými dendrometrickými meraniami.

Rozsiahlosť prezentovaného empirického materiálu umožňuje uskutočnenie veľkého množstva ekologických a klasifikačných analýz vegetácie, vyhodnotenie jej dynamiky a vzťahov s prostredím.

Posudzovanie diverzity a dynamiky, štruktúry, stavu a vývoja lesných ekosystémov na báze lesníckej typológie je významným nástrojom plánovacích aj prognostických mechanizmov v lesníctve aj v ochrane prírody. Na posúdení zachovalosti (prírodzenosti), vzácnosti a prognózovaného vývoja lesných ekosystémov sú principiálne založené aj mechanizmy zonácie chránených území a vychádzajú z nich aj programy starostlivosti a manažmentové plány. Integrácia klasifikačných prístupov a metód posudzovania diverzity, štruktúry a dynamiky je významným prvkom aj pri zavádzaní inovatívnych metód do rámcového a podrobného hospodársko-úpravnického aj krajinno-ekologického plánovania.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVT-27-009304 a zmluvy č. APVV-0632-7.

Literatúra

1. ABOLINA A., JERMACANE S., LAIVINS M., 2001: Post-drainage dynamics of the ground vegetation in a transitional mire. *Baltic Forestry*. 2001, 7(1): 19 – 28. – 2. BOHLING N., 2003: Investigations of permanent plots in an oak-hornbeam woodland in the foothills of the Swabian mountains (SW Germany),

1978–2001: decline of *Scilla bifolia* and the invasion of *Allium ursinum*. – 3. BRUNET J., OHEIMB G. VON, DIEKMANN M., VON OHEIMB G., 2000: Factors influencing vegetation gradients across ancient-recent woodland borderlines in southern Sweden. *Journal of Vegetation Science*. 2000, 11(4): 515 – 524. – 4. BUCHA T., BOTHÁR I., VLADOVIČ J., MEŇUŠ M., MACHKOVÁ N., BRUNCLÍKOVÁ I., 1996: Drevinové zloženie lesov Slovenska – Digitálna mapa 1 : 500 000, LVÚ Zvolen, SAŽP B. Bystrica, Lesoprojekt Zvolen. – 5. DIEKMANN M., BRUNET J., RUHLING A., FALKENGREN-GRERUP U., 1999: Effects of nitrogen deposition: results of a temporal-spatial analysis of deciduous forests in South Sweden. *Plant-Biology*, 1999, 1(4): 471 – 481. – 6. DIEKMANN M., FALKENGREN-GRERUP U., 1998: A new species index for forest vascular plants: development of functional indices based on mineralization rates of various forms of soil nitrogen. *Journal of Ecology Oxford*, 1998, 86(2): 269 – 283. – 7. ELLENBERG H., 1979: Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. *Scripta geobotanica* 9. Goltze, Göttingen, p. 1 – 122. – 8. ELLENBERG H., WEBER H. E., DÜLL R., WIRTH W., WERNER W., PAULIBEN D., 1992: Zeigenwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, Ed. 2., *Scripta Geobotanica*, Göttingen, 18: p. 1 – 258. – 9. HANČINSKÝ L. 1972: Lesné typy Slovenska. Bratislava, *Príroda*, 307 p. – 10. HENNEKENS S.M., 1995: TURBO(VEG) – Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. User's guide. IBN-DLO. Wageningen. – 11. IŠTOŇA J., 2002: The effect of acidification on the changes in phytocenoses of forest communities in Central Beskids Mts. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 48(2): 107 – 120. – 12. KRIŽOVÁ E., 1994: Odraz zmenených ekologických podmienok v zložení a produkcii lesných fytocenóz ŠPR Pod Latiborskou hoľou, *Acta Facultatis Forestalis* 36, Zvolen, p. 63 – 74. – 13. LING-KAU, 2003: Using environmental and growth characteristics of plants to detect long-term changes in response to atmospheric pollution: some examples from British beechwoods. *Science of the Total Environment*. 2003, 310: p. 1 – 3; 203 – 210. – 14. MARHOLD K., HINDÁK F. (eds.), 1998: Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska, Veda, Bratislava, 687 p. – 15. MARKERT B.A., BREURE A.M., ZECHMEISTER H.G., 2003: Plant biodiversity and environmental stress. In MARKERT B.A., BREURE A.M., (eds.): ZECHMEISTER H.G.: Bioindicators-and-biomonitoring-principles,-concepts-and-applications. 2003, p. 501 – 525. – 16. MERGANIČ J., 2007: Bioindikácia ekologických podmienok v lesných ekosystémoch. In RIZMAN I. (ed.) 2007: Lesnícka typológia a zisťovanie stavu lesa vo väzbe na trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov, NLC Zvolen. – 17. OREDESSON A., 1999: Recent changes in the flora of northern Scania, Sweden. OT: Nutida forändringar av florán i norra Skane. *Svensk-Botanisk-Tidskrift*. 1999, 93(5 – 6): 303 – 317. – 18. PITCAIRN C.E.R., FOWLER D., LEITH I.D., SHEPPARD L.J., SUTTON M.A., KENNEDY V., OKELLO E., 2003: Bioindicators of enhanced nitrogen deposition. In KRUPA S., AHMAD K.J., TRIPATHI R.D., (eds.), KULSHRESHTHA K.: Second International Conference on Plants and Environmental Pollution (ICPEP-2), Lucknow, India, 4–9 February 2002. 2003, 126(3): 353 – 361. – 19. RODER H., FISCHER A., KLOCK W., 1996: Forest development on quasi-permanent plots of Luzulo-Fagetum on Bunter sandstone (Department of Forestry, Mittelsinn) from 1950 to 1990. OT: Waldentwicklung auf Quasi-Dauerflächen im Luzulo-Fagetum der Buntsandsteinrhon (Forstamt Mittelsinn) zwischen 1950 und 1990. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 1996, 115(6): 321 – 335. – 20. S RENSEN M.M., TYBIRK K., 2001: Vegetation analysis along a successional gradient from heath to oak forest. *Nordic Journal of Botany*, 2000, publ. 2001, 20(5): 537 – 546. – 21. TICHÝ L., 2002: JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, Opulus Press Uppsala, Uppsala, 13: p. 451 – 453. – 22. TYLER T., OLSSON K.A., 1997: Changes in the flora of Scania during the period 1938–1996 – a statistical analysis of the results of two surveys. OT: Forändringar i Skanes flora under perioden 1938–1996 – statistisk analys av resultat från två inventeringar. *Svensk-Botanisk-Tidskrift*. 91(3): 143 – 185. – 23. UJHÁZY K., KRIŽOVÁ E., UJHÁZYOVÁ M., 2007: Zmeny bylinnej synúzie spoločenstiev bukových lesov Poľany. In KRIŽOVÁ E., UJHÁZY K. (eds.): Dynamika, stabilita a diverzita lesných ekosystémov. TU Zvolen, Zvolen, p. 105 – 113. – 24. VLADOVIČ J. et al., 1994: Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt Zvolen, 500 p. – 25. ZLATNÍK A., 1953: Fytocenologie lesa. SPN, Praha, 495 p. – 26. ZLATNÍK A., 1956: Typologické podklady pěstění lesů. In POLANSKÝ, B.: Pěstění lesů III. Speciální pěstění lesů, 1956, p. 317–401. – 27. ZLATNÍK A., 1959: Přehled slovenských lesů podle skupin lesních typů. LF – VŠZ Brno, 92 s., přílohy 195 p. – 28. ZLATNÍK A., 1959: Skupiny lesních typov Slovenska. In RANDUŠKA, D. et al.: Přehľad stanovištných pomerov lesov Slovenska, SVPL Bratislava, p. 100 – 145. – 29. ZLATNÍK A., 1976: Lesná fytocenológia. SZN, Praha, 495 p.

Summary

Paper presents knowledge from the research of diversity and dynamics of forest ecosystems in Slovakia based on repeated measurements of typological representative research plots (TRP) in the whole spectrum of typological units of Slovakia, which is given by ecological grid (Tab. 1). In the framework of the project "Response of diversity of forest phytocenoses to the change of edaphic and climatic conditions of Slovakia" in the years 2005 – 2007 there were renewed in total 2,305 TRP with time interval 50 – 30 years, of them 200 TRP with similar mensurational measurements including crown projections of trees, standing volume as well as lying dead wood. TRP have standardized area 1,000 m for the research of dendro component and 500 m for the study of herbs synusia. The plots were localized by means of GPS, visualized in the system Stand Visualization System (Fig. 2, 5, 8). Detailed mensurational measurements were performed by FieldMap technology (Fig. 3, 6, 9). There are presented results of corrected eco-analysis and gradient analyses on an example of the analysis of empirical material of fir-beech altitudinal vegetation zone (443 TRP) and in more detail in the group of forest types *Abieto-Fagetum inferiora* (AF nst; 139 renewed and analysed.). By introducing the method of so-called corrected eco-analysis with applying 15 linear regression models the effect of external undesirable factors is eliminated between repeated measurements (Fig. 10, 11). Partial results of corrected eco-analysis slt AF indicate statistically significant changes with 68% level of reliability for factors "Nitrogen", "Continentality", "Response", and "Temperature", and with 98% of reliability for factor "Light" (Fig 12, Tab. 2).

Partial results of gradient analyses show changes and main gradients in the diversity of tree species composition. There were analysed all TRP of fir-beech altitudinal vegetation zone (443 TRP, Fig. 7) by the method of indirect gradient analysis DCA. There is apparent a need of typological reclassification of chosen communities considering also temporary edaphic-trophic orders B/D and C/D, which is not included into currently used typological system in Slovakia. Changes in the distribution of plant species in the communities AF nst are expressed by fidelity (rate of fidelity) and absolute difference of percent constancy of the species in past and present (Tab. 3). What concerns tree species the highest decline was recorded for fir *Abies alba*, mainly from sublayer of the layers 3 and 4 (ZLATNÍK, 1953), and for spruce *Picea abies* almost from all layers of the stand. Conditions for tree species regeneration improved as in the course of plots renewal namely tree species in the layers S_{1a} and S_{1b} have high value of fidelity and increase of percent constancy, whereas the highest increase was recorded for sycamore maple *Acer pseudoplatanus* and beech *Fagus sylvatica*.

Several from declined herbaceous species belong according to Ellenberg scale due to the factor response to neutral and neutral up to basic soils. Their decline and on the contrary increase for the species *Calamagrostis villosa* and *Dryopteris filix-mas* may be conditioned also by eventual acidification of main rhizosphere of herbs. A contribution to explanation of the effect of supposed edaphic-climatic changes on the diversity of phytocenoses was DCA analysis of chosen 31 TRP in so-called regime without any treatment, localized mostly in preserved natural and semi-natural forest communities of the 1st up to the 7th altitudinal vegetation zone (Fig. 14)

Complex material of research plots is a part of information system (IS) project with the use of GIS that contains digital orthophotomap of Slovakia, digital model of terrain, point layer of TRP localization and research plots, layer of forest regions and main climatic dividing line of Slovakia, layer of the units of spatial forest arrangement, mask of forest, and actual tree species composition. IS contains also digital layer of typological maps of Slovakia, layer of small-area and large-area protected territories in SR, territories of European significance and protected bird area, layer of beech free and chosen calamity territories. Bank of data of the project is completed in the environment MS Access and it is connected to central geodatabase. More than 18,500 TRP are localized positionally in IS from individual stages of typological mapping. Empirical material from 2,310 research plots renewed in the framework of presented project represents a unique database illustrating diversity and changes of vegetation in a broad spectrum of variable natural conditions of Slovakia.

Translated by: Z. AL-ATTASOVÁ