

## NÁVRH A ODVODENIE INTEGROVANÉHO INDIKÁTORA PRIRODZENOSTI LESA A VYPRACOVANIE KLASIFIKAČNÉHO MODELU STUPŇA PRIRODZENOSTI LESA

### PROPOSAL AND DERIVATION OF THE INTEGRATED INDICATOR OF FOREST NATURALNESS AND DEVELOPMENT OF THE CLASSIFICATION MODEL OF FOREST NATURALNESS DEGREE

JÁN MERGANIČ



---

Súpis vykonaných činností:

- matematicko-štatistická analýza údajov – prieskumná analýza
- návrh a odvodenie integrovaného indikátora prirodzenosti lesa
- návrh a vypracovanie klasifikačného modelu stupňa prirodzenosti lesa

---

#### Citácia dokumentu:

MERGANIČ, J. 2008: Návrh a odvodenie integrovaného indikátora prirodzenosti lesa a vypracovanie klasifikačného modelu stupňa prirodzenosti lesa. Čiastková správa riešenia projektu „Výskum, klasifikácia a uplatňovanie funkcií lesov v krajine“, FORIM, 13s.

MERGANIČ, J. 2008: Proposal and derivation of the integrated indicator of forest naturalness and development of the classification model of forest naturalness degree. Partial report of the solution of the project „Research, classification, and application of forest functions in landscape“, FORIM, 13p.

## OBSAH

1. Prieskumná matematicko-štatistická analýza údajov.....	3
1.1. Obsadenie klasifikačných kategórií .....	3
1.2. Analýza použitého výberového dizajnu .....	3
2. Návrh indikátorov stupňa prirodzenosti lesa .....	4
2.1. Indikátory druhovej diverzity.....	4
2.1.1. Indexy druhovej bohatosti (species richness) .....	4
2.1.2. Indexy druhovej heterogenity (species heterogeneity).....	4
2.1.3. Indexy druhovej vyrovnanosti (species evenness).....	5
2.2. Indikátory štrukturálnej a funkčnej diverzity.....	5
2.3. Súhrnný prehľad kvantifikovaných indikátorov diverzity lesného ekosystému.....	6
3. Vplyv vývojového štádia a veľkosti skusnej plochy na indikátory prirodzenosti lesa.....	7
3.1. Vplyv vývojového štádia .....	7
3.2. Vplyv veľkosti skusnej plochy.....	8
4. Návrh integrovaného komplexného indikátora a modelu stupňa prirodzenosti lesa .....	9
4.1. Diskriminačný model .....	9
4.2. Aditívny model .....	11
5. Záver .....	12
6. Literatúra.....	12
7. PodĎakovanie .....	13

## 1. PRIESKUMNÁ MATEMATICKO-ŠTATISTICKÁ ANALÝZA ÚDAJOV

### 1.1. OBSADENIE KLASIFIKAČNÝCH KATEGÓRIÍ

Cieľom úlohy je odvodiť integrovaný indikátor a model stupňa prirodzenosti lesa. Jednotkové hodnoty indikátora a ich variabilita by mali nadobúdať také hodnoty, aby rozdiely medzi jednotlivými stupňami prirodzenosti boli štatisticky významné. Obsadenie skusných plôch v jednotlivých kategóriách stupňa prirodzenosti je uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Počet skusných plôch v jednotlivých stupňoch prirodzenosti

Stupeň prirodzenosti	Počet skusných plôch
Prírodné lesy	17
Prírodné lesy	94
Zmenené (kultúrne) lesy	11

Z uvedenej tabuľky vyplýva, že najzastúpenejšou kategóriou sú prírodné lesy zaznamenané na 94 skusných plochách. Najmenej zastúpenou kategóriou sú zmenené lesy. Pre konštrukciu modelu ide o pomerne nevyrovnaný dizajn. Z predbežnej úvahy je možné domnievať sa, že na indikátor prirodzenosti lesa bude vplyvať vývojové štádium. Proces vývoja prírodných a prírodných lesov prebieha cez tri základné vývojové štádiá (dorastanie, optimum, rozpad) a obsadenie skusných plôch v kombináciách prirodzenosti a vývojového štádia obsahuje tabuľka 2.

Tab. 2 Počet skusných plôch v jednotlivých stupňoch prirodzenosti a vývojovom štádiu

Prírodnosť	Štádium	Počet skusných plôch
Prírodné lesy	štádium dorastania	2
Prírodné lesy	štádium optima	9
Prírodné lesy	štádium rozpadu	6
Prírodné lesy	štádium dorastania	32
Prírodné lesy	štádium optima	36
Prírodné lesy	štádium rozpadu	26
Zmenené (kultúrne) lesy	lesy kultúrne v období výchovy	2
Zmenené (kultúrne) lesy	lesy kultúrne v období obnovy	9

Aj tu je možné vidieť pomerne nevyrovnané zastúpenie skusných plôch v jednotlivých kombináciách prirodzenosti a vývojového štádia. V prírodných a prírodných lesoch budú mať najväčšiu váhu na priemerný indikátor za stupeň prirodzenosti štádium optima a pri zmenených lesoch lesy v období obnovy.

### 1.2. ANALÝZA POUŽITÉHO VÝBEROVÉHO DIZAJNU

Dáta na skusných plochách boli zisťované na výberových jednotkách o variabilnej veľkosti. Veľkosť skusných plôch sa pohybovala od 1 do 10 árov v závislosti od hustoty porastu tak, aby na skusnej ploche bolo zachytených cca 25-30 stromov. Analýzou však zisťujeme, že metodika je len informatívna a výmera skusných plôch bola aj 11, 14 a 20 árov. Počet všetkých stromov (živé a sucháre) bol v takmer polovici prípadov o dosť väčší ako metodický zámer. Počet živých stromov sa zhruba v polovici prípadov pohyboval pod alebo nad limit metodického zámeru. Vo väčšine prípadov bolo možné výmeru skusnej plochy v teréne zmeniť tak, aby sa dosiahol požadovaný počet stromov.

Z analýzy teda vyplýva, že indikátory sa budú viazať jednak na veľmi variabilnú plošnú výmeru ale aj na variabilný počet jedincov, čo pre konštrukciu modelu nie je pozitívne východisko.

## 2. NÁVRH INDIKÁTOROV STUPŇA PRIRODZENOSTI LESA

Návrh indikátorov stupňa prirodzenosti lesa vychádza z možností databázy údajov horských lesov (Moravčík a kol. 2005). Pre účely tejto práce sa využili údaje zo 122 skusných plôch. Z údajov databázy boli kvantifikované rôzne súbory indikátorov, o ktorých sa predpokladá väzba na stupeň prirodzenosti lesa.

### 2.1. INDIKÁTORY DRUHOVEJ DIVERZITY

Z veľkého množstva známych ukazovateľov druhovej diverzity sme vybrali najčastejšie používané v odbornej literatúre, ktoré väčšina autorov považuje za vhodné na číselné vyjadrenie diverzity skúmaných populácií. Podrobnejší rozbor je možné nájsť v prácach Merganič (2001), Hubálek (2000), Krebs (1989), Ludwig & Reynolds (1988).

#### 2.1.1. INDEXY DRUHOVEJ BOHATOSTI (SPECIES RICHNESS)

Druhá bohatosť je najstaršie a najjednoduchšie poňatie druhovej diverzity a vyjadruje sa na základe počtu druhov. Diverzita je tým väčšia, čím viac druhov sa v danom spoločenstve nachádza. Z ďalších indexov, ktoré kvantifikujú druhovú bohatosť a z historického hľadiska patria k najznámejším, sú indexy  $R1$  a  $R2$ . Autori, ktorí tieto indexy zaviedli, sa snažili zohľadniť vplyv veľkosti výberovej vzorky tak, že „relativizovali“ počet druhov k veľkosti populácie.

Matematická formulácia vybraných indexov druhovej bohatosti je nasledovná:

$$N0 = S \quad \text{(Hill 1973)} \quad [1]$$

$$R1 = (S-1)/\ln(M) \quad \text{(Margalef 1958)} \quad [2]$$

$$R2 = S/\sqrt{M} \quad \text{(Menhinick 1964)} \quad [3]$$

kde:

$S$  – počet druhov

$M$  – počet jedincov (počet stromov)

#### 2.1.2. INDEXY DRUHOVEJ HETEROGENITY (SPECIES HETEROGENITY)

Tieto indexy zahŕňajú v sebe druhovú bohatosť a vyrovnanosť. Pravdepodobne najväčšou prekážkou, ktorú je potrebné prekonať pri použití indexov heterogenity, je ich interpretácia, čo táto jedna číselná hodnota v skutočnosti znamená. Rovnakú hodnotu indexu môžeme totiž získať pri rôznych kombináciách druhovej bohatosti a vyrovnanosti. Napriek týmto „problémom“ patria tieto indexy k najobľúbenejším a veľmi často používaným. V literatúre ich existuje veľké množstvo (Peet 1974), avšak v predkladanej práci sme využili dva najčastejšie používané indexy: Simpsonov a Shannonov index.

Matematicky sú definované nasledovnými vzťahmi:

$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad \text{Simpson (1949)} \quad [4]$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i) \quad \text{Shannon \& Weaver (1949)} \quad [5]$$

kde:

$p_i$  – pravdepodobnosť, podiel  $i$ -teho druhu na IP zo sumy kruhovej základne všetkých druhov

### 2.1.3. INDEXY DRUHOVEJ VYROVNANOSTI (SPECIES EVENNESS)

Keďže heterogenita sa skladá z dvoch samostatných zložiek - druhovej bohatosti a vyrovnanosti - bolo prirodzené pokúsiť sa kvantifikovať samostatne aj vyrovnanosť. Tento koncept prvýkrát navrhli Lloyd & Ghelardi (1964). Mnoho desaťročí si ekológovia uvedomujú, že väčšina rastlinných a živočíšnych spoločenstiev sa skladá z niekoľkých dominantných druhov a z veľkého počtu druhov, ktoré sú málo zastúpené, čo medzi nimi vytvára určitý pomer, resp. nepomer. Táto miera vyrovnanosti zastúpenia jednotlivých druhov sa vyjadruje jedným číslom - indexom vyrovnanosti. Pri úplne vyrovnanom zastúpení druhov v populácii sa indexy vyrovnanosti rovnajú maximálnej hodnote 1.0.

Z veľkého množstva indexov, ktoré boli navrhnuté, sme vybrali a použili nasledovné 3 indexy vyrovnanosti:

$$E1 = H' / \ln(S) = \ln(N_1) / \ln(N_0) \quad (\text{Pielou 1975, 77}) \quad [6]$$

$$E3 = (e^{H'} - 1) / (S - 1) = (N_1 - 1) / (N_0 - 1) \quad (\text{Heip 1974}) \quad [7]$$

$$E5 = ((1/\lambda) - 1) / (e^{H'} - 1) = (N_2 - 1) / (N_1 - 1) \quad (\text{Hill 1973}) \quad [8]$$

## 2.2. INDIKÁTORY ŠTRUKTURÁLNEJ A FUNKČNEJ DIVERZITY

Vybrané indikátory tejto kategórie odrážajú zmeny v štrukturálnej diverzite štrukturálnych prvkov na skusnej ploche ako aj zmeny funkčných parametrov lesného ekosystému. V globále by sme ich mohli rozdeliť na niekoľko skupín, ktoré charakterizujú čiastkové komponenty štrukturálnej a funkčnej diverzity. Vzhľadom na štruktúru databázy horských lesov sú vybrané indikátory pomerne jednoducho kvantifikovateľné a zároveň majú určité väzby na zmeny ekologických podmienok, od ktorých sa odvíja aj stupeň prirodzenosti lesných porastov. Skupinu charakterizujúcu diverzitu vo vertikálnom členení štrukturálnych prvkov zastupuje jednoduchý počet vrstiev (určované na podklade sociologických tried stromov) a Arten profil index (Pretzsch 1996). Index je založený na báze Shannonovho indexu (Shannon & Weaver 1949) a má nasledovnú formu:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad [9]$$

kde:

$S$  - počet druhov

$Z$  - počet vrstiev – etáží porastu

$p_{ij}$  - podiel stromov  $i$ -teho druhu v  $j$ -tej vrstve porastu

Vertikálny profil porastu je členený do piatich stromových vrstiev určovaných na podklade sociologického postavenia stromov.

Tento index v sebe zahŕňa druhovú diverzitu a rozmiestnenie druhov v poraste. Index má najnižšiu hodnotu v rovnovekých rovnorodých porastoch. S nárastom etáží a nárastom zmiešania druhov rastie aj hodnota indexu.

Diferenciáciu štrukturálnych prvkov v horizontálnom smere reprezentuje agregatívny index. Agregatívny index bol vyvinutý pre účely botanických a fytocenologických štúdií (Clark & Evans 1954). V lesníckej oblasti sa daný index používal veľmi zriedkavo. Jeho význam v lesníctve začal narastať až so štúdiom biodiverzity resp. diverzity lesných porastov. Pravdepodobne prvýkrát ho uplatnili vo svojich prácach Pretzsch (1995) a Fuldner (1995).

Agregatívny index popisuje horizontálne rozmiestnenie stromov pomocou pomeru priemernej vzdialenosti medzi centrálnym stromom a jeho najbližším susedom k očakávanej vzdialenosti

medzi nimi pri náhodnom rozmiestnení stromov po ploche porastu. Matematicky je definovaný nasledovne:

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i}{0.5 \cdot \sqrt{\frac{n}{Pl}}} \quad [10]$$

kde:

- $r_i$  - vzdialenosť  $i$ -teho stromu k jeho najbližšiemu susedovi
- $n$  - počet stromov na skusnej ploche
- $Pl$  - výmera skusnej plochy ( $m^2$ )

Clark - Evansov index  $R$  môže teoreticky nadobúdať hodnoty od 0 pri maximálnom zoskupení stromov až po hodnotu 2.1491, ktorá sa dosiahne pri pravidelnom 6-uholníkovom rozmiestnení stromov. Hodnota indexu 1 hovorí, že stromy sú rozmiestnené po ploche porastu náhodne. Porasty s hodnotou indexu nad 1 vykazujú tendenciu k pravidelnému rozmiestneniu, kým hodnoty pod 1 vyjadrujú zase tendenciu k zhlukovaniu.

Ďalším indikátorom charakterizujúcim diferenciaciu stromov na skusnej ploche je variačný koeficient hrúbky stromov. V určitom prepojení na statickú stabilitu, hustotu porastu a kvalitu stanovišťa sú kvantifikované ďalšie dva indikátory a to priemerná korunovosť stromov na skusnej ploche (pomer dĺžky koruny a výšky stromu) a priemerný štíhlostný koeficient stromov (pomer výšky k hrúbke stromu). Ide o súbor stromov v 1 a 3 vrstve.

Jednoduchými štrukturálnymi indikátormi zaradenými do zoznamu sú aj indikátory vyjadrujúce pokryvnosť bylín, tráv, machov a lišajníkov, krov a polokrov, pokryvnosť fáz podmienok pre prirodzené zmladenie (juvenilná, optimálna a senilná) a pokryvnosť prirodzeného zmladenia (nálet, nárast, mladina). Uvedené indikátory sú zisťované odhadom v relatívnych jednotkách (% pokryvnosti) (Moravčík a kol. 2005).

Funkčnú diverzitu reprezentuje indikátor zásoba odumretého dreva.

### 2.3. SÚHRNÝ PREHĽAD KVANTIFIKOVANÝCH INDIKÁTOROV DIVERZITY LESNÉHO EKOSYSTÉMU

V nasledujúcej kapitole uvádzame súhrnný prehľad vypočítaných indikátorov prirodzenosti lesného ekosystému. Celkovo bolo kvantifikovaných 25 rôznych indikátorov.

Tab. 3 Prehľad kvantifikovaných indikátorov prirodzenosti lesa

P.č.	Indikátor prirodzenosti lesa
<b>Druhovú diverzita</b>	
1	Počet druhov - živé stromy
2	Index R1
3	Index R2
4	Index $\lambda$
5	Index $H'$
6	Index E1
7	Index E3
8	Index E5
9	Počet druhov - machy a lišajníky
10	Počet druhov - kry a polokry
<b>Štrukturálna a funkčná diverzita</b>	
11	Počet vrstiev

12	Arten profil index
13	Agregačný index
14	Variačný koeficient hrúbky stromov
15	Priemerná korunovosť
16	Priemerný štíhlostný koeficient
17	Pokryvnosť trávy
18	Pokryvnosť byliny
19	Pokryvnosť machy a lišajníky
20	Pokryvnosť kry a polokry
21	Pokryvnosť juvenilná fáza
22	Pokryvnosť optimálna fáza
23	Pokryvnosť senilná fáza
24	Pokryvnosť prirodzené zmladenie
25	Zásoba odumretého dreva

### 3. VPLYV VÝVOJOVÉHO ŠTÁDIA A VEĽKOSTI SKUSNEJ PLOCHY NA INDIKÁTORY PRIRODZENOSTI LESA

#### 3.1. VPLYV VÝVOJOVÉHO ŠTÁDIA

Vzhľadom na predpoklad vplyvu vývojových štádií na indikátory stupňa prirodzenosti lesa sme vykonali jednofaktorovú analýzu variancie, ktorou sme hodnotili mieru vplyvu vývojových štádií na vybrané indikátory. Z analýzy vyplynulo, že pri viacerých indikátoroch sa prejavil štatisticky signifikantný vplyv vývojového štádia na hodnoty indikátora ( $p < 0.05$ ). Ako je to vidieť z tabuľky 4, najsilnejší vplyv vývojového štádia je pri indikátoroch variačný koeficient hrúbky stromov, zásoba odumretého dreva, priemerná korunovosť, pokryvnosť juvenilnej fázy, priemerný štíhlostný koeficient, počet vrstiev stromov, pokryvnosť senilnej fázy, pokryvnosť machov a lišajníkov, agregatívny  $R$  index, počet druhov krov a polokrov a pokryvnosť prirodzeného zmladenia. Celkovo sa štatisticky signifikantný vplyv (na hladine spoľahlivosti 95%) prejavil pri 16 indikátoroch.

Na základe výsledkov tejto analýzy sme vzhľadom na silne nevyrovnaný počet skusných plôch v jednotlivých vývojových štádiách a jednotlivých stupňoch prirodzenosti prišli k matematicko-štatistickému vyrovnaniu počtu výberových jednotiek. V prvom stupni prirodzenosti boli replikáciou existujúcich plôch doplnené chýbajúce skusné plochy tak, aby sa celkový počet skusných plôch rovnal počtu skusných plôch v najpočetnejšom vývojovom štádiu, t.j. na počet 9. Takýmto postupom sa v stupni prirodzenosti dva doplnil počet skusných plôch na 36 a v stupni tri na 9 v každom vývojovom štádiu. Výber skusných plôch zo zoznamu existujúcich reálnych skusných plôch sa realizoval pomocou generátora náhodných čísel.

Tab. 4 Výsledok analýzy variancie – vplyv vývojového štádia na čiastkové indikátory stupňa prirodzenosti lesa

Čiastkový indikátor prirodzenosti lesa	Kritická-hraničná hodnota štatistickej signifikantnosti ( $p$ )
Variačný koeficient hrúbky stromov	0.000
Zásoba odumretého dreva	0.000
Priemerná korunovosť	0.000
Pokryvnosť juvenilná fáza	0.000
Priemerný štíhlostný koeficient	0.000
Počet vrstiev	0.000
Pokryvnosť senilná fáza	0.000
Pokryvnosť machy a lišajníky	0.000
Agregatívny index	0.000

Počet druhov - kry a polokry	0.000
Pokryvnosť prirodzené zmladenie	0.000
Pokryvnosť byliny	0.001
Pokryvnosť trávy	0.001
Arten profil index	0.002
Index R2	0.004
Pokryvnosť optimálna fáza	0.008
Index E1	0.191
Index E3	0.215
Index H'	0.297
Index I	0.347
Index R1	0.494
Počet druhov - živé stromy	0.516
Index E5	0.578
Počet druhov - machy a lišajníky	0.613
Pokryvnosť kry a polokry	0.917

### 3.2. VPLYV VEĽKOSTI SKUSNEJ PLOCHY

Vzhľadom na rôznu veľkosť výberových jednotiek sme pristúpili k preskúmaniu tesnosti vzťahu hodnôt čiastkových indikátorov prirodzenosti lesa k výmere skusnej plochy. Ako vyplýva z tabuľky 5, pri 9 indikátoroch sa štatisticky signifikantne prejavil ich vzájomný vzťah ( $p < 0.05$ ). Pri väčšine indikátorov je tento vzťah logický a ťažko odbúrateľný. Napr. index R2 je závislý na vstupe dvoch premenných, počtu druhov a počtu stromov. Počet druhov sa ukázal ako štatisticky nevýznamný (čo je v tomto prípade veľmi dobré), takže počet stromov je veličina, ktorá spôsobuje veľmi tesný vzťah k výmere skusnej plochy. Je to logické, pretože výberové jednotky sa zväčša volili vzhľadom k hustote porastu. Aj pri ostatných indikátoroch je signifikantný vzťah logicky zdôvodniteľný a súvisí s väzbou na vývojové štádium a tým na hustotu porastu, od ktorej sa odvíjala veľkosť skusnej plochy. Súhrnne môžeme konštatovať, že signifikantné vzťahy indikátorov k výmere skusnej plochy by nemali negatívne ovplyvňovať ďalšie analýzy a tvorbu modelu stanovenia stupňa prirodzenosti.

Tab. 5 Výsledok regresnej analýzy – tesnosť vzťahu čiastkového indikátora stupňa prirodzenosti lesa a výmery skusnej plochy.

Čiastkový indikátor prirodzenosti lesa	$R_{xy}$	$p$ -hodnota
Index R2	0.71	0.000
Priemerný štíhlostný koeficient	-0.33	0.000
Pokryvnosť byliny	0.35	0.000
Pokryvnosť juvenilná fáza	-0.47	0.000
Pokryvnosť senilná fáza	0.46	0.000
Zásoba odumretého dreva	0.35	0.000
Index R1	0.26	0.001
Priemerná korunovosť	0.27	0.001
Pokryvnosť trávy	0.21	0.009
Pokryvnosť machy a lišajníky	-0.14	0.077
Počet druhov - živé stromy	0.14	0.092
Variačný koeficient hrúbky stromov	0.13	0.114
Pokryvnosť kry a polokry	-0.10	0.239
Pokryvnosť prirodzené zmladenie	0.09	0.285



Index E3	-0.07	0.380
Arten profil index	-0.06	0.460
Počet druhov - kry a polokry	-0.05	0.566
Index E1	-0.05	0.576
Agregačný index	0.04	0.599
Počet druhov - machy a lišajníky	0.04	0.651
Index H'	0.03	0.701
Index E5	-0.01	0.869
Pokryvnosť optimálna fáza	-0.01	0.917
Index	0.01	0.929
Počet vrstiev	0.01	0.939

#### 4. NÁVRH INTEGROVANÉHO KOMPLEXNÉHO INDIKÁTORA A MODELU STUPŇA PRIRODZENOSTI LESA

##### 4.1. DISKRIMINAČNÝ MODEL

Návrh komplexného indikátora a modelu stupňa prirodzenosti lesa vychádza z aplikácie viacrozmernej štatistickej analýzy – prediktívnej diskriminačnej analýzy (Cooley a Lohnes 1971, Huberty 1994, StatSoft 1996, Merganič a Šmelko 2004). Jej úlohou je zatriediť výberovú jednotku na základe viacerých kvantitatívnych veličín – znakov do jednej z definovaných kvalitatívnych tried, v našom prípade do jedného z troch stupňov prirodzenosti lesa. Na základe údajov sme odvodili tri diskriminačné rovnice, pomocou ktorých klasifikujeme príslušnosť hodnoteného objektu do jedného z troch stupňov prirodzenosti lesa. V navrhovanom diskriminačnom modeli sme použili nasledovných šesť čiastkových indikátorov prirodzenosti lesa: aritmetický priemer korunovosti ( $AM_K$ ), zásoba odumretého dreva ( $MOD$ ), pokryvnosť tráv ( $PK_T$ ), pokryvnosť machov a lišajníkov ( $PK_M$ ), agregatívny index ( $R$ ) a variačný koeficient hrúbky stromov ( $CV_{DI.3}$ ). Z veľkého množstva odskúšaných kombinácií dávala práve táto kombinácia indikátorov najlepšie výsledky správnej klasifikácie stupňa prirodzenosti lesa. Výsledný diskriminačný model má nasledovný všeobecný tvar:

$$\text{Diskriminačné skóre } j = AM\_K \cdot b_{j1} + MOD \cdot b_{j2} + PK\_T \cdot b_{j3} + PK\_M \cdot b_{j4} + R \cdot b_{j5} + CV\_DI.3 \cdot b_{j6} + b_{j7} \quad [11]$$

kde:  $j$  - 1 až 3 stupeň prirodzenosti

Hodnoty regresných koeficientov jednotlivých diskriminačných rovníc obsahuje tabuľka 6.

Tab. 6 Parametre regresných koeficientov diskriminačného modelu

Čiastkový indikátor stupňa prirodzenosti lesa	Regresný koeficient	Stupeň prirodzenosti lesa		
		1	2	3
Aritmetický priemer korunovosti ( $AM_K$ ) [%]	$b_1$	1.2521	1.1154	0.9108
Zásoba odumretého dreva ( $MOD$ ) [m <sup>3</sup> /ha]	$b_2$	0.0306	0.0139	0.0058
Pokryvnosť tráv ( $PK_T$ ) [%]	$b_3$	-0.0290	0.0070	0.0059
Pokryvnosť machov a lišajníkov ( $PK_M$ ) [%]	$b_4$	0.1708	0.1132	0.0693
Agregatívny index ( $R$ )	$b_5$	36.7123	33.5378	30.8615
Variačný koeficient hrúbky stromov ( $CV_{DI.3}$ ) [%]	$b_6$	-0.0348	-0.0615	-0.0723
Absolútny koeficient	$b_7$	-73.8718	-57.0578	-40.3190

Vlastná kvantifikácia stupňa prirodzenosti lesa spočíva v tom, že po dosadení aktuálnych hodnôt indikátorov do diskriminačných rovníc vypočítame diskriminačné skóre pre príslušné stupne

prírodnosti lesa (1-3). Hodnotená lokalita, porast, skusná plocha atď. patrí do toho stupňa prírodnosti, v ktorom je jeho hodnota diskriminačného skóra maximálna.

Výsledky klasifikačnej matice parametrizačnej vzorky sú uvedené v tabuľke 7. Z nej vyplýva, že celková úspešnosť klasifikácie stupňa prírodnosti lesa je 74.5%. Najvyššia pravdepodobnosť klasifikácie sa nachádza v okrajových triedach (stupeň 1 a 3) a najhoršia v strednej triede (68.5%).

Tab. 7 Výsledky klasifikačnej matice diskriminačného modelu

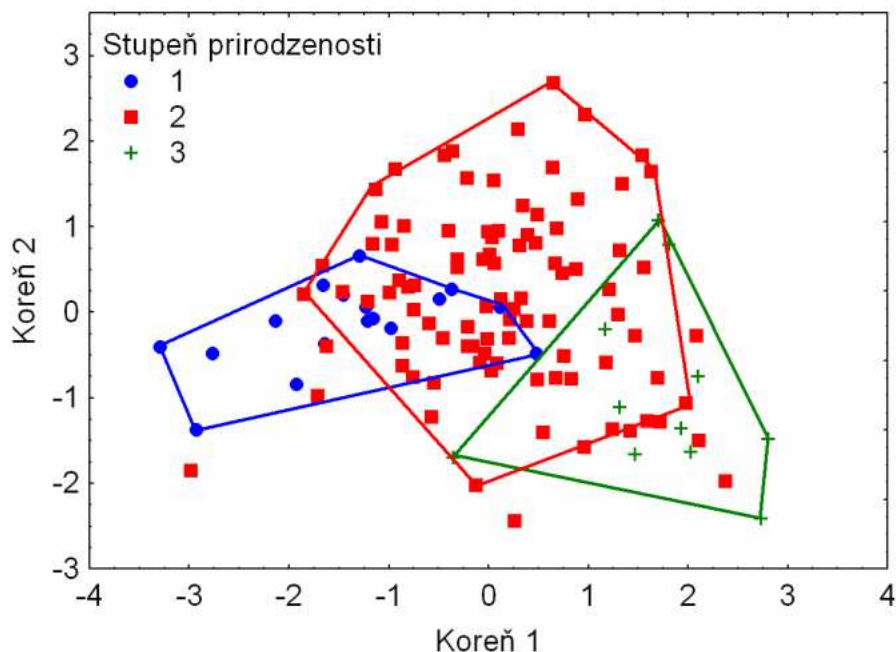
Stupeň prírodnosti lesa	Percento správneho zatriedenia	Stupeň prírodnosti lesa z modelu		
		1	2	3
		Absolútne počty plôch		
1	85.2	23	4	0
2	68.5	15	74	19
3	94.4	0	1	17
Spolu	74.5	38	79	36

V ďalšej tabuľke 8 uvádzame testovacie charakteristiky modelu. Na základe Fischerovej štatistiky  $F$  a Willkinsovej štatistiky lambda môžeme s 99.9% pravdepodobnosťou tvrdiť, že navrhovaný diskriminačný model je vysoko štatisticky významný. Willkinsovu štatistiku lambda interpretujeme tak, že ak sa jej hodnota blíži k 0, model je vhodný a naopak, ak sa blíži k 1, je nevyhovujúci. V ďalšom stĺpci tabuľky sú uvedené parciálne hodnoty Willkinsovej lambdy, na základe ktorých môžeme posúdiť príspevok jednotlivých vstupných veličín ku diskriminácii závislej veličiny. Päť zo šiestich použitých indikátorov sú štatisticky významné, čo značí, že implementované indikátory prispievajú ku diskriminácii stupňa prírodnosti lesa. Šiesty indikátor – variačný koeficient hrúbky stromov, je síce štatisticky nesignifikantný, ale svojou prítomnosťou v modeli prispel k zlepšeniu správnej klasifikácie. Najväčší vplyv na diskrimináciu stupňa prírodnosti majú indikátory  $AM_K$  a  $MOD$ .

Tab. 8 Štatistická charakteristika diskriminačného modelu

Diskriminačný model			
Počet premenných: 6		Počet skupín: 3	
Wilks' Lambda: 0.43676		$F_{(12,290)} = 12.401^{***}$	
Jednotlivé vstupné premenné			
Indikátor	Wilks' Lambda	Partial Lambda	$F_{(3,935)}$ **95%, ***99.9%
Aritmetický priemer korunovosti ( $AM_K$ ) [%]	0.587	0.744	24.944 ***
Zásoba odumretého dreva ( $MOD$ ) [ $m^3/ha$ ]	0.491	0.889	9.062 ***
Pokryvnosť tráv ( $PK_T$ ) [%]	0.469	0.932	5.314 **
Pokryvnosť machov a lišajníkov ( $PK_M$ ) [%]	0.465	0.940	4.608 **
Agregačný index ( $R$ )	0.458	0.953	3.580 **
Variačný koeficient hrúbky stromov ( $CV_{DI.3}$ ) [%]	0.442	0.988	0.862

Pre lepšie a názornejšie objasnenie klasifikácie sme použili kanonickú analýzu. Na obrázku uvádzame umiestnenie jednotlivých skupín stupňov prírodnosti s ich približným ohraňením. Vidíme, že najlepšia klasifikácia sa dosahuje v okrajových triedach stupňov prírodnosti, pretože ich prelínanie je v porovnaní s prostredným stupňom minimálne.



Obr. 1 Grafická interpretácia klasifikácie stupňa prirodzenosti

#### 4.2. ADITÍVNY MODEL

Komplexné ukazovatele kombinujú v sebe viacero zložiek diverzity. Tieto indikátory sú väčšinou založené na aditívnom princípe, t.j. konečná hodnota indikátora, indexu sa získa sčítaním hodnôt jednotlivých zložiek diverzity. Zvyčajne sa používajú dva druhy kvantifikácie zložiek diverzity: (1) priradením skóre danému stavu na základe vopred stanovenej stupnice alebo (2) používaním skutočných merných jednotiek. Pre stanovenie celkovej hodnoty indikátora sa hodnoty jednotlivých zložiek môžu podľa ich významu upraviť rôznymi váhami. Takýto postup integrovaného hodnotenia je pomerne jednoduchý a ľahko aplikovateľný.

Na tomto princípe sme postavili druhý návrh komplexného modelu stupňa prirodzenosti. Využili sme druhý postup kvantifikácie, t.j. sčítanie skutočných merných jednotiek. Matematická formulácia modelu integrovaného indikátora stupňa prirodzenosti (*IISP*) má nasledovný tvar:

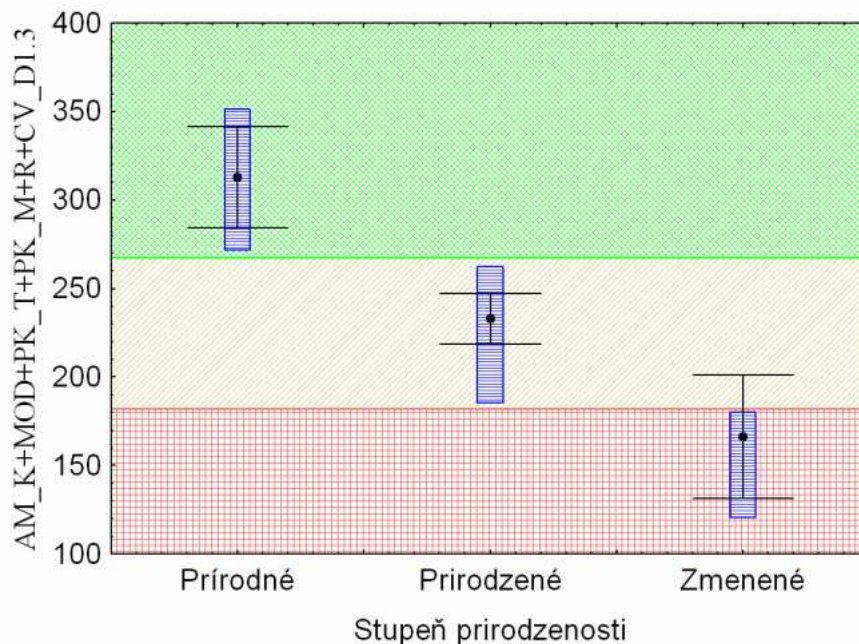
$$IISP = ID_1 + ID_i + \dots + ID_n \quad [12]$$

kde:






*ID* – čiastkový indikátor stupňa prirodzenosti lesa

Počet a druhy čiastkových indikátorov sú rovnaké ako pri diskriminačnom modeli, t.j. aritmetický priemer korunovosti (*AM\_K*), zásoba odumretého dreva (*MOD*), pokryvnosť tráv (*PK\_T*), pokryvnosť machov a lišajníkov (*PK\_M*), agregáčny index (*R*) a variačný koeficient hrúbky stromov (*CV\_D1.3*).

Štatistickú významnosť modelu sme overili jednofaktorovou analýzou variancie. Analýzou sa štatisticky významne preukázali rozdiely medzi priemernými hodnotami *IISP* stupňov prirodzenosti lesa (Celkový model  $F_{(2, 150)}=21.849^{***}$ , Tukeyov test). Grafickú interpretáciu uvádzame na obrázku 2. Váženým spôsobom (zohľadnené boli intervaly chýb a kvantily rozdelenia hodnôt) sme rozdelili medzihodnotový priestor *IISP*, čím sme stanovili rámce pravdepodobnosti stupňa prirodzenosti lesa. Objekty s *IISP* hodnotou vyššou ako 267 reprezentujú prírodné lesy, s hodnotou 182 – 267 prirodzené lesy a hodnota *IISP* nižšia ako 182 zaraďuje objekty k zmeneným lesom.



Obr. 2 Vymedzenie rámcov pravdepodobnosti integrovaného indikátora stupňa prirodzenosti lesa

Legenda:  zóna prírodné,  zóna prirodzené,  zóna zmenené  
 - kvantil 26-74% = 48% hodnôt,  - 95% rámeč chyby, ● - priemer

Zatriedením jednotlivých skusných plôch do určených zón stupňa prirodzenosti sme preverili správnosť klasifikácie tohto modelu. Celková úspešnosť správnej klasifikácie stupňa prirodzenosti je 63.4%. Stupeň 1 bol správne klasifikovaný v 74% prípadoch, stupeň 2 v 56% prípadoch a stupeň 3 v 89% prípadoch.

## 5. ZÁVER

Práca analyzuje možnosti konštrukcie integrovaného indikátora prirodzenosti lesa na podklade údajov z databázy horských lesov (7 lvs). Podáva návrh konštrukcie takéhoto modelu v dvoch variantoch a to na princípe diskriminačného a aditívneho modelu. Signifikantnými indikátormi stupňa prirodzenosti sa preukázali aritmetický priemer korunovosti ( $AM_K$ ), zásoba odumretého dreva ( $MOD$ ), pokryvnosť tráv ( $PK_T$ ), pokryvnosť machov a lišajníkov ( $PK_M$ ) a agregáčny index ( $R$ ). Indikátor variačný koeficient hrúbky stromov ( $CV_{DI.3}$ ) bol do modelu dodaný, pretože vylepšoval správnosť klasifikácie stupňa prirodzenosti lesa. Navrhnutý diskriminačný model má úspešnosť správnej klasifikácie 74.5%. Najvyššia pravdepodobnosť klasifikácie sa nachádza v okrajových triedach (stupeň 1 a 3) a najhoršia v strednej triede (68.5%). Pri variante s aditívnym modelom sa odvodili štatistické rámce pravdepodobnosti stupňa prirodzenosti lesa. Objekty s  $IISP$  hodnotou vyššou ako 267 reprezentujú prírodné lesy, s hodnotou 182 – 267 prirodzené lesy a hodnota  $IISP$  nižšia ako 182 zaraďuje objekty k zmeneným lesom. Celková úspešnosť správnej klasifikácie stupňa prirodzenosti pomocou tohto modelu je 63.4%.

## 6. LITERATÚRA

1. Clark, P.J.–Evans, F.C., 1954: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology*, 35, p. 445-453
2. Cooley WW, Lohnes PR (1971) *Multivariate data analysis*. Wiley, New York
3. Fuldner, K., 1995: Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* 66, p. 235-240

4. Heip C. 1974: A new index measuring evenness. *Journal of Marine Biological Association* 54: 555 - 57
5. Hill M.O. 1973: Diversity and Evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54/2: 427-432
6. Hubálek Z. 2000: Measures of species diversity in ecology: an evaluation. *Folia Zool.* 49(4): 241–260
7. Huberty CJ (1994) *Applied discriminant analysis*. Wiley, New York
8. Krebs C.J. 1989: *Ecological methodology*. Harper and Row, New York, 471pp.
9. Lloyd M., Ghelardi R.J. 1964: A table for calculating the "equitability" component of species diversity. *J. Anim. Ecology* 33: 217 – 225
10. Ludwig J.A., Reynolds J.F. 1988: *Statistical Ecology a primer on methods and computing*. John Willey & Sons, 337pp.
11. Margalef R. 1958: Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71
12. Menhinick C.F. 1964: A comparison of some species – individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45: 859-861
13. Merganič J. 2001: Regional forest survey with main emphasis on biodiversity quantification. Dissertation thesis, TU Zvolen, 176pp.
14. Merganič J., Šmelko Š., 2004: Quantification of tree species diversity in forest stands – model BIODIVERSS. *Eur. J. Forest Res.* 123, p. 157-165, ISSN: 1612-4669
15. Moravčík, M., Ďurský, J., Grék, J., Jankovič, J., Kamenský, M., Štefančík, I., Konôpka, B., Petráš, R., Mecko, J., Šebeň, V., Tučeková, A., Vladovič, J. 2005: *Zásady a postupy hospodárskej úpravy a obhospodarovania horských lesov smrekového vegetačného stupňa*. Lesnícke štúdie, 58, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 143pp., ISBN 80-88853-91-5
16. Pielou E.C. 1975: *Ecological Diversity*. Wiley, New York
17. Pielou E.C. 1977: *Mathematical Ecology*. Wiley, New York
18. Pretzsch H. 1996: Strukturvielfalt als Ergebnis Waldbaulichen Handels. *AFJZ* 167: 213-221
19. Pretzsch, H., 1995: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. *Methodische Überlegungen am Beispiel niedersächsischer Buchen-Lärchen-Mischbestände*. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 112, p. 91-117.
20. Shannon C., Weaver W. 1949: *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana. Illinois
21. Simpson, E.H., 1949: Measurement of diversity. *Nature* 163, 688pp.
22. StatSoft (1996) *STATISTICA for Windows*. Tulsa, OK <http://www.statsoft.com>

## 7. POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená z prostriedkov zmluvy o dielo 661/NLC/2008 v rámci spolupráce pri riešení projektu „Výskum, klasifikácia a uplatňovanie funkcií lesov v krajine“.