



PRIESTOROVÁ VARIABILITA BONÍT SMREKA A BUKA VO VZŤAHU KU GEOMORFOLOGICKÉMU ČLENENIU SR NA ZÁKLADE ÚDAJOV NÁRODNEJ INVENTARIZÁCIE A MONITORINGU LESOV SR (2005 – 2006)

MICHAL BOŠELA

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

BOŠELA, M., 2012: Spatial variability of spruce and beech site index in relation with geomorphological division in Slovakia from data of National Forest Inventory and Monitoring. Lesn. Čas. – Forestry Journal, **58**(1): 35-44, 7 fig., tab. 4, ref. 27. Original paper. ISSN 0323 – 1046.

The aim of the study was to propose a method for aggregation of site units in terms of wood production on the example of geomorphological division of Slovakia. This is to create units for regional inventories and strategic management planning, which would be, from the point of wood production as well as site conditions, as homogeneous as possible, while preserving as small number as possible. For the study, data collected within National Forest Inventory and Monitoring of Slovakia were used. Site index was used as an indicator of wood production of species. Experimental semivariogram was used to model the spatial autocorrelation of species and then the method of kriging was applied to create a map of spruce and beech wood production. The map was then overlapped with geomorphological division of Slovakia to derive mean wood production of species for all units. Finally, the seven main groups aggregated from geomorphological units were distinguished in terms of production of both species.

Keywords: *geomorphological division of SR, wood production, beech, spruce, site classification*

Cieľom štúdie bolo navrhnúť metódu pre agregáciu stanovištných jednotiek z hľadiska produkcie dreva na príklade geomorfologického členenia Slovenska. Cieľom je vytvoriť jednotky vhodné pre regionálne strategické plánovanie (rámcové plánovanie), ktoré by boli z hľadiska produkcie dreva, rovnako ako aj stanovištných podmienok, pokiaľ možno homogénne, pri zachovaní čo najmenšieho počtu jednotiek. Pre štúdiu boli použité údaje zozbierané v rámci Národnej inventarizácie a monitoringu lesov Slovenska. Bonita dreviny bola použitá ako ukazovateľ produkcie. Experimentálny semivariogram slúžil na modelovanie priestorovej autokorelácie bonity drevín a krigingová metóda bola použitá na vytvorenie mapy produkcie drevín smreka a buka. Následne sa mapa prekryla s geomorfologickým členením Slovenska. Napokon sa identifikovalo sedem hlavných skupín jednotiek agregovaných geomorfologických celkov z hľadiska produkcie smreka a buka vyjadrenej bonitou.

Keywords: *geomorfologické členenie Slovenska, produkcia dreva, buk, smrek*

1. Úvod a problematika

Rozdiely v raste porastov, ich hodnotenie a kvantifikácia sú predmetom záujmu lesníckej praxe už dlhú dobu. Keďže vyplývajú najmä z rastových podmienok drevín daných stanovišťom, na ktorom rastú, hľadali sa možnosti ako stanoviť ich kvalitu (bonitu). To znamená

ohodnotiť všetky faktory stanovišťa (pôdu, klimatické podmienky, reliéf a i.). Keďže priame meranie a kvantifikácia týchto premenných je veľmi náročná a možno z praktického hľadiska neefektívna, viedlo to k snahe ohodnotiť kvalitu stanovišťa a jej vzťah k produkcii dreva podľa drevín. Mnoho autorov sa venovalo skúma-

niu vzťahov medzi potenciálnou produkciou a ekologickými faktormi (SEYNAVE *et al.*, 2005, HUNTER, GIBSON, 1984, KABZENS, KLINKA, 1987, CORONA *et al.*, 1998, NIGH, 1998, UNG *et al.*, 2001, CURT *et al.*, 2001, MCKENNEY, PEDLAR, 2003, SWENSON *et al.*, 2005, MONSERUD *et al.*, 2006, ERCANLI *et al.*, 2008, BERGÈS *et al.*, 2006 a ďalší). Najčastejšie faktory použité ako vysvetľujúce premenné v mnohých modeloch pre odvodenie bonity lesných drevín sú faktory klimatické, topografické a pôdne a ich vzájomné kombinácie. Prítom percento vysvetlenej variability bonity drevín sa pohybuje od 10 % až po viac ako 90 %, v závislosti od výberu ekologických faktorov, kvality ich zisťovania a variability odhadovanej veličiny (bonity). Taktiež nato významne vplýva kvalita a realnosť rastových modelov pre výpočet bonity.

Jedným z veľmi dôležitých faktorov ovplyvňujúcich produkciu drevín je geomorfologické členenie Slovenska. Toto členenie Slovenska je výsledkom veľmi diferencovaných geologických a vulkanických procesov v poradových dobách. Územie Slovenska predstavuje zložitý celok, ktorý je vytvorený Západnými Karpatmi a malou časťou Východných Karpát na východnom Slovensku. Západné Karpaty na Slovensku sú rozdelené na vyše tridsať menších i väčších pohorí, ktoré sa zemepisne začleňujú do troch väčších orografických celkov (RANDUŠKA, 1959, Atlas krajiny SR, 2002). Územie Karpát tvorí šesť geologických období: 1) komplex predtriasových hornín; 2) horniny starších druhohôr (trias, jura a spodná krieda); 3) horniny mladších druhohôr (vrchná krieda); 4) paleogénne sedimenty (flyš); 5) neogénne sedimenty a vyvreliny a 6) pokryvné útvary štvrtohôr. Na Slovensku sú zastúpené nasledovné podložné horniny (ŠÁLY, 1978): Flyšové horniny (pieskovce, íl, bridlice, zlepenec, atď.), karbonátové horniny, väčšinou druhohorné (vápenec, dolomity, sliene, atď.), spraše a sprašové hliny (čiasťočne i neogénne sedimenty), horniny kryštalinika a sedimenty prvohorné i spodno-triasové minerálne stredne silné a silné (žuly, granodiority, diority, ortoruly, fylity, amfibolity) a minerálne slabé až jalové (pararuly, svory, porfyroidy, kremité porfýry, paleozoické pieskovce, kremence, atď.), mladotretihorné sopečné horniny, minerálne silné až veľmi silné (andezity, čadiče, andez. aglomeráty, andez. a čadičové tufy), minerálne stredne silné až slabé (ryolity, dacity, ryodacity a ich tufy), aluviálne naplaveniny, viate piesky, ostatné (diabasy, melafýry, atď.). Na podklade geomorfologického členenia v spojení s klimatickými parametrami sa vytvorili aj v súčasnosti používané lesné oblasti (VLADOVIČ *et al.*, 1994).

Cieľom práce je s využitím geoštatistických metód analyzovať priestorovú variabilitu bonít smreka a buka a na základe vhodných semivariogramových modelov zostaviť krígingové mapy. Následne vytvoriť produkčné kategórie geomorfologických celkov pre drevinu smrek a buk. Výsledky by mali slúžiť ako jeden z podkladov pre vytvorenie regionálnych jednotiek pre účely inventarizácie lesov a tiež ako podklad pre rámcové plánovanie.

2. Materiál a metódy

2.1. Národná inventarizácia a monitoring lesov SR (NIML SR)

Pre analýzy sa použili údaje Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (ŠMELKO *et al.*, 2005, 2006). Po metodologickej stránke sa jedná o kombinovanú terestricko-snímkovú metódu so systematickým rozmiestnením výberových jednotiek po celom území štátu. Pri terestrickej inventarizácii, výberovými jednotkami sú štyri druhy inventarizačných plôch (IP): A – konštantný kruh s polomerom $r = 12,62$ m na zisťovanie stanovištných, porastových a ekologických charakteristík a pre inventarizáciu mŕtveho ležiaceho dreva a pňov, B1 a B2 – dva koncentrické kruhy ($r = 12,62$ m a 3 m) pre zisťovanie stromových charakteristík s hrúbkou $d_{1,3} \geq 12$ cm a s hrúbkou $d_{1,3} = 7-12$ cm, C – variabilný kruh pre tenké stromy s $d_{1,3} < 7$ cm (jeho veľkosť $r = 1,0$, resp. $1,41$, resp. $2,0$ m sa volí podľa konkrétnej hustoty jedincov), D – rozšírený konštantný kruh s $r = 25$ m pre inventarizáciu okrajov lesa, inventarizáciu ciest a inventarizáciu vodných zdrojov. Zvolené boli tak, aby sa optimálne prispôbili vlastnostiam informačného spektra, ktoré je veľmi široké a týka sa vyše 100 znakov a veličín. Navyše sa na každej IP nachádzajúcej sa na lesnom pozemku odobrali vzorky pôdy. Nadložný humus sa odobral z troch miest a vzorky pôdy sa odobrali z jedného miesta a to z hĺbky $0 - 10$ cm a $10 - 20$ cm. Pre analýzy sa použili vzorky z hĺbky $0 - 10$ cm.

Stratifikácia a výber inventarizačných plôch

Pred samotnými štatistickými a geoštatistickými analýzami bolo potrebné vykonať prvotné analýzy zamerané na výber inventarizačných plôch, ktoré po metodologickej stránke zodpovedajú danému výskumu. Pretože hlavným zámerom bolo vyhodnotiť priestorovú variabilitu hodnôt bonít smreka a buka, plochy bolo potrebné vybrať s dostatočným počtom meraných stromov pre každú drevinu. Takto sa stanovila spodná hranica desať stromov pre každú drevinu na ploche. Aplikovaním tejto podmienky sa vybralo 296 IP pre buk a 230 IP pre smrek (obr. 1). Na každej IP sa následne stanovila bonita drevin, ktorá bola základom pre priestorové štatistické analýzy.

2.2. Model pre stanovenie bonity drevin na IP

Pre podmienky Slovenska bol vyvinutý model pre odvodenie bonít hlavných lesných drevín, ktorý je súčasťou domácich rastových tabuliek (HALAJ *et al.*, 1980). Pre matematické odvodenie výškového rastu drevín v závislosti od veku autori použili Korfovú rastovú funkciu (KORF, 1939), ktorá má najlepšie vlastnosti pre konštrukciu výškových a vývojových kriviek (NAKE, 1983, ŠMELKO, 1992). Pri odvodení výškových bonitných kriviek išlo o rozšírenie rastovej Korfovej funkcie tak, aby vyjadrovala závislosť výšky súčasne od veku a bonity.

Matematický model závislosti strednej (resp. hornej) výšky súčasne od veku a bonity je uvedený v práci HALAJ (1978), HALAJ *et al.* (1980).

2.2. Štatistické a geoštatistické spracovanie

Priestorovou autokoreláciou sa rozumie hodnotenie korelácie v rámci tej istej premennej na základe určitého spôsobu usporiadania jej hodnôt (HLÁSNY, 2005). To znamená skúmanie závislosti hodnôt jednej premennej na hodnotách tej istej premennej pri rôznych vzdialenostiach výberových lokalít (SCHEER, 2001). To znamená, že ak hodnoty skúmanej charakteristiky sú podobnejšie pri kratšej vzdialenosti medzi nimi a pri väčších vzdialenostiach je medzi nimi väčší rozdiel, vtedy je autokorelácia danej charakteristiky prítomná. Analyticky je úroveň autokorelácie vyjadrovaná veličinou *moment of inertia*, kovarianciou alebo korelačným koeficientom. Vyjadrením hodnoty moment of inertia ako funkcie vektora h je definovaný variogram, resp. semivariogram a v prípade kovariancie kovariogram, či korelogram v prípade korelačného koeficientu. Týmto spôsobom konštruovaná funkcia sa označuje ako empirická (HLÁSNY, 2005). Experimentálny semivariogram má teda tvar:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \quad [1]$$

kde

N – počet párov regionalizovanej premennej,
 $z(x)$, $z(x+h)$ – regionalizované premenné separované príslušným vektorom h (vzdialenosťou).

Pre test priestorovej autokorelácie hodnôt pôdnej reakcie, obsahu uhlíka a dusíka v pôde a hodnôt bonity smreka a buka sa vypočítal *Moranov index* autokorelácie:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [2]$$

kde

w_{ij} – váha medzi lokalitou,
 i, j, S_0 – suma váh w_{ij} .

Ďalším krokom v rámci štandardného geoštatistického postupu je vyrovnanie experimentálneho variogramu príslušným typom variogramového modelu. Pritom každý model má svoju základnú štruktúru, ktorá je funkciou vzdialenosti medzi údajmi a vyjadrujeme ju už definovanými parametrami *range* a *sill*. V prípade modelovania semivariogramu bonity smreka sa použil sférický model, ktorý má na počiatku lineárny priebeh a v prípade buka sa použil Gaussov model s parabolickým priebehom v blízkosti počiatku:

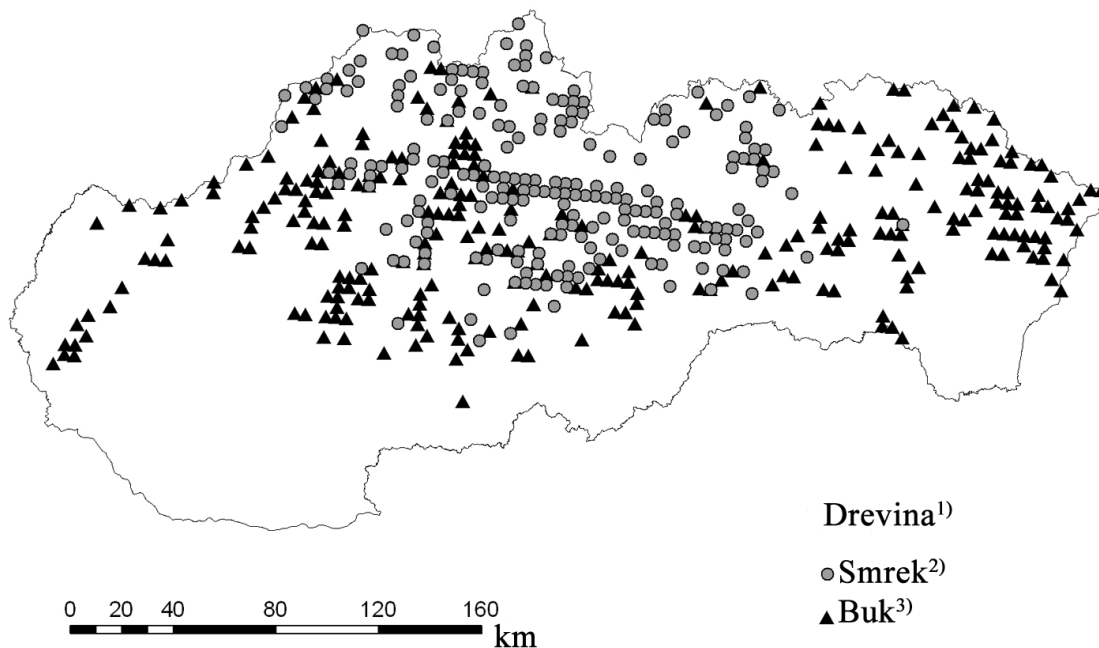
Sférický model

$$\gamma(h) = C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad [3]$$

Gaussov model

$$\gamma(h) = C \left(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right) \quad [4]$$

Všetky geoštatistické analýzy sa urobili v prostredí R (R Development Core Team 2010) a krígingové mapy



Obr. 1. Priestorová distribúcia inventarizačných plôch pre buk a smrek

Fig. 1. Spatial distribution of inventory plots for beech and spruce

¹⁾Tree species, ²⁾Spruce, ³⁾Beech

sa vyhotovili v prostredí ArcMap 10. Výsledné krígingové mapy sa následne prepojili s digitálnou vrstvou geomorfologických celkov Slovenska (Atlas krajiny Slovenskej republiky 2002) a pre každý geomorfologický celok sa vypočítali priemerné bonity, minimálna a maximálna bonita a jej smerodajná odchýlka. Pre celé Slovensko, resp. časť Slovenska, v ktorom sa nachádzali IP pre danú drevinu, sa vypočítala celková priemerná bonita, voči ktorej sa následne stanovil index bonity [5] pre každý geomorfologický celok:

$$I_{Bj} = \frac{\bar{B}_{ij}}{\bar{B}_{cuj}} \quad [5]$$

kde

I_{Bj} – index bonity dreviny,

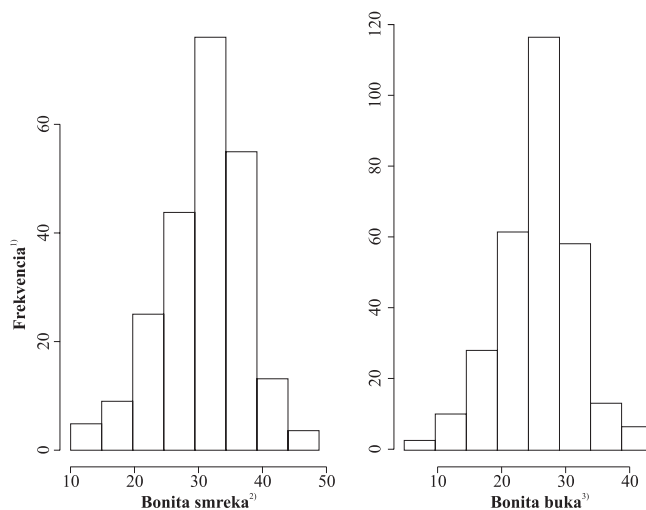
\bar{B}_{ij} – priemerná bonita dreviny j v danom geomorfologickom celku i ,

\bar{B}_{cuj} – priemerná bonita dreviny j pre celé záujmové územie cu .

Takto získané indexy bonity sa zobrazili v 2-rozmerom grafe, kde na osi x je index bonity smreka a na osi y buka a jednotlivé body bodového poľa označujú geomorfologické celky. Takto bolo možné jednotlivé celky navzájom porovnať.

3. Výsledky

Priestorová autokorelácia sa skúmala pomocou semivariogramu a existencia autokorelácie sa otestovala použitím Moranovho indexu. Pri všetkých skúmaných veličinách sa zistila významná autokorelácia na hladine významnosti $\alpha = 0,001$, čo znamená, že pre skúmané veličiny je možné v ďalšom použiť metódu krígingu pre interpoláciu hodnôt v priestore medzi inventarizačnými plochami.

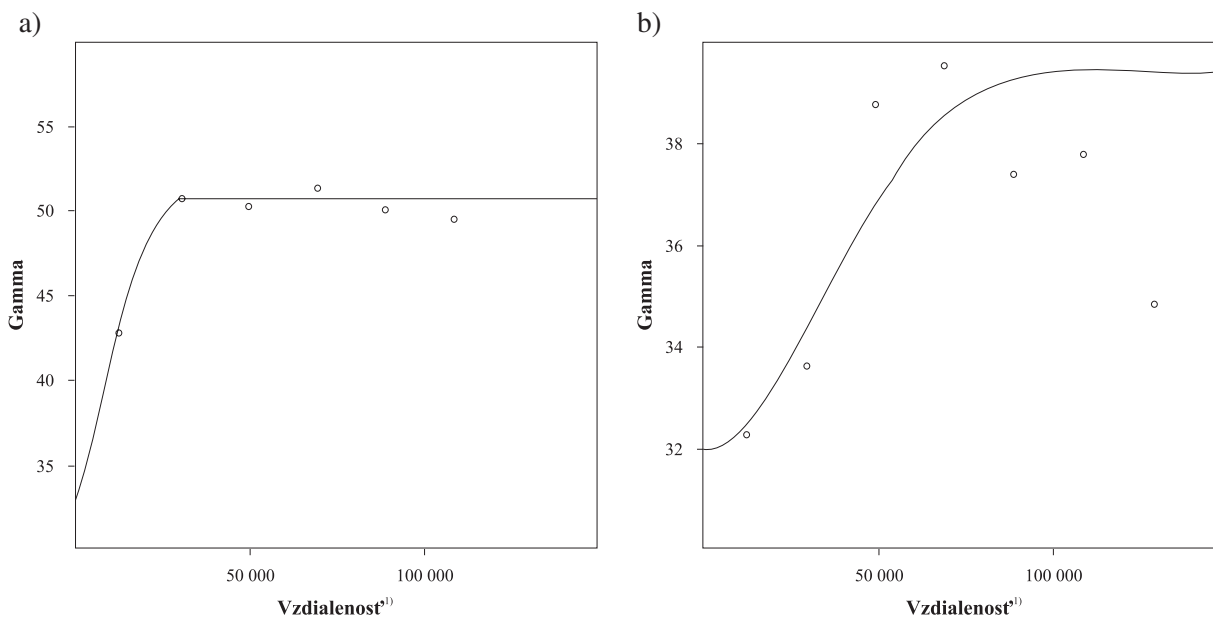


Obr. 2. Rozdelenie početností bonít smreka (vľavo) a buka (vpravo) v rámci údajov plôch NIML SR

Fig. 2. Frequency distribution of site index of spruce (left) and beech (right) from data of National Forest Inventory of SR
¹⁾Frequency, ²⁾Site index of spruce, ³⁾Site index of beech

Na obrázku 2 je znázornená distribúcia hodnôt bonít smreka a buka. Ako v prípade bonít smreka, tak aj buka rozdelenie nadobúda takmer normálny tvar. Pri smreku mierne prevažujú lepšie bonity. Pri smreku sa najčastejšie vyskytujú hodnoty bonít od 30 do 35 m, čo svedčí o pomerne vysokej produkcii stanovíšť lesov Slovenska. U buka sú najčastejšími hodnotami od 25 do 30 m. Buk však dosahuje celkovo užšie rozpätie bonít.

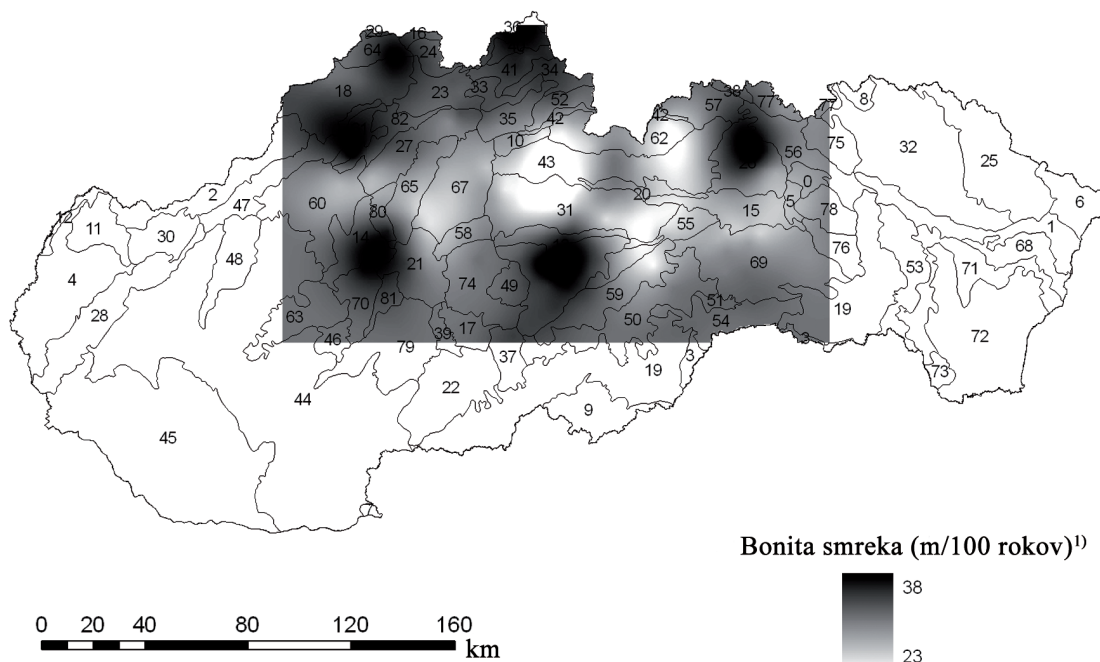
Pre odvodenie krígingovej mapy hodnôt bonity smreka sa taktiež použil sférický model s parametrami nu -



Obr. 3. Empirický semivariogram hodnôt bonít a) smreka a b) buka

Fig. 3. Empirical semivariogram of site index of a) spruce and b) beech

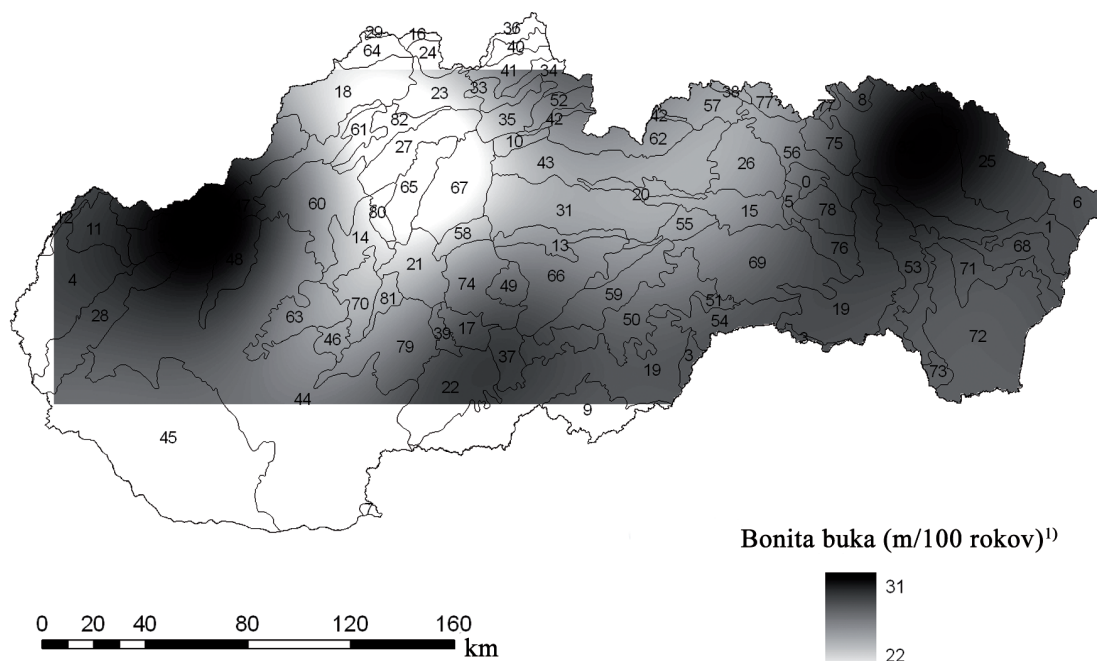
¹⁾Spacing



Obr. 4. Kríingová mapa bonity smreka

Fig. 4. Kriging map of spruce site index

¹⁾Site index of spruce (m/100 years)



Obr. 5. Kríingová mapa bonity buka

Fig. 5. Kriging map of beech site index

¹⁾Site index of beech (m/100 years)

get = 28,3, sill = 50 a range = 28 420 a pre odvodenie kríingovej mapy hodnôt bonity buka Gaussov model s parametrami nugget = 32, sill = 40 a range = 48 181.

Semivariogramové modely sa následne použili pre odvodenie hodnôt bonít smreka a buka pre územie Slo-

venska. Výsledné kríingové mapy sú prezentované na obrázkoch 4 a 5. V prípade smreka vidno, že lokality s najvyššími bonitami sú v oblasti Poľany, Veporských vrchov a Vtáčnika, ktoré v rámci geologického členenia patria do mladších treťohôr a materský substrát je tvore-

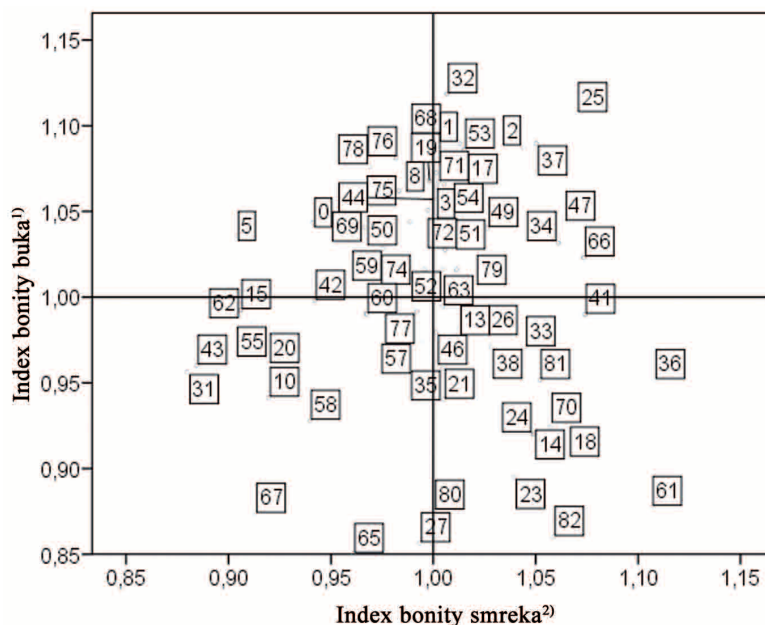
Tabuľka 1. Základné štatistické charakteristiky hodnôt bonít smreka a buka odvođených z krígingových máp pre jednotlivé geomorfologické celky Slovenska

Table 1. Statistical characteristics of site index of spruce and beech for geomorphological units derived from the kriging maps

ID	Geomorfologický celok ¹	Smrek ²					Buk ³				
		n	x	min	max	Index	n	x	min	max	Index
0	Bachureň	496	31	30	32	0,94	496	28	27	29	1,04
1	Beskydské predhorie	—	—	—	—	—	2 552	29	28	30	1,09
2	Biele Karpaty	—	—	—	—	—	2 621	29	26	31	1,09
3	Bodvianska pahorkatina	—	—	—	—	—	577	28	28	29	1,06
5	Branisko	335	30	29	30	0,90	335	28	27	28	1,04
8	Busov	402	33	32	33	1,00	400	29	28	29	1,07
13	Horehronské podolie	1 230	33	27	38	1,01	1 219	26	26	27	0,98
15	Hornádska kotlina	1 930	30	28	32	0,91	1 940	26	26	28	0,99
14	Hornonitrianska kotlina	1 709	35	30	37	1,06	1 713	25	23	26	0,92
10	Chočské vrchy	462	30	27	32	0,92	471	25	24	26	0,94
17	Javorie	773	33	32	34	1,01	884	28	27	29	1,07
18	Javorníky	3 511	35	32	38	1,07	3 184	24	23	27	0,91
19	Juhoslovenská kotlina	—	—	—	—	—	9 978	29	28	30	1,07
20	Kozie chrbty	673	30	27	33	0,92	679	26	26	26	0,96
21	Kremnické vrchy	1 956	33	29	37	1,01	1 952	25	23	27	0,94
23	Kysucká vrchovina	1 638	34	33	36	1,04	1 579	24	23	26	0,90
24	Kysucké Beskydy	599	34	33	36	1,05	—	—	—	—	—
25	Laborecká vrchovina	—	—	—	—	—	4563	30	29	30	1,11
26	Levočské vrchy	2 502	34	29	38	1,04	2 505	26	26	27	0,98
27	Malá Fatra	2 191	33	30	35	0,99	2 189	23	22	25	0,86
31	Nízke Tatry	5 042	29	23	35	0,88	5 034	26	24	26	0,96
32	Ondavská vrchovina	7 254	33	32	35	1,01	7 417	30	28	31	1,12
34	Oravská kotlina	872	35	33	36	1,06	—	—	—	—	—
33	Oravská Magura	700	34	34	35	1,04	—	—	—	—	—
35	Oravská vrchovina	1 120	33	31	35	1,00	1 120	26	24	28	0,96
36	Oravské Beskydy	408	36	34	38	1,11	—	—	—	—	—
37	Ostrôžky	—	—	—	—	—	1 028	29	29	29	1,09
38	Pieniny	180	34	33	35	1,03	178	26	26	26	0,97
39	Pliešovská kotlina	296	33	33	33	1,00	427	28	27	29	1,05
41	Podbeskydská vrchovina	975	35	34	36	1,07	459	26	25	28	0,99
42	Podtatranská brázda	370	31	29	33	0,94	—	—	—	—	—
43	Podtatranská kotlina	4 908	29	24	36	0,88	—	—	—	—	—
44	Podunajská pahorkatina	—	—	—	—	—	16 181	28	26	31	1,06
46	Pohronský Inovec	341	33	33	33	1,00	572	26	26	27	0,98
49	Poľana	732	34	33	35	1,03	736	28	27	28	1,04
47	Považské podolie	—	—	—	—	—	2 192	28	23	31	1,04
50	Revúcka vrchovina	3 052	32	29	35	0,99	3 888	28	26	29	1,04
51	Rožňavská kotlina	280	33	33	33	1,01	280	28	28	28	1,05
52	Skorušinské vrchy	767	33	29	35	1,00	—	—	—	—	—
53	Slanské vrchy	2 100	33	33	34	1,02	2 140	29	28	30	1,09
54	Slovenský kras	1 929	33	32	34	1,01	1 978	28	28	29	1,06
57	Spišská Magura	1 349	33	29	36	1,00	1 345	26	26	27	0,97
55	Spiško-gemerský kras	1 408	30	27	35	0,91	1 403	26	26	27	0,98
56	Spiško-šarišské medzihorie	2 119	33	31	37	1,01	2 118	27	26	30	1,03
58	Starohorské vrchy	714	31	29	32	0,94	716	25	24	26	0,93
59	Stolické vrchy	2 419	32	27	35	0,98	2 437	27	26	29	1,03
60	Strážovské vrchy	3 281	32	30	36	0,97	3 715	26	23	30	0,99
61	Súľovské vrchy	771	36	33	38	1,11	775	23	23	25	0,88
75	Čergov	1 207	32	32	33	0,98	1 205	28	27	30	1,06
76	Čierna hora	1 014	32	30	33	0,98	1 025	29	28	29	1,08

ID	Geomorfologický celok ¹	Smrek ²					Buk ³				
		n	x	min	max	Index	n	x	min	max	Index
77	Lubovnianska vrchovina	766	33	31	34	0,99	787	26	26	28	0,99
78	Šarišská vrchovina	1 125	32	30	33	0,97	1 124	29	28	29	1,08
79	Štiavnické vrchy	1 395	33	33	34	1,01	3 440	27	26	29	1,02
62	Tatry	2 184	29	26	32	0,89	2 183	26	26	27	0,99
63	Tribeč	1 419	33	33	34	1,00	1 978	27	25	28	0,99
65	Turčianska kotlina	1 825	31	29	37	0,96	1 820	23	22	24	0,85
67	Veľká Fatra	3 141	30	28	33	0,91	3 144	23	22	24	0,87
66	Veporské vrchy	3 484	35	28	38	1,07	3 487	27	26	29	1,02
68	Vihorlatské vrchy	—	—	—	—	—	1 437	29	28	29	1,07
69	Volovské vrchy	5 377	32	29	34	0,97	5 368	28	26	29	1,04
70	Vtáčnik	1 419	35	33	37	1,06	1 429	25	24	26	0,95
71	Východoslovenská pahorkatina	2 125	33	33	34	1,00	2 971	29	28	30	1,07
72	Východoslovenská rovina	2 662	33	33	33	1,00	6 836	28	28	29	1,06
74	Zvolenská kotlina	2 525	33	31	35	1,00	2 525	27	25	29	1,02
80	Žiar	552	33	30	37	1,00	557	23	23	24	0,88
81	Žiarska kotlina	539	34	33	36	1,05	536	25	25	26	0,95
82	Žilinská kotlina	1 086	35	32	38	1,06	1 084	23	22	25	0,86

¹Geomorfological unit, ²Spruce, ³Beech



Obr. 6. Porovnanie relatívneho indexu bonity smreka a buka vo vzťahu ku geomorfologickým celkom Slovenska (čísla v rámečkoch predstavujú kódy geomorfologických celkov, ako sú uvedené v tabuľke 2)

Fig. 6. Comparison of relative site index of spruce and beech in relation with geomorphological units of Slovakia (numbers inside the boxes represent codes of geomorphological units as they are listed in the table 2)

¹Site index of beech, ²Site index of spruce

ný vulkanitmi (andezity, ryolity, čadiče a ich tufy a tufity). Ďalšími oblasťami s vysokou bonitou smreka sú Levočské Vrchy, Stredné Beskydy a Javorníky, ktoré patria do starších trefohôr a podložie je tvorené pieskovcami, zlepcami a ílovcami. Aj v oblasti Nízkych Beskyd patriacej do starších trefohôr sa zaznamenala vyššia

bonita smreka, avšak tu sa nachádza iba jedna inventarizačná plocha s vyšším zastúpením smreka. Buk podľa výsledkov analýz dosahuje najvyššie bonity v oblasti východného Slovenska, Malých a Bielych Karpát. Taktiež sú to Štiavnické vrchy a oblasť Poľany. Najnižšie bonity dosahuje v Malej a Veľkej Fatre, Kysuckej vrcho-

Tabuľka 2. Zoznam geomorfologických celkov Slovenska
Table 2. List of geomorphological units of Slovakia

Geomorfologický celok ¹	ID	Geomorfologický celok ¹	ID	Geomorfologický celok ¹	ID
Bachureň	0	Myjavská pahorkatina	30	Strážovské vrchy	60
Beskydské predhorie	1	Nízke Tatry	31	Súľovské vrchy	61
Biele Karpaty	2	Ondavská vrchovina	32	Tatry	62
Bodvianska pahorkatina	3	Oravská Magura	33	Tribeč	63
Borská nížina	4	Oravská kotlina	34	Turzovská vrchovina	64
Branisko	5	Oravská vrchovina	35	Turčianska kotlina	65
Bukovské vrchy	6	Oravské Beskydy	36	Veporské vrchy	66
Burda	7	Ostrôžky	37	Veľká Fatra	67
Busov	8	Pieniny	38	Vihorlatské vrchy	68
Cerová vrchovina	9	Pliešovská kotlina	39	Volovské vrchy	69
Chočské vrchy	10	Podbeskydská brázda	40	Vtáčnik	70
Chvojnica pahorkatina	11	Podbeskydská vrchovina	41	Východoslovenská pahorkatina	71
Dolnomoravský val	12	Podtatranská brázda	42	Východoslovenská rovina	72
Horehronské podolie	13	Podtatranská kotlina	43	Zemplínske vrchy	73
Hornonitrianska kotlina	14	Podunajská pahorkatina	44	Zvolenská kotlina	74
Hornádska kotlina	15	Podunajská rovina	45	Čergov	75
Jablunovské medzihorie	16	Pohronský Inovec	46	Čierna hora	76
Javorie	17	Považské podolie	47	Lubovnianska vrchovina	77
Javorníky	18	Považský Inovec	48	Šarišská vrchovina	78
Juhoslovenská kotlina	19	Poľana	49	Štiavnické vrchy	79
Kozie chrbty	20	Revúcka vrchovina	50	Žiar	80
Kremnické vrchy	21	Rožňavská kotlina	51	Žiarska kotlina	81
Krupinská planina	22	Skorušinské vrchy	52	Žilinská kotlina	82
Kysucká vrchovina	23	Slanské vrchy	53		
Kysucké Beskydy	24	Slovenský kras	54		
Laborecká vrchovina	25	Spišsko-gemerský kras	55		
Levočské vrchy	26	Spišsko-šarišské medzihorie	56		
Malá Fatra	27	Spišská Magura	57		
Malé Karpaty	28	Starohorské vrchy	58		
Moravsko-sliezske Beskydy	29	Stolické vrchy	59		

¹⁾Geomorphological unit

vine a Javorníkoch. Relatívne nízke bonity (26 m) vykazujú buk aj v oblasti Nízkyh Tatier, Vtáčnika a Pohronského Inovca.

Rozdiely v bonitách medzi jednotlivými geomorfologickými celkami nespôsobuje iba geologické podložie ale aj iné faktory prostredia, na základe ktorých sa aj jednotlivé geomorfologické celky odlišujú. Sú to napríklad nadmorská výška a makroklima. Napríklad Nízke Tatry, Tatry, Malá a Veľká Fatra dosahujú v priemere najvyššie nadmorské výšky a keďže bonita drevín klesá s pribúdajúcou nadmorskou výškou, je logické, že tieto celky majú v priemere nižšie až najnižšie bonity.

Bonitné indexy, ktoré predstavujú relatívnu produkčnú schopnosť dreviny voči celkovej priemernej bonite danej dreviny sa následne zobrazili v grafe (obr. 6) tak, že na osi x sa umiestnili indexy bonít smreka a na osi y buka. Jednotlivé priesečníky tak predstavujú produkčnú schopnosť oboch drevín v jednotlivých geomorfologických celkoch. Hodnoty bonitných indexov ako aj zá-

kladné štatistické charakteristiky pre geomorfologické jednotky sú uvedené v tabuľke 1.

V nasledujúcom texte sa na základe týchto analýz vytvorilo 7 skupín geomorfologických celkov z hľadiska produkcie smreka a buka.

Geomorfologické celky s nízkymi bonitami ako smreka tak aj buka: Spišsko-gemerský kras, Kozie chrbty, Lubovnianska vrchovina, Strážovské vrchy, Tatry, Spišská Magura, Oravská vrchovina, Starohorské vrchy, Chočské vrchy, Nízke Tatry, Veľká Fatra, Turčianska kotlina. *Geomorfologické jednotky, kde smrek aj buk dosahujú najvyššie bonity:* Ondavská vrchovina, Východoslovenská pahorkatina, Východoslovenská rovina, Tribeč, Rožňavská kotlina, Slovenský kras, Javorie, Slanské vrchy, Poľana, Štiavnické vrchy, Ostrôžky, Veporské vrchy. *Celky, v ktorých smrek dosahuje vyššie bonity, avšak buk naopak nízke:* Horehronské podolie, Pohronský Inovec, Kremnické vrchy, Žiar, Malá Fatra, Levočské vrchy, Pieniny, Kysucká vrchovina, Žiarska kot-

lina, Vtáčnik, Javorníky, Hornonitrianska kotlina, Žilinská kotlina a Súľovské vrchy.

Naopak vyššie bonity buka a nižšie bonity smreka sa vyskytujú v nasledovných celkoch: Bachureň, Branisko, Volovské vrchy, Revúcka vrchovina, Stolické vrchy, Zvolenská kotlina, Čergov.

Geomorfologické celky, kde buk dosahuje vyššie bonity ako je celkový priemer a smrek sa nevyskytuje (resp. iba sporadicky): Vihorlatské vrchy, Považské podolie, Podunajská pahorkatina, Ostrôžky, Laborecká vrchovina, Juhoslovenská kotlina, Biele Karpaty, Bodvianska pahorkatina.

Geomorfologické celky, kde smrek dosahuje vyššie bonity ako je celkový priemer a buk sa nevyskytuje (resp. iba sporadicky): Kysucké Beskydy, Oravské Beskydy, Oravská kotlina, Oravská Magura.

Geomorfologické celky, kde smrek dosahuje nižšie bonity ako je celkový priemer a buk sa nevyskytuje (resp. iba sporadicky): Podtatranská kotlina, Podtatranská brázda, Skorušinské vrchy.

4. Diskusia a závery

Geomorfologické členenie Slovenska je výsledkom dlhodobého ontogenezičného vývoja v poľadových dobách. Významne sa podieľa na tvorbe pôdneho substrátu a taktiež ovplyvňuje klimatické pomery. Z uvedeného vyplýva, že by mal existovať aj úzky vzťah medzi týmto členením a produkciou drevín, čo sa potvrdzuje aj v tejto štúdií. Podobne aj VLADOVIČ *et al.* (1994) vytvorili lesné oblasti, ktoré založili najmä na geomorfologickom členení Slovenska a makroklimatických aspektoch. Pre analýzy však boli použité údaje vtedajších lesných hospodárskych plánov (teraz plány starostlivosti o les), ktoré nie sú vhodné pre účely štatistických analýz z dôvodu metodiky ich zisťovania. Taktiež boli použité údaje o zásobách a zakmenení porastov, ktoré však veľmi úzko súvisia so spôsobom hospodárenia a týkajú sa rozličného veku porastov. Výsledkom štúdie tvorby lesných oblastí bola aj analýza produkcie jednotlivých drevín v rámci oblastí a jej porovnanie medzi oblasťami. Z výsledkov analýz vyplýva úzky vzťah produkcie jednotlivých hlavných drevín s lesnými oblasťami. Výsledky navyše korešpondujú s výsledkami tejto štúdie, čo podporuje využitie ako geomorfologických celkov tak aj lesných oblastí ako bázu pre rámcové plánovanie. Podobne aj FABRIKA (2005) použil lesné oblasti ako jeden zo vstupných parametrov rastového modelu drevín v rastovom simulátore Sibyla. Problémom však zostáva, že pre účely regionálnych inventarizácií ako aj pre rámcové plánovanie a tvorbu modelov hospodárenia v lesoch je počet vytvorených lesných oblastí relatívne vysoký. Navyše, ak sa lesné oblasti kombinujú so základnými (resp. aplikovanými) jednotkami lesníckej typológie, počet vytvorených modelov hospodárenia je neúnosný a neúčelný. Preto cieľom tejto práce bolo ponúknuť metódu pre objektívnu agregáciu jednotiek do menšie-

ho počtu, tak aby tieto zohľadňovali ako prírodný charakter prostredia, tak aj produkciu lesných drevín. Analýzu potenciálnej produkcie hlavných drevín vo vzťahu k lesným oblastiam a ostatným jednotkám lesníckej typológie vykonali aj autori KULLA *et al.* (2010). Zistili, že pri všetkých drevinách sa na miere vysvetlenej variability prejavil prínos pridania regionálnej jednotky k stanovištnej jednotke. Autori zároveň uvádzajú, že výsledky indikujú možnosť pre strategické plánovanie efektívne agregovať stanovištné aj regionálne jednotky bez významnej straty informácie. Zaujímavým výsledkom analýz je aj to, že pri akejkoľvek kombinácii hierarchických stanovištných jednotiek a zvýšení celkového počtu jednotiek ostáva variabilita produkcie drevín veľmi vysoká. Aj ŠMELKO (2009) konštatuje vysoký počet lesných oblastí, v rámci ktorých sa vyskytujú ešte menšie jednotky – skupiny lesných typov, lesné typy, resp. hospodárske súbory lesných typov, čo spôsobuje vážne problémy metodického i vecného charakteru, a ktoré si vyžadujú účelne zoskupiť lesné oblasti a aj lesné typy do menšieho počtu agregovaných jednotiek pre následnú aplikáciu výberovej inventarizácie. Z výsledkov je zrejmé, že produkcia drevín nadobúda priestorovú závislosť a preto je možné produkciu modelovať s využitím priestorových stanovištných jednotiek ako sú aj geomorfologické celky, resp. lesné oblasti. Pritom pri agregovaní jednotiek treba brať ohľad nielen na produkciu drevín ale aj na typ podložia a potenciálne zastúpenie jednotlivých drevín. Na základe týchto výsledkov by taktiež bolo možné následne vypracovať mechanistický model produkcie vybraných hlavných drevín, kde vysvetľujúcimi premennými by boli ekologické faktory ako sú pôdne parametre, klimatické parametre a základ by tvorili práve geomorfologické celky alebo lesné oblasti.

Závery by bolo možné zhrnúť do nasledovných bodov:

- Potvrdila sa priestorová autokorelácia produkcie smreka a buka v lesoch Slovenska
- Geomorfologické jednotky, resp. lesné oblasti Slovenska úzko korelujú s potenciálnou produkciou uvedených drevín
- Z predchádzajúceho vyplýva, že po vhodnej a objektívnej agregácii uvedených jednotiek tieto môžu slúžiť ako základ pre regionálne zisťovanie stavu lesov a pre tvorbu modelov rámcového plánovania v lesoch Slovenska

Podakovanie

Tento príspevok bol vypracovaný na základe finančnej podpory Európskej únie v rámci projektu „Cetrum excelentnosti pre rozhodovanie v lese a krajine“ ITMS: 26220120069.

Literatúra

- Atlas krajiny Slovenskej republiky 2002. Bratislava : Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica : Slovenská agentúra životného prostredia, 344 s.
- BERGÈS, L., GÉGOUT, J.-C., FRANC, A., 2006: Can understory vegetation accurately predict site index? A comparative study using

- floristic and abiotic indices in sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) stands in northern France. In: *Annals of Forest Science*, vol. 63: p. 31-42.
- CORONA, P., SCOTTI, R., TARCHIANI, N., 1998: Relationship between environmental factors and site index in Douglas-Fir plantations in central Italy. In: *Forest Ecology and Management*, vol. 110, p. 195-207.
- CURT, T.H., BOUCHAUD, M., AGRECH, G., 2001: Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. In: *Forest Ecology and Management*, vol. 149, p. 61-74.
- ERCANLI, I., GUNLU, A., ALTUN, L., BASKENT, E.Z., 2008: Relationship between site index of oriental spruce (*Picea orientalis* [L.] Link) and ecological variables in Macıka, Turkey. In: *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 23, p. 319-329.
- FABRIKA, M., 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA, koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca. Zvolen: Technická univerzita, 238 s.
- HALAJ, J., 1978: Výškový rast a štruktúra porastov. Bratislava: Veda, 1978, 282 s.
- HLÁSNY, T., 2005: Geoštatistický koncept priestorovej závislosti pre geografické aplikácie. Geografický časopis, **57**(2): 97-116.
- HUNTER, I.R., GIBSON, A.R., 1984: Predicting *Pinus radiata* site index from environmental variables. In: *New Zealand Journal of Forest Science*, vol. 14, p. 53-64.
- KABZENS, R.D., KLINKA, K., 1987: Initial quantitative characterization of soil nutrient regimes. II. Relationships among soil, vegetation, and site index. In: *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 17, p. 1565-1571.
- KORF, V., 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona hmot lesních porostů. [The contribution to the mathematical formulation of volume ingrowth of forest stands], Lesnická práce, 18: 339-379.
- KULLA, L., BOŠELA, M., BURGAN, K., 2010: Potreba a možnosti inovácie rámcového plánovania HÚL na Slovensku. In: BORTEL, S., BAVLŠÍK, J. (eds.): *Súčasnosť a budúcnosť hospodárskej úpravy na Slovensku* : Zborník príspevkov z odborného seminára, Zvolen 27. 1. 2010. Zvolen: NLC, s. 42-49.
- MCKENNEY, D.W., PEDLAR, J.H., 2003: Spatial models of site index based on climate and soil properties for two boreal tree species in Ontario, Canada. In: *Forest Ecology and Management*, vol. 175, p. 497-507.
- MONSERUD, R.A., HUANG, S.H., YANG, Y., 2006: Predicting lodgepole pine site index from climatic parameters in Alberta. In: *The Forestry Chronicle*, 82(4): 562-571.
- NAKE, R., 1983: Die Eignung von Wachstumsfunktionen für die Konstruktion von Ertragstabellen. Dissertation, Technische Universität Dresden.
- NIGH, G., 1998: Prediction intervals for estimates of site index based on ecosystem type. In: *Environmental Management*, 22(2): 197-202.
- RANUŠKA, D. et al., 1959: Prehľad stanovištných pomerov Slovenska. Bratislava: SVPL, 258 s.
- ŠÁLY, R., 1978: Pôda základ lesnej produkcie. Bratislava: Príroda, 235 s.
- SCHEER, L., 2001: Využitie geoštatistiky pri zisťovaní stavu lesných ekosystémov. Vedecké štúdie, 6/A, Zvolen: TU, 63 s.
- SEYNAVE, I., GÉGOUT, J.-C., HERVÉ, J.-CH., DHÔTE, J.-F., DRAPIER, J., BRUNO, E., DUMÉ, G., 2005: *Picea abies* site index prediction by environmental factors and understorey vegetation: a two-scale approach based on survey databases. In: *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 35, p. 1669-1678.
- SWENSON, J.J., WARING, R.H., FAN, W., COOPS, N., 2005: Predicting site index with a physiologically based growth model across Oregon, USA. In: *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 35, p. 1697-1707.
- ŠMELKO, Š., WENK, G., ANTANAITIS, V., 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. Bratislava: Príroda, 342 s.
- ŠMELKO, Š., MERGANIČ, J., ŠEBEŇ, V., RAŠI, R., JANKOVIČ, J., 2005: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky. Metodika terénneho zberu údajov, 3 verzia. Zvolen: NLC, 104 s.
- ŠMELKO, Š., MERGANIČ, J., ŠEBEŇ, V., RAŠI, R., JANKOVIČ, J., 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky. Metodika terénneho zberu údajov (3. doplnená verzia), Zvolen: NLC, 130 s.
- ŠMELKO, Š., 2009: Analýza možností uplatnenia výberovej inventarizácie lesa pre stanovištné definované územné jednotky. Lesnícky časopis – Forestry Journal, **55**(4): 341-351.
- UNG, C.-H., BERNIER, P.Y., RAULIER, F., FOURNIER, R.A., LAMBERT, M.C., RÉGNÈRE, J., 2001: Biophysical site indices for shade tolerant and intolerant boreal species. In: *Forest Science*, vol. 47, p. 83-95.
- VLADOVIČ, J., BURGAN, K., DUBEŇ Z., DUPKALA, J., FLACHBART, V., GREČ, V., HATALA, N., HUDECOVÁ, D., KUČERA, J., LUPTÁK, I. et al., 1994: Lesné oblasti Slovenska. Zvolen: Lesoprojekt, 500 s.

Summary

The aim of the study was to propose a method for aggregation of site units in terms of wood production on the example of geomorphological division of Slovakia. This is to create units for regional inventories and strategic management planning, which would be, from the point of wood production as well as site conditions, as homogeneous as possible, while preserving as small number as possible. For the study, a data collected within National Forest Inventory and Monitoring of Slovakia were used, since they are systematically distributed over the entire Slovakia forests. Only plots with at least 10 trees of spruce or beech were selected for analysis. Site index explained as mean height of trees of beech and spruce at standard age of 100 years was used as an indicator of wood production of species. First, Moranov index was applied to study spatial autocorrelation of site index of spruce and beech. In the following Furthermore, experimental semivariogram was used to model the spatial autocorrelation of species and then the method of kriging was applied to create a map of spruce and beech wood production. The map was then overlapped with geomorphological division of Slovakia to derive mean wood production of species for all units. Relative production was then calculated as a ratio between mean site index of individual geomorphological units and overall mean site index of Slovakia. The geomorphological units were graphically compared one another. The seven main groups were distinguished in terms of production of both species: Units with low site index of both spruce and beech, Units with high site index of both spruce and beech, Units with high site index of spruce and low site index of beech, Units with low site index of spruce and high site index of beech, Units with high site index of beech and without occurrence of spruce, Units with high site index of spruce and without occurrence of beech, Units with low site index of spruce and without occurrence of beech.

Translated by author