

Бранко Стајић  
Миљивој Вучковић

UDK: 630\*529  
Оригинални научни рад

## АНАЛИЗА ПРОСТОРНОГ РАСПОРЕДА СТАБАЛА У ШУМСКИМ САСТОЈИНАМА

**Извод:** У истраживањима састојинске структуре у шумарству Србије до сада нису коришћене анализе хоризонталног размештаја стабала. Имајући у виду велику привредну и еколошку апликативност поседовања оваквих информација, у раду се третира проблематика нумеричке дескрипције облика просторног распореда стабала. Коришћени су тзв. методи статистичких дистрибуција и индекса дисперзије. Резултати истраживања у разнодобној мешовитој састојини јеле и букве и зрелој чистој састојини јеле на планини Гоџ показали су да се сва стабла заједно, али и раздвојено по врстама, распоређују претежно случајно у простору, са тенденцијама ка слабијој или јачој агрегацији или равномерности. На основу утврђеног просторног размештаја стабала изводи се закључак о хомогености околине и једнакости основних услова за раст стабала на већем делу истраживаних састојина и указује на чињеницу да реално сагледавање токова раста и конкуренције јеле и букве, због констатованог непостојања израженије међусобне конкурентности у погледу основних фактора раста, претпоставља, пре свега, квантификовање конкуренције у односу на величину простора за раст.

**Кључне речи:** структура састојина, просторни распоред стабала, индекси дисперзије, јела, буква

### ANALYSIS SPATIAL DISTRIBUTION TREES IN FOREST STANDS

**Abstract:** The analyses of the horizontal distribution of trees have not been used in the research of stand structure in Serbia's forestry to date. Taking into account the high economic and ecological applicability of such information, this paper deals with the numerical description of the form of spatial distribution of trees. The applied methods are the so-called methods of statistical distributions and dispersion index. The study results in the all-aged mixed stand of fir and beech and in the mature pure stand of fir on the mountain Goč show that all trees together, but also the trees per species, are predominantly randomly distributed in space, with the tendencies

*мр Бранко Стајић, асистент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд  
др Миљивој Вучковић, ред. проф., Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд*

towards a weaker or stronger aggregation or uniformity. Based on the identified spatial distribution of trees, it can be concluded that in the greater part of the study stands the environment is homogeneous and the basic conditions of tree growth are uniform. This points to the fact that real assessment of growth development and the competition of fir and beech, due to the identified absence of a marked competition for the basic growth factors, emphasises, primarily, the quantification of the competition for growth space.

**Key words:** stand structure, spatial distribution of trees, dispersion indexes, fir, beech

## 1. УВОД

Модеран приступ планирању и газдовању у шумарству, условљен прогресивним увећањем потреба друштва и власника шума за дрветом, као и повећаном еколошком свешћу друштва, претпоставља већи број различитих квалитетних и актуелних информација о тренутном и потенцијалном стању шума и шумског фонда. Стога, Pretzsch (1993) напомиње да конвенционално описивање стања шумских састојина, углавном, помоћу средњих и сумарних састојинских параметара, занемарује тродимензионалну представу о изграђености састојина, односно да за реална планирања недостају, управо, неке од најважнијих информација о структури састојина, као што су информације о хоризонталном размештају стабала.

Просторни размештај шумских стабала у састојинама је до скоро у истраживањима описиван најчешће на основу критеријума који су се разликовали у зависности од схватања истраживача, без нумеричког дефинисања начина распореда у квантитативном смислу (Kotar, 1993/a). Примена поменутог визуелног и стога мање више субјективног дефинисања ове важне састојинске карактеристике иницирала је у последње 2-3 деценије провођење већег броја истраживања, која су за циљ имала нумеричку дескрипцију облика распореда стабала (Kotar, 1993/a, 1993/б, 2005, Nüßlein, 1995, Fuldner, 1995, Pretzsch, 1993, 1996, Gleichmar, Gerold, 1998, Smaltschinski, 1998, Gadow, 1999, Gadow et al., 1998, Gadow *et al.*, 2003).

Утврђивање „шаблона” размештаја стабала посебно је од значаја за газдовање мешовитим, структурно богатим, разнодобним шумама, које ће са еколошког аспекта, аспекта производности, виталности и стабилности, у будућности представљати далеко најважнију и најзначајнију структурну форму шумских састојина.

## 2. ОБЈЕКАТ ИСТРАЖИВАЊА И МЕТОД РАДА

Истраживања су проведена у састојинама које имају карактер сталних огледних површина и које се налазе у оквиру шумског комплекса Наставне базе „Гоч” Шумарског факултета у Београду, на планини Гоч. Станиште припада синтаксономској јединици *Abieti-Fagetum moesiacum*, субасоцијација *polypodietosum*, на дубоком

киселом смеђем земљишту на филитима. Просечна годишња температура износи  $7,3^{\circ}\text{C}$ , а средња температура у току вегетационог периода (мај-септембар)  $14,3^{\circ}\text{C}$ . Ове, али и остале климатске, геолошке, педолошке и фитоценолошке карактеристике истраживаног подручја детаљно су описане од стране *Stamenkovića* и сарадника (1980). Експозиција је запад-северозапад. Истраживачки објект се налази на надморској висини од око 850 *m* и састоји се од једне мешовите разнодобне састојине јеле и букве (површина 1) и једне чисте, око 160 година старе састојине јеле (површина 2) које, иначе, карактеришу шуме Гоча.

За утврђивање облика размештаја индивидуа у простору (*spatial pattern*) постоји више начина и метода, а највећи део њих је развијен у оквиру математичке, односно статистичке екологије. Дефинисање начина хоризонталног размештаја стабала проведено је уз помоћ две методе, за које нису потребна обимна мерења и велики временски и финансијски утрошци.

Прва примењена метода за утврђивања просторног распореда стабла („метода статистичких дистрибуција“) базира се на утврђивању броја јединки у узорачким јединицама (квадрати, кругови) и њиховим поређењем са очекиваним (теоријским) бројем јединки код случајне - Поасонове (*Poisson*) расподеле. Поасонова теоријска расподела дистрибуција је највише употребљавана као референтна дистрибуција за тест (не)случајности облика размештаја јединки у некој популацији. У ту сврху су на огледним површинама случајно положене јединице узорка кружног облика различитих величина.

С обзиром да су резултати оваквих истраживања зависни од величине узетих јединица узорка (*Kershaw*, 1973, *Pinto da Costa*, 1992), постављено је по 40 јединица узорка кружног облика величине 100 *m*<sup>2</sup>, 200 *m*<sup>2</sup> и 500 *m*<sup>2</sup>. На њима је утврђен укупан број стабала обе врсте и број стабала појединачно по присутним врстама. Први корак у току анализе начина просторног распореда стабала на основу статистичких дистрибуција представља тестирање нулте хипотезе, да се број стабала по јединицама узорка распоређује случајно, с тим да број јединица узорка мора бити већи од 30. У случају одбацивања хипотезе, значи да се стварни број стабала по јединицама узорка распоређује групимично или у облику равномерног распореда, те утврђени распоред стабала по јединицама узорка треба тестирати са теоријским, код негативне биномске (за групимичан распоред), или позитивне биномске расподеле (за равномеран распоред).

На основу постављене нулте хипотезе формиране су фреквенцијске расподеле, које дају расподеле броја стабала (0, 1, 2, ... *r*) по јединицама узорка. Затим су израчунате вероватноће појављивања одређене вредности обележја  $x=0, 1, 2, \dots$  у Поасоновом распореду и теоријске фреквенције за сваки разред, при чему је број разреда  $q=r+1$ . Питање односа броја разреда и минималне теоријске фреквенције и начина здруживања разреда ради задовољавања потребне минималне теоријске фреквенције је детаљно описано и појашњено од стране већег броја аутора (*Snedecor*, *Cochran*, 1973, *Sokal*, *Rolf*, 1981).

Утврђивање начина размештаја индивидуа у простору на основу друге методе („метода индекса дисперзије“) извршено је на основу оцене релација између варијансе и аритметичке средине броја стабала по јединицама узорка. За извођење закључка о просторном размештају стабала на основу примене ове методе коришћени су резултати анализе и утврђивања броја стабала обе врсте и броја стабала појединачно по присутним дрвенастим врстама на већ случајно постављеним кружним јединицама различитих величина. У овом раду анализирани су тзв. индекс дисперзије или релативна варијанса (Index of dispersion - Relative variance, Cox I - Index) и тзв. Грин-индекс (Green's-index) (Green, 1966, Kershaw, 1973, Ludwig, Reynolds, 1988, Pretzsch, 2001):

– индекс дисперзије  $ID = \frac{s^2}{\bar{x}}$ ,

где  $s^2$  представља оцену варијансе  $\sigma^2$ , а  $\bar{x}$  оцену за аритметичку средину  $\mu$ ;

– Гринов индекс  $GI = \frac{\frac{s^2}{\bar{x}} - 1}{N - 1}$ ,

где  $s^2$  представља оцену варијансе  $\sigma^2$ ,  $\bar{x}$  оцену за аритметичку средину  $\mu$ , а  $N$  укупан број стабала на свим јединицама узорка.

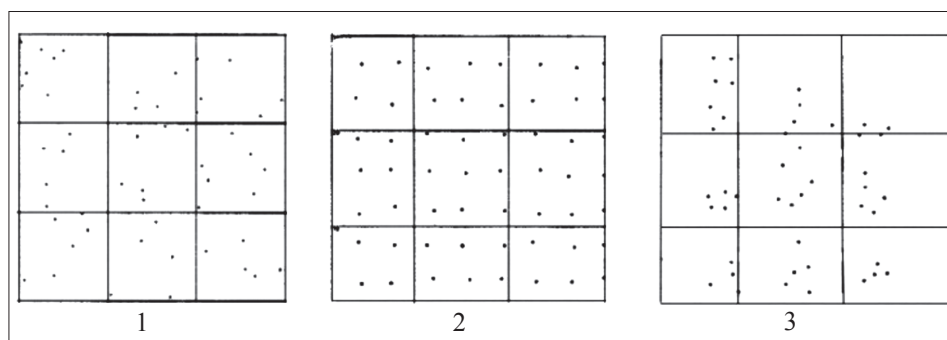
За проверу карактера уочених разлика између емпиријских и моделних расподела коришћен је  $\chi^2$ -тест, а за тестирање једнакости аритметичких средина и варијанси  $t$ -тест.

### 3. ПРОБЛЕМ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Начин размештаја индивидуа у простору је једна од основних карактеристика како биљних, тако и животињских популација. Детерминисање начина просторног размештаја служи утврђивању структуре заједница и фактора, који условљавају структуру (Williams, 1976) и тиме утврђивању функционалности популација. Разликују се три основна типа размештаја индивидуа у заједницама (слика 1):

1. случајан распоред;
2. равномеран распоред;
3. групимичан, односно агрегиран распоред.

Анализе хоризонталног размештаја стабала у простору имају значајну примену у многим областима истраживања у шумарству. На самом почетку, утврђивање начина размештаја стабала је служило процени елемената састојинске структуре, нпр. густине састојина и утврђивању корелационих веза између појединих елемената раста и састојинске структуре (Bauersachs, 1942, Köhler, 1951, Hausburg, 1962, Prodan, 1968, итд.). У истраживањима раста и производности шума информације о просторном распореду стабала у састојинама, као елементу просторне структуре шума, користе се, такође, за процену основних услова за раст стабала (конкуренција,



**Слика 1.** Начини размештаја стабала у простору  
**Figure 1.** Ways of spatial distribution of trees

распореда светлости, температуре...) и тиме за оцену и моделирање токова раста и стабилности стабала и састојина (Mitscherlich, 1970, Wenk, 1990). Изражени еколошки значај прецизних информација о просторном распореду стабала огледа се у реалном схватању и моделирању развоја шумских екосистема (Pretzsch, 1993) и могућности комплексног и детаљног посматрања и анализе диверзитета, јер у суштини, начин просторног размештаја стабала у састојинама карактерише диверзитет позиција у шумским састојинама (Стајић, Вучковић, 2005). У савременом уређивању шума, такве информације налазе примену приликом описа станишта и састојина (Gadow, 1993) и служе доношењу адекватних планова газдовања. За дефинисање и планирање најтачнијег и најрентабилнијег метода и врсте инвентуре шума такође, неопходни су релевантни подаци о просторној расподели стабала у састојини (Šmelko, 1993). Гајење шума, за нпр. провођење одговарајућих различитих узгојних активности и утврђивање квалитета и бројности подмладка, захтева познавање облика распореда стабала и подмладка у састојинама итд.

Првобитно мишљење, да се индивидуе у природи претежно случајно размештају у простору, још двадесетих година прошлог века било је оспорено од стране Gleason-а и Swedberg-а (Kershaw, 1973), који су констатовали да се бројни биљне и животињске врсте у природи јављају у неслучајним облицима расподела. Од тада, па нарочито од 70-тих година прошлог века почиње интензивнији развој различитих техника и начина дефинисања облика размештаја јединки у простору. Скоро свака од тих метода се у ширем смислу може сврстити у једну од две групе.

Прву групу образују методе на основу статистичких дистрибуција (Distribution methods) и индекса дисперзије (Indices of dispersion), а другу методе на основу утврђивања растојања између индивидуа или растојања између индивидуа и случајно изабраних тачака (Distance methods). Поред ових главних метода, развили су поједини аутори (Gadow *et al.*, 1998, Hui, Gadow, 2002) један структурни параметар - тзв „угаону меру” (нем. Winkelmass), за чији прорачун, такође, нису потребна обимна и скупа мерења растојања између стабала или стабала и случајно одабраних

тачака. Pretzsch (2002) посебно указује на могућност ефикасне примене тзв. *K*- и *L*-функције, као и тзв. „функције корелационих парова” за карактеризацију начина хоризонталног размештаја стабала у састојинама.

Циљ овог рада је да се на основу статистичких дистрибуција и индекса дисперзије у једној мешовитој састојини јеле и букве и једној чистој састојини јеле изврши нумеричка дескрипција начина просторног распореда стабала и тиме омогући подробнија и квалитетнија анализа састојинске структуре, нивоа конкуренције и хомогености услова за раст стабала јеле и букве на датом станишту.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Анализа хоризонталног просторног размештаја стабала проведена је у мешовитој разнодобној састојини јеле и букве и чистој зрелој састојини јеле.

Дефинисање начина размештаја стабала у простору најпре је извршено „методом статистичких дистрибуција” (Ludwig, Reynolds, 1988), која је у литератури позната, такође, и под називима *Quadrat method* (Greig-Smith, 1964, Pielou, 1977) или *Counting method* (Upton, Fingleton, 1985). Степени подударности стварних расподела стабала по јединицама узорка и теоријских расподела фреквенција стабала на обе површине проверени су  $\chi^2$ -тестом (табела 1). Израчунате вредности  $\chi^2$  су за све узорке на обе површине (без обзира на величину јединица узорка и мешовитост) мање од табеларних величина  $\chi^2$ , што указује да нулту хипотезу (начин размештаја стабала у простору одговара случајној расподели), не треба одбацити.

**Табела 1.** Резултати тестирања емпиријских и теоријских расподела стабала ( $\chi^2$ -тест) на случајно постављеним кружним јединицама узорка ( $\alpha=0,05$ )

**Table 1.** Test results of empirical and theoretical distribution of tree frequency ( $\chi^2$ -test) on the randomly established circular sample units ( $\alpha=0,05$ )

Вел. узорка Sample	Површина 1 Area 1						Површина 2 Area 2	
	Обе врсте Both spec.		Јела Fir		Буква Beech		Јела Fir	
	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{таб}}$	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{таб}}$	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{таб}}$	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{таб}}$
100 m <sup>2</sup>	9,04	15,51	7,10	12,59	1,15	9,49	2,67	12,59
200 m <sup>2</sup>	15,12	19,67	15,30	16,81**	3,28	11,07	2,20	12,59
500 m <sup>2</sup>	12,10	21,03	4,35	12,59	12,28	16,92	5,30	22,36

Емпиријски размештај стабала у простору, ипак, не може се потпуно верно описати само уз помоћ теоријских моделних расподела, јер стварни распоред стабала у основи показује само тенденцију, која је више или мање слична случајној, агрегираној или равномерној расподели. Због тога је у циљу квантификације начина просторног

размештаја стабала, примењен и „метод индекса дисперзије” уз коришћење индекса дисперзије (*ID*) и Гриновог индекса (*GI*). Поред наведених, у литератури је описан и већи број других индекса (Cox, 1971, Smaltschinski, 1981, Wenk *et al.*, 1990, Gleichmar, Gerold, 1998).

Резултати анализе облика распореда стабала у простору на обе истраживане површине применом индекса дисперзије (*ID*) и Гриновог индекса (*GI*) су приказани у табели 2. Хоризонтални распоред стабала у простору је случајног карактера, када је  $ID=1$  (или врло блиско 1). Ако је  $ID>1$ , међу узорачким јединицама присутно је више јединица са знатно већим или мањим бројем стабала у односу на просек, те је расподела групимична. Ако је  $ID<1$  „шаблон” просторног размештаја стабала у састојинама се може окарактерисати као равномеран.

На основу резултата приказаних у наведеној табели, може да се уочи да величине индекса зависе од величине кружних јединица узорка. Величине *ID* у оквиру мешовите састојине (табела 2) указују да су, у зависности од величине јединица узорка, присутни агрегација, случајност и равномерност размештаја стабала по површини. Анализом *ID* за чисту састојину јеле уочава се да се стабла распоређују случајно, за узорак величине  $100\text{ m}^2$  или равномерно, за узорке  $200$  и  $500\text{ m}^2$  (табела 2).

**Табела 2.** Статистички показатељи расподеле броја стабала на случајно положеним кружним јединицама узорка 1 ( $\alpha=0,05$ )

**Table 2.** Statistical parameters of tree frequency distribution on the randomly established circular sample units 1 ( $\alpha=0,05$ )

Површина Area	Врста Spec.	Узорак Sample	Стат. показатељ / Stat. parameter				
			$\bar{x}$	$s^2$	<i>ID</i>	<i>t</i>	<i>GI</i>
Површина 1 Area 1	Обе врсте Both spec.	$100\text{ m}^2$	5,7	8,37	1,470	1,93	0,002
		$200\text{ m}^2$	11,1	12,26	1,105	0,51	0,0002
		$500\text{ m}^2$	23,8	40,70	1,710	2,77	0,0007
	Јела Fir	$100\text{ m}^2$	3,43	4,87	1,420	1,75	0,003
		$200\text{ m}^2$	6,8	7,30	1,070	0,38	0,0003
		$500\text{ m}^2$	13,6	19,20	1,410	1,71	0,0008
	Буква Beech	$100\text{ m}^2$	2,2	2,46	1,130	0,61	0,001
		$200\text{ m}^2$	4,4	3,37	0,840	-0,68	-0,0009
		$500\text{ m}^2$	10,2	14,17	1,440	1,81	0,001
Пов. 2 Area 2	Јела Fir	$100\text{ m}^2$	3,3	3,33	1,000	0,06	0
		$200\text{ m}^2$	6,7	3,37	0,570	-2,09	-0,0016
		$500\text{ m}^2$	15,6	14,17	0,770	-1,00	-0,0005

За доношење коначног суда о начину распореда стабала на основу величина наведених индекса, било је потребно да се добијени резултати статистички провере.

Pinto da Costa (1992) истиче да и када је величина  $ID$  врло блиска 1, ипак се не сме одмах извести закључак да је расподела стабала случајног карактера, већ је потребно извршити проверу адекватним тестирањем. Као квантитативни параметар за тестирање служи  $\chi^2$ -тест, са  $n-1$ - степени слободе, када је број јединица у узорку мањи од 30, или  $t$ -статистика ( $t$ -тест), када је број узорачких јединица већи од 30 (Ludwig, Reynolds, 1988, Котар, 2004). У ту сврху примењен је следећи образац:

$$t = \sqrt{2 \cdot \chi^2} - \sqrt{2 \cdot (n-1) - 1}.$$

Тестирањем је потврђено ( $-1,96 < t < 1,96$ ) да постоји подударност између емпиријске расподеле стабала по јединицама узорка и Поасонове теоријске расподеле, изузев у случају посматрања укупног броја стабала јеле и букве у узорку од 500  $m^2$  (табела 2).

Назнака агрегираности стабала у мешовитој састојини проверена је и Гриновим индексом ( $GI$ ). Резултати показују да је степен агрегираности стабала веома мали (табела 2). Гринов индекс варира између 0, код максималне случајности, и 1, код максималне агрегације (Elliott, 1973, према Ludwig, Reynolds, 1988).

Случајан распоред јединки унутар популације указује на хомогеност услова средине у којој живи популација (Ludwig, Reynolds, 1988). Према томе, случајан распоред стабала у састојинама значи, да на сваком делу површине, стабла имају једнаке услове за раст. Групимичан, односно агрегирани распоред показује, да постоје одређени извори или услови, који условљавају такав распоред, да би јединке лакше преживеле. Сходно томе, групимичан распоред стабала упућује на нехомогеност услова за раст и варирање броја стабала по површини састојине (Котар, 2005). Равномерни распоред се ређе налази у природи (у случају посебних потреба стабала за светлост и, сл.) и углавном везан је за вештачки подигнуте састојине. Добијени резултати, у складу са наведеним, показују да се услови средине на истраживаним објектима могу сматрати хомогеним и подједнако прикладним за раст стабала.

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

Начин просторног распореда је једна од најистакнутијих карактеристика сваке групе живих организама и служи утврђивању њихове структуре и чинилаца, који ту структуру опредељују. Стога је анализа облика размештаја стабала у шумским састојинама саставни део савремених истраживања састојинске структуре. Две мешовите састојине истих сумарних и средњих састојинских величина елемената раста, истих или врло блиских дистрибуција стабала по нумеричким класама, могу имати у будућности врло различит раст и развој, сходно начину размештаја стабала у датим састојинама.

За анализе начина просторног размештаја стабала у једној мешовитој разнодобној састојини јеле и букве и једној чистој зрелој састојини јеле на планини Гоч примењиване су две методе (методе статистичких дистрибуција и методе индекса



дисперзије) за које нису потребна обимна мерења растојања између стабала или стабала и случајно одабраних тачака у простору. На основу проведених анализа може се закључити следеће:

- да је применом „методе статистичких дистрибуција” утврђено, да се стабла у састојинама (сва стабла заједно, али и раздвојено по врстама) размештају у простору случајно;
- да је применом методе „индекса дисперзије” (релативна варијанса или индекс дисперзије - *ID* и Грин-индекс - *GI*) констатовано, да је извођење коначног закључка о начину хоризонталног размештаја стабала у анализираним састојинама условљено величином јединица узорка. Статистичком провером добијених резултата (применом *t*-теста) у обе анализирани састојине, ипак је констатована сигнификантна случајност у расподели стабала, са уоченом појавом одређеног нивоа агрегираности (мешовита састојина јеле и букве) и равномерности (чиста састојина јеле) у хоризонталном размештају стабала;
- утврђени начин хоризонталног размештаја стабала јеле и букве у анализираним састојинама указује на хомогеност станишта, односно да на већем делу простора састојине стабла имају једнаке услове за раст;
- у начину хоризонталног размештаја између букве и јеле у истраживаној мешовитој састојини нема значајних разлика;
- између наведених врста не постоји јако изражена конкуренција у односу на светлост, топлоту, воду, хранљиве материје и друге основне факторе раста, па је за раст стабала јеле и букве, пре свега, одлучујућа конкуренција у простору крошњи стабала.

Добијене информације о облику просторног размештаја стабала омогућују јаснију представу о просторној састојинској изграђености и различитим интерспецијским односима букве и јеле у анализираним састојинама и станишним условима, те је утврђивање начина размештаја стабала у простору једна је од важних и незаобилазних активности у току рада на стварању квалитетне информационе базе за дефинисање модела и симулатора раста стабала и састојина ових врста. Сазнања о облику хоризонталног распореда стабала у простору у различитим периодима животног циклуса састојина омогућују, истовремено, и подробније и целовитије сагледавање компликованих природних законитости и односа у току процеса раста ових врста, а тиме квалитетнију и реалнију прогнозу њиховог раста и нивоа конкуренције у чистим и мешовитим састојинама.

## ЛИТЕРАТУРА

- Bauersachs E. (1942): *Bestandesmassenaufnahme nach dem Mittelstammverfahren des zweitkleinsten Stammabstandes*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 64, Heft 8, (182-186)
- Weck J. (1953): *Untersuchung über Brauchbarkeit und Genauigkeit eines Verfahrens der Bestandesmessung unter Verwendung von Stammabständen*, Forstarchiv 24, (257-260)

- Wenk G., Antanaitis V., Šmelko Š. (1990): *Waldtragslehre*, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. 1 Auflage, Berlin
- Williams W.T. (1976): *Pattern Analysis in Agricultural Science*, Elsevier, New York
- Gadow K.V. (1993): *Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung*, Forst und Holz 48, (602-606)
- Gadow V.K. (1999): *Waldstruktur und Diversität*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 170. Jg., 7, (117-122)
- Gadow V.K., Hui Y.G., Albert M. (1998): *Das Winkelmaß - ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen*, Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Heft 1, Jahrgang 115, (1-10)
- Gadow V.K., Hui Y.G., Chen W.B., Albert M. (2003): *Beziehung zwischen Winkelmaß und Baumabständen*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 122, (127-137)
- Gleichmar W., Gerold D. (1998): *Indizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 117, (69-80)
- Greig-Smith P. (1964): *Quantitative Plant Ecology*, Second edition, Butter Worths, London
- Green R.H. (1966). *Measurement of non-randomness in spatial distributions*, Researches Population Ecology 8, (1-7)
- Kershaw K.A. (1973): *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*, Second edition, Edward Arnold, London
- Köhler A. (1951): *Vorratsermittlung in Buchenbeständen nach Stammdurcmesser und Stammabstand*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 123, (69-74)
- Kotar M. (1993/a): *Verteilungsmuster der Bäume in einer Optimalphase im Urwald*, Symposium über die Urwälder, Forstliche Fakultät der technischen Universität, Zvolen (27-44)
- Kotar M. (1993/6): *Bestimmung des Verteilungsmusters von Bäumen im Wald*, Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, 6. Tagung, (119-140)
- Kotar M. (2004): *Analiza razmestitve enot (Spatial pattern analysis SPA)*, Manuskript, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana
- Kotar M. (2005): *Zgradba, rast i donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah*, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana
- Ludwig J.A., Reynolds J.F. (1988): *Statistical Ecology*, San Diego State University, John Wiley, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore
- Mitscherlich G. (1970): *Wald, Wachstum und Umwelt*, Band 1, Frankfurt am Main
- Nüßlein S. (1995): *Struktur und Wachstumsdynamik jüngerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestände in Nordbayern*, Forstliche Forschungs Berichte Nr. 151, Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising
- Pielou E.C. (1977): *Mathematical Ecology*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto
- Pinto da Costa E. (1992). *Zur räumlichen Verteilung von Bäumen im Bestand. Untersuchungen im Bergmischwald-Beständen Zentralportugals*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 111, (403-415)
- Pretzsch H. (1993). *Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen*, Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, 6. Tagung, (26-58)

- Pretzsch H. (1996): *Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels*, Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Jahrestagung, Neresheim, (134-154)
- Pretzsch H. (2002): *Modellierung des Waldwachstums*, Parey Buchverlag, Berlin
- Prodan M. (1968). *Zur Gesetzmäßigkeit der Flächenverteilung von Bäumen*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 139 (214-217)
- Smaltschinski T. (1981): *Bestandesdichte und Verteilungsstruktur*, Dissertation, Freiburg i. Br.
- Smaltschinski T. (1998): *Charakterisierung von Baumverteilungen*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 117 (355-361)
- Snedecor G.W., Cochran G.W. (1973): *Statistical Methods*, Sixth edition, Iowa State University Press, Ames
- Sokal R.R., Rohlf F.J. (1981): *Biometry*, Second edition, Freeman, San Francisco
- Стајић Б., Вучковић М. (2005): *Примена Shannon-индекса у описивању сјруктуре шума*, VI међународна Еко-конференција „Заштита животне средине градова и приградских насеља”, Нови Сад (325-330)
- Stamenković V., Mišćević V., Banković S, Vučković M. (1980): *Biologische und Ertragskundliche Eigenschaften der Weisstanne im Goč-Gebirge (Jugoslawien)*, IUFRO-Gruppe Ökosysteme, 3. Tannen-Symposium, Universität für Bodenkultur, Wien
- Upton G.J.G., Fingleton B. (1985): *Spatial data analysis by example*, Volume I: Point pattern and quantitative data, John Wiley & Sons, London
- Földner K. (1995): *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern*, Dissertation, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Göttingen (146)
- Hausburg H. (1962). *Stammabstandsverfahren*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 133 (19-27)
- Hui Y.G., Von Gadow K. (2002): *Das Winkelmaß*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 173 (173-177)
- Cox F. (1971): *Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen*, Ein Beitrag zur Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren, Mitteilungen des Bundesforschungsanstalt Reinbek 87, Verlag Wiedebusch
- Šmelko S. (1993): *Die räumliche Bestandesstruktur und die Genauigkeit der Waldzustandserfassung durch verschiedene Stichprobeninventurverfahren*, Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik 6, Tagung (76-87)

Branko Stajić  
Milivoj Vučković

## ANALYSIS SPATIAL DISTRIBUTION TREES IN FOREST STANDS

### Summary

This paper analyses the way of spatial distribution of trees in an all-aged mixed stand of fir and beech and in a pure mature stand of fir on the mountain Goč (central Serbia). The site belongs to the syntaxonomic unit *Abieti-Fagetum moesiicum*, subassociation *polypodietosum*, on deep acid brown soil on phyllites.

In the previous forestry studies in Serbia, this characteristic of stand structure was identified visually and without a precise quantification. Therefore, the aim of this study was to make a numerical description of the method of spatial distribution of trees and thus to enable the more in-depth and higher-quality analysis of stand structure, the level of competition and the homogeneity of growth conditions of fir and beech trees in the study stands. Two methods are applied for the assessment of the way of horizontal distribution of trees on sample plots, which do not require abundant measurement of the distances between the trees or between the trees and randomly selected points in the space. In this aim, sample units of circular form, sized  $100\text{ m}^2$ ,  $200\text{ m}^2$  and  $500\text{ m}^2$  are randomly established and the total number of trees of both species, and the number trees of individual woody species was determined. The forms of tree distribution were determined by the methods of testing of statistical hypotheses and degrees of congruence of the observed and theoretical distributions. The character of the identified differences between the empiric and model distributions was tested by  $\chi^2$ -test, and the corresponding test of  $t$ -statistics was used for equality testing of arithmetical means and variances.

By the „method statistical distributions”, which is based on the determination of the number of individuals in sample units and their comparison with the expected (theoretical) number of units in the random - Poisson distribution, it was concluded that the trees in the stands (all trees together, but also the trees per species), which are the subject of this study, are randomly distributed. The method „dispersion index” (so-called dispersion index or relative variance -  $ID$  and so-called Grin's index -  $GI$ ), which is based on the ratio of arithmetical mean and the variance of the number of units per sample units, shows that the final conclusion on the way of horizontal distribution of trees in the analysed stands is conditioned by the size of sample units. The sizes of  $ID$  in the mixed stand indicate that, depending on the sample unit sizes, there is also the aggregation and randomness and uniformity in the spatial distribution of trees. The analysis of  $ID$  in the pure stand of fir shows that the trees are randomly distributed, in sample sizes  $100\text{ m}^2$  or uniformly, in samples  $200$  and  $500\text{ m}^2$ . Taking into account that in completely random horizontal spatial distribution of trees, the sizes of the obtained index should not depend on the sample unit size, it is concluded that in the study stands there are individual trees or tree groups, which are distributed aggregately and uniformly per stand area. The statistical test of the results (by  $t$ -statistics) in both analysed stands shows a significant randomness in the distribution of trees, with an identified occurrence of a level of aggregation (mixed stands of fir and beech) and uniformity (pure stands of fir) in the horizontal distribution of trees. Grin-index ( $GI$ ) was applied to assess the identified level of grouping of trees in mixed stands of fir and beech, and it shows a very low degree of trees aggregation.

The identified way of horizontal distribution of fir and beech trees in the study stands points to the homogeneous environment, i.e. that in the greater part of the stand area the trees have equal conditions for growth. Due to the identified absence of significant differences in the horizontal distribution between beech and fir, it is concluded that between the above species in the given conditions there is no marked competition for light, heat, water, nutrients and other major growth factors. Taking into account the previous facts, it can be concluded that the adequate estimation of tree growth and the fir and beech competition at the given site, primarily requires a detailed analysis and quantification of the competition in the area of tree crowns.