

Stajić B., Vučković M., Smiljanć M. 2009. *Spatial distribution of spruce trees in the nature reserve „Jankove bare” on Mt. Kopaonik*. Bulletin of the Faculty of Forestry 100: 191-204.

Бранко Стајић  
Миљивој Вучковић  
Марко Смиљанић

UDK: 630\*568  
Оригинални научни рад  
DOI: 10.2298/GSF0900191S

## ПРОСТОРНИ РАСПОРЕД СТАБАЛА СМРЧЕ У РЕЗЕРВАТУ ПРИРОДЕ „ЈАНКОВЕ БАРЕ” НА КОПАОНИКУ

**Извод:** Методологија и апликативност истраживања облика просторног распореда стабала у шумарству Србије недовољно су познати и презентовани. У раду се, на бази математичко-статистичких принципа, анализира начин просторног распореда стабала смрче у резервату природе „Јанкове баре” у НП „Копачник”. Коришћени су поједини методи из групе метода дистанци: метод Котара (1993),  $T^2$ -метод и метод индекса дисперзије растојања (Johnson, Zimmer, 1985). Резултати истраживања у чистој разнодобној састојини смрче на бази сва три метода показали су да се стабла смрче распоређују случајно по површини састојине. Стога, услови средине на истраживаном објекту могу се сматрати хомогеним и подједнако прикладним за раст стабала, те да не постоје значајније интеракције између стабала, што би условило израженију конкуренцију стабала у односу на хранљиве материје, воду и сл.

**Кључне речи:** НП „Копачник”, смрча, просторни распоред, методи дистанци

### SPATIAL DISTRIBUTION OF SPRUCE TREES IN THE NATURE RESERVE „JANKOVE BARE” ON MT. KOPAONIK

**Abstract:** The methodology and applicability of the study of spatial distribution of trees in Serbian forestry have been insufficiently reported and presented. This paper, based on mathematical-statistical principles, analyses the method of spatial distribution of spruce trees in the Nature Reserve „Jankove Bare” in the National Park „Kopaonik”. The following methods in the group of distance methods were applied: Kotar’s method (1993),  $T^2$ -method, and the index of distance dispersion (Johnson, Zimmer, 1985). The study results in a pure uneven-aged spruce stand based on all three methods showed that spruce trees are randomly distributed over the

*мр Бранко Стајић, асистент, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (e-mail: branko.stajic@sfb.rs)*

*др Миљивој Вучковић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд*

*дипл. инж. Марко Смиљанић*

stand area. Therefore, environmental conditions in the study stand can be regarded as homogeneous and equally suitable for tree growth, and there are no significant interactions between the trees, which could cause a higher competition between the trees for nutrients, water, etc.

**Key words:** National Park „Kopaonik”, spruce, spatial distribution, distance methods

## 1. УВОД

Студије о састојинској структури и динамици развојних процеса на састојинском нивоу имају кључну улогу у опису показатеља биодиверзитета у различитим типовима шумских састојина (Медаревић, 2006). Оне су од посебног значаја у природним „прашумским” шумама, полу-природним шумама, резерватима природе и другим видовима заштићених шума, које су краће или дуже ван редовног газдовања. Овакве шуме омогућавају добијање низа битних информација о могућем расту и развоју шума и шумских екосистема ослобођених утицаја човека и, према Parviainen-у (1999), генерално су прихваћене и окарактерисане као модел за реализацију тзв. природи блиског газдовања. С обзиром да ове категорије шума омогућају добијање низа информација значајних за анализу и процену утицаја шумарства на шумске екосистеме и шумске биоценозе, важан су елемент у процесу идентификације стандарда тзв. степена природности и биодиверзитета у шумама (Parviainen *et al.*, 2000).

Постоји више дефиниција и објашњења, која описују појам структуре шума. Према неким од новијих, структура шума се описује помоћу варијабли, које омогућавају поређење између једне дате ситуације и једне или више стандардних ситуација (Gadow, 1999) и може бити окарактерисана хоризонтално, кроз просторни распоред стабала и вертикално, кроз висинско диференцирање стабала (Zenner, 1999). Анализе начина хоризонталног распореда стабала у простору, односно хоризонталне структуре, имају значајну примену у многим областима истраживања у шумарству (Стајић, Вучковић, 2006): за детаљно описивање и анализу диверзитета у шумским састојинама, за процену појединих елемената састојинске структуре и дефинисање корелационих веза између појединих елемената раста и састојинске структуре, за оцену основних услова за раст стабала (конкуренција, расподела светлости, температура и сл.), оцену и моделовање токова раста и развоја стабала и састојина и шумских екосистема, приликом описа станишта и састојина и доношења реалних планова газдовања, за дефинисање и планирање ефикасног метода инвентуре шума, у области гајења шума, итд.

## 2. ПРОБЛЕМ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Облик просторне дистрибуције јединки у биљним популацијама, тзв. „pattern”, односно „spatial pattern”, једна је од темељних карактеристика структуре

сваке популације. У стручној литератури, која третира ову проблематику, за појам „pattern” налазимо велики број дефиниција и све оне, у начелу, покушавају окарактерисати неку популацију описом положаја индивидуа у дводимензионалном простору (Пухек, 1998).

Првобитно мишљење, да се индивидуе у природи случајно распоређују у простору, још 20-их година прошлог века је оспорено од стране Gleason-а и Swedberg-а (Kershaw, 1973), који су констатовали да се бројне биљне и животињске врсте у природи јављају у неслучајним облицима расподела. Од тада, па нарочито од 70-их година прошлог века почиње интензивнији развој различитих техника и начина дефинисања облика распореда јединки у простору (Стајић, Вучковић, 2006).

Постоји велики број метода којима се хоризонтални размештај индивидуа, може дефинисати. Исте се могу генерално сврстати у две главне категорије: тзв. методе квадрата и методе дистанци. Међу најзначајнијим ауторима који третирају методе анализе просторног распореда јединки у различитим популацијама су: Clark, Evans (1954), Pielou (1959, 1977), Greig-Smith (1964), Kershaw (1973), Godall (1974), Diggle *et al.* (1976), Ludwig, Reynolds (1988), Wenk *et al.* (1990), Kotar (1993), Pretzsch (1993, 1995), Assunção (1994), Smaltschinski (1998), Gleichmar, Gerold (1998), Dale *et al.* (2002), Staupendahl, Zucchini (2006), Trifković, Yamamoto (2008) и други.

Методе квадрата генерално нису тешке за примену у шумарству и могу бити јако поуздане, али доношење закључака о случајности или неслучајности просторног распореда може јако варирати у зависности од величине квадрата, или узорка неког другог облика (Stamatellos, Panourgias, 2005). Стога методе дистанци, које не зависе од величине узорка, обезбеђују детаљније информације у погледу просторне дистрибуције стабала. Diggle и сар. (1976) напомињу да, иако им није намера да замене методе квадрата, лакоћа и брзина са којом могу бити проведене методе дистанци чине ову групу метода нарочито атрактивном, посебно у великим популацијама.

У истраживањима састојинске структуре у шумарству Србије, осим анализа Стајића и Вучковића (2005), у чистим и мешовитим шумама јеле на Гочу, и Стајића и Вучковића (2007), у мешовитим шумама букве и племенитих лишћара на подручју НП „Ђердап”, квантификација начина просторног распореда стабала на бази математичко-статистичких принципа није спровођена. Досадашњи преовлађујући визуелни начин дефинисања облика просторног распореда стабала (стаблимична мешовитост, групимичан распоред, гнездаст распоред и сл.) јако је зависан од субјективних схватања и критеријума, те је информациони потенцијал таквог дефинисања прилично ограничен. Стога је циљ ових истраживања нумеричко описивање и дефинисање начина просторног распореда стабала смрче, као основе за доношење различитих закључака од газдинског и еколошког значаја. Пошто добијени резултати могу зависити од величине узорка или примењеног метода,

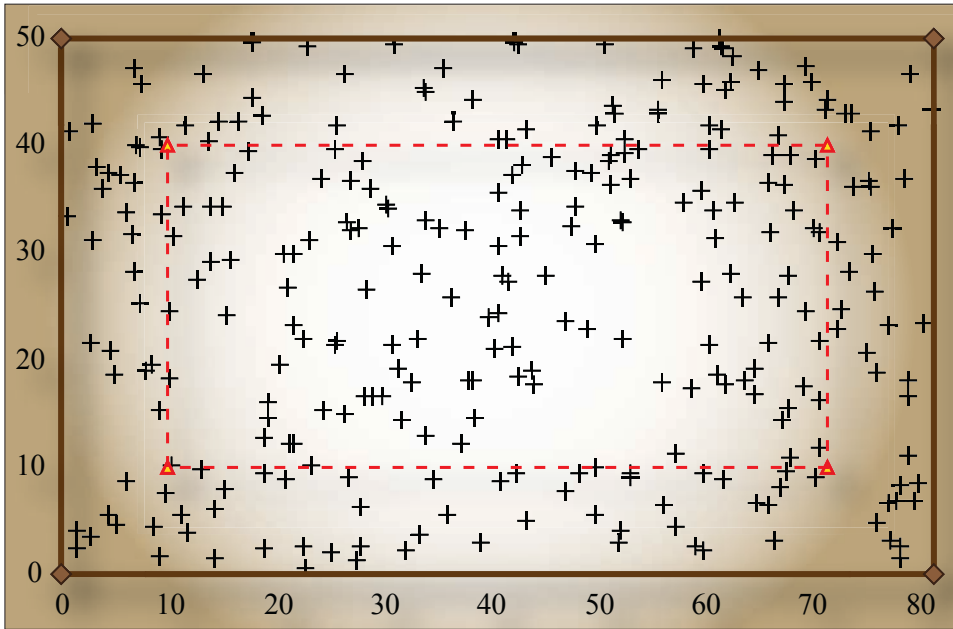
коначан закључак о облику просторног распореда стабала биће донет на бази спровођења и анализе неколико различитих метода квантификације просторног распореда стабала.

### 3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Истраживања су проведена у оквиру резервата природе „Јанкове баре”, на подручју Националног парка „Копаник”. Овај локалитет налази се у ГЈ „Самоковска река” и обухвата истоимену тресаву, са шумом смрче која је окружује. Према подацима важеће Опште основе за газдовање шумама (2004-2013) овог подручја, површина овог резервата под шумом је 102,82 *ha*. Простире се на надморској висини између 1.440 и 1.660 *m*. Експозиције у оквиру локалитета су различите: исток, исток-југоситок, запад, запад-југозапад, северозапад. Одликује се тресавским заједницама, које представљају осетљиве и ретке екосистеме, а уједно је станиште ретких, ендемичних и реликтних биљних врста, које су заштићене као природне реткости: *Potentilla palustris*, *Menyanthes trifoliata*, *Dactylorhiza cordygera* ssp. *Bosniaca*, *Salix rosmarinifolia* и др. Изузетну научну вредност представља заједница посебног екотипа смрче са тресетницом (*Sphagno-Piceetum*).

Огледна површина бирана је да репрезентује типичне састојинске и станишне услове, који доминирају у резервату природе „Јанкове Баре”. У одељењу 29, одсек А, издвојена је огледна површина, величине 0,4 *ha* (80×50 *m*). Састојина је разnodобна, у оптималној фази и припада заједници *Piceetum excelsae oxalidetosum*, на смеђем подзолостом земљишту. Терен је већим делом раван до благо нагнут (0-15°), експозиција је север-северозапад. На огледној површини нумерисана су 292 стабла смрче. Сваком стаблу помоћу нивелира утврђене су релативне координате средишта у простору. На бази ових мерења конструисана је карта позиција стабала у простору (слика 1). На основу дефинисаних релативних координата у развојном окружењу Dev CPP и програмском језику C++ у оквиру њега, утврђени су сви неопходни подаци за примену различитих метода и индекса на бази растојања. С обзиром да за стабла на ивици површине постоји велика вероватноћа да 1., 2. или 3. најближи сусед може бити ван површине (те стварна растојања око ових стабала нису позната), за рачунање ових индекса анализирана су само стабла која се налазе најмање 10 *m* од сваке ивице огледне површине и која имају утврђена растојања до најближих суседних стабала.

У оквиру групе метода дистанци анализа начина хоризонталног распореда стабала проведена је  $T^2$ -методом (Besag, Gleaves, 1973), методом према Johnson-у и Zimmer-у (1985) и методом према Kotar-у (1993). У ту сврху утврђена су растојања од 500 случајно изабраних тачки до најближих стабала и од тих стабала до њиховог најближег 1. суседног стабла (за дефинисање индекса просторног распореда  $S$  по  $T^2$ -методу), растојања од случајно одабраних 500 тачака до њима најближих стабала (за дефинисање индекса дисперзије растојања  $I$  према Johnson-у



Слика 1. Карта позиција свих стабала и стабала у оквиру редуковане површине (оивичене испрекиданом линијом)

Figure 1. Map of positions of all trees and the trees in the reduced area (encircled by dashed line)

и Zimmer-у), као и растојања сваког стабла на површини до његовог 1, 2. и 3. најближег суседа и стандардне девијације ових растојања (за дефинисање начина распореда према Kotar-у).

Индекс просторног распореда  $C$  по  $T^2$ -методу, утврђен је помоћу обрасца:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{x_i^2}{x_i^2 + \frac{1}{2} \cdot y_i^2} \right]}{N} \dots \dots \dots (1)$$

где су:  $N$  - укупан број случајно постављених тачака,  $x$  - растојање од случајно постављених тачки до њима најближег стабла и  $y$  - растојање од тачки најближег стабла до његовог најближег суседног стабла.

Индекс дисперзије растојања  $I$  према Johnson-у и Zimmer-у (1985) добијен је по обрасцу:

$$I = \frac{(r+1) \cdot \sum_{i=1}^r V_i^2}{\left( \sum_{i=1}^r V_i \right)^2} \dots \dots \dots (2)$$

где су:  $r$  - број случајно положених тачака и  $V_i$  - запремина  $m$ -димензионалне сфере, која има полупречник једнак  $R_i$  (растојање од случајно изабране тачке  $i$  до најближе индивидуе - стабла).

У циљу провођења метода по Kotar-y (1993) утврђена су емпиријска и теоријска (оčekивана) растојања и стандардна одступања растојања од сваког референтног стабла до његовог првог, другог и трећег „суседа”. Просечно растојање и његово стандардно одступање - код случајне расподеле обрачунати су на основу образаца:

$$E(D_0^n) = \frac{n \cdot (2 \cdot n)!}{2^{2 \cdot n} \cdot (n!)^2 \cdot \sqrt{\rho}}, \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma(D_0^n) = \sqrt{\frac{n}{\pi \cdot \rho} - E(D_0^n)^2}, \dots \dots \dots (4)$$

где је:  $D_0^n$  - раздаљина од индивидуе (0) до најближег 1, 2, 3, ...,  $n$ -тог суседа и  $\rho$  - густина (број индивидуа - стабала - по јединици површине).

#### 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

##### 4.1. Утврђивање хоризонталног распореда стабала по $T^2$ -методу

Овај метод су 1973. године први презентовали Besag и Gleaves (Diggle *et al.*, 1976). Веома добро је објашњен од стране Ludwig-a и Reynolds-a (1988). Према овим ауторима  $T^2$ -метод претпоставља мерење 2 врсте дистанци: (1) растојање од неке случајно положене тачке ( $O$ ) у простору до најближег стабла ( $P$ ) и (2) растојање од тог стабла ( $P$ ) до његовог најближег суседног стабла ( $Q$ ). Назив  $T^2$ -метод добијен је због тога што се након утврђивања растојања  $OP$  поставља управна линија на овај правац (чиме се ствара облик слова Т) и онда се утврђује растојање до најближег суседног стабла ( $Q$ ), које је ван ове  $T$ -површине.

Ако је начин распореда индивидуа у простору потпуно случајан, тада ће очекивани квадрат растојања од тачке до индивидуе бити приближно једнак једној половини очекиваног квадрата растојања од тачки најближег стабла до његовог најближег суседног стабла, односно  $E(x^2) = 0,5 \cdot E(y^2)$ , при чему је  $x = OP$ , а  $y = PQ$ .

На основу претходних релација дефинисан је индекс просторног распореда  $C$ , који је за случајну расподелу јединки у простору приближно једнак 0,5. Ако је индекс  $C$  сигнификантно мањи од 0,5, може се говорити о систематској (равномерној) расподели, док у случају да је величина  $C$  сигнификантно већа од 0,5, констатује се групичан размештај у простору.

Величина индекса  $C$  на бази случајно положених 500 тачака и утврђених одговарајућих растојања  $x_i$  и  $y_i$  износи 0,51, што упућује на случајан распоред стабала по површини састојине. Иако је величина овог индекса веома блиска 0,5 провера значајности одступања ове расподеле од случајне извршена је провером одступања величине  $C$  од 0,5 по следећем обрасцу:

$$z = \frac{C - 0,5}{\sqrt{\frac{1}{12 \cdot N}}} \dots \dots \dots (5)$$

Тестирањем је потврђен случајан распоред стабала у простору, јер је добијено  $z=0,79$  мање од величине из таблица нормалне дистрибуције, за праг значајности 5%.

#### 4.2. Утврђивање хоризонталног распореда стабала помоћу индекса дисперзије растојања

Индекс дефинисан по упуствима Johnson-а и Zimmer-а (1985), који је базиран на растојањима од случајно одабраних и положених тачака у простору до првих непосредних индивидуа, представља снажан тест за карактерисање облика просторног распореда (Ludwig, Reynolds, 1988).

Johnson и Zimmer (1985) означили су  $E^m$  као  $m$ -димензионални простор и селектовали  $r$  случајно изабраних тачака  $q_1, \dots, q_r$  у неколико субрегиона простора  $E^m$ . Растојања од  $i$ -те случајне тачке до најближе индивидуе у  $E^m$  означили су са  $R_i$ , а  $V_i$  као запремину  $m$ -димензионалне сфере, која има полупречник једнак  $R_i$ . У случају дводимензионалног простора,  $m=2$  и запремина је једнака површини.

Ова два аутора новеде да индекс  $I$  има величину око 2 у популацијама са случајним распоредом јединки у простору, мању од 2 код равномерних расподела и већу од 2 у популацијама групимичног распореда јединки. Добијена величина индекса ( $I=2,13$ ) блиска је 2, што указује да се стабла смрча, слично претходним анализама, распоређују у простору случајно. Тестирање одступања ове величине индекса од 2 извршено је помоћу обрасца:

$$Z = \frac{I - 2}{\left[ \frac{4 \cdot (r - 1)}{(r + 2) \cdot (r + 3)} \right]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (6)$$

Утврђена величина ( $Z=1,46$ ) у оквиру је статистички дозвољене границе одступања на нивоу 0,05, те се стога прихвата нулта хипотеза о случајности просторног распореда стабала смрче.

#### 4.3. Утврђивање хоризонталног распореда стабала по методу Kotara

Kotar (1993) напомиње да прилично добру слику и представу о начину просторног распореда стабала даје метод, који се базира на растојањима од стабала до њихових првих, других и трећих конкурената и на варирању ових растојања и њиховом односу са теоријским растојањима и варирањем код случајног распореда стабала.

Просечне величине стварних (емпиријских) растојања од стабла до његовог првог, другог и трећег суседа ( $D_0^1$ ,  $D_0^2$  и  $D_0^3$ ) и стандардне девијације ових растојања -  $s(D_0^1)$ ,  $s(D_0^2)$  и  $s(D_0^3)$ , као и теоријска растојања од стабла до његовог првог, другог и трећег суседа -  $E(D_0^1)$ ,  $E(D_0^2)$  и  $E(D_0^3)$  и стандардне девијације ових растојања -  $\sigma(D_0^1)$ ,  $\sigma(D_0^2)$  и  $\sigma(D_0^3)$  код случајне расподеле приказани су у табели 1.

**Табела 1.** Средња растојања од референтног стабла до његовог 1, 2. и 3. најближег суседног стабла и њихова стандардна одступања за емпиријску и случајну (теоријску) расподелу, као и коефицијенти ових величина

**Table 1.** Mean distances from the reference tree to its 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> nearest neighbour tree and their standard deviations for empirical and random (theoretical) distribution, and the coefficients of these values

Емпиријске величине Empirical values	Теоријске величине Theoretical values	Емпиријске величине Empirical values	Теоријске величине Theoretical values	Коефицијенти Coefficients
$D_0^1$	$E(D_0^1)$	1,85	1,85	1,00
$s(D_0^1)$	$\sigma(D_0^1)$	0,91	0,97	0,94
$D_0^2$	$E(D_0^2)$	2,80	2,77	1,01
$s(D_0^2)$	$\sigma(D_0^2)$	0,90	1,01	0,89
$D_0^3$	$E(D_0^3)$	3,55	3,46	1,03
$s(D_0^3)$	$\sigma(D_0^3)$	0,80	1,02	0,78

Kotar (1993) наводи да стабла у некој састојини показују само тенденцију ка некој од основних типова расподела стабала у простору и та тенденција односно степен подударња са неком од основних типова расподеле дата је коефицијентом просечних растојања за конкретну састојину и просечних растојања за састојину у којој је случајна расподела. Уколико су коефицијенти  $\frac{D_0^1}{E(D_0^1)} = \frac{D_0^2}{E(D_0^2)} = \frac{D_0^3}{E(D_0^3)} = 1$

и  $\frac{s(D_0^1)}{\sigma(D_0^1)} = \frac{s(D_0^2)}{\sigma(D_0^2)} = \frac{s(D_0^3)}{\sigma(D_0^3)} = 1$ , закључује се да су стабла у конкретној састојини

случајно распоређена у простору. Одступања ових коефицијената према 0, 2, 3, итд., указују на тенденцију према неким другим типовима расподела.

Наиме, код потпуно случајне расподеле растојања и варијансе растојања од стабла ка 1., 2. и 3. суседном стаблу се повећавају, док је код апсолутно систематичне (равномерне) расподеле растојање од стабла до његова три суседна стабла једнако и варијансе тих одступања су једнаке 0. На основу података из табеле 1, уочава се да су просечна емпиријска (стварна) растојања стабала до њиховог 1., 2. или 3. најближег суседног стабла скоро једнака просечним очекиваним (теоријским) растојањима код случајне расподеле. Однос ових растојања у сва три примера веома је близу 1. Стандардна девијација емпиријских растојања смањује се идући од првог ка трећем



најближем стаблу, те однос између стандардних девијација стварних и теоријских растојања има тенденцију благог одступања од 1 у смеру ка 0 (табела 1). Тестирање значајности одступања од случајне расподеле извршено је *t*-тестом (Kotar, 2004). Добијена величина  $t=0,15$  потврђује оправданост претходног закључка, те се може прихватити нулта хипотеза о случајном распореду стабала у простору на нивоу прага значајности 5%.

## 5. ДИСКУСИЈА

Имајући у виду да стварни распоред стабала у основи показује само тенденцију, која је више или мање слична случајној, групимичној или равномерној расподели, на основу претходних резултата може се закључити да се стабла смрче расподељују случајно у простору, са благом тенденцијом ка равномерној расподели.

У начелу, случајан распоред јединки унутар неке популације указује на хомогеност услова средине у којој живи популација (Ludwig, Reynolds, 1988). Према томе, констатовани случајан распоред стабала смрче у састојини резервата „Јанкове Баре” значи да на сваком делу површине стабла смрче имају једнаке услове за раст и да не постоји значајнија интеракција између стабала. Kotar (1980) је, такође, на природним стаништима смрче у Словенији констатовао случајан распоред стабала смрче у већини планинских шума у оптималној фази. Пухек (1998) је, у једнодобним састојинама смрче на подручју Покљукe, утврдио у млађим састојинама групимичан распоред, у оптималној фази зрелих шума случајан, а у старијим састојинама равномеран распоред стабала у простору.

Случајан облик распореда може бити забележен и код просторне дистрибуције подмладка различитих врста дрвећа (Stoyan, Penttinen, 2000). Међутим, ови аутори напомињу да младе популације показују велике варијације у просторној дистрибуцији услед неравномерног „осемењавања” по површини, хетерогености услова средине, високог морталитета и неизражене међусобне конкуренције, те је могућ и групимичан распоред подмладка. Групимичан распоред, генерално, указује да се јединке групишу у појединим повољним деловима станишта, што може бити проузроковано „понашањем” јединки, начином репродукције и хетерогеношћу услова за раст јединки (Ludwig, Reynolds, 1988).

На сличан начин говори Kotar (2005), када напомиње да у шумским састојинама овакав облик распореда стабала упућује на нехомогеност услова за раст и варирање броја стабала по површини састојине. Даљим растом и развојем стабла и састојина облик распореда стабала тежи ка равномерној (систематичној) расподели и смањењу груписаности, која може бити објашњена конкуренцијом између стабала и морталитетом (Laessle, 1987, Stoyan, Penttinen, 2000, Shackleton, 2002). У зрелим једнодобним састојинама јеле и букве на планини Гоч, Стајић и Вучковић (2005) констатовали су случајан хоризонтални распоред стабала јеле и букве. Равномерна расподела резултат је негативне интеракције између

индивидуа, као што је конкуренција за храном и простором (Ludwig, Reynolds, 1988). Различити фактори који опредељују облик просторног распореда јединки у популацијама прилично добро су објашњени од стране других аутора (Greigh-Smith, 1964, Kershew, 1973,...).

Добијене информације о облику просторног распореда стабала омогућавају јаснију представу о просторној састојинској изграђености и станишним условима у којима се налази истраживана састојина, те је утврђивање начина распореда стабала у простору једна од важних активности у току рада на стварању квалитетне информационе базе за дефинисање модела и симулатора раста стабала и састојина ове врсте.

## 6. ЗАКЉУЧЦИ

Облик просторног распореда стабала смрче у разнодобној састојини у оптималној фази резервата „Јанкове баре“ утврђиван је помоћу три метода из групе метода растојања - методом према Kotar-у (1993),  $T^2$ -методом према Besag-у и Gleaves-у (1973) и методом према Johnson-у и Zimmer-у (1985). На основу спроведених анализа може се закључити следеће:

- начин хоризонталног распореда стабала смрче може се, у односу на три основна начина расподела јединки у простору, окарактерисати као случајан;
- стабла смрче распоређују се случајно, са извесним несигнификантним знацима равномерности у размештају, констатоване методом Котара. У литератури су већ више пута потврђени наведени ставови, који указују да емпиријски распоред стабала у простору ипак не може бити апсолутно случајан, групимичан или равномеран, већ у основи показује само тенденцију, која је више или мање слична случајној, групимичној или равномерној расподели;
- случајан облик просторне дистрибуције стабала смрче констатован је применом сва три наведена начина у оквиру групе метода дистанци, чиме се потврђује апликативност овде примењених начина квантификације распореда. Од примењених метода, најреалнију слику о стварном распореду смрче по површини састојине даје метод Котара, који приликом анализе распореда, поред растојања до првог суседног стабала, узима у обзир и растојања до другог и трећег суседног стабла и емпиријске и теоријске стандардне девијације ових растојања;
- резултати квантификације просторног распореда стабала смрче у резервату „Јанкове баре“ коинцидирају са резултатима истраживања Kotar-а (1980) и Пухека (1998), спроведеним у Словенији, који су у сличним састојинама, такође, констатовали случајан распоред стабала смрче;
- добијени резултати показују да се услови средине на истраживаном објекту већим делом могу сматрати хомогеним и подједнако погодним за раст стабала, те да не постоје значајније интеракције између стабала, што би

условило израженију конкуренцију стабала у односу на хранљиве материје, воду и слично. Извесне назнаке равномерности у распореду стабала указују ипак на присуство благе конкуренције стабала и извесну негативну интеракцију међу стаблима, пре свега у односу према светлости и простору за раст.

### ЛИТЕРАТУРА

- Assunção R. (1994): Testing Spatial Randomness by means of Angles. *Biometrics* 50 (531-537)
- Wenk G., Antanaitis V., Šmelko Š. (1990): *Waldtragslehre*, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1 Auflage, Berlin (448)
- Gadow V.K. (1999): *Waldstruktur und Diversität*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 170, Jg. 7 (117-122)
- Gleichmar W., Gerold D. (1998): *Indizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 117 (69-80)
- Godall D.V. (1974): *A new method for the analysis of spatial pattern by random pairing of quadrats*, *Vegetatio* 29 (135-146)
- Greig-Smith P. (1964). *Quantitative Plant Ecology*, Second edition, Butter Worths, London
- Dale M.R.T., Dixon P., Fortin M.J., Legendre P., Myers D.E., Rosenberg M.S. (2002): *Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis*, *Ecography* 25 (558-577)
- Diggle P.J., Besag J., Gleaves J.T. (1976): *Statistical analysis of spatial point patterns by means of distance methods*, *Biometrics* 32 (659-667)
- Zenner E.K. (1999): *Eine neue Methode zur Untersuchung der Dreidimensionalität in Waldbeständen*, „Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten“, eds. Pelz D.R., Rau O., Saborowski J., Sektion Forstliche Biometrie und Informatik - 11. Tagung und Internationale Biometrische Gesellschaft Deutsche Region, Arbeitsgruppe Ökologie, Herbstkolloquium, Ljubljana (7-17)
- Johnson R.B., Zimmer W.J. (1985): *A more powerful test for dispersion using distance measurements*, *Ecology* 66, 5 (1669-1675)
- Kershaw K.A. (1973): *Quantitative and Dynamic Plant Ecology*, Second edition, Edward Arnold, London
- Kotar M. (1980): *Rast smreke na njenih naravnih rastiščih v Sloveniji*, Strokovna in znanstvena dela 67, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana (250 s)
- Kotar M. (1993): *Verteilungsmuster der Bäume in einer Optimalphase im Urwald*, Forstliche Fakultät der technischen Universität Zvolen, Symposium über die Urwälder, Zvolen (27-44)
- 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 gozdarških društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana
- Laessle A.M. (1965): *Spacing and competition in natural stands of Sand pine*, *Ecology* 46, 1-2 (65-72)

- Ludwig J.A., Reynolds J.F. (1988): *Statistical Ecology*, San Diego State University, John Wiley, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore
- Медаревић М. (2006): *Планирање газдовања шумама*, Шумарски факултет - Универзитет у Београду, Београд (401)
- Parviainen J. (1999): *Strict forest reserves in Europe: efforts to enhance biodiversity and strengthen research related to natural forests in Europe*, „Research in Forest Reserves and Natural Forests in European Countries - Country Reports for the COST-Action E4: Forest Reserves Research Network”, EFI Proceedings 16, European Forest Institut, Joensuu (7-33)
- Parviainen J., Bücking W., Vandekerckhove K., Schuck A., Päivinen R. (2000): *Strict forest reserves in Europe: efforts to enhance biodiversity and research on forests left for free development in Europe (EU-COST-Action E4)*, Forestry 2, Vol. 73 (107-118)
- Pielou E.C. (1959): *The use of point to plant distances in the study of the pattern of plant populations*, Journal of Ecology 49 (255-269)
- Pielou E.C. (1977): *Mathematical Ecology*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto
- Pretzsch H. (1993). *Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen*, Deutscher Verband forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik, 6. Tagung (26-58)
- Pretzsch H. (1995): *Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 166, 9-10 (190-201)
- Пухек В. (1998): *Пројена структурних елемената састојине на основу просторног распореда стабала*, докторска дисертација у рукопису, Шумарски факултет Свеучилишта у Загребу, Загреб (192)
- Shackleton C. (2002): *Nearest-neighbour analysis and the prevalence of woody plant competition in South African savannas*, Plant Ecology 158 (65-76)
- Smaltschinski T. (1998): *Charakterisierung von Baumverteilungen*, Forstwissenschaftliches Centralblatt 117 (355-361)
- Стајић Б., Вучковић М. (2006): *Анализа просторног распореда стабала у шумским састојинама*, Гласник Шумарског факултета 93, Шумарски факултет - Универзитет у Београду, Београд (165-176)
- Стајић Б., Вучковић М. (2007): *Структура и диверзитет шумских састојина*, „Основне еколошке и структурно производне карактеристике типова шума Ђердапа и Таре”, зборник радова, Београд (81-99)
- Stamatellos G., Panourgias G. (2005): *Simulating spatial distributions of forest trees by using data from fixed area plots*, Forestry 78, 3 (305-312)
- Stoyan D., Penttinen A. (2000): *Recent Applications of Point Process Methods in Forestry Statistics* 15, 1 (61-78)
- Staupendahl K., Zucchini W. (2006): *Estimating the spatial distribution in forest stands by counting small angles between nearest neighbours*, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 177, 8/9 (160-168)
- Trifković S., Yamamoto H. (2008): *Indexing of spatial patterns of trees using a mean of angles*, Journal of Forest Research 13 (117-121)

- Füldner K. (1995): *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern*, Dissertation, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Göttingen (146)
- Clark P.J., Evans F.C. (1954): *Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations*, Ecology 35 (445-453)
- Cottam G., Curtis J.T., Catana E.J. Jr. (1957): *Some sampling characteristics of a series of aggregated populations*, Ecology 38/4 (610-622)

Branko Stajić  
Milivoj Vučković  
Marko Smiljanić

### SPATIAL DISTRIBUTION OF SPRUCE TREES IN THE NATURE RESERVE „JANKOVE BARE” ON MT. KOPAONIK

#### Summary

In forestry research in Serbia, spatial distribution of trees, as the characteristic of stand structure, has so far been evaluated visually and without a precise quantification. For that reason, the aim of this study was the numerical description and definition of the method of spatial distribution of spruce trees in an uneven-aged stand in the optimal stage, in the nature Reserve „Jankove Bare” in the National Park „Kopaonik”. As the study results can depend on the sample size or the applied method, the final conclusion on the form of spatial distribution of trees was based on the performance and the analysis of three methods in the group of distance methods:  $T^2$ -method (Besag, Gleaves, 1973), Johnson and Zimmer’s method (1985) and Kotar’s method (1993).

Based on the analyses, it can be concluded that the method of spatial distribution of spruce trees, compared to the three basic methods of individual patterns in space, can be characterised as random. Random spatial distribution of spruce trees was evaluated using all the three methods in the group of distance method, which confirms the applicability of the applied methods of distribution quantification. Some insignificant deviations from randomness to regularity in distribution, detected by Kotar’s method (1993), confirm the already several times reported attitudes indicating that the empirical distribution of trees cannot be absolutely random, aggregate or regular, and that basically it only points out the tendency, which is more or less similar to random, aggregate or regular distribution. The study results of the quantification of the spruce spatial distribution in the reserve „Jankove Bare” coincide with the results reported by Kotar (1980) and Puhek (1998) in Slovenia, who in similar stands also detected the random distribution of spruce trees. Based on the study results, it was concluded that the environmental conditions in the researched stand can mostly be considered as homogeneous and equally suitable for tree growth, and that there are no significant interactions between the trees, which could cause a higher competition between the trees for nutrients, water, etc. Still, some signs of regularity in the distribution of spruce trees point to the presence of slight competition between the trees and a level of negative interaction between the trees, primarily for light and growing space.

