



UDK: 630*228.3+630*622(497.11 Копаоник)
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1715127S

СТРУКТУРА И ПРОИЗВОДНОСТ МЕШОВИТИХ ШУМА СМРЧЕ И ЈЕЛЕ НА КОПАОНИКУ

др Биљана Шљукић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Београд
(e-mail: biljana.sljukic@sfb.bg.ac.rs)

др Дамјан Пантић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Београд
др Милан Медаревић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Београд
др Снежана Обрадовић, научни сарадник, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Београд
М.Сс Драган Борота, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет Београд
мр Душко Чуковић, виши асистент, Универзитет у Бањој Луци - Шумарски факултет Бања Лука

Извод: Предмет ових истраживања биле су мешовите шуме смрче и јеле на простору НП Копаоник, које припадају заједници смрче и јеле - *Abieti-Piceetum abietis Mišić et Popović, 1978*. Основ за проучавање структурне изграђености и производног потенцијала ових шума представљају подаци са 12 стационарних огледних површина, просечне величине 0,18 ха. У односу на ценоеколошку припадност сва огледна поља припадају групи еколошких јединица - шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum abietis, Mišić et Popović, 1978*) на киселим смеђим и смеђим подзоластим земљиштима, односно диференцирају се у 5 еколошких јединица: *Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum* на смеђем подзоластом земљишту, *Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum* на киселом смеђем земљишту, *Abieti-Piceetum abietis vacciniotosum* на смеђем подзоластом земљишту, *Abieti-Piceetum abietis typicum* на смеђем подзоластом земљишту и *Abieti-Piceetum abietis drymetosum* на смеђем подзоластом земљишту. У структурном смислу, ове шуме карактерише изражена разноликост структурних облика, од структуре блиске једнодобним састојинама, до типичних вишеспратних, разнодобних састојина. Облик сумарних линија расподела стабала у већини случајева условљава смрча као доминантна врста. При том, доминирају танка и стабла средње дебљине, са минималним присуством стабала јаким димензија. Просечна запремина ових шума износи $777 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, са размером смесе 0,7:0,3 у корист смрче. Просечна вредност текућег запреминског прираста износи $14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, са ућешћем смрче 68% и јеле 32%. Процент прираста се креће од 1,6% до 2,5% и у свим огледним пољима нешто је већи код јеле. Станишни потенцијал, састојинске карактеристике и међусобни односи врста дрвећа унутар њих, резултирали су структурном сложеношћу, високом производношћу и еколошком стабилношћу ових шума, тако да у будућем газдовању треба избегавати радикалније мере и захвате који би нарушили успостављене односе и динамичке процесе.

Кључне речи: Копаоник, шуме смрче и јеле, структурна изграђеност, производност

УВОД

У односу на укупну површину шума у Србији, мешовите састојине (независно од порекла) заузимају 728.800 ha (32,3%). Од тога, 129.600 ha (17,8%) чине високе природне мешовите састојине, које су обухваћене са три категорије мешовитости - мешовите састојине лишћара (70,7%), мешовите састојине лишћара и четинара (22,2%) и мешовите састојине четинара које се простиру на свега 9.200 ha (7,1%) (Banković et al., 2009). Мешовите састојине четинара, углавном јеле и смрче, имају високу производност са просечном запремином од 336 m³·ha⁻¹, текућим запреминским прирастом од 9,4 m³·ha⁻¹ и процентом прираста од 2,8%.

Према Medarević et al. (2002), у државним шумама Србије мешовите шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum serbicum*, Mišić et Popović, 1978. sin. *Abieti-Piceetum abietis*, Mišić et Popović, 1978.) на хумусним киселим смеђим и смеђим подзоластим земљиштима покривају површину од 5.173 ha, са најзначајнијим налазиштима на Златару, Голији, Мокрој Гори и Копаонику.

Шуме смрче и јеле најчешће се јављају као климарегионалне на прелазу између мешовитих тродоминантних шума смрче, јеле и букве и чистих смрчевих шума. У овим шумама подједнако су заступљене врсте приземне флоре и из буково-јелових и из смрчевих шума (Tomić, 2004). Заједница смрче и јеле у Србији, *Abieti-Piceetum abietis* Mišić et Popović, 1978. припада свези ацидофилних шума смрче *Vaccinio-Piceion* (Pawlowski et al., 1928) Br.-Bl. in Br.-Bl. et al., 1939, односно подсвези *Abieti-Piceenion* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al., 1939, која обухвата мешовите шуме смрче-јеле, смрче-јеле-букве и мододоминантне шуме смрче мањих надморских висина од 1.000 до 1.600 m (Tomić, Rakonjac, 2013). Ова заједница је описана на Копаонику (Mišić, Popović, 1954), Старој планини (Mišić et al., 1978), Златару (Mišić et al., 1985; Obratov, 1992) и на другим планинама.

У оквиру ценоеколошке припадности (Banković, Medarević, 2009), мешовите шуме смрче и јеле налазе се у:

- **комплексу (појасу) мезофилних букових и буково-четинарских типова шума (ког 4),**
- **ценоеколошкој групи типова шума смрче, јеле и букве (*Abieti-Piceenion*, Br. -Bl., 1939)**

на хумусно-силикатним земљиштима, рендзинама, црницама, еутричним и дистричним смеђим земљиштима, смеђим и илимеризованим земљиштима на кречњаку у контакту кречњака и силикатних стена и на смеђем подзолоастом земљишту¹ (ког 47).

У оквиру наведене ценоеколошке групе типова шума у НП Копаоник шуме смрче и јеле су обухваћене са **две групе еколошких јединица** (еколошких типова) (Knežević, Cvjetičanin, 2003):

1. шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum abietis*, Mišić et Popović, 1978) на еутричним хумусно-силикатним земљиштима и еутричним смеђим земљиштима,
2. шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum abietis*, Mišić et Popović, 1978) на киселим смеђим и смеђим подзоластим земљиштима.

Копаоник припада групи ретких планина у Србији на којој се може уочити изузетна правилност смењивања вегетације у вертикалном профилу. У вишим деловима Копаоника, на прелазу буковог у смрчев висински појас, поред мешовитих лишћарско-четинарских шума букве-јеле, букве-јеле-смрче и смрче-букве јављају се и мешовите смрчево-јелове шуме на површини од 536,10 ha, што представља 7,6% шумом обрасле површине овог НП. У погледу производности, бројни аутори сврставају мешовите шуме смрче и јеле међу најпроизводније шуме (Matić, 1959; Stamenković et al., 1990; Matović, 2006; Šljukić, 2015). Осим високе производности, ове шуме имају и изражену еколошку и функционалну вредности и стабилност.

Савремено поимање значаја и улоге шуме приоритет даје природним и хетерогеним састојинским формама у структурном, специј-

¹ Ценоеколошка група типова шума смрче, јеле и букве (*Abieti-Piceenion*, Br.-Bl. 1939) на хумусним, киселим (дистричним) смеђим земљиштима, *Terra fusci* и избељеној *Terra fusci* (ког 47), истраживањима вегетације и земљишта спроведеним у периоду 2002/2003 године у оквиру редовног циклуса уређивања шума у НП Копаоник, дефинисана је као - Шуме смрче, јеле и букве (*Abieti-Piceenion*, Br. -Bl. 1939) на хумусно-силикатним земљиштима, рендзинама, црницама, еутричним и дистричним смеђим земљиштима, смеђим и илимеризованим земљиштима на кречњаку у контакту кречњака и силикатних стена и на смеђем подзолоастом земљишту.

ском и просторном погледу. Сматра се да такве шуме продукују већу количину дрвета, генерално биомасе, да се у њима депонују веће количине угљеника, да имају већу стабилност, еколошку и функционалну вредност. У том смислу, мешовите шуме, посебно мешовите шуме лишћара и четинара и мешовите шуме четинара, представљају пожељан узгојни облик савременог шумарства. Високе мешовите шуме четинара (углавном су то шуме смрче и јеле) заузимају свега 0,4% површине шума Србије, па је њихово очување и повећање површина један од дугорочних стратешких циљева газдовања. Ова истраживања, као фаза у постизању наведеног циља, усмерена су на проучавање структурне изграђености и производности шума смрче и јеле на конкретном локалитету, као значајнијих елемената за дефинисање мера узгојне и уређајне природе у процесу газдовања овим шумама.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Објект истраживања

Истраживања су спроведена у газдинским јединицама “Гобелска река” и “Самоковска река”, које су саставни део НП Копаоник. Постављено је 12 огледних поља (ОП) величине од 0,12 до 0,32 ha, у просеку 0,18 ha.

Г “Гобелска река” се простире између 20°44’ и 20°51’ источне географске дужине и 43°19’ и 43°23’ северне географске ширине у сливном подручју Гобелске реке и њених притока. Најнижа ката ове Г је 720 m, а највиша 1.934 m н.в., што указује на значајне разлике у погледу услова за успевање појединих врста дрвећа и на укупне еколошке разлике брдских, нископланинских и високопланинских станишта и шумских станишта која их прате. Општа експонираност газдинске јединице је према северу, мада се због развијеног рељефа јављају и источне и западне експозиције, као и бројне међуекспозиције. Основни типови земљишта образовани на силикатним стенама су кисело смеђе земљиште (дистрични камбисол), смеђе подзоласто земљиште, при чему се кисело смеђе земљиште, у односу на смеђе подзоласто, јавља на мањој површини.

Г “Самоковска река” се простире између 20°43’ и 20°49’ источне географске дужине и 43°16’ и 43°22’ северне географске ширине у сливном подручју истоимене реке и ограничена је њеним вододелницама. Надморске висине су од 680 m до 2.170 m н.в.. Општа експонираност простора је према северу, мада се због изразите диференцираности рељефа јављају и све остале експозиције. Највећи део простора ове Г је благог до умерено стрмог нагиба, а мањи део стрмог до врлетног нагиба.

Приликом климатске рејонизације Србије, *Rakičević* (1980) је издвојио као посебан копачки климатски рејон, са најхладнијим и најдужим зимама у Србији (негативним месечним температурама од децембра до априла), најнижом средњом годишњом температуром ваздуха и дугим просечним трајањем снежног покривача. На доњој граници вертикалне шумске зоне на Копаонику (750-1.950 m) просечна годишња температура ваздуха креће се од 6,8°C на јужним експозицијама до 7,1°C на северним експозицијама (у вегетационом периоду је око 13°C), а на горњој граници она је 1,8°C. Просечна годишња количина падавина на доњој граници зоне је испод 776 mm на јужним експозицијама, 861 mm је на северним експозицијама, док је на горњој граници ове висинске зоне изнад 955 mm. Класификација климе према *Thorntwaite* показује да се у наведеној висинској шумској зони јављају следећи климатски типови: умерено влажна (Б1) на доњој граници, изузетно влажна (Б4) на висинама у распону од 1.500 до 1.700 m и перхумидна (А) клима на висинама изнад 1.700 m (*Krstić et al., 2014*). Југозапад и североисток главни су правци дувања ветрова на Копаонику (*Smailagić, 1995*).

Све огледне површине припадају групи еколошких јединица (еколошких типова) - шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum abietis*, *Mišić et Popović 1978*) на киселим смеђим и смеђим подзоластим земљиштима, а налазе се на локалитетима којима се редовно газдује у оквиру основних намена: предео изузетних одлика и производно заштитне шуме у режиму II степена заштите (2009). Изузетак је огледна површина у 104 одељењу Г “Гобелска река” која је у резервату природе “Вучак”, са режимом I степена заштите.

У ГЈ „Гобелска река“ истраживањима су обихваћене три еколошке јединице:

1. Шуме смрче и јеле са зечијом соцом (*Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum*) на смеђем подзоласом земљишту - пет ОП у одељењима 78, 88, 102 и 107;
2. Шуме смрче и јеле са зечијом соцом (*Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum*) на киселом смеђем земљишту - три ОП у одељењима 104 и 106;
3. Шуме смрче и јеле са вијуком (*Abieti-Piceetum abietis drymetosum*) на смеђем подзоласом земљишту – једно ОП у одељењу 109.

У ГЈ “Самоковска река” анализирани су две еколошке јединице:

1. Шума смрче и јеле са боровницом (*Abieti-Piceetum abietis vaccinetosum*) на смеђем подзоласом земљишту – два ОП (9 и 10) у одељењу 7;
2. Шуме смрче и јеле (*Abieti-Piceetum abietis tyricum*) на смеђем подзоласом земљишту – једно ОП (11) у одељењу 7.

Просторне и еколошке карактеристике ОП приказане су у табели 1.

Прикупљање и обрада података

На наведеним локалитетима раније су извршена педолошка и фитоценолошка истраживања на основу чијих резултата су дефинисане еколошке јединице. У овим еколошким јединицама, у условима очуваности, добре склопљености и квалитета састојина постављена је 12 ОП за ова истраживања. На сваком ОП свим стаблима изнад таксационе границе мерени су унакрсни пречници на прсној висини и висине.

Прикуљени подаци су обрађени комбиновањем комерцијалних софтвера (Excel и Statgraphics). За моделовање висинске криве тестиране су различите функције, а избор финалног модела вршен је на основу квалитета статистичких параметара регресионе и корелационе анализе, као и на основу степена коинцидирања изравантних и емпиријских података.

Табела 1. Основне просторне и еколошке карактеристике огледних поља

ОП	Р (ha)	ГЈ	Одељење	Надморска Висина (m)	Е	Нагиб (°)	Геолошка подлога	Земљиште
1	0,16	А	78/б	1480-1500	NE	20	гранодиорит	Смеђе подзоласто
2	0,20	А	88/б	1510-1530	N	15	гранодиорит	Смеђе подзоласто
3	0,20	А	102/б	1580-1600	SW	10-15	гранодиорит	Смеђе подзоласто
4	0,32	А	102/б	1570-1580	SW	15	гранодиорит	Смеђе подзоласто
5	0,12	А	107/а	1390-1410	S	10-15	гранити и гранитмонзонити	Смеђе подзоласто
6	0,17	А	104/а	1540-1550	SW	5-10	гранити и гранитмонзонити	Кисело смеђе
7	0,24	А	106/а	1395-1400	SW	5-10	гранити и гранитмонзонити	Кисело смеђе
8	0,18	А	106/б	1405-1415	W-SW	10-15	гранити и гранитмонзонити	Кисело смеђе
9	0,14	Б	7/а	1415-1425	SW	15	гранодиорит	Смеђе подзоласто
10	0,16	Б	7/а	1425-1435	SW	15	гранодиорит	Смеђе подзоласто
11	0,12	Б	7/а	1420-1435	NW	15-20	гранодиорит	Смеђе подзоласто
12	0,15	А	109/а	1470-1500	N	5-10	гранити и гранитмонзонити	Смеђе подзоласто

Легенда: ГЈ А - „Гобелска река“. ГЈ – Б „Самоковска река“, Е - Експозиција

Метод запреминских таблица је коришћен за обрачун запремине, при чему су за јелу и смрчу коришћене локалне, двоулазне запреминске таблице (Banković et al., 2003, 2003a). Текући запремински прираст утврђен је по методу процента прираста, при чему је проценат прираста добијен на основу регресионих модела који изражавају његову зависност од броја стабала на јединици површине, учешћа конкретне врсте дрвеће у смеси, пречника и висине средњег састојинског стабла по пресеку (Banković et al., 2002). Измерене и рачунски добијене нумеричке вредности груписане су по дебљинским степенима – дебљинска структура, дистрибуција темељнице и запремине, односно по висинским степенима – висинска структура, чиме је омогућена квалитетнија анализа структурне изграђености ових шума.

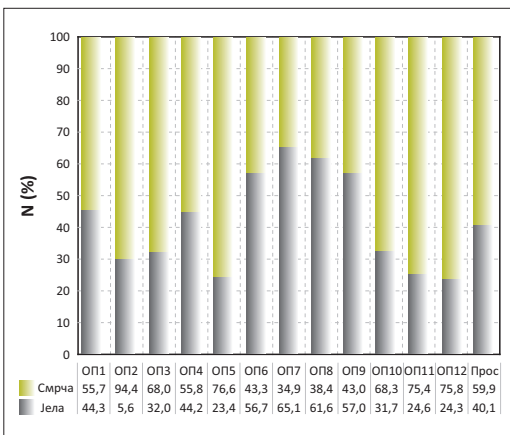
РЕЗУЛТАТИ

Нужна претпоставка квалитетног планирања газдовања на састојинском нивоу, поред осталих, јесте и постојање поузданих информација о стању шума и перманентан мониторинг стања. У том смислу, анализе станишних карактеристика, здравственог стања, структурне изграђености, интеракције врста дрвећа и оцена производности имају прворазредан значај. Квалитет ових анализа, као и самог одлучивања у процесу планирања, повећава се компа-

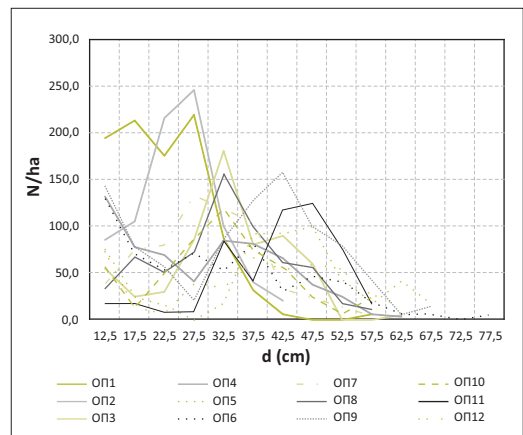
ративним анализама стања у дужем временском периоду (принцип динамичке инвентуре) и утврђивањем степена диспропорције изеђу затеченог и циљаног (оптималног) стања.

Бројни аутори су истицали значај проучавања и познавања структуре (унутрашње изграђености) и производности састојина (Miletić, 1930; Klepac, 1956; Pretzsch, 1997; Kint et al., 2004; Govedar, 2005; Medarević, 2006; Stojanović et al., 2008; Stajić, 2010; Pantić et al., 2011; Matović, 2012; Čavlović, 2013) за дефинисање њиховог стања, избор најповољнијег начина газдовања, анализу ефеката реализованих и планирање будућих газдинских мера, за утврђивање и очување биодиверзитета, а тиме и одрживо газдовање шумама и шумским екосистемима. Како је данас један од најзначајних општих циљева европског шумарства повећање мешовитости и структурне разноврсности шумских састојина, познавање структуре добија још више на значају. Ова констатација у потпуности важи и за шуме смрче и јеле у Србији, с обзиром на њихову малу површнску затупљеност, недовољну истраженост, потребу очувања и евентуалног повећања учешћа у шумском фонду.

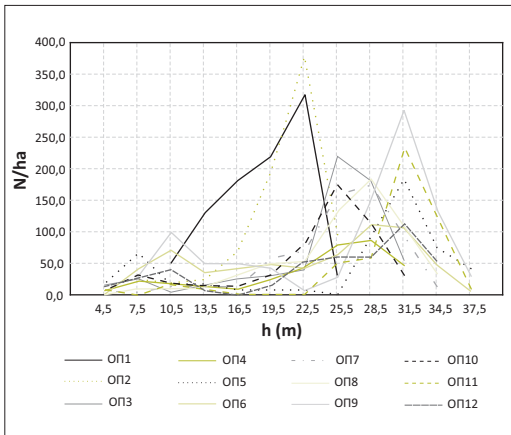
Број стабала је елемент који показује хоризонталну изграђеност састојине. Најваријабилнији је елемент унутрашње изграђености састојина и у зависности од бонитета станишта и примењених узгојних мера у мешовитим шумама смрче и јеле на Копеонику креће се у врло широком распону (графикон 1 и 2).



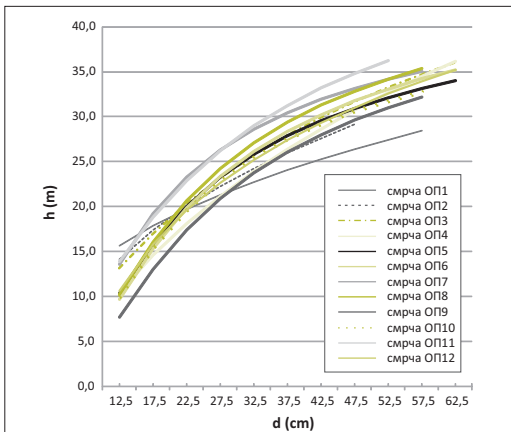
Графикон 1. Однос броја стабала смрче и јеле



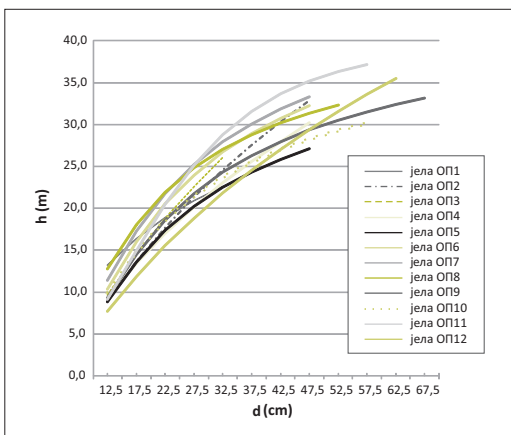
Графикон 2. Дебљинска структура



Графикон 3. Висинска структура



Графикон 4. Висинске криве смрче



Графикон 5. Висинске криве јеле

Расподела стабала по висини (графикон 3) стабилнија је него расподела по дебљини и поузданији је индикатор за структурно дефинисање састојина.

Стохастички однос висина и пречника стабала моделује се висинском кривом (графикони 4 и 5), која је претпоставка за израчунавања запремине и запреминског прираста састојине. Осим тога, висинске криве својим положајем у координатном систему (према x оси) указују на однос динамике раста у висину и бонитета станишта, као и на међусобни однос врста дрвећа у мешовитим и вишеслојним састојинама.

Укупно произведена запремина и запремински прираст, као квантитативни (нумерички) изрази производности шума, резултанта су утицаја комплекса станишних фактора, унутар састојинских односа, реализованих газдинских мера и њихових интеракција. Просечне вредности ових и других анализираних елемената у истраживаним састојинама дате су у табели 2.

ДИСКУСИЈА

Број стабала и дебљинска структура

У истраживањима смрчево-јелових шума Златара, *Matović (2016)* затиче број стабала од 390 до 987 $kom \cdot ha^{-1}$, *Stojanović et al. (2008)* 565 $kom \cdot ha^{-1}$, а *Govedar (2005)* у мешовитим шумама Републике Српске од 386 до 727 $kom \cdot ha^{-1}$. *Čuković (2005)* у разнодобним, двоспратним састојинама смрче и јеле на локалитету Пауновица (Г.Ј. "Цврцка", БиХ) констатује број стабала од 401 $kom \cdot ha^{-1}$. У истраживањима *Stamenković, et al. (1990)* спроведеним на Златару у разнодобној састојини смрче и јеле, са доминацијом јеле од 80%, утврђен је број стабала од 802 $kom \cdot ha^{-1}$, а на Тари у структурно једнодобној, мешовитој шуми јеле и смрче, са доминацијом јеле од 91%, утврђен је број стабала 763 $kom \cdot ha^{-1}$.

На Копаонику, у мешовитим шумама смрче и јеле, број стабала се креће од 440 $kom \cdot ha^{-1}$, колико је регистровано на ОП12 до 931 $kom \cdot ha^{-1}$ у ОП1, просечно 645 $kom \cdot ha^{-1}$ (табела 2). Овакав број стабала представља добру об-

Табела 2. Елементи производности

Врста дрвећа	N	G	dg	hg	dg _{max}	hg _{max}	V	Iv	p _{iv}
ОП	kom·ha ⁻¹	m ² ·ha ⁻¹	cm	m	cm	m	m ³ ·ha ⁻¹	m ³ ·ha ⁻¹	%
Јела	412,5	12,5	19,6	17,5	28,8	21,3	129,1	3,4	2,7
Смрча	518,8	28,1	26,3	20,9	36,7	23,9	319,7	7,8	2,4
1	931,3	40,6					448,8	11,2	2,5
Јела	45,0	1,5	20,8	17,4	29,5	24,0	16,4	0,4	2,5
Смрча	765,0	40,7	26,0	21,6	35,3	25,2	479,5	11,7	2,5
2	810,0	42,2					495,9	12,1	2,4
Јела	195,0	11,4	27,3	21,2	40,1	29,0	138,6	2,9	2,1
Смрча	415,0	44,8	37,1	27,7	47,3	31,6	607	11,1	1,8
3	610,0	56,2					745,7	14,0	1,9
Јела	275,0	13,3	24,8	18,5	39,2	26,4	146,5	3,3	2,3
Смрча	346,9	35,3	36,0	25,6	51,0	32,1	461,3	8,9	1,9
4	621,9	48,5					607,8	12,1	2,0
Јела	125,0	6,5	25,8	19,3	44,2	26,3	71,4	1,5	2,1
Смрча	408,3	69,9	46,7	30,7	53,7	32,4	973,9	14,9	1,5
5	533,3	76,5					1043,3	16,4	1,6
Јела	347,1	21,0	27,8	24,1	46,5	32,0	275,4	5,7	2,1
Смрча	264,7	34,7	40,9	29,7	66,6	35,9	487,8	8,2	1,7
6	611,8	55,7					763,2	13,9	1,8
Јела	404,2	27,1	29,2	26,2	42,0	31,7	372,1	7,4	2,0
Смрча	216,7	20,0	34,3	29,3	44,9	32,6	289,5	5,4	1,9
7	620,8	47,0					661,6	12,8	1,9
Јела	383,3	31,2	32,2	26,9	44,7	30,7	425,0	7,9	1,9
Смрча	238,9	26,0	37,2	30,4	51,1	33,9	369,4	6,4	1,7
8	622,2	57,2					794,4	14,3	1,8
Јела	521,4	59,9	38,2	26,6	59,3	31,8	771,2	12,7	1,7
Смрча	392,9	44,0	37,8	26,2	53,0	31,1	567,5	9,2	1,6
9	914,3	103,9					1338,7	21,9	1,6
Јела	162,5	15,9	35,3	24,8	57,7	30,2	195,1	3,5	1,8
Смрча	350,0	30,6	33,4	25,8	46,5	30,3	397,3	7,9	2,0
10	512,5	46,5					592,5	11,4	1,9
Јела	125,0	12,1	35,1	30,3	44,4	34,3	180,7	3,1	1,7
Смрча	383,3	60,1	44,7	32,1	53,7	35,2	888,5	13,7	1,6
11	508,3	72,2					1069,2	16,8	1,6
Јела	106,7	11,2	36,6	24,1	53,9	32,1	139,9	2,4	1,7
Смрча	333,3	43,5	40,8	28,4	55,6	36,0	619,6	10,8	1,7
12	440,0	54,7					759,4	13,2	1,7
Јела	258,6	18,6	29,4	23,1	44,2	29,2	238,5	4,5	2,0
Смрча	386,2	39,8	36,8	27,4	49,6	31,7	538,4	9,7	1,9
Просек	644,7	58,4					776,9	14,2	1,9

Легенда: N - број стабала; G - темељница; dg - пречник средњег састојинског стабла по пресеку; dg_{max} - средњи пречник 20% најдебљих стабала у састојини; hg, hg_{max} - висине које одговарају наведеним средњим пречницима; V - запремина; Iv - текући запремински прираст; p_{iv} - проценат запреминског прираста

раслост истраживаних састојина и индицира њихову високу стабилност и мултифункционалност (еколошку, заштитну и социо-економску вредност). У већини ОП (осим ОП 6-9) смрча доминира у укупном броју стабала (графикон 1). Ова врста у просеку учествује са 59,9% (од 34,9% у ОП7 до 94,4% у ОП2), док је просечно учешће јеле у укупном броју стабала 40,1% (од 5,6% у ОП2 до 65,1% у ОП7).

Једино на ОП9 и ОП10 (само пречници) јела постиже нешто веће димензије стабала у односу на смрчу. У свим осталим истраживаним ситуацијама измерене су веће (често и значајно) вредности пречника и висина смрчевих стабала. Код јеле dg се крећу у интервалу 19,6-38,2 cm, а код смрче у интервалу 26,0-46,7 cm, са одговарајућим висинама 17,4-30,3 m, односно 20,9-30,7 m. У односу на јелу, dg смрче већи је за 7,4 cm, а hg за 4,3 m. Димензиона супериорност смрче уочава се и када се посматрају пречници и висине 20% најдебљих стабала у састојини. Код јеле dg_{max} износи 28,8-59,3 cm, а код смрче 35,3-66,6 cm. Висине одговарајуће овим пречницима код јеле су 21,3-34,3 m, код смрче 23,9-36,0 m. У односу на јелу, dg_{max} смрче већи је за 5,4 cm, а hg_{max} за 2,5 m. Како су средња стабла статистички репрезенти састојине, могуће је констатовати димензиону доминацију смрче у односу на јелу, велике варијационе ширине пречника и висина стабала, односно изражени димензиони диверзитет код обе врсте дрвећа у овим мешовитим шумама Копаоника.

Према дебљинској структури (графикон 2), истраживане састојине карактерише велика разноликост структурних облика, од структуре блиске једнодобним састојинама (ОП 1, 2, 3 и 7), двоспратним (ОП 5, 8, 9 и 10) до типичних вишеспратних, разнодобних састојина (ОП 4, 6, 11 и 12). Ток сумарних линија расподеле у већини случајева условљен је структуром смрче која доминира у укупном броју стабала. Изражена структурна хетерогеност значајан је елемент вредности мешовитих шума смрче и јеле на Копаонику. У расподели доминирају танка и стабла средње дебљине, уз минимално учешће стабала јаким димензија. У дебљинским степенима до 30 cm налази се 47,1% укупног броја стабала. Дебљински степени 31-50 cm учествују са 44,6%, при чему код смрче ова ка-

тегорија стабала учествује са 66,4%, а код јеле 33,6%. У најјачим степенима (преко 50 cm) налази се 8,3% укупног броја стабала. Смрча је и у овом делу инвентара заступљенија (78,1%) у односу на јелу (21,9%).

Висинска структура и висинске криве

Сумарне линије висинске структуре у истраживаним састојинама (графикон 3) карактеришу се неправилним током, са једним, два или више максимума заступљености броја стабала у висинским степенима. Висинске структуре ОП 1, 2, 7 и 8 зволиког су облика, десно (мање или више) асиметричне, са јасно израженим максимум у степену 22,5 m (ОП1 и ОП2), односно у степену 28,5 m (ОП7 и ОП8). Позиција максимума и основни ток збирне линије расподеле последица су, пре свега, дистрибуције смрче по висинским степенима. Висинску структуру ОП 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 и 12 карактерише вишеструка назубљеност сумарних линија расподеле броја стабала и изражена варијациона ширина, што код ових састојина потврђује њихову структурну разнодобност. Појава два максимума и то у висинским степенима 7,5 m (10,5 m) и израженијег у 31,5 m (28,5 m) у овим огледним пољима јасно указује на доминацију ниских до средње високих стабала (корелација са дебљинском структуром-доминацијом танких и средње дебелих стабала). И висинска структура квалификује мешовите шуме смрче и јеле на Копаонику као структурно хетерогене и то у широком опсегу појавних облика – од једнодобних до разнодобних састојина (у најширем смислу разнодобности). С аспекта мултифункционалности и еколошке стабилности и вредности, то је значајан вредносни елемент ових шума.

Висинске криве смрче и јеле (графикон 4 и 5) на ОП 1 и 2 су знатно положеније и слабије степена пењања у односу на криве осталих ОП, што је последица минималног учешћа стабала средње јаким димензија, потпуног одсуства стабала јаким димензија и одређених динамичких поремећаја у ове две састојине. У осталим састојинама криве обе врсте дрвећа су груписане, са израженим степеном пењања, што указује на добар раст у висину и позитиван

конкурентски однос смрче и јеле на овим стаништима. Нешто „стрмије“ висинске криве јеле у односу на смрчу јасно указују на различит однос ових врста према светлости.

Производност шума

Као последица добре обраслости и значајног учешћа стабала средње јаким пречника, просечна вредност темељнице у шумама смрче и јеле (Табела 2) износи $58,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, са учешћем смрче од 68,1% и јеле од 31,9%. Запремине у интервалу $450\text{-}1.340 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ индицирају високу производност истраживаних састојина, при чему просечна запремина износи $776,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, са размером смрча:јела = 69,3%:30,7%. Текући запремински прираст се креће од 11,2 до $21,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, са просеком од $14,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, а његов највећи део (68,1%) припада смрчи, док јели припада 31,9% вредности овог елемента. Апсолутна вредност текућег запреминског прираста, као и проценат прираста који се креће од 1,6% до 2,5% (просек 1,9%) и при том је у свим састојинама нешто већи од јеле, потврђују већ изнету констатацију о високој производности ових шума. У мешовитим шумама смрче и јеле са примесом белог бора на Залатару, *Stojanović et al.* (2008) затичу просечну запремину од $470,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, текући запремински прираст $13,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ и проценат прираста од 2,95%. У истраживањима у Републици Српској (*Govedar, 2005*), где ове шуме заузимају значајне просторе, установљене вредности текућег запреминског прираста се крећу од 8,9 до $16,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ у разнодобним двоспратним састојинама (код просечне запремине $389,0\text{-}716,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) и од 10,9 до $11,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ у вишеспратним разнодобним састојинама (код просечне запремине $440\text{-}507 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). У разнодобним, мешовитим шумама смрче и јеле у источним Алпима у Италији (регион Венето) просечни годишњи прираст износи $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, код просечне запремине од $350 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (*Bagnaresi et al., 2002; Grassi et al., 2003*).

У целини посматрано, све проучаване састојине карактеришу се еколошком стабилношћу и виталношћу, што је уз станишни потен-

цијал резултирало високом производношћу. Висински положај станишта ($1.390\text{-}1.600 \text{ m н.в.}$) и његове карактеристике, описане у поглављу 2.1., погодују развоју обе врсте дрвећа као типичних сциофита. Горња граница распострања јеле и снажнији антропогени утицај на ову врсту дрвећа кроз газдинске поступке у прошлости, утицали су на то да је смрча тренутни носилац производности ових шума.

ЗАКЉУЧЦИ

Мешовите шуме смрче и јеле су најчешће климарегионалне шуме које се налазе на прелазу између мешовитих тродоминантних шума смрче, јеле и букве и чистих смрчевих шума. Иако скромно заступљене у шумском фонду Србије, због високе производности, еколошке стабилности и структурне сложености, представљају његов значајан део. Претпоставка за њихово очување, поред осталог, јесте добро познавање структурних и производних карактеристика, интеракције врста дрвећа-међусобне и са стаништем, на чему се базира исправан плански и каснији газдински приступ овим шумама. То је био и основни мотив ових истраживања, којима се дошло до следећих закључака:

1. Обраслост ових шума је добра, а смрча доминира у укупном броју стабала са 59,9%, док је учешће јеле 40,1%;
2. Доминирају танка и стабла средње дебљине, уз минимално учешће стабала јаким димензија, а присутна је димензиона супериорност смрче. Такође, обе врсте показују изражени димензиони диверзитет;
3. Мешовите шуме смрче и јеле карактерише велика разноликост структурних облика, од структуре блиске једнодобним састојинама, двоспратним до типичних вишеспратних, разнодобних састојина;
4. Просечна запремина од $776,9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, са размером смрча:јела = 69,3%:30,7%, просечна вредност текућег запреминског прираста од $14,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, те проценат прираста у интервалу 1,6% - 2,5% (просек 1,9%) указују на високу производност ових шума;

5. Као последица јачег антропогеног притиска на јелу у прошлости (примарни разлог) и чињенице да је она на истраживаним стаништима Копаоника близу горње границе свог вертикалног распрострањења, смрча је тренутни носилац производности ових шума;
 6. Јела се због скромног учешћа у шумском фонду Србије може сматрати ретком и врло вредном врстом дрвећа, која својим присуством оплемењује типове шума у којима се среће и указује на очуваност природног потенцијала у целини, посебно кад су у питању реликтне заједнице. Стога се истиче потреба повећања учешћа, очувања и заштите јеле у границама садашњег распрострањења, што представља дугорочан задатак газдовања овим шумама;
 7. Основни задаци дугорочног карактера у газдовању мешовитим шумама смрче и јеле на Копаонику јесу: очување структурне разноврсности и стабилности, очување добре обраслости и мешовитости и увећање учешћа јеле у постојећем шумском фонду (код попуњавања разређених делова ових шума приоритет треба дати јели).
- Напомена:** Захваљујемо се Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије које је финансијски подржало ова истраживања у оквиру пројекта "Одрживо газдовање укупним потенцијалима шума у Републици Србији"- ЕВБР 37008.

STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF MIXED SPRUCE AND FIR FORESTS ON MT. KOPAONIK

Dr. Biljana Šljukić, assistant professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade
(e-mail: biljana.sljukic@sfb.bg.ac.rs)

Dr. Damjan Pantić, full professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade

Dr. Milan Medarević, full professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade

Dr. Snežana Obradović, research associate, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade

M.Sc. Dragan Borota, teaching assistant, University of Belgrade – Faculty of Forestry, Belgrade

MSc. Duško Čuković, senior assistant, University of Banja Luka - Faculty of Forestry, Banja Luka

Abstract: The subject of this research are mixed forests of spruce and fir in the area of NP Kopaonik, which belong to the community of spruce and fir - *Abieti-Piceetum abietis* Mišić et Popović, 1978. The basis for the study of the structural development and production potential of these forests are data from 12 sample plots, with the average size of 0.18 ha. In terms of coenocological affiliation all the sample plots belong to the group of ecological units – forests of spruce and fir (*Abieti-Piceetum abietis*, *Mišić et Popović*, 1978) on acid brown and brown podzolic soils, which are differentiated into 5 ecological units: *Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum* on brown podzolic soil, *Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum* on acid brown soil, *Abieti-Piceetum abietis vacinietosum* on brown podzolic soil, *Abieti-Piceetum abietis typicum* on brown podzolic soil and *Abieti-Piceetum abietis Drymetosum* on brown podzolic soil. In structural terms, these forests are characterized by very diverse structural forms, ranging from the structure of even-aged stands to typical multi-storey, unevenaged-aged stands. The form of cumulative curves of tree distribution is in most cases determined by spruce as the dominant species. At the same time, thin and medium-thick trees dominate, while the presence of stems with large dimensions is minimal. The average volume of these forests is $777 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, with a mixture ratio of 0.7: 0.3 in favor of spruce. The average value of the current volume increment is $14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, with a 68% share of spruce and 32% of fir. The percentage of increment ranges from 1.6% to 2.5% in all sample plots and is somewhat higher for fir. The site potential, stand characteristics and relations among the tree species have resulted in structural complexity, high productivity and ecological stability of these forests. Therefore, future forest management should avoid radical measures and procedures that would violate the established relationships and dynamic processes.

Key words: Kopaonik, forests of spruce and fir, structural development, productivity

INTRODUCTION

Mixed stands (regardless of their of origin) occupy 728.800 ha (32.3%) of the total forest area in Serbia. Of these, 129.600 ha (17.8%) are high natural mixed stands, which include three mixture categories – mixed broadleaf stands (70.7%), mixed broadleaf and conifer stands (22.2%) and mixed conifer stands which cover an area of only 9.200 ha (7.1%) (Banković *et al.*, 2009). Mixed conifer stands, mainly of fir and spruce, have high productivity with an average volume of 336 m³·ha⁻¹, the current volume increment of 9,4 m³·ha⁻¹ and the increment percentage of 2.8%.

According to Medarević *et al.* (2002), the mixed forests of spruce and fir on humic acid and brown podzolic soils (*Abieti-Piceetum serbicum*, Mišić *et Popović*, 1978. sin. *Abieti-Piceetum abietis*, Mišić *et Popović*, 1978.) cover an area of 5,173 ha in publicly owned forests in Serbia with the most significant sites on Mt. Zlatar, Mt. Golija, Mt. Mokra Gora and Mt. Kopaonik.

Spruce and fir forests most commonly occur as climate regional forests at the junction between mixed forests of spruce, pine and beech and pure spruce forests. In these forests are equally represented the species of ground flora from both beech-fir forests and spruce forests (Tomić, 2004). The community of spruce and fir in Serbia, *Abieti-Piceetum abietis* Mišić *et Popović*, 1978. belongs to the alliance of acidophilous spruce forests *Vaccinio-Piceion* (Pawlowski *et al.*, 1928) Br.-Bl. in Br.-Bl. *et al.*, 1939, i.e. the suballiance *Abieti-Piceenion* Br.-Bl. in Br.-Bl. *et al.*, 1939, which includes mixed forests of spruce and fir, spruce-fir-beech forests and monodominant spruce forests at lower altitudes ranging from 1,000 to 1,600 m (Tomić, Rakonjac, 2013). This community was described on Mt. Kopaonik (Mišić, Popović, 1954), Mt. Stara Planina (Mišić *et al.*, 1978), Mt. Zlatar (Mišić *et al.*, 1985; Obratov, 1992) and on other mountains.

In terms of coenocological affiliation (Banković, Medarević, 2009), mixed forests of spruce and fir belong to:

- **the complex (belt) of mesophilic beech and beech-conifer forest types (at 4),**

- **coenocological group of spruce, fir and beech forest types (*Abieti-Piceenion*, Br.-Bl., 1939) on humus-silicate soils, rendzinas, black soils, eutric and dystric brown soils, brown and illimerised soils on limestone in the contact of limestone and silicate rocks and on brown podzolic soils¹ (at 47).**

In the context of the present coenocological groups of forest types in NP Kopaonik spruce and fir forests are represented **by two groups of ecological units** (ecotypes) (Knežević Cvjetičanin, 2003):

1. spruce and fir forests (*Abieti-Piceetum abietis*, Mišić *et Popović*, 1978) on eutric humus-silicate soils and eutric brown soils,
2. spruce and fir forests (*Abieti-Piceetum abietis*, Mišić *et Popović*, 1978) on acid brown and brown podzolic soils.

Mt. Kopaonik belongs to the few mountains in Serbia where remarkable regularity of vegetation change can be observed in the vertical profile. In the upper parts of Mt. Kopaonik, at the transition from the beech belt to the spruce altitudinal belt, in addition to the mixed broadleaved and coniferous forests of beech and fir, beech-fir-spruce forests and spruce-beech forests, mixed forests of spruce and fir also occur on an area of 536.10 ha, which accounts for 7.6% of the forest area in this NP. In terms of yield, a number of authors have classified mixed forests of spruce and fir among the most productive forests (Matić, 1959; Stamenković *et al.*, 1990; Matović, 2006; Šljukić, 2015). In addition to high productivity, these forests have expressed environmental and functional values and stability.

Modern understanding of the importance and role of forests gives priority to natural and heterogeneous stand forms in structural, species and spatial terms. It is believed that such forests pro-

¹ In the research of vegetation and soil conducted in the period 2002/2003 in the course of regular maintenance of forests in NP Kopaonik, the coenocological group of forest types of spruce, fir and beech (*Abieti-Piceenion*, Br.-Bl. 1939) on humus, acid (dystric) brown soils *Terra fusci* and bleached *Terra fusci* (at 47) was defined as – forests of spruce, fir and beech (*Abieti Piceenion*, Br.-Bl. 1939) on humus-silicate soils, rendzinas, black soils, eutric and dystric brown soils, brown and illimerised soils on limestone in the contact of limestone and silicate rocks and on brown podzolic soils.

duce a larger amount of wood and biomass in general, that larger amounts of carbon are deposited in them, that they have higher stability, and environmental and functional value. In this regard, mixed forest, and especially mixed forests of broadleaved and coniferous trees and mixed forests of conifers, represent a preferred silvicultural form in modern forestry. High mixed coniferous forests (mainly spruce and fir forests) occupy only 0.4% of forests in Serbia. Therefore, their conservation and increase of their areas is one of the long-term strategic goals of forest management. These studies, as a phase in the achievement of the stated objective, are focused on the study of the structural development and the productivity of spruce and fir forests at a particular site, as elements that are significant for defining the silvicultural and forest management measures in the process of forest management.

MATERIALS AND METHODS

Research object

The research was conducted in the management units “Gobeljska Reka” and “Samokovska Reka”, which are an integral part of NP Kopaonik. A total of 12 sample plots (SP) were established, and their areas ranged from 0.12 to 0.32 ha, i.e. on average 0.18 ha.

FMU “Gobeljska Reka” is located between 20°44’ and 20°51’ east longitude and 43°19’ and 43°23’ north latitude in the catchment area of the Gobeljska River and its tributaries. The lowest ground level of this FMU is 720 m, and the highest 1,934 m above sea level, which indicates a significant difference in terms of conditions for the growth of certain tree species and the overall ecological differences of hilly, low-mountain and high-mountain sites and the accompanying forest sites. The general exposure of the management unit is northern, although due to the developed relief both eastern and western exposures occur, as well as numerous interexposures. The main types of soils formed on silicate rocks are acid brown soils (dystric cambisol) and brown podzolic soils. Acid brown soils occur on a smaller surface than brown podzolic soils.

The FMU “Samokovska Reka” is located between 20°43’ and 20°49’ east longitude and 43°16’ and 43°22’ north latitude in the catchment area of the Samokovska River, which is limited with its watersheds. The altitude ranges from 680 m to 2,170 m above sea level. The general exposure of the area is northern, although due to the exceptional relief differentiation all other exposures also occur. The largest part of the area of this FMU is mild to moderately steep slope, and a small part is steep to rocky mountain slope.

When climatic zoning of Serbia is concerned, *Rakičević (1980)* singled out the areas of Mt. Kopaonik as a special climate region, characterized by the coldest and longest winters in Serbia (with negative monthly temperatures from December to April), the lowest average annual air temperature and long average duration of snow cover. At the lowest border of the vertical forest zone on Mt. Kopaonik (750-1,950 m) the average annual air temperature ranges from 6.8°C in southern exposures to 7.1°C in northern exposures (in the vegetation period it is around 13 °C) and at the upper border it is 1.8°C. The average annual rainfall at the lower border of the zone is below 776 mm in southern exposures, 861 mm in northern exposures, while at the upper border of the zone it is above 955 mm. Climate classification according to Thornthwaite shows that the following climate types occur in the above altitudinal forest zone: moderately humid (B1) at the lower limit excessively humid climate type (B4), at altitudes in the range from 1,500 to 1,700 m and perhumid (A) climate at altitudes above 1,700 m (*Krstić et al., 2014*). The main wind directions on Mt. Kopaonik are southwest and north-east (*Smailagić, 1995*).

All the sample plots belong to the group of ecological units (ecotypes) - spruce and fir forests (*Abieti-Piceetum abietis*, *Mišić et Popović 1978*) on acid brown and podzolic brown soils, and are located at locations which are regularly managed for basic purposes: landscape of exceptional value and productive-protective forests under the 2nd degree of protection (2009). The exception is the sample plot of compartment 104 in FMU “Gobeljska Reka”, which is located in the nature reserve “Vučak” under the 1st degree protection regime.

Three ecological units from the FMU “Gobeljska Reka” are included in this research:

1. Forests of spruce and fir with wood sorrel (*Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum*) on brown podzolic soil – 5 SPs in compartments 78, 88, 102 and 107;
2. Forests of spruce and fir with wood sorrel (*Abieti-Piceetum abietis oxalidetosum*) on acid brown soil – 3 SPs in compartments 104 and 106;
3. The forest of spruce and fir with fescue (*Abieti-Piceetum abietis Dr.ymetosum*) on brown podzolic soil – one SP in compartment 109.

Two ecological units were analyzed in the FMU “Samokovska Reka”:

1. The forest of spruce and fir with blueberry (*Abieti-Piceetum abietis vaccinetosum*) on brown podzolic soil - 2 SPs (9 and 10) in compartment 7;
2. The forests of spruce and fir (*Abieti-Piceetum abietis typicum*) on brown podzolic soil - one SP (11) in compartment 7.

Spatial and ecological characteristics of SPs are shown in Table 1.

Data collection and processing

Pedological and phytocoenological research was previously conducted in the above sites and ecological units were defined on the basis of that research. In these ecological units, in preserved places with good canopy closure and stand quality 12 SPs were established for the purpose of this research. In each SP diameters at breast height and heights were measured for all trees over the forest measurement border.

The collected data were processed by combining commercial software (Excel and Statgraphics). A variety of functions were tested for the modeling of height curves, and the selection of the final model was carried out based on the quality of statistical parameters of the regression and correlation analysis, and based on the degree of coincidence of fitted and empirical data. The method

Table 1. Basic spatial and ecological characteristics of the sample plots

SP	A (ha)	FMU	Compartment	Altitude (m)	E	Slope (°)	Parent rock	Soil
1	0.16	A	78/δ	1480-1500	NE	20	grandiorite	Brown podzolic
2	0.20	A	88/δ	1510-1530	N	15	grandiorite	Brown podzolic
3	0.20	A	102/δ	1580-1600	SW	10-15	grandiorite	Brown podzolic
4	0.32	A	102/δ	1570-1580	SW	15	grandiorite	Brown podzolic
5	0.12	A	107/a	1390-1410	S	10-15	granites and granite monocytes	Brown podzolic
6	0.17	A	104/a	1540-1550	SW	5-10	granites and granite monocytes	Acid brown
7	0.24	A	106/a	1395-1400	SW	5-10	granites and granite monocytes	Acid brown
8	0.18	A	106/δ	1405-1415	W-SW	10-15	granites and granite monocytes	Acid brown
9	0.14	B	7/a	1415-1425	SW	15	grandiorite	Brown podzolic
10	0.16	B	7/a	1425-1435	SW	15	grandiorite	Brown podzolic
11	0.12	B	7/a	1420-1435	NW	15-20	grandiorite	Brown podzolic
12	0.15	A	109/a	1470-1500	N	5-10	granites and granite monocytes	Brown podzolic

Legend: FMU A - „Gobeljska Reka“. FMU – B „Samokovska Reka“, E - Exposure

of volume tables is used for calculating the volume, and double-entry volume tables were used for the fir and spruce (Banković *et al.*, 2003, 2003a). Current volume increment was determined according to the increment percentage, and the increment percentage was obtained on the basis of the regression models that express its dependence on the number of trees per area unit, the share of specific species in the mixture, the diameter and height of the mean stand tree by cross section (Banković *et al.*, 2002). The measured and calculated numerical values were grouped into diameter classes - diameter structure, distribution of basal area and volume, i.e. into height classes – height structure, which enables a better analysis of the structure of these forests.

RESULTS

A necessary prerequisite of quality management planning at the stand level, among others, is the existence of reliable information on the state of forests and permanent monitoring of the situation. In this regard, the analysis of site characteristics, health status, structural development, species interactions and evaluation of productivity are of critical importance. The quality of analysis and decision-making in the planning process are improved with long-term comparative analy-

ses (the principle of dynamic inventory) and by determining the degree of disproportion between the current and targeted (optimal) situation.

Numerous authors emphasized the importance of study and knowledge of structure (internal structure) and productivity of stands (Miletić, 1930; Klepac, 1956; Pretzsch, 1997; Kint *et al.*, 2004; Govedar, 2005; Medarević, 2006; Stojanović *et al.*, 2008; Stajić, 2010; Pantić *et al.*, 2011; Matović, 2012; Čavlović, 2013) in order to define their condition, select the best ways of management, analyze the effects and plan future management measures for the establishment and preservation of biodiversity, and thus sustainable management of forests and forest ecosystems. Since today one of the most important general objectives of European forestry is increase in the mixture and structural diversity of forest stands, the knowledge of structure becomes even more important. This statement is completely true for spruce and fir forests in Serbia, due to their small area, lack of research, the need for preservation and possible increase of their share in the growing stock.

The number of trees is the element that shows horizontal stand structure. The most variable element is the internal structure of stands, depending on the site quality and applied silvicultural measures, and in mixed forests of spruce and fir on Mt. Kopaonik it varies in a very wide range (Figures 1 and 2).

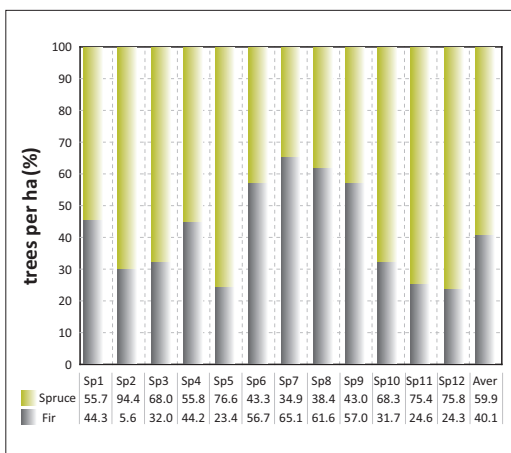


Fig. 1. The ratio of the number of spruce and fir trees

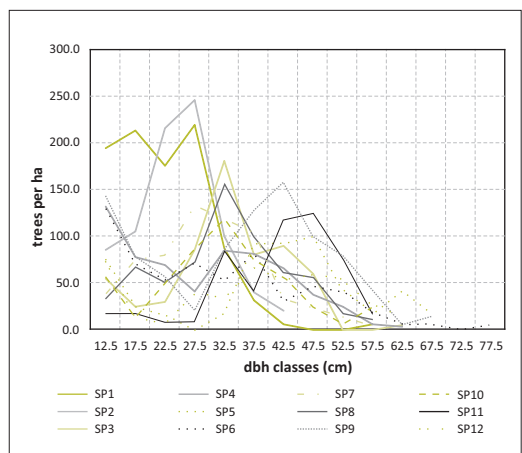


Fig. 2. Diameter structure

Height distribution of trees (Figure 3) is more stable than in their diameter distribution, and is a more reliable indicator for the structural definition of the stands.

The stochastic ratio of height to diameter of trees is modeled as a height curve (Figures 4 and 5), which is a prerequisite for calculating the volume and volume increment of a stand. In addition, the position in the coordinate system (in relation to the axis) of the height curves indicates the ratio of height growth dynamics to the site quality as well as the relations among the tree species in mixed and multi-storey stands.

The total produced volume and volume increment, as quantitative (numerical) parameters of forest productivity are the result of the impact of a complex of site factors, within stand relations, implemented management measures and their interactions. The average values of these and other analyzed parameters of the study stands are given in Table 2.

DISCUSSION

Number of trees and diameter structure

In the study of spruce and fir forests on Mt. Zlatar *Matović* (2016) found that the number of trees ranged from 390 to 987 pieces·ha⁻¹, and *Stojanović et al.* (2008) 565 pcs·ha⁻¹. In mixed spruce and fir forests in different sites of the Republic of Srpska *Govedar* (2005) found from 386 to 727 pcs·ha⁻¹. In uneven-aged, two-storeyed spruce and fir stands at the site Paunovica (FMU "Cvrcka", BiH) *Čuković* (2005) found that the number of trees was 401 pcs·ha⁻¹. The research *Stamenković et al.* (1990) conducted on Mt. Zlatar in uneven-aged spruce and fir stands, with an 80% share of fir found the number of trees was 802 pcs·ha⁻¹ and on Mt. Tara in structurally even-aged mixed forest of fir and spruce with a 91 % share of fir, the determined number of trees was 763 pcs·ha⁻¹.

In mixed forests of spruce and fir on Mt. Kopaonik, the number of stems ranges from 440 pcs·ha⁻¹ as has been registered in SP12 to 931 pcs·ha⁻¹ pieces in SP1, i.e. an average of 645 pcs·ha⁻¹ (Table 2). Such a number of trees means

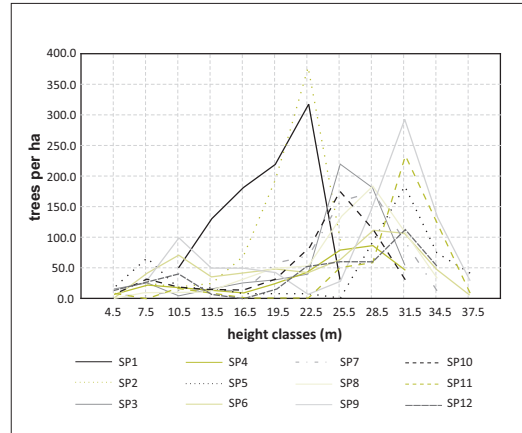


Fig. 3. Height structure

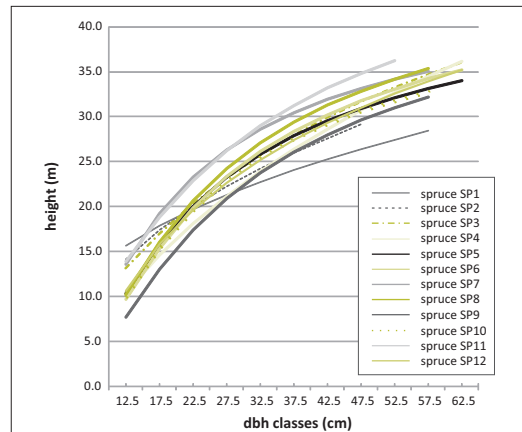


Fig. 4. Height curves of spruce

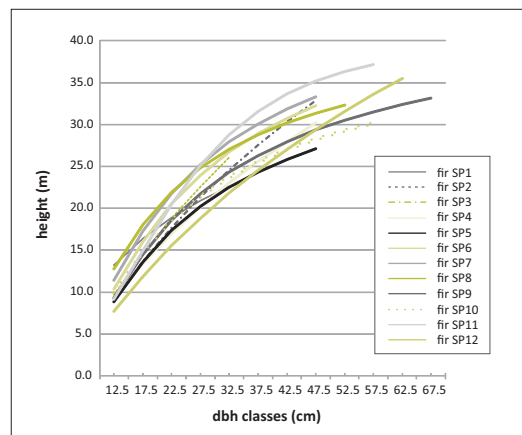


Fig. 5. Height curves of fir

Table 2. Elements of productivity

Tree species	N	G	dg	hg	dg _{max}	hg _{max}	V	lv	p _{iv}
SP	pcs·ha ⁻¹	m ² ·ha ⁻¹	cm	m	cm	m	m ³ ·ha ⁻¹	m ³ ·ha ⁻¹	%
Fir	412.5	12.5	19.6	17.5	28.8	21.3	129.1	3.4	2.7
Spruce	518.8	28.1	26.3	20.9	36.7	23.9	319.7	7.8	2.4
1	931.3	40.6					448.8	11.2	2.5
Fir	45.0	1.5	20.8	17.4	29.5	24.0	16.4	0.4	2.5
Spruce	765.0	40.7	26.0	21.6	35.3	25.2	479.5	11.7	2.5
2	810.0	42.2					495.9	12.1	2.4
Fir	195.0	11.4	27.3	21.2	40.1	29.0	138.6	2.9	2.1
Spruce	415.0	44.8	37.1	27.7	47.3	31.6	607	11.1	1.8
3	610.0	56.2					745.7	14.0	1.9
Fir	275.0	13.3	24.8	18.5	39.2	26.4	146.5	3.3	2.3
Spruce	346.9	35.3	36.0	25.6	51.0	32.1	461.3	8.9	1.9
4	621.9	48.5					607.8	12.1	2.0
Fir	125.0	6.5	25.8	19.3	44.2	26.3	71.4	1.5	2.1
Spruce	408.3	69.9	46.7	30.7	53.7	32.4	973.9	14.9	1.5
5	533.3	76.5					1,043.3	16.4	1.6
Fir	347.1	21.0	27.8	24.1	46.5	32.0	275.4	5.7	2.1
Spruce	264.7	34.7	40.9	29.7	66.6	35.9	487.8	8.2	1.7
6	611.8	55.7					763.2	13.9	1.8
Fir	404.2	27.1	29.2	26.2	42.0	31.7	372.1	7.4	2.0
Spruce	216.7	20.0	34.3	29.3	44.9	32.6	289.5	5.4	1.9
7	620.8	47.0					661.6	12.8	1.9
Fir	383.3	31.2	32.2	26.9	44.7	30.7	425.0	7.9	1.9
Spruce	238.9	26.0	37.2	30.4	51.1	33.9	369.4	6.4	1.7
8	622.2	57.2					794.4	14.3	1.8
Fir	521.4	59.9	38.2	26.6	59.3	31.8	771.2	12.7	1.7
Spruce	392.9	44.0	37.8	26.2	53.0	31.1	567.5	9.2	1.6
9	914.3	103.9					1,338.7	21.9	1.6
Fir	162.5	15.9	35.3	24.8	57.7	30.2	195.1	3.5	1.8
Spruce	350.0	30.6	33.4	25.8	46.5	30.3	397.3	7.9	2.0
10	512.5	46.5					592.5	11.4	1.9
Fir	125.0	12.1	35.1	30.3	44.4	34.3	180.7	3.1	1.7
Spruce	383.3	60.1	44.7	32.1	53.7	35.2	888.5	13.7	1.6
11	508.3	72.2					1,069.2	16.8	1.6
Fir	106.7	11.2	36.6	24.1	53.9	32.1	139.9	2.4	1.7
Spruce	333.3	43.5	40.8	28.4	55.6	36.0	619.6	10.8	1.7
12	440.0	54.7					759.4	13.2	1.7
Fir	258.6	18.6	29.4	23.1	44.2	29.2	238.5	4.5	2.0
Spruce	386.2	39.8	36.8	27.4	49.6	31.7	538.4	9.7	1.9
Average	644.7	58.4					776.9	14.2	1.9

Legend: N – number of trees; G – basal area; dg – diameter of mean stand tree at the cross section; dg_{max} – mean diameter of the 20% thickest stems in the stand; hg, hg_{max} – heights corresponding with the listed mean diameters; V - volume; lv – current volume increment; p_{iv} – percentage of volume increment

high forest cover percentage of the study stands indicating their high stability and multifunctionality (ecological, protective and socio-economic value). Most of the SPs (other than SP 6-9) are dominated by spruce in the total number of trees (Figure 1). The average share of this species accounted for 59.9% (from 34.9% in SP7 to 94.4% to in SP2), while the average share in the total number of fir trees is 40.1% (from 5.6% in SP2 to 65.1% in SP7).

Only in SP9 and SP10 (diameters only) fir achieves slightly larger tree dimensions compared to spruce. In all other investigated cases larger dimensions (often significantly) of diameter and height were measured for spruce trees. The dg of fir ranges in the interval from 19.6 to 38.2 cm, and for spruce in the interval from 26.0 to 46.7 cm, with corresponding heights ranging from 17.4 to 30.3 m and from 20.9 to 30.7 m, respectively. In comparison to fir, the dg of spruce is bigger by 7.4 cm and hg by 4.3 m. Dimensional superiority of spruce can also be seen in diameters and heights of 20% of the thickest trees in the stand. The dg_{max} of fir is 28.8-59.3 cm, and of spruce 35.3-66.6 cm. The corresponding heights for these diameters are from 21.3 to 34.3 m fir, and for spruce 23.9 to 36.0 m. In comparison to fir, dg_{max} of spruce is by 5.4 cm longer, and hg_{max} by 2.5 m. As mean trees are statistically representative of stands, it is possible to conclude that spruce is dominant in comparison to fir in terms of dimensions. It can also be concluded that the variation in diameter and height, i.e. dimensional diversity is high for both tree species in their mixed forests on Mt. Kopaonik.

In terms of diameter structure (Figure 2) the investigated stands are characterized by a great variety of structural forms, ranging from structures associated with even-aged stands (SPs 2, 3 and 7) and two-storey stands (SPs 5, 8, 9 and 10) to typical multi-storey, uneven-aged stands (SPs 4, 6, 11 and 12). The flow of cumulative curves of distribution is in most cases caused by the structure of spruce, which dominates in the total number of trees. Marked structural heterogeneity is an important element of the value of mixed forests of spruce and fir on Mt. Kopaonik. The distribution is dominated by thin and medium thick trees, with a minimum participation of trees with

large dimensions. A 47.1% share of the total number of trees are in diameter classes of up to 30 cm. The 31-50 cm diameter classes account for 44.6%, while for spruce trees this category accounts for 66.4%, and 33.6% for fir. The share of 8.3% of the total number of trees are in the largest classes (over 50 cm). In this part of the inventory spruce is also prevalent (78.1%) compared to fir (21.9%).

Height structure and height curves

The cumulative curves of height structure in the study stands (Figure 3) are characterized by an irregular flow with one, two or more maximums of the number of trees represented at different height classes. The height structure of SPs 1, 2, 7 and 8 are flared in shape, (more or less) asymmetrical to the right, with a clear peak at the class of 22.5 m (SP1 and SP2), and in the class of 28.5 m (SP7 and SP8).

The position of the maximum and basic flow of the cumulative curve of distribution are primarily the consequence of spruce distribution into height classes. The height structure of SPs 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 and 12 is characterized by multiple notching of the curves of distribution of trees and marked variation width, which confirms their uneven-aged structure. The appearance of two peaks in the height classes of 7.5 m (10.5 m) and a more pronounced peak at 31.5 m (28.5 m) in these sample plots clearly indicate the dominance of short to medium-high trees (correlation with the diameter structure- domination of thin and medium thick trees). The height structure of mixed forests of spruce on Mt. Kopaonik classifies them into structurally heterogeneous forests with a wide range of forms – from even-aged to uneven-aged stands (in the broadest sense). In terms of multi-functionality, and ecological stability and value, this is an important element of the value of these forests.

The height curves of spruce and fir (Figures 4 and 5) in SPs 1 and 2 were much flatter and less steep than the curves of other SPs, which is the result of the minimum share of trees with medium-large dimensions, a complete lack of trees of large dimensions and certain dynamic disturbanc-

es in these two stands. In the other stands, the curves of both tree species are grouped, with marked steepness indicating good growth in height and a positive competitive ratio of spruce and fir in these sites. Slightly steeper height curves of fir compared to spruce clearly indicate a different dependance of this species on light.

Forest productivity

As a consequence of a high forest cover percentage and significant share of trees with medium-large diameter dimensions, the average value of basal area in spruce and fir forests (Table 2) is $58.4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, with a 68.1% share of spruce and 31.9% share of fir. The volumes are in the range from 450 to $1,340 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ and indicate high productivity of the study stands, with the average volume of $776.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ and the spruce: fir mixture ratio of 69.3%: 30.7%. The current volume increment ranges from 11.2 to $21.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, with an average of $14.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, and its major part (68.1%) belongs to spruce, while fir accounts for 31.9 % of the value of this element. The absolute value of the current volume increment and the percentage increment ranging from 1.6% to 2.5% (on average 1.9%) are slightly higher in fir, which confirms the already stated high productivity of these forests. In mixed forests of spruce and fir with a small share of white pine on Mt.Zlatar, *Stojanović et al.* (2008) found an average volume of $470.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, a current volume increment of $13.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, and the increment percentage of 2.95%. In the research (*Govedar, 2005*) in the Republic of Srpska, where these forests occupy significant areas, the values of current volume increment range from 8.9 to $16.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in uneven-aged two-storey stands (with an average volume $389.0\text{--}716.3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and from 10.9 to $11.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in uneven-aged multi-storey stands (average volume of $440\text{--}507 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). In the uneven-aged, mixed forests of spruce and fir in the eastern Alps in Italy (Veneto region) the average annual increment is $6.0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ and an average volume is $350 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (*Bagnaresi et al., 2002; Grassi et al., 2003*).

On the whole, all the study stands are characterized by ecological stability and vitality, which, together with the site potentials resulted in high

productivity. The altitude of the site (1,390-1,600 m above sea level) and its features described in chapter 2.1. are suitable for the growth of both these species of trees as typical sciofita. The upper limit of fir distribution and powerful anthropogenic impacts on this type of trees exercised through past management procedures influenced spruce as the current holder of the productivity of these forests.

CONCLUSIONS

Mixed spruce and fir forests are most commonly climate regional forests located at the transition between mixed three-dominant forests of spruce, pine and beech, and pure spruce forests. Although their share in forest resources Serbia is modest, because of the high productivity, environmental stability and structural complexity, they represent its significant part. A prerequisite for the conservation of these forests, among other things, is good knowledge of their structural and production characteristics, tree species-interactions among themselves and with the site, which serves as the basis for correct planning and subsequent approach to the management of these forests. That was the main motive of these studies, that reached the following conclusions:

1. The forest cover percentage of these forests is high, and the spruce dominates in the total number of stems with 59.9%, while the share of fir is 40.1%;
2. Thin and medium-thick trees dominate, with minimal involvement of large dimension trees, and dimensional superiority of spruce. In addition, both species showed pronounced dimensional diversity;
3. Mixed forests of spruce and fir are characterized by a great variety of structural forms, from structures associated with even-aged stands to two-storey and typical multi-storey uneven-aged stands;
4. The average volume of $776.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ and the mixture ratio spruce: fir = 69.3%: 30.7%. The average value of the current volume increment is $14.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, and the increment percentage ranges in the interval 1.6% - 2.5% (1.9% on average), which indicates high productivity of these forests;

5. As a consequence of strong anthropogenic pressures on fir in the past (the primary cause), and the fact that in the studied sites on Mt. Kopaonik it is near its upper limit of vertical distribution, spruce is the current holder of productivity in these forests;
6. Because of its small share in the growing stock of Serbia, spruce can be considered a very rare and valuable tree species, which enriches forest types with its presence and indicates the preservation of natural potentials in general, especially in the case of relict communities. Therefore, the need to increase the share, conservation and protection of fir among the borders of its current distribution is emphasised, which represents a long-term task of management in these forests;
7. The main long-term tasks in the management of spruce and fir forests on Mt.Kopaonik are as follows: the conservation of structural variety and stability, the maintenance of good forest cover percentage and mixture, and increase in the share of fir in the existing growing stock (when filling gaps in these forests fir should be the priority species).

Acknowledgment: We thank the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia, which financially supported this research within the project "Sustainable management of the overall resources of forests in the Republic of Serbia" – EVNO. 37008.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bagnaresi U., Giannini R., Grassi G., Minotta G., Paffetti D., Pini Prato E., Proietti Placidi A.M. (2002): Stand structure and biodiversity in mixed, uneven-aged coniferous forests in eastern Alps, *Forestry* 75 (4): (357-364)
- Banković S., Medarević M., Pantić D. (2002): Regresioni modeli procenta zapreminskog prirasta u najzastupljenijim sastojinama četinarskih vrsta Dr.veća u Srbiji, *Glasnik Šumarskog fakulteta* 85, Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd (25-35)
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Filipović M. (2003): Zapreminske tablice za jelu na poDr.učju Nacionalnog parka Kopaonik, *Šumarstvo* 1-2, UŠITS, Beograd (27-34)
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Filipović M. (2003a): Zapreminske tablice za smrču na poDr.učju Nacionalnog parka Kopaonik, *Šumarstvo* 2-3, UŠITS, Beograd (51-60)
- Banković S., Medarević M. (2009): *Kodni priručnik za informacijski sistem o šumama Republike Srbije*, Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N., Šljukić, B., Obradović S. (2009): Šumski fond republike Srbije–stanje i problemi, *Glasnik šumarskog fakulteteta* 100, Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd (7-29)
- Govedar Z. (2005): Načini prirodnog obnavljanja mešovitih šuma jele i smrče (Abieti-Piceetum illuricum) na poDr.učju zapadnog dela Republike Srpske, doktorska disertacija u rukopisu, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd
- Grassi G., Minotta G., Giannin, R., Bagnaresi U. (2003): The structural dynamics of managed uneven-aged conifer stands in the Italian eastern Alps, *Forest Ecology and Management* 185 (3): (225-237)
- Kint V., Robert DW., Noel L. (2004): Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands, *Ecological Modelling* 180 (4): (461-476)
- Klepac D. (1956): Upotreba frekvencijskih krivulja broja stabala pri "Opisu sastojina", *Šumarski list* 11-12, Glasilo šumarskog Dr.uštva NR Hrvatske, Zagreb (357-369)
- Knežević M., Cvjetičanin R. (2003): Ekološki tipovi šuma Kopaonika (GJ "Brzečka reka", GJ "Barska reka", GJ "Samokovska reka", GJ "Gobeljska reka"), *Rukopis*, Šumarski fakultet Beogradu, Beograd
- Krstić M., Cvjetičanin R., Smailagić J., Govedar Z. (2014):** Climate-vegetation characteristics of Kopaonik mountain in Serbia, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 9 (3): (135-145)
- Matić V. (1959): Taksacioni elementi prebirnih šuma jele, smrče i bukve na poDr.učju Bosne, Radovi Šumarskog fakulteta i Instituta za šumarstvo i Dr.vnu industriju, God. II br.4, Sarajevo
- Matović B. (2006): Karakteristike mešovitih sastojina jele i smrče prašumskog porekla na Zlataru, Međunarodna naučna konferencija "Gazdovanje šumskim ekosistemima nacionalnih parkova i Dr.ugih zaštićenih poDr.učja", Jaho-

- rina-NP Sutjeska, 05-08 jul 2006, Zbornik radova (579-587)
- Matović, B. (2012): Odnosi strukture, specijskog i ekosistemskog diverziteta visokih bukovih šuma Srbije, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu-Biološki fakultet, Beograd
- Matović B. (2016): Uticaj mešovitosti na proizvodnost šuma jele i smrče na Zlataru, Šumarstvo 1-2, UŠITS, Beograd (27-38)
- Medarević M., Banković S., Pantić D., Petrović N. (2002): Distribution, conditions and management policy in mixed fir forest in Serbia, X Internationalen Jufro-Tannen Symposium am 16-20 Sept. 2002, Trippstadt (201-208)
- Medarević M. (2006): Planiranje gazdovanja šumama, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd
- Miletić Ž. (1930): Istraživanja o strukturi bukovih sastojina karaktera prešume, Šumarski list 1, Zagreb (2-9)
- Mišić V., Popović M. (1954): Bukove i smrčeve šume Kopaonika, Arhiv bioloških nauka 6: (1-2): (5-24)
- Mišić V., Jovanović - Dunjić R., Popović M., Borislavljević Lj., Antić M., Dinić A., Danon J., Blaženčić Ž. (1978): Biljne zajednice i staništa Stare planine, SANU, Pos.izd. knjiga DXI, Odelj.priir.-mat. Nauka, knjiga 49, Beograd (1-389)
- Mišić V., Popović M., Dinić A. (1985): Šume jele i smrče (Abieti-Piceetum serbicum typicum) na Kopaoniku i Zlataru u Srbiji, Glasnik Prirodnačkog muzeja u Beogradu B40: (67-73)
- Obratov D. (1992): Flora i vegetacija planine Zlatar, Doktorska disertacija, Biološki fakultet, Beograd
- Pantić D., Medarević M., Banković S., Obradović S., Šljukić B., Pešić B. (2011): Structural, production and dynamic characteristics of the strict forest reserve "Račanska Šljivovica" on Mt. Tara, Glasnik Šumarskog fakulteta 103, Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd (93-114)
- Pretzsch H. (1997): Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony, Forest Ecology and Management 97, (237-253)
- Rakićević T. (1980): Klimatsko rejoniranje SR Srbije, Zbornik radova Geografskog instituta PMF 27, Beograd (29-42)
- Smajilagić J. (1995): Klima Kopaonika, RHMZ Srbije, Beograd
- Stajić B. (2010): Karakteristike strukture sastojina i rasta stabala u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na poDr.učju Nacionalnog parka "Đerdap", Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet
- Stamenković V., Vučković M., Petković J. (1990): Proizvodnost prirodnih sastojina jele i smrče na poDr.učju regiona Titovo Užice. Unapređivanje šuma i šumarstva regiona Titovo Užice 2 - rezultati istraživanja u periodu 1985 - 1989. Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd
- Stojanović Lj., Krstić M., Medarević M., Bjelenović I. (2008): Prebirno gazdovanje u mešovitim šumama jele, smrče i bukve na Zlataru, Šumarstvo 3, UŠITS, Beograd (31-52)
- Šljukić B. (2015): Tipovi šuma Kopaonika kao ekološki osnov realnog planiranja gazdovanja - oDr. živog upravljanja šumskim ekosistemima, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd
- Tomić Z. (2004): Šumarska fitocenologija, Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd
- Tomić Z., Rakonjac Lj. (2013): Šumske fitocenoze Srbije, Priručnik za šumare, ekologe i biologe, Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura i Institut za šumarstvo Beograd, Beograd
- Čavlović J. (2013): Osnove uređivanja šuma, Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet, Zagreb
- Čuković D. (2005): Izbor optimalnog metoda uređivanja/sastojinske inventure u raznodobnim i prebirnim šumama u Republici Srpskoj, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd
- (2009): Prostorni plan područja posebne namene Nacionalnog parka Kopaonik, Službeni glasnik Republike Srbije broj 95/2009

