



UDK: 630*531:582.916.165 (497.11)
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1715099S

ЕФИКАСНОСТ КОРИШЋЕЊА ПРОСТОРА ЗА РАСТ БЕЛОГ ЈАСЕНА (*Fraxinus excelsior* L.) СА ПОДРУЧЈА МАЈДАНПЕЧКЕ ДОМЕНЕ

др Бранко Стајић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
(branko.stajic@sfb.bg.ac.rs)

MSc Ксенија Вукић, Министарство пољопривреде и заштите животне средине – Управа за шуме

MSc Живан Јањаговић, научни сарадник, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

MSc Марко Казимировић, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

Извод: У раду се анализирају развијеност и изграђеност крошњи стабала и њихова ефикасност за производњу запремине крупног дрвета на примеру једне чисте састојине белог јасена, старости 35 година. Полазећи од интеракције између елемената структуре крошњи и елемената раста стабала и састојина сагледана је економичност коришћења простора за раст и дефинисана оптимална састојинска изграђеност, што је био основни циљ овог рада. Стабла са виткијим крошњама, упркос бољем односу површине омотача и запремине крошње, производе мању запремину дрвета (недовољно развијене). Са друге стране, када се произведена запремина стабала посматра по јединици простора за раст уочено је да што је мање простора за раст то га стабло ефикасније користи за продукцију дрвета. То указује на постојање одређеног оптимума између изграђености крошњи и произведене запремине састојине. Оптимално састојинско стање са аспекта изграђености крошњи, жељеног броја стабала и запремине састојине утврђено је на бази односа између коефицијента економичности коришћења простора за раст и запремине стабала од застрте површине.

Кључне речи: економичност коришћења простора за раст, ефикасност крошњи, оптимално стање, запремина стабла и састојине, бели јасен

УВОД

Бели јасен (*Fraxinus excelsior* L.) је једна од привредно-економски и еколошки најзначајнијих врста племенитих лишћара. Висока вредност дрвета, брз пораст у младости и постизање значајних димензија у релативно кратком продукционом периоду условили су појачано интересовање за овом врстом дрвећа (Stajić 2003). Најчешће расте као примешана врста и ретко формира чисте састојине. Бели јасен својим присуством додатно обогађује шумске еко-

стеме, али представља врсту дрвећа која спада у категорију ретких и угрожених, којој је нужно посветити посебну пажњу при планском форсирању еколошких, социјалних и економских циљева газдовања шумама (Banković et al. 2009).

Неке од недоумице везане за газдовање овом врстом дрвећа су значајним делом откљоњене резултатима бројних истраживања, спроведених последњих деценија широм Европе. То се превасходно односи на сазнања о

расту и прирасту стабала и састојина у зависности од станишних услова (*Cluzeau et al., 1994; Ottorini et al., 1996; Kerr, Cahalan, 2004; Le Goff et al., 2004; Vučković et al., 2001; Stajić, 2010*) и могућност природног или вештачког успостављања чистих и мешовитих састојина ове врсте (*Kerr, 1995*). Резултати ових истраживања, али и других (*Stajić, 2004; Juodvalkis et al., 2005* итд.), допринели су стицању низа валидних информација од значаја за спровођење одговарајућих газдинских интервенција у сврху оптимизације састојинског стања у састојинама у којима је бели јасен доминирајућа врста. У начелу, резултате бројних истраживања карактеристика раста и прираста стабала белог јасена на различитим стаништима прилично детаљно су сумирали *Stajić (2003), Hein (2004), Kadunc (2004)* и *Dobrowolska et al. (2011)*.

Овде проведена истраживања обављена су на подручју Наставне базе Шумарског факултета у источној Србији, локалитет Мајданпечка домена. Наведени локалитет одликује се великим учешћем младих састојина белог јасена, састојина липе, мешовитих састојина белог јасена и липе, затим мешовитих састојина белог јасена, липе и других врста дрвећа (млеча, горског јавора, трешње, брекиње, храста китњака) итд. На овом простору је до сада вршено више истраживања карактеристика структуре и раста белог јасена (*Miščević, Stamenković 1972, 1976; Vučković et al., 2001; Stajić, 2003; Janjatović, 2012*), што истовремено представља подлогу и усмерење за даљи научно-истраживачки рад. Међутим, поред препознатог развојно-производног и биоколошког потенцијала, карактер и обим интересовања домаће шумарске струке према овој врсти дрвећа још увек је на недовољном нивоу. Оваква истраживања су од посебног додатног значаја, имајући у виду уочено и све интензивније сушење и одумирање белог јасена у задње две деценије у бројним Европским земљама (*Halmschlager, Kirisits 2008; Kraj et al., 2012*). Појава сушења белог јасена је такође уочена и на територији Србије (*Keča, 2017*). У ту сврху, резултати нових истраживања раста и прираста, као део обимног и сложеног задатка – комплексних, интердисциплинарних проучавања биокологије и економско-производних карактеристика племенитих лишћара, омогућавају добијање ква-

литетних информација од значаја за ефикасно шумарско привређивање и стварање дела неопходних предуслова за евентуално значајније враћање ове врста дрвећа у шумски фонд наших простора (*Stajić, 2003*).

Један од основних параметара за оцену нивоа фотосинтетичког учинка стабала, а тиме и произведеног прираста стабала и степена остварења производне и низа еколошких функција, јесте крошња стабла. Како крошње спадају у онај елемент структуре састојине на које шумарски оперативац може својим захватима видно и ефикасно деловати, сазнања везана за специфичности односа изграђености крошњи и осталих елемената раста представљају информације од значаја за стручну и научну шумарску јавност. Утврђивање параметара крошњи као показатеља за оцену прирасног потенцијала стабала и састојина је већ више деценија једно од веома важних питања развојно-производних истраживања у Европи (*Burger, 1939; Sommer, 1961; Schöpfer, 1986, Spiecker, 1983, 1991, Vučković 1994, Pretzsch, Schütze 2005, Wyckoff, Clark 2005; Hein, Spiecker 2008; Pretzsch 2014* итд.). Разматрајући питање структуре састојине и елементе који је чине, *Milín (1965)* је изграђеност крошњи сврстао у "споредне" елементе структуре. На сличан начин *Dubravac (1997)* констатује да је познавање структуре крошњи састојине важно за газдовање, јер од ове структуре зависе квантитативни и квалитативни прираст стабала и саме састојине. Моделовање везе између различитих елемената раста и параметара крошњи може, према *Božić et al. (2008)*, послужити и као основа за утврђивање елемената нормалности састојина (нормала).

Практични значај резултата овде проведених истраживања односи се на добијање информација о тренутном стању састојине у погледу ефикасности крошњи стабала, што представља основ за провођење одговарајућих мера неге у сврху довођења састојина у оптимално стање. Формирање и одржавање оптималног стања састојине предуслов је њеног правилног развоја, стабилности, виталности и ефикасности у испуњавању производних, еколошких и социјалних функција шуме (*Vučković et al., 2008*). Стога, циљ овог истраживања јесте утврђивање ефикасности крошњи на подручју

Мајданпечке домене и дефинисање оптималног састојинског стања са аспекта развијености крошњи и рационалног коришћења простора за раст у анализираној старости. У ту сврху је било нужно урадити следеће:

1. утврдити и размотрити величине основних елемената раста стабала белог јасена у истраживаној састојини,
2. одредити и анализирати показатеље облика и развијености крошњи стабала,
3. детерминисати оптималне односе везане за показатеље ефикасности крошњи и коришћење простора за раст и
4. извршити евалуацију добијених резултата

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Предмет истраживања је чиста састојина белог јасена на подручју Источне Србије. Састојина се налазе на подручју Мајданпечке Домене, у ГЈ „Црна Река“ у оквиру Наставне базе Шумарског факултета у Дебелом Лугу. Налази се на станишту китњака и граба (*Quercus-Carpinetum moesiacum* Rudski (40) 1945) на еутрично смеђим земљиштима на андезит-амфиболитским шкриљцима. Нагиб терена је 7°, а експозиција је југ-југозапад. Премер је обављен почетком пролећа 2013 године, при старости састојине од 35 година.

У овој састојини постављено је огледно поље величине 930 m². На огледној површини се налази укупно 172 стабала белог јасена (1850/ha), темељница износи 22,2 m²/ha, а запремина 187 m³/ha. Поред белог јасена, заступљено је и неколико стабала других врста. Огледна површина, као и остале састојине и сталне огледне површине издвојене на датом локалитету, настале су после чистих сеча у старим и девитализованим буковим, буково-храстовим шумама и шумама китњака и граба. Јасен се у овим састојинама углавном природно обновио, а на местима где природна обнова није у потпуности успела извршено је накнадно попуњавање.

За реализацију задатака истраживања коришћене су савремене методе и инструменти за мерење појединих елемената раста стабала, којим располаже Лабораторија за истраживање прираста и биомониторинг Шумарског факулте-

та у Београду. Свим стаблима је мерен обим (тачноост 0,1 cm). На нешто мање од 100 стабала (97) мерене су висине стабала и најзначајнији параметри којима се карактеришу развијености и изграђеност крошњи стабала. Утврђени су следећи елементи: полупречници крошње у правцу главних и споредних страна света ($r_N, r_S, r_E, r_W, r_{NW}, r_{SW}, r_{SE}, r_{NE}$) h – висина почетка крошње. Висина почетка крошње стабла је означена као висина на деблу где почиње прва жива грана чији врх допире до висине најширег дела крошње. Ширина или пречник крошње (b) израчунати су као двострука вредност квадратне средине измерених полупречника крошње:

$$b = 2 \cdot \bar{r} = 2 \cdot \sqrt{\frac{r_N^2 + r_S^2 + \dots + r_{NE}^2}{8}}$$

Дужина крошње (l_k) израчуната је одузимањем висине почетка крошње од укупне висине стабла:

$$l_k = h - h_{pk}$$

Релативна дужина крошње (l_k/h) израчуната је из односа апсолутне дужине крошње и висине стабла.

Висинска крива је дефинисана након тестирања неколико најчешће употребљаваних функција за изравнавање висина (h) у зависности од пречника (d), при чему се као најпогоднија показала Проданова функција:

$$h = 1,3 + \frac{d^2}{a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d^2}$$

За одређивање везе између l_k и d , као и везе између запремине стабала (v) и d коришћен је полином другог степена:

$$y = c \cdot d^2 + b \cdot d + a$$

За одређивање запремине стабала (v) коришћен је следећи модел (*Alberti et al., 2005*):

$$v = 0,404 \cdot d^2 \cdot h$$

У циљу поређења резултата, запремине стабала белог јасена (v) одређене су и запреминским моделом, који *Pantić (1996)* препоручује за пољски јасен:

$$v = 0,16166 \cdot d^{1,78003} \cdot h^{1,115947}$$

Зависности l_k/h од d представљена је линеарном функцијом:

$$lk / l = b \cdot d + a$$

Површина вертикалне пројекције крошње на хоризонталну раван – застрта површина, површина застирања (Zp) рачуната је као површина круга, чији је просечни полупречник једнак износу квадратне средине полупречника крошње мерених у осам правца:

$$Zp_{kr} = r^2 \pi$$

Зависност Zp од d приказана је експоненцијалном функцијом:

$$Zp_{kr} = a \cdot e^{b \cdot d}$$

За израчунавање запремина крошњи коришћена је формула која представља запремину параболоида (Nußlein, 1995):

$$V_{kr} = 1 / 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l_k$$

где је V_{kr} – запремина крошње [m^3], r – полупречник крошње [m], l_k – дужина крошње [m].

Однос V_{kr} и d приказан је експоненцијалном функцијом:

$$V_{kr} = a \cdot e^{b \cdot d}$$

Површина омотача крошње (S_{kr}), израчуна је формулом за површину омотача параболоида (Nußlein, 1995):

$$S_{kr} = \left(\frac{\pi \cdot r}{6 \cdot l_k^2} \right) \cdot \left((4 \cdot l_k^2) + r^2 \right)^{1,5} - r^3$$

Како би што поузданије анализирали везу између Zp_{kr} и изграђености крошње, дефинисане кроз однос њене површине омотача и запремине (S_{kr} / V_{kr}), употребљена је степена функција:

$$S_{kr} / V_{kr} = a \cdot Zp_{kr}^b$$

Запремине стабала (v) у односу на изграђеност крошњи (S_{kr} / V_{kr}) изравнате су логаритамском функцијом:

$$v = b \cdot \ln (S_{kr} / V_{kr}) + a$$

Запремина стабла по површини застирања крошње (v/Zp_{kr} – ефикасност крошње) у зависности од изграђености крошње представљена је линеарном функцијом:

$$v / Zp_{kr} = b \cdot (S_{kr} / V_{kr}) + a$$

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Структура састојине

Резултати карактеристика дебљинске структуре састојине показују да пречник најтањег стабла износи 6.1 cm, а најдебљег 20.7 cm (табела 1). Аритметички средњи пречник износи 11.9 cm. Уочљиво је, такође, да коефицијент асиметрије износи 0.30, што наводи на закључак да је код дистрибуције стабала по дебљинским степенима присутна средња позитивна асиметрија. Коефицијент спљоштености износи -1.01. Аритметички средњи пречник по површини пресека (d_g) и средњи пречник доминантних стабала (D_g) износи 12.5 cm и 17.7 cm. Наведене вредности (d_g , D_g) нису приказани у табели 1.

Табела 1. Основни статистички показатељи дебљинске, висинске и запреминске структуре састојине.

	d [cm]	h [m]	v [m^3]
Аритметички средина	11,9	15,66	0,10
Медијана	11,5	16	0,08
Мод	17,3	17,28	0,02
Стандардна девијација	3,85	1,48	0,07
Варијанса	14,8	2,18	0,01
Коефицијент спљоштености	-1,05	-0,46	-0,61
Коефицијент асиметрије	0,30	-0,69	0,72
Минимална вредност	6,1	11,66	0,01
Максимална вредност	20,7	17,55	0,27

Резултати анализе висинске структуре такође су приказани у табели 1. Средња висина стабала је 15,7 m, док минимална и максимална висина износе 11,7 m, односно 17,6 m. Коефицијент асиметрије износи -0,69, на основу чега се може констатовати да је код дистрибуције стабала по висинским степенима присутна јако изражена негативна асиметрија. Највећи број стабала (39%) заступљен је у висинском степену средине 17 m, док је у степенима средине 12 m и 18 m заступљено свега 3% стабала.

Један од најважнијих елемената структуре састојине је расподела стабала по износива запремине. Аритметички средња запремина стабала износи $0,10 \text{ m}^3$, максимална $0,27 \text{ m}^3$, а минимална запремина стабала $0,01 \text{ m}^3$ (табела 1). Евидентно је да скоро 70% стабала у састојини има запремину мању од $0,15 \text{ m}^3$, док свега 3% стабала има запремину већу од $0,25 \text{ m}^3$. Коефицијент асиметрије је позитиван ($0,72$ - јака асиметрија), за разлику од коефицијента спљоштености, који је негативне вредности (табела 1). Укупна запремина састојине односно свих стабала белог јасена износи $187 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Изграђеност и ефикасност крошњи белог јасена

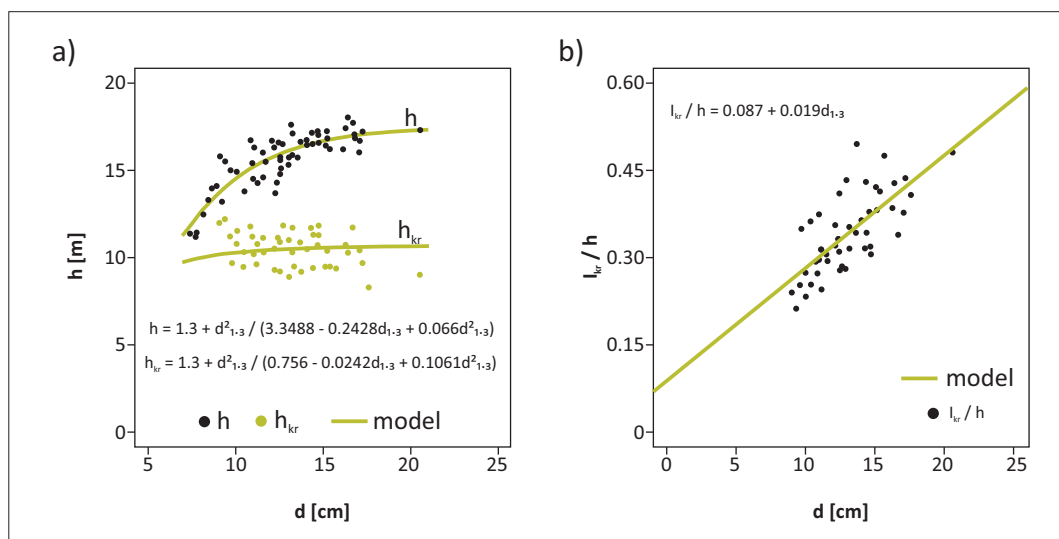
Висинска крива, крива висине почетка крошњи и дужина крошње (као простор између две наведене криве), приказани су на графико-ну 1. Приметно је да са повећањем пречника (d) "расте" висина стабла (h) и висина почетка крошњи стабала (h_{pk}), с том разликом што је h_{pk} -крива нешто положенија у односу на висинску криву. Самим тим, са повећањем пречника стабла повећава се и дужина крошње, пре свега, захваљујући интензивнијем висинском при-

расту стабала јачих пречника. Највећи број стабала (скоро 50%) има почетак крошње који се налази између 10. и 11. m висине, а само код 8% стабала почетак крошњи је испод 10 m (графикон 1). Аритметички средња висина почетка крошњи износи 10,8 m , максимални износ је 11,4 m , а минимални 9,5 m . Готово 50% од укупног броја стабала има дужину крошње између 5,5 и 6,5 m , а само 5% стабала између 2,5 и 3,5 m .

Релативна дужина крошњи (l_{kr}/h) је за разлику од висине почетка крошњи и висине стабала у линеарној вези са прским пречницима стабала (графикон 2). Права којом се изравнавају ове величине је позитивног смера, што значи да се са повећањем релативних дужина крошњи повећавају и пречници. Највећи број стабала (41%) има релативну дужину крошњи приближно једнакој трећини висине стабла, а само 2% испод једне четвртине висине стабла.

Преко 60% стабала белог јасена има површину застирања (Zp_{kr}) до 5 m^2 , док само пар стабала застире око 20 m^2 . Просечна величина Zp_{kr} у састојини износи 4,86 m^2 . Веза између d и Zp_{kr} је експоненцијалног облика (графикон 2а).

Још један врло битан показатељ прирасног потенцијала стабла који, такође стоји у уској вези са пречником стабла, јесте његова ширина



Графикон 1. Висинска крива - h и крива висина почетка крошње - h_{kr} (а) и зависност релативне дужине крошњи - l_{kr}/h од пречника стабала - d (б).

крошње (b_{kr}). Највећи број стабала (34%) има b_{kr} између 1 и 2 m, а само 1% стабала веће од 5 m. Аритметичка средина b_{kr} износи 2,23 m. Величине b_{kr} у зависности од d приказане су на графикону 2б. Уочава се да је веза којом се изравнавају ове величине експоненцијалног облика.

Повећањем пречника стабала расте и запремина крошњи – V_{kr} (графикон 2ц). Највећи проценат стабала (скоро 60%) има крошње мале запремине (до 10 m³). Само 2% стабала је са крошњама запремине између 50 m³ и 60 m³. Просечна величина V_{kr} износи 12,4 m³.

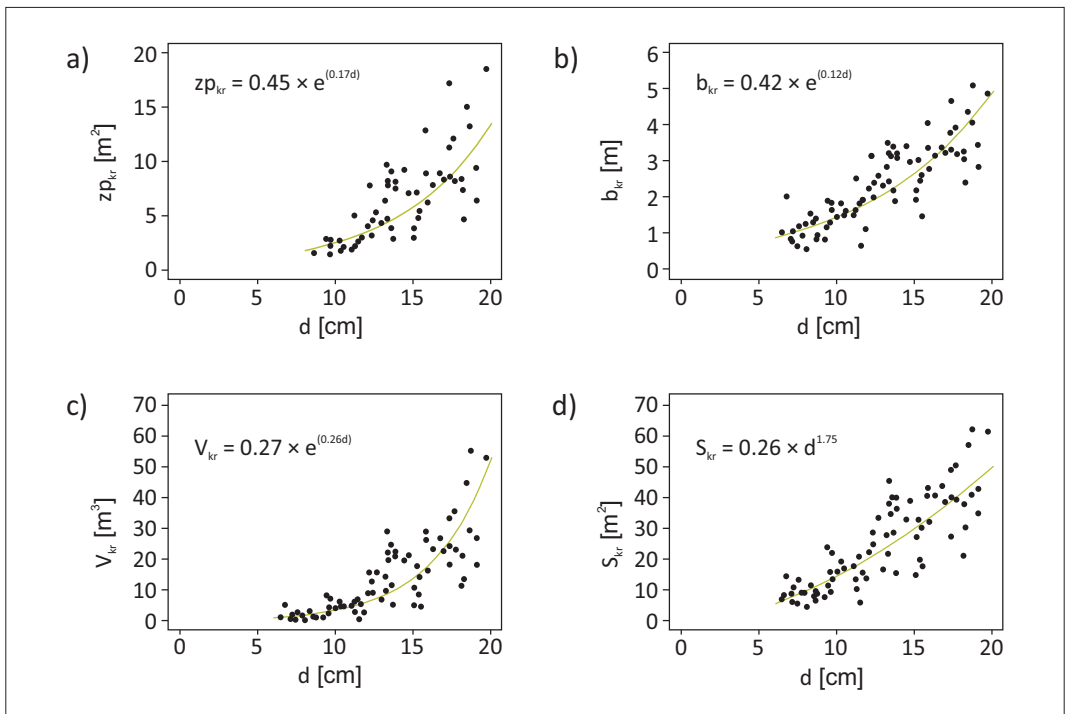
Зависност површине омотача крошње (S_{kr}) од прсног пречника (d) приказана је на графикону 2д. Уочену зависност најбоље репрезентује степена функција. Око 55% од укупног броја стабала има величине S_{kr} до 25 m². Изузетно велике S_{kr} , преко 45 m², има само 8% стабала. Просечна величина S_{kr} износи 24,2 m².

За стицање основних карактеристика изграђености крошње и њене асимилационе ефикасности, али и нивоа конкурентских услова под

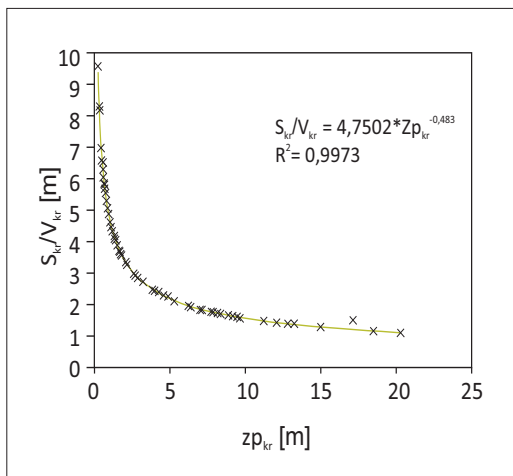
којим је одређено стабло расло, може послужити однос површине омотача крошње и њене запремине (S_{kr}/V_{kr}). Веза између Zp_{kr} и S_{kr}/V_{kr} приказана на графикону 3, показује да са повећањем Zp_{kr} опада однос S_{kr}/V_{kr} , с тим да су промене у почетку нагле, а касније све слабије изражене. Просечна величина коефицијента S_{kr}/V_{kr} износи 3,23 m²/m³.

Релација између произведене запремине стабла (v) и односа S_{kr}/V_{kr} , којим је у овом случају окарактерисана изграђеност крошњи стабала, приказана је на графикону 4а. Приметно је да је опсег растурања емпиријских података велики и да израженија зависност није уочљива. Одређени степен везе представљен је логаритамском функцијом, чији је коефицијент детерминације веома низак. Општи облик релације указује да су запремине стабала мање код виткијих крошњи.

Са друге стране, облик зависности запремине стабла по површини застирања (v/Zp) од изграђености крошње, окарактерисане одно-



Графикон 2. Зависност површине застирања (Zp_{kr}), ширине крошње (b_{kr}), запремине (V_{kr}) и омотача крошње (S_{kr}) од прсног пречника (d).

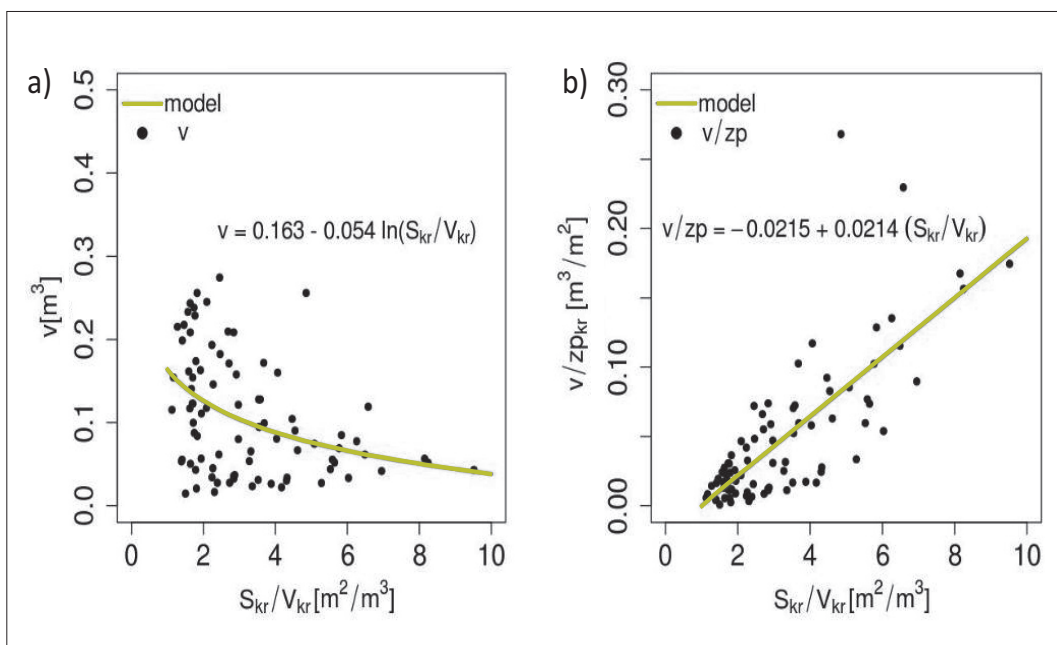


Графикон 3. Зависност коефицијента S_{kr}/V_{kr} од величине Zp .

сом S_{kr}/V_{kr} , указује на линеаран однос променљивих (графикон 4б), уз висок коефицијент детерминације ($R^2=0,59$). Код најмањих величина S_{kr}/V_{kr} износи v/Zp су мали. Како се повећава коефицијент S_{kr}/V_{kr} тако расту и износи v/Zp .

ДИСКУСИЈА

Добијени резултати показали су да је тренутно састојинско стање анализираних састојинских белог јасена, пет година након прве проредке, са више аспеката незадовољавајуће. Најважнија карактеристика дебљинске структуре односи се на релативно мало учешће стабала јачих дебљинских степена, јер свега 1% стабала има изнад 20 *cm*, док највећи проценат стабала има пречнике између 7 и 11 *cm*. Разлог за овако мале износе пречника стабала белог јасена, који се сматра брзорастућом врстом дрвећа са релативно кратким опходњама (до 80 година), јесте и изостанак на време проведених првих проредка. Услед тога, присутан је велик број стабала по јединици површине, што је условило јаку интраспецијску конкуренцију. Такође, чињеница да је средњи пречник доминантних стабала по темељници на овој површини за око 30% већи од средњег састојинског пречника по темељници, додатно указује на приличну узгојну запуштеност састојине и на велики значај потребног извођења праворе-



Графикон 4. Зависност запремине стабла (v) и произведене запремине стабла по јединици површине зазирања крошње (v/Zp_{kr}) од величине коефицијента S_{kr}/V_{kr}

мених и адекватних узгојних мера. Такав приступ резултирао би структуром у којој би димензије већег броја стабала могле бити несумњиво веће. С обзиром на познату законитост развоја дебљинске структуре једнодобних састојина може се претпоставити да ће се констатована позитивна асиметричност дистрибуције расподела стабала по пречницима све више приближавати нормалној расподели и у даљем току развоја састојине постепено прећи у негативан асиметричан распоред структуре. У овој развојној фази негативна асиметричност код дистрибуције висина је нормална појава и резултат је присутног процеса израженијег диференцирања стабала и биоеколошких особина белог јасена. Присуство већег броја нижих стабала приписује се узгојној запушености, али и способношћу јасена да под засеном у младости остане и једну деценију (Röhrig, 1966, цитирано у Stajić, 2003). Да се састојина налази у процесу израженијег диференцирања у расту показује и облик дефинисане висинске криве, при чему су утврђене значајне разлике у висинама између тањих и дебљих стабала. На основу познатих досадашњих сазнања, развој висинске структуре стабала требао би се „кретати“ у правцу да се из утврђене негативне асиметрије, преко симетричне висинске „дође“ до позитивне асиметрије у вишим старостима.

Један од основних показатеља тренутног асимилационог потенцијала стабала, развијености њихове крошње и конкурентских односа којима су стабла била изложена у прошлости представља дужина крошње (апсолутна и релативна). Мања апсолутна дужина крошње указује на мање присуство директне светлости у овом делу стабла, односно већу засену датог стабла од стране његових непосредних конкурената. Уклањањем конкурената, путем одговарајућих узгојних интервенција, долази до већег прилива светлости ка доњим гранама стабла, које тиме успевају да одрже своју физиолошку активност и активно учествују у процесу фотосинтезе. Резултати овде проведених истраживања показали су да између пречника и апсолутне дужине крошње стабала постоји нелинеарна зависност. Идући од мањих ка већим пречницима стабала, апсолутна дужина

крошње се најпре полако повећава, а затим нагло у јачим дебљинским степенима. То је и очекивано, с обзиром да стабла у тањим дебљинским степенима имају далеко мањи прилив светлости од стабала у јачим, па је самим тим одумирање доњих грана стабала доњег спрата далеко интензивније него код стабала горњег спрата. Интересантно је да се висина почетка крошње стабала не разликује много по дебљинским степенима. То је у сагласју са чињеницом „... *ga je u више мање једнодобним чисљим састојинама висина њочейка крошње часио независна од биолошкој њоложаја сѡабала...*“ (Sterba, 1991). Нелинеарна зависност констатована је и приликом сагледавања природе везе између ширине крошње и прсног пречника. Насупрот томе, већ раније више пута констатовано присуство линеарне зависности између релативне дужине крошње и пречника стабала у једнодобним састојинама врста светлости (Stamenković, Vučković 1988, Vučković 1989, Stajić 2003) потврђено је и резултатима овде проведених истраживања. Иначе, јака, скоро линеарна веза између прираста и релативне дужине крошње констатована је и у истраживањима раста и прираста у пребирним шумама (Spiecker, 1986).

Дужина и ширина крошњи представљају величине које се директно мере на терену и квантификовање веза између ових елемената развијености крошње и дебљинског, висинског или запреминског прираста стабла је од значаја за утврђивање асимилационо-прирасног потенцијала крошњи стабала. Међутим, поред њих постоји низ изведених величина још значајнијих у поступку оцене нивоа развијености и изграђености крошњи и прирасног потенцијала стабла. У те величине спадају: површина застирања крошњама (Zp_{kr}), површина омотача крошње (S_{kr}), запремина крошње (V_{kr}) и однос (S_{kr}/V_{kr}).

Површина застирања крошњама (Zp_{kr}) је величина изведена из просечне ширине крошње и представља меру ефикасности и економичности коришћења простора за раст појединачних стабала, али и целе састојине, с обзиром да се ове величине могу изразити као однос оствареног запреминског прираста или запремине стабла или састојине по јединици

застрте површине стабла или састојине. У нашој шумарској науци и струци овај параметар је довођен у однос са другим елементима раста (G , i_g , i_v , v/Z_p) и коришћен за дефинисања оптималног стања са аспекта развијености крошњи и потребног броја стабала за конкретне састојине (Stamenković, Vučković, 1988, Vučković, Stamenković, 1990, Vučković 1994, Vučković et al. 2003, Vučković, Stajić 2003, Stajić 2003, Vučković et al. 2008, Stajić, Vučković 2016). Такође, многи инострани истраживачи, Thren (1987) за бор, Spiecker (1991) за хрст, Klädke (1993) за смрчу и Wickel (1991) за дуглазију, користили су Zp_{kr} , односно стајалишну површину, као параметар за утврђивање оптималног концепта интензитета и јачине захвата прореда и дефинисање оптималног броја стабала. Овде добијени резултати потврдили су ранија позната сазнања да стабла са најјачим пречницима поседују најјаче, тј. најшире крошње, које истовремено застиру највећу површину земљишта. Стога су таква стабла заузела и највише простора за раст. Међутим, стабла која располажу превеликим простором за раст нису нити са узгојно-техничког нити продукционог становишта "жељени циљ", јер смањују квалитет дебла и умањују ниво продукције услед присуства недовољног броја стабала по јединици површине. Поред ранијих констатација, треба подвући да облик утврђене зависности Zp_{kr} и b_{kr} од d додатно упућује на узгојну запуштеност састојине, јер између стабала најслабијих и средњих димензија нема значајније разлике у величинама ових показатеља развијености крошње, за разлику од доминантних стабала.

У циљу оцене асимилационе способности крошњи стабала и њиховог капацитета за производњу прираста анализирани су и запремина крошњи (V_{kr}) и површина омотача крошњи (S_{kr}) и њихова веза за појединим елементима раста стабала. Начелно, V_{kr} игра значајну улогу у одређивању економичности коришћења простора за раст стабала, јер у доброј мери може да апроксимира количину лишћа, коју иста садржи, па самим тим и прирасну снагу појединачног стабла (Assmann, 1970; Biging, Dobbertin, 1992; Ottorini et. al., 1996). Утврђени експоненцијални облик зависности запремине крошње (V_{kr}) од прсног пречника (d) указује на сличан

облик везе као у примеру веза $d-Zp_{kr}$ и $d-b_{kr}$ и сходно томе на слично закључивање. Ипак, примена V_{kr} као репрезента прирасног потенцијала стабла повезана је са извесним ограничењима. Наиме, код већине врста дрвећа, лишће које се налази на периферним деловима крошње далеко више учествује у продукцији органске материје од лишћа које се налази у унутрашњости крошње (Stamenković, Vučković 1988, Ottorini et. al. 1996). Због ове "мане", S_{kr} је чешће коришћени показатељ прирасног потенцијала стабала од V_{kr} , посебно у случајевима кад V_{kr} садржи значајно учешће језгра крошње које је продукционо, "пасивно". Као и у низу претходних примера, зависност S_{kr} од d није линеарног облика, али облик везе је такав да је неспорно да стабла јачих димензија имају веће величине S_{kr} . То упућује на прелиминарно закључивање да су јача стабла и са већим асимилационо-прирасним потенцијалом, што је већ знана чињеница. Такође, поређењем стабала из категорије стабала која се у сређеном низу по запремини налазе на 40% од стабла са најмањом запремином и стабала која се у сређеном низу по запремини налазе на 80% од стабла са најмањом запремином утврђено је да јача стабла имају 75-100% већу способност апсорпције светлости и 25-30% већу ефикасност коришћења светлости (Binkley et al., 2013). Интересантно је апострофирати и присуство појаве хетероскедастичности у моделима, односно појаву да се са повећањем d повећава и варирање величина Zp_{kr} , b_{kr} , V_{kr} и S_{kr} .

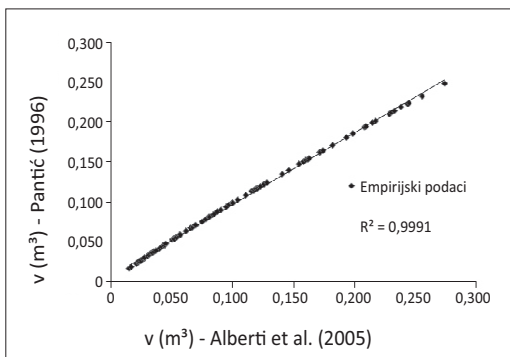
Још илустративнија варијабла од значаја за стицање основних карактеристика изграђености крошње и њене асимилационе ефикасности, али и нивоа конкурентских услова под којим је одређено стабло расло, представља однос површине омотача крошње и њене запремине (S_{kr}/V_{kr}). Овај коефицијент карактерише облик крошње (витке или здепасте крошње) и по правилу, витке крошње су "прирасно" ефикасније од здепастих крошњи. Међутим, потпуно слагање са претходним резонавањем не би било методолошки довољно коректно, јер би се у том случају могло рећи да су крошње са мањим ширинама ефикасније у стварању прираста од ширих крошњи, што често у стварности није случај. У сврху појашње-

ња релација између наведених параметара крошње и раста стабала прикладно је ставити однос S_{kr}/V_{kr} у зависност од величине површине коју крошње стабала застиру. Веза између S_{kr}/V_{kr} и Zp_{kr} показује да са повећањем Zp_{kr} опада однос S_{kr}/V_{kr} , с тим да су промене у почетку нагле, а касније све слабије изражене. Према томе, крошње белог јасена које застиру мању површину су у овом случају "прирасно" ефикасније од крошњи које застиру већу површину.

За даљу дубљу анализу ефикасности крошњи стабала белог јасена корисно је истражити како изграђеност крошњи стабла утиче на величину произведене запремине стабла. Начелно, ефикасност коришћења простора за раст се традиционално карактерише преко запремине или прираста запремине стабла по јединици површине застирања (Assmann, 1961; Sterba, Amateis 1998). Стога је врло илустративно анализирати однос S_{kr}/V_{kr} , као показатеља изграђености крошњи, са једне стране и произведене запремине (v), са друге стране. Због значаја тачног утврђивања износа запремине стабала за појашњење уочених зависности, величине запремине стабала, поред једног начина, израчунате су и на бази другог модела (графикон 5). Резултати поређења показују да постоји висок степен корелације ($R^2=0,99$) између износа запремина стабала белог јасена добијене моделима Alberti et al. (2005) и Pantića (1996). Минималне разлике између величина запремина према предложеним моделима уочавају се до прсног пречника од око 11

cm (већи износи код модела Alberti et al. (2005)), које након тога нестају. Сигнификантност уочених разлика тестирана је t -тестом. Добијени резултати ($p<0,001$) показали су да не постоје статистички значајне разлике у износима запремина.

Након тога, анализирана је природа релација између изграђености крошњи стабла и величини произведене запремине стабла. У начелу, асимилационо-прирасна способност крошњи појединачних стабала се у великој мери разликује у зависности од тога да ли се остварена запремина посматра у апсолутном или релативном односу. Утврђене релације између произведене запремине стабала (v) и односа S_{kr}/V_{kr} , којим је у овом случају окарактерисана изграђеност крошњи стабала, показују да је опсег растурања емпиријских података велики и да израженија зависност није уочљива. Ипак, општи облик релације указује да су запремине стабала мање код виткијих крошњи. Са друге стране, када се посматра зависност произведене запремине стабла по јединици површине застирања крошње - v/Zp (показатељ ефикасности крошње) и коефицијента S_{kr}/V_{kr} (показатељ изграђености крошње) уочава се линеаран однос променљивих (графикон 5), уз висок коефицијент детерминације ($R^2=0,59$), што наводи на закључивање да што је повољнији однос између S_{kr} и V_{kr} то је и ефикасност крошње у производњи запремине дрвета по јединици површине већа.



Графикон 5. Корелација запремина стабала белог јасена добијених употребом два различита модела.

Модел оптималне састојинске изграђености са аспекта развијености крошњи и оптималног коришћења простора за раст

Величина и облик крошњи стабала резултат су дејства фактора средине и капацитета стабала да користе расположиве ресурсе (светлост, хранљиве материје, воду, најквалитетније делове педолошког супстрата итд.) од значаја за њихов неометан и успешан раст и развој. За стабла која расту у шумским састојинама, доступност наведених фактора раста производ је интра- (у чистим састојинама) или интерспецијске (у мешовитим састојинама) конкуренције.

Као прикладан параметар, који може послужити као лакше мерљива величина и практична замена за "располагање ресурсима", може послужити површина која је доступна стаблима за раст или тзв. простор за раст (Pretzsch, 2009). Управо стога, простор за раст стабала се, у најширем смислу, може односити на доступност свих расположивих ресурса неопходних за раст и опстанак неког стабла у датим станишним условима (O'Hara, 1988; Foli et al., 2003). У практичном смислу, простор за раст једног стабла је ограничен, са доње стране, површином земљишта (ако не посматрамо недовољно истражене односе испод површине земље) или слојем земљишта или геолошком подлогом до које допиру коренове гране и границе), са бочне стране крошњама најближих суседних стабала, а са горње стране крошњама стабала (у случају прекривености крошњама околних стабала) или неограничен (Assmann, 1961; Stamenković, Vučković, 1988). На сличан начин, простор за раст стабла изнад површне земљишта Stajić и Vučković (2016) описују као део простора ограничен висином стабла и крошњама суседних стабала.

У ту сврху, у циљу стварања објективних критеријума и јединствених стручних поступака за обезбеђивање услова за развој виталних стабала високог квалитета и жељених димензија и рационално коришћење производног потенцијала и других ресурса (људски рад, механизација, финансијска средства...) неопходно је дефинисати стратегију регулисања простора за раст (Vučković, 1994). За примену у оперативи, али и за различите научне сврхе, основа поменуте стратегије садржана је у неопходности квантификовања потребне величине простора за раст које сваком стаблу треба стојати на располагању за његов успешан раст. То конкретно значи да је потребно наћи ону оптималну величину крошње, која ће производити максималну количину запремине по јединици површине састојине. Наведени оптимум најчешће се налази се између предоминантних и кодоминантних стабала, с обзиром да прва нису увек "оптимално" ефикасна у коришћењу доступних ресурса, док друга немају довољно достигнуте димензије крошњи, како би исте те ресурсе искористила у производњи веће запремине. Један од могућих начина за утврђи-

вање "ни велике ни мале", већ оптимално изграђене крошње, предочен је на графикону 6. На поменутом графикону илустрована је "крива оптимума", која приказује зависност остварене запремине стабала по површини застирања од изграђености крошње, исказане преко Zp . Однос остварене запремине стабла по површини застирања (v/Zp) Vučković и Stajić (2003) називају *количником економичности коришћења простора за раст*.

На основу најповољнијег односа

$$\frac{v / Zp}{Zp}$$

утврђено је да у истраживаној састојини оптимална површина застирања једног доминантног стабла износи $9,1 \text{ m}^2$ (графикон 6а), односно да стабла са крошњама које имају крошње шире од $3,4 \text{ m}$ нерационално користе простор за раст. Колико би развијеност и изграђеност крошњи стабала, а са тим вероватно повезане и карактеристике прираста, могле бити повољније при овако пројектованом оптимуму, јасно је видљиво из чињенице да затечена просечна величина ширине крошње износи свих стабла износи $2,23 \text{ m}$, а стабала из горњег спрата $2,90 \text{ m}$. Да се ради о несумњиво слабо развијеним крошњама стабала из горњег спрата уочљиво је и ако се упореде овде утврђене величине крошњи са резултатима других сличних истраживања. На пример, Sperlich (2010), наводи да код белог јасена, старости 20 година, просечна ширине крошње стабала будућности износи $3,2 \text{ m}$!

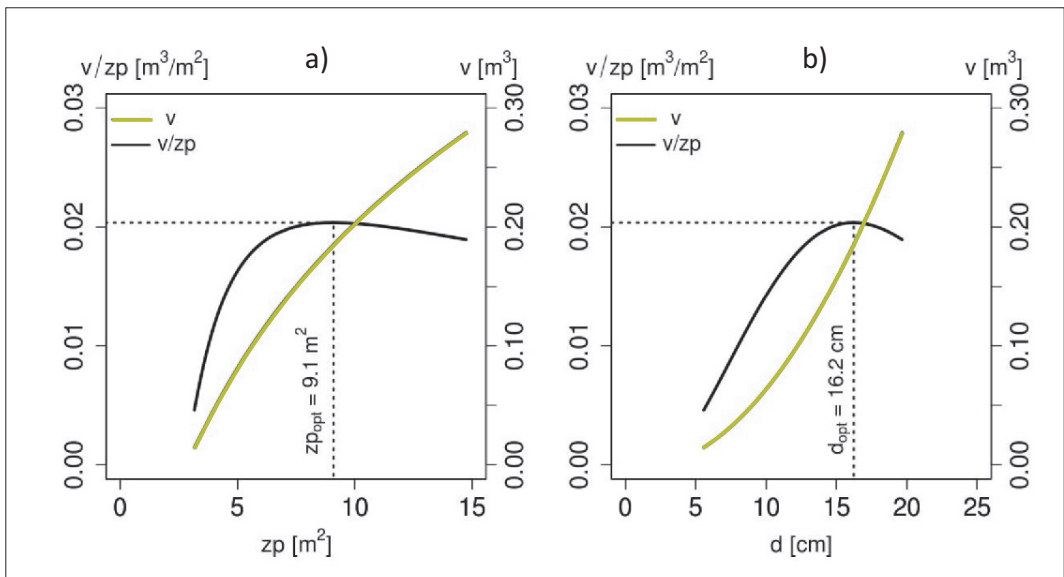
Овако утврђеној оптималној величини крошње, уз просечан коефицијент застирања на нивоу састојине (85%), одговара 934 стабла по 1 ha у горњем спрату. При овако пројектованом броју стабала само у горњем спрату запремина састојине износила би 173 m^3 , што је приближно једнако утврђеној запремини ове састојине, сачињеној од стабала свих биолошких положаја (187 m^3). Међутим, укупна оптимална запремина састојине (сва стабла) била би сигурно већа и ако се узме само постојећи однос запремине стабала горњег спрата – 60% најјачих стабала и запремине осталог дела састојине – 40% осталих стабала (79% : 21%), па би на тај начин одређена укупна оптимална запремина могла износити и до $212 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Како је већ назначено, тренутни показатељи састојинског стања и постигнутих величина елемената раста делом су резултат и проведене јаке прореди, извршене 5 година пре овде презентованих резултата (у старости састојине од око 30 година). На основу окуларно извршене анализе динамике ширења крошњи и њима прекривеног укупно расположивог простора за раст у протеклих 5 година и поређењем са стањем непосредно пре прореди, може се, неспорно, уочити прилично слабо повећање крошњи и спор "опоравак" белог јасена у датом периоду. То значи да стабла која су у састојини преостала након проведене прореди, нису још довољно увећала своје крошње и на тај начин у потпуности искористила пун "просторни потенцијал" у производњи запремине. Стога се може рећи да је затечена запремина могла бити нешто и већа од утврђене, имајући у виду да се радило о непотпуно склопљеној састојини. Имајући у виду претходно, може се извести закључак да је тренутна запремина састојине доста блиска дефинисаној оптималној од око 212 m^3 и да ће се до момента потпуне склопљености крошњи стабала још више приближити том износу. Међутим, евентуално "присуство" пројектованог оптималног броја стабала

из горњег спрата уместо затеченог имало би за последицу знатно бољу структуру ових стабала по дебљини. Наиме, када би уместо сада присутних 1110 стабала из горњег спрата хипотетички било 934 стабла по ha , средњи пречник стабала из горњег спрата у том случају износио би $16,2 \text{ cm}$, за разлику од затеченог – $14,4 \text{ cm}$ (графикон 6b).

ЗАКЉУЧЦИ

Овде добијени резултати на бази посматрања односа површине омотача крошњи по јединици њихове запремине су показали да је могуће донети основне назнаке о ефикасности коришћења простора за раст стабала белог јасена и начину коришћења доступне светлости по јединици запремине крошњама заузетог простора. Већа површина омотача по јединици запремине крошње, односно већи износ коефицијента S_{kr}/V_{kr} , значи и већу изложеност крошње директној светлости и мање учешће језгра крошње у укупној запремини крошње. Стога, када се оптимална изграђеност састојине посматра са аспекта изграђености крошњи стабала, исказане преко S_{kr}/V_{kr} , онда се наве-



Графикон 6. Зависност коефицијента економичности коришћења простора за раст (v/zp) и запремине стабала (v) од застрте површине (Zp) и прсног пречника (d) стабала.

дени оптимум очекује код оних стабала где је тај однос повољнији. С тим у вези, евидентно је да крошње које застиру мању површину (витке крошње) имају повољнији однос површине омотача и запремине крошње од оних дзепастих.

Међутим, у циљу давања генералних препорука о ефикасности коришћења простора за раст белог јасена у овој састојини неопходно је сагледати како развијеност и изграђеност крошњи стабала модификују ниво произведене запремине, како појединачних стабала, тако и запремину састојине. Може се закључити да су запремине стабала мање код виткијих крошњи, с обзиром да се исте налазе у неповољном окружењу и као такве, упркос бољем односу површине и запремине омотача крошње, производе мању запремину стабла. Али када се произведена запремина стабла посматра по јединици простора за раст које то стабло заузима у састојини, утврђено је да крошње стабала белог јасена које застиру мању површину су у овом случају "прирасно" ефикасније од крошњи које застиру већу површину. Другим речима, што је мање простора за раст неког стабла то га оно, у овом случају, ефикасније користи за продукцију дрвета. Дакле, ако се посматра произведена запремина на нивоу састојине, онда се може закључити да ће састојина имати већу запремину по хектару ако су у питању стабла са виткијим крошњама. Са друге стране, мора се назначити да крошње не смеју бити ни "премале", како би обезбедиле довољну количину лишћа и тиме економично коришћење простора за раст састојине. То значи да се као поуздан показатељ асимилационо-прирасног потенцијала крошњи не могу сматрати само наведени S_{kr}/V_{kr} однос и његове релације са произведном запремином појединачних стабала, без истовременог увида у величину крошње, биолошки положај стабла унутар састојине и њиховог посматрања на нивоу састојине. То указује на постојање одређеног оптимума између произведене запремине по хектару и изграђености крошњи. На основу релација између произведене запремине по хектару и изграђености крошњи констатовано је да, након 5 година од проведене проредје, по питању постигнуте запремине и броја стабла из горњег спрата затечено стање није превише

"удаљено" од оптималног. Међутим, на успостављање овако пројектованог оптимума значајно се закаснило, што има негативне консекуенце на изграђеност крошњи и величине елемента раста стабала. Па тако, хипотетички речено, у случају да кад би стабла из горњег спрата у овој старости имала нешто развијеније крошње (оптималне) од емпиријских, практичан резултат би била јасно повољнија структура стабала по пречнику, са у просеку скоро 2 cm дељим стаблима!

Имајући све претходно у виду, мора се подвући, да је простор за раст, уз услове станишта и генетску конституцију стабла, основни фактор који одређује његову виталност и прираст. Стога је разумљиво да успешно (рационално) газдовање претпоставља избор најповољнијег простора за раст за носиоце продукције - стабла будућности и стабла из горњег спрата у свакој фази развоја састојине. За практичну примену, шумарској оперативи је неопходан јединствен поступак при регулисању простора за раст стабала, базиран на нумеричким упутствима и независан од тога ко га у стварности изводи. Управо у овом раду примењени поступак утврђивања економичности коришћења простора за раст користи низ критеријума, захваљујући чијој јасноћи и јединствености примене, је могуће реално сагледати питање оптималног располагања простором за раст појединачних стабала и састојине. Треба напоменути да овде добијени резултати представљају део "спектра резултата" насталих провођењем специфичног поступка дефинисања оптималне изграђености састојина на просторима Републике Србије, који не подразумева дугорочна истраживања за добијање применљивих резултата. Поступак је производ вишедеценијског рада посленика раста и производности шума са Шумарског факултета у Београду, чији досадашњи резултати треба да послуже да се начелна општа сазнања о потребној величини "ни малих ни великих крошњи" стабала различитих врста дрвећа конкретизују кроз јасно дефинисане норме. На тај начин би се апстрактно начело о настојању да се обезбеде најбољи услови за максималну продукцију стабала и састојина са квантитативног и квалитативног аспекта трансформисало у реалну нор-

му, којом се дефинише колики простор за раст је потребан да би се произвео одређени прираст! Суштина је да се при том увек зна због чега и за колико се одређени критеријум

може или треба мењати, што омогућује развијање различитих сценарија управљања прирастом стабала, и наравно, што је још значајније, прирастом на нивоу састојине.

GROWING SPACE EFFICIENCY OF EUROPEAN ASH (*Fraxinus excelsior* L.) IN THE REGION OF MAJDANPEČKA DOMENA

Dr. Branko Stajić, associate professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry (branko.stajic@sfb.bg.ac.rs)
MSc Ksenija Vukić, The Ministry of Agriculture and Environmental Protection - Forest Directorate
MSc Živan Janjatović, research associate, University of Belgrade – Faculty of Forestry
MSc Marko Kazimirović, teaching assistant, University of Belgrade – Faculty of Forestry

Abstract: This paper reports on the size and completeness of tree crowns and their effectiveness for the production of wood volumes in the case of a pure 35-years European ash stand. Starting from the interaction between the elements of the crowns structure and elements of the tree and stand growth the economical use of growing space was perceived and the optimal stand state was also defined, what were the main objectives of this paper. The trees with slender crowns, despite their better ratio of the surface area/volume of the crown, produced lower wood volume (undeveloped crowns). On the other hand, when the produced stem volume was analyzed per unit growing space it was observed that the less space for tree growth the more effectively it was used for the production of wood volume. This indicated the existence of a certain optimum between the crowns and produced volume stands. The optimal stand state in terms of crown structure, the desired number of trees and stand volume was determined based on the relationship between the coefficient of the economy of growing space utilization and volume of trees and crown projection area.

Key words: economical use of growing space, crowns efficiency, optimal stand state, stem and stand volume, European ash

INTRODUCTION

European ash (*Fraxinus excelsior* L.) is one of the economically and ecologically most important species of noble broadleaved trees. High value wood, rapid growth increase in youth and achieving useful dimensions in a relatively short growth period caused the increased interest in this type of trees (Stajić 2003). Most often it grows in admixture with beech and oaks and rarely form pure stands. With its presence European ash further enriches forest ecosystems, but it belongs to the category of rare and endangered tree species. So, it is necessary to pay special attention during a promotion of environmental, social and economic goals of forest management planning (Banković et al. 2009).

Some of the uncertainties related to this tree species management are significantly remedied by the extensive research conducted in recent decades throughout Europe. This primarily refers to the knowledge of the growth and increment of trees and stands, depending on site conditions (Cluzeau et al., 1994; Ottorini et al., 1996; Kerr, Cahalan, 2004; Le Goff et al., 2004; Vučković et al., 2001; Stajić, 2010) and the possibility of natural or artificial establishment of pure and mixed stands of this tree species (Kerr, 1995). The results of these studies as well as other (Stajić, 2004; Juodvalkis et al., 2005, etc.) have contributed to the acquisition of a series of valid information relevant to the implementation of appro-

appropriate management interventions in stands in which European ash is the most dominant tree species. In principle, the results of numerous studies of the growth and increment characteristics of European ash in different sites conditions are summarized in quite a lot of detail by Stajić (2003), Hein (2004), Kadunc (2004) and Dobrowolska et al. (2011). This study was performed in the area of Belgrade Faculty of Forestry's Teaching Base positioned in Eastern Serbia, Majdanpečka domain location. The aforementioned locality is characterized by a large share of young pure European ash and lime tree stands as well as the mixed stands of European ash, lime and other tree species (Norway maple, sycamore, Wild cherry, Wild service tree, sessile oak etc.). In this area, some studies on the structure and growth of European ash stands are still being conducted (Mišćević, Stamenković 1972, 1976; Vučković et al., 2001; Stajić, 2003; Janjatović, 2012), which is both a foundation and direction for further scientific work. However, despite the recognized production and bio-ecological potential, character and extent of interests of our forestry profession regarding this tree species is still at an insufficient level. Such studies are of particular additional importance, given the observed and more intense drying of European ash in the last two decades in many European countries (Halm-schlager, Kirisits 2008; Kraj et al., 2012; Pušpure et al. 2017). The appearance of European ash dying was also observed in Serbia (Keča, 2017).

Tree crown represents a fundamental parameter for the estimation of the level of photosynthetic activities, and hence the produced increment and the degree of achievement of production and ecological functions. As crowns belong to the element of stand structure in which forestry operative interventions can be visible and efficient to operate, the findings relating to information between the crowns and other elements of growth are the knowledge of particular importance for professional and scientific forestry public. For this reason, determining the parameters of the crown as an indicator for assessing the trees and stand increment potential have been for decades one of the most important issues in forest growth researches in Europe (Burger, 1939; Sommer, 1961; Schöpfer, 1986; Spiecker, 1983,

1991, Vučković 1994, Pretzsch, Schütze 2005, Wyckoff, Clark 2005; Hein, Spiecker 2008; Pretzsch 2014 etc.). Considering the issue of stand structure and the elements that comprise it, Milin (1965) classification of crown structure as the "collateral" stand structure parameters. Similarly, Dubravac (1997) noted that knowledge of tree crown structure is important for forest management, because the quantitative and qualitative increment of trees and stands depend on this structure. Modelling of a connection between various elements of growth and crown parameters, according to Božić et al. (2008) can serve as the basis for determining the normality of stand elements (normals).

The practical significance of the research conducted here refers to obtaining information about the current stand situation in terms of efficiency of European ash tree crowns, which is the basis for the implementation of appropriate silvicultural measures for the purpose of "bringing" of the studied stand close to the optimal state. Generally, establishing and maintaining the optimal state of stands is a prerequisite for their proper development, stability, vitality and efficiency of the fulfilling of production, environmental and social functions of forests (Vučković et al., 2008). Hence, the aim of this study is to determine the efficiency of European ash crowns in the Majdanpečka domena area and define the optimal stand state in terms of crown dimensions and rational use of growing space in the analyzed age. For this purpose it was necessary to do the following:

1. identify and consider the values of the basic growth elements of ash trees in the investigated stand,
2. determine and analyze indicators of form and size of tree crowns,
3. define the optimal relationships-related indicators of the efficiency of crown and use of growing space,
4. evaluate the obtained results.

MATERIAL AND METHOD

The subject of this research is pure European ash stand (age of 35) in Eastern Serbia. The stand is positioned in the area of Majdanpečka Dome-

na, in MU "Crna Reka" within the Faculty of Forestry's Teaching bases. Natural vegetation would be a *Quercus-Carpinetum moesiaticum* Rudski (40) 1945, on eutric-brown soils on andesite-amphibolite schists. Slope and exposure are 7° and southern-southern west, respectively.

In this stand the sample plot of size of 930 m² was set up. Stand density was 1850 ashes/ha (172 trees on the plot), stand basal area averaged to 22.2 m²/ha and the total stand volume was 187 m³/ha. In addition to European ash, several stems of other tree species are also represented. The sample plot as the other stands and the permanent sample plots allocated to a given locality, were formed after the clear cutting of the old and devitalized stands of beech, oak-beech and sessile oak-hornbeam. Ash was in the stands mostly naturally regenerated and in areas where natural regeneration is not fully succeeded the additional planting was performed.

For the realization of the planned research tasks modern methods and instruments for measuring the individual elements of tree and stand growth were used, in possession of the Laboratory for increment and biomonitoring from the Faculty of Forestry in Belgrade. Circumference of all trees was measured with the accuracy of 0.1 cm. For slightly less than 100 trees (97) tree heights (*h*) and the most important parameters characterizing the form and size of tree crowns were measured. The following tree crown elements were identified: crown radius (8 crown radii per tree - N, NE, ...SW) and crown base height (*h_{pk}*). Crown base height was marked as the point on a stem where the first living branch whose peak reaches the height of the widest part of the crown is positioned. Calculation for the crowns width or crowns diameter (*b*) is based on the quadratic mean radius:

$$b = 2 \cdot \bar{r} = 2 \cdot \sqrt{\frac{r_N^2 + r_S^2 + r_E^2 + r_W^2}{4}}$$

Crown length (*l_{kr}*) was determining using the formula:

$$l_k = h - h_{pk}$$

The relative crown length (*l_{kr}*/*h*) is calculated from the ratio of crown length to tree height.

Height curve was determined after testing several most commonly used functions for the fitting of tree heights (*h*) in relation to diameters (*d*), wherein as the most suitable Prodan function was finally applied:

$$h = 1.3 + \frac{d^2}{a_0 + a_1 \cdot d + a_2 \cdot d^2}$$

For the determination of relationship between *l_{kr}* and *d*, and between the volume of trees (*v*) and *d* a polynomial of the second degree was used:

$$y = c \cdot d^2 + b \cdot d + a$$

To determine *v* the following allometric function was applied (Alberti et al., 2005):

$$v = 0.404 \cdot d^2 \cdot h$$

In order to compare the results, the volume of white ash trees (*v*) is determined additionally after the Pantić (1996) volume model recommended for narrow-leafed ash:

$$v = 0.16166 \cdot d^{1.78003} \cdot h^{1.115947}$$

The surface of vertical crown projection on the horizontal plane—crown projection area (*Z_{p,kr}*) is calculated as the area of a circle whose radius is equal to the average root mean square radius of the crown measured in 8 directions:

$$Z_p = r^2 \pi$$

The dependence of *Z_p* on *d* was presented using the exponential function:

$$Z_p = a \cdot e^{b \cdot d}$$

For calculating the tree crown volume (*V_{kr}*) we used a formula that represents the volume of the paraboloid (Nußlein, 1995):

$$V_{kr} = 1 / 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot l_k$$

The relationship between *V_{kr}* and *d* was illustrated using the exponential function:

$$V_{kr} = a \cdot e^{b \cdot d}$$

Crown surface area (*S_{kr}*), was calculated as the surface area of paraboloid (Nußlein, 1995):

$$S_{kr} = \left(\frac{\pi \cdot r}{6 \cdot l_k^2} \right) \cdot \left((4 \cdot l_k^2) + r^2 \right)^{1.5} - r^3$$

Power function was applied for the most reliable representation of the relationship between Zp_{kr} (CPA - crown projection area) and crown development defined through the ratio between crown surface area and crown volume (S_{kr}/V_{kr}):

$$S_{kr} / V_{kr} = a \cdot Zp^b$$

The dependence between stem volume (v) and crown development characteristic (S_{kr}/V_{kr}) was modelled by logarithm function:

$$v = b \cdot \ln(S_{kr} / V_{kr}) + a$$

The ratio between stem volume and crown projection area (v/Zp - crown efficiency) was fitted by the linear model in dependence to crown development characteristic (S_{kr}/V_{kr}):

$$v / Zp = b \cdot (S_{kr} / V_{kr}) + a$$

RESULTS

Stand structure

The results of stand diameter structure show that minimum and maximum values of stem diameters are 6.1 cm and 20.7 cm, respectively (Table 1). Arithmetic mean diameter amounts to 11.9 cm. The coefficient of asymmetry is 0.3 indicating that diameter distribution has positive skewness. A kurtosis coefficient of diameter distribution is 1.01. Quadratic mean diameter (dg) and quadratic mean diameter of dominant trees (Dg) are 12.5 and 17.7 cm, respectively.

Table 1. Summary statistics of the main stand structure parameters.

	<i>d</i> [cm]	<i>h</i> [m]	<i>v</i> [m ³]
Arithmetic mean	11.9	15.66	0.10
Median	11.5	16	0.08
Modus	17.3	17.28	0.02
Standard deviation	3.85	1.48	0.07
Variance	14.8	2.18	0.01
Kurtosis	-1.05	-0.46	-0.61
Skewness	0.30	-0.69	0.72
Minimum value	6.1	11.66	0.01
Maximum value	20.7	17.55	0.27

Characteristics of height stand structure are also presented in Table 1. The measured trees are distributed in one meter height classes. Arithmetic mean stand height is 15.7 m, while minimum and maximum tree heights amount to 11.7 and 17.6 m, respectively. The largest number of trees (39%) has heights between 16.6 m and 17.5 m (17 m height class), while only 3% of trees are located in the height classes of 12 m and 18 m.

Stand volume and its distribution per trees are quite important structural characteristics of a stand. The average, maximal and minimal stem volumes are 0.10 m³, 0.27 m³ and 0.01 m³, respectively (Table 1). It is evident that almost 70% of trees in the stand have volumes lower than 0.15 m³, while only 3% of trees have volumes higher than 0.25 m³. The whole stand volume (volume of all ash trees) is equal to 187 m³/ha.

Crown development and efficiency of white ash

Stand height-diameter curve, height to crown base and crown length curves (as area between these curves) are shown in Figure 1. It is evident that with larger diameters the greater are tree heights (h) and heights to crown base (h_{pk}), with the difference, that curve of crown base (h_{kr}) is less steeper than the height-diameter curve (h). Accordingly, with larger diameter, crown length increasing first of all owing to very intensive height increment. In the largest number of trees (almost 50%) crown base is located between 10 and 11 meters and only 8% of trees have the height of crown base below 10 meters (Figure 1). Arithmetic mean of crown base heights is 10.8 m, maximum and minimum is 11.4 and 9.5 meters respectively. Almost 50% of trees have crown lengths between 5.5 and 6.5 meters, and only 5% of trees between 2.5 and 3.5 meters.

Opposite to tree heights and crown base heights, relative crown length shows positive linear relationship to diameter (Figure 1a.). The largest number of trees (41%) has relative crown length approximately equal to one-third, while only 2% of trees have below one-fourth of tree height.

More than 60% of white ash trees have crown projection area up to 5 m², while only a few trees have crown projection area near 20 m². Average

stand crown projection area (Zp_{kr}) amounts $4.86 m^2$. The relationship between d and Zp_{kr} has exponential form (Figure 2a).

Crown width (b_{kr}) is another important representative of tree growth potential, being in very close relation to stem diameter. The largest num-

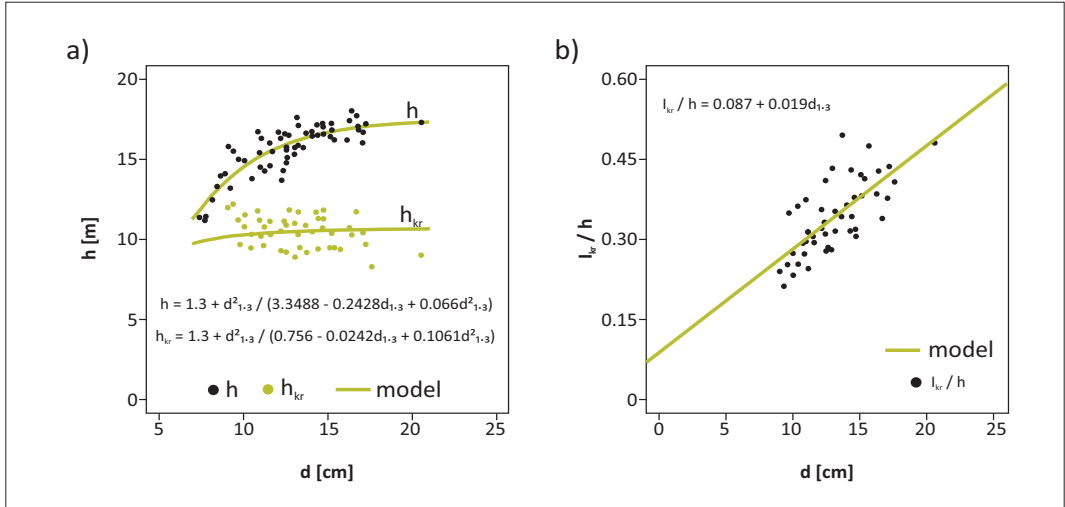


Figure 1. Dependence of height, height of crown base (a) and relative crown length (b) on breast height diameter.

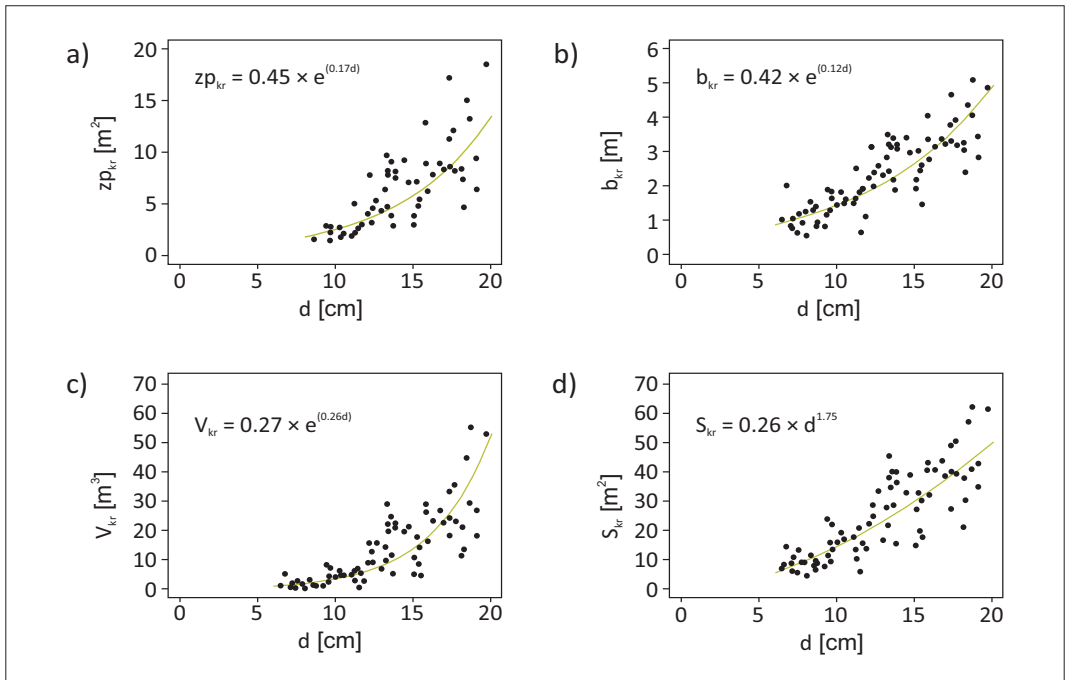


Figure 2. The relationship between stem diameter (d) and some tree crown characteristics (crown projection area- Zp_{kr} , crown width- b_{kr} , crown volume- V_{kr} and crown surface area- S_{kr}).

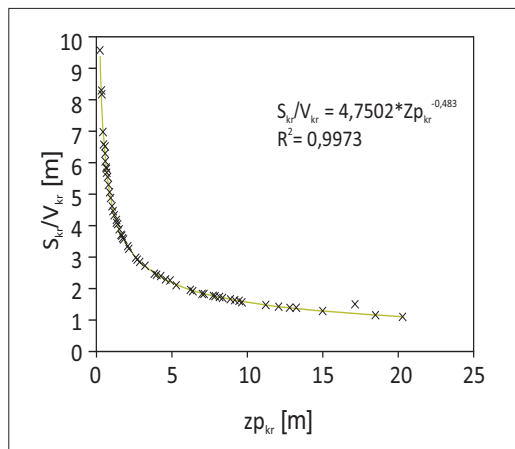


Figure 3. Dependence of S_{kr}/V_{kr} ratio on Zp_{kr} .

ber of trees (34%) b_{kr} range between 1 m and 2 m, and only 1% of trees have crown width greater than 5 m. The arithmetic mean of b_{kr} amounts to 2.23 m. The exponential form of the relationship between b_{kr} and d is presented graphically in Figure 2b.

With the largest diameters tree crowns volume (V_{kr}) increase too (Figure 2c). The greatest

portion of trees (almost 60%) has crowns of small volume (up to 10 m^3). Only 2% of trees have the crown volume between 50 m^3 and 60 m^3 . The average stand crown volume of trees is 12.4 m^3 .

The dependence of crown surface area (S_{kr}) on stem diameter (d) is presented in Figure 2d. This relationship was represented by the power function. Approximately 55% of trees in a stand have S_{kr} up to 25 m^2 . Very large values of S_{kr} (above 45 m^2) have only 8% of trees. Average stand crown surface area amounts to 24.2 m^2 .

To gain the basic knowledge about crown size and their assimilation efficiency, the information on the ratio between crown surface area and crown volume (S_{kr}/V_{kr}) could be very helpful. Relations between Zp_{kr} and S_{kr}/V_{kr} presented in Figure 3, show the reverse direction with the exception that for smaller Zp_{kr} values the determined changes are more evident than for larger ones. The average value of S_{kr}/V_{kr} ratio is 3.23 m^2/m^3 .

Figure 4a shows the relationship between produced stem volume (v) and S_{kr}/V_{kr} ratio, which in this case represent the required crowns characteristic. The presence of great scattering of empirical data may be noted around the regression

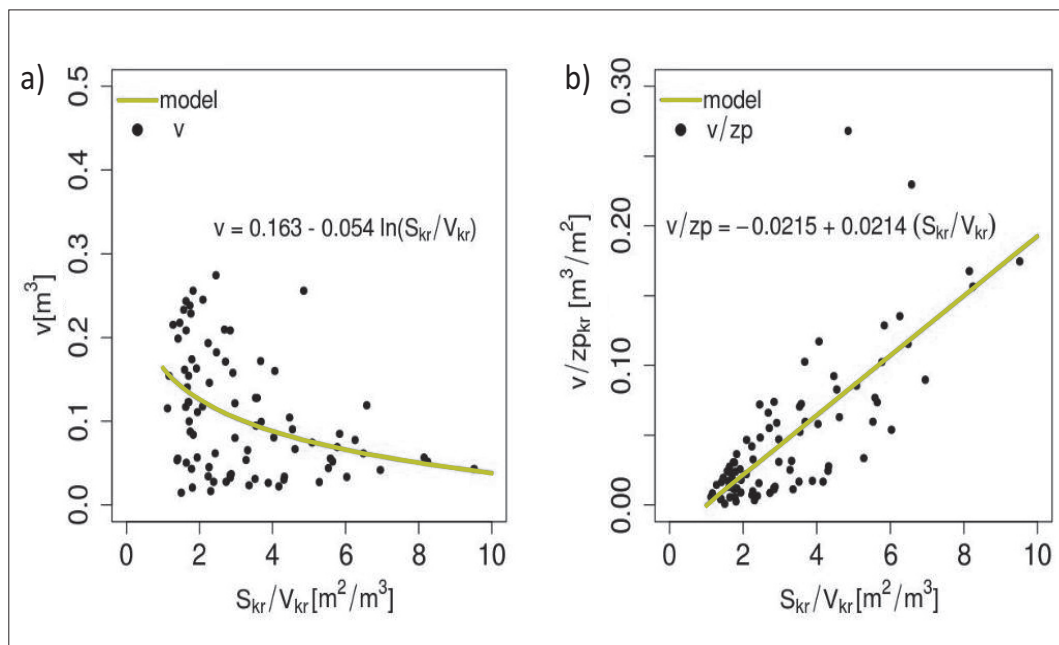


Figure 4. Dependence of stem volume (v) and stem volume per crown projection area (v/Zp_{kr}) on S_{kr}/V_{kr} ratio

line and consequently very weak dependences between these variables. In spite of that, a certain degree of dependence can be presented by the logarithm function with a very low coefficient of determination. The general course of this relation indicates lower stem volume with a greater S_{kr}/V_{kr} ratio.

On the other hand, there is strong linear relationship between v/Zp_{kr} and S_{kr}/V_{kr} ratio (Figure 4b), with a high coefficient of determination ($R^2=0,59$). Tree volume per crown projection area (v/Zp) is lower for trees with slender crowns, viz. with a lower S_{kr}/V_{kr} value. The increase in S_{kr}/V_{kr} leads to large v/Zp values.

DISCUSSION

The obtained results show that stand structure characteristics, five years after thinning are unsatisfactory from different aspects. The most important feature of diameter structure is represented by a relatively small share of larger trees (only 1% of all trees have a diameter above 20 cm), mostly in the range between 7 cm and 11 cm. The main reasons for the pronounced small diameters of ash, that is considered as a fast growing tree species with a relatively short rotation period (approximately 80 years), is the inappropriate past thinning regime in an early period of stand. As a consequence, there is a large number of trees with very strong intraspecies competition. Additionally, the fact that quadratic mean diameter of dominant trees is by about 30% higher than the quadratic mean diameter of all trees indicates "silvicultural disrepair" of the stand and therefore points to a great importance of adequate silvicultural measures. In addition, the observed larger number of trees is partly the result of the capacity of young European ash to sustain in a shadowed environment for almost one decade (Röhrig, 1966, cit. in Stajić, 2003). Undoubtedly, adequate silvicultural approach would lead to larger diameters and better diameter structure of a stand.

Crown length (absolute and relative) is one of the main indicators of the current assimilation potential of trees, size of their crowns and competition to what trees were exposed in the past.

The shorter absolute length of crown indicates less presence of direct light in this part of the tree and the stronger overshadowing by neighbouring competitors. The removal of surrounding competitors by thinning provides better light environment, especially, for lower branches which are then capable of maintaining their vigour and actively participating in the photosynthetic process. The here obtained results pointed to non-linear relationship between tree diameter and absolute crown length. Going from thin trees to thick trees we can notice gradual changes in crown length, which are much more pronounced for larger trees than for weaker ones. That could be expected, because trees in smaller diameter classes grew under more limited light conditions than resulting in reduced crown vigour than for trees in the upper canopy layer. Interestingly, crown base height was almost the same for all diameter classes. That is in accordance with fact that "...in even-aged pure stands, crown base height is independent from tree social position...." (Sterba, 1991). Non-linear relationship is also present between the tree diameter and crown-width values. On the contrary, linear relationship between crown width and tree diameter in even-aged stands of light-demand species is once again confirmed as suggested by earlier studies (Stamenković, Vučković 1988, Vučković 1989, Stajić 2003). Strong, almost linear relationship between tree increment and crown width was also observed in selection forests (Spiecker, 1986).

Crown width and crown length are variables directly measurable in the field and beside them there are some additional variables important for the quantification of crown development and production potential of a tree. Some of them are the following: crown projection area (Zp_{kr}), crown surface area (S_{kr}), crown volume (V_{kr}) and ratio between last two variables (S_{kr}/V_{kr}).

Crown projection area (Zp_{kr}) is derived from the average tree crown width and represents a measure of efficiency and growing space utilization both for tree and the whole stand, given that these measures can be expressed as the ratio between current volume or volume increment per crown projection area of a tree or a whole stand. In forest growth science Zp_{kr} has very often been associated with other growth elements (G , i_g , i_v , v/Z_p) and used for the assessment of optimal

stand state in the sense of crowns size and the "required"- target stem number of a given stand (Stamenković, Vučković, 1988, Vučković, Stamenković, 1990; Vučković 1994; Vučković et al. 2003, Vučković, Stajić 2003, Stajić 2003, Vučković et al. 2008, Stajić, Vučković 2016). In addition, many reserachers as Thren (1987) for pine, Spiecker (1991) for oak, Klädke (1993) for spruce and Wickel (1991) for Douglas-fir used crown projection area or available growing space for assessing optimal thinning regimes, cycle and intensity, and for the assessment of optimal tree number in a given stand. These results confirmed earlier investigation that the thickest trees possess the biggest - widest crowns covering the large part of stand area and growing space. However, trees which occupy a large part of growing space are not fully desirable neither from silvicultural (lower stem quality) nor production goals (to small number of trees per stand area). In addition to earlier conclusions, it should be emphasized that the shape of the relationship between Zp_{kr} (b_{kr}) and d indicate the lack of silvicultural measures, because there is no significant difference between the suppressed and the codominant trees in regard to crown parameters compared to dominant trees.

In order to assess assimilation and production capacity of tree crowns, crown volume (V_{kr}) and crown surface area (S_{kr}) are related to some growth elements. Generally, V_{kr} plays an important role in the determination of economical space utilization because it could very well approximate the quantity crown leaves, viz. production capacity of individual trees (Assmann, 1970; Biging, Dobbertin, 1992; Ottorini et. al., 1996). The obtained exponential shape of crown volume (V_{kr}) - tree diameter (d) relationship is similar to the shape between $d-Zp_{kr}$ and $d-b_{kr}$, causing similar conclusions. On the other hand, the use of V_{kr} as a surrogate of tree production potential has some limitations. Namely, for most tree species, especially light-demand ones, foliage located at the periphery of tree crowns contributes much more to the production of organic matter than foliage located at the centre of tree crown (Stamenković, Vučković 1988, Ottorini et. al. 1996). Because of this fact, S_{kr} has been more often used as an indicator of tree production potential than V_{kr} , especially in the case when crown contains a

large part of "productive passive" core. As in earlier examples, the dependence of S_{kr} on d is also not linear but the shape of this dependence is such that thicker trees have a larger S_{kr} . This might lead to a preliminary conclusion that larger trees produced more volume in the absolute sense, which is already a well-known fact. In addition, comparing trees from two different categories formed on basis of tree-volume percentile (40 and 80 percentile), it was concluded that there are significant differences between them in the absorption capacity by 75-100% and light use efficiency by 25-30% (Binkley et al., 2013). It should emphasize presence of the heteroscedasticity of empirical data in the calculated models between d and the analysed crown parameters (Zp_{kr} , b_{kr} , V_{kr} and S_{kr}).

The ratio between crown surface area and crown volume (S_{kr}/V_{kr}) represents another illustrative variable of great importance for crown development characterization, assimilation efficiency and past competition level of trees. This coefficient describes crown shape (slender or wide-spread crowns) and slender crowns are, as a rule, more "increment effective" in comparison to widespread crowns. However, full acceptance of the previous statement is not methodologically absolutely correct, because it means that the slender crowns produce always more volume increment than widespread crowns, which is often not the case in reality. To clarify the relation between crown shape parameters and tree growth, it is much more convenient to use the relation between S_{kr}/V_{kr} and Zp_{kr} . The determined dependence between S_{kr}/V_{kr} and Zp_{kr} showed that the higher crown projection area the lower S_{kr}/V_{kr} ratio, provided that the changes are abrupt at first and then less and less pronounced. Accordingly, white ash trees with smaller Zp_{kr} are more increment effective than trees with larger Zp_{kr} .

In order to analyse European ash crown efficiency more deeply and carefully it is necessary to study how tree crowns size and development affect stem volume. Commonly, the efficiency of growing space utilization has been described both through tree volume or tree volume increment per crown projection area (Assmann, 1961; Sterba, Amateis 1998). For this purpose, the relationship between S_{kr}/V_{kr} and tree volume (v) could be

very illustrative. Because of the importance of the mentioned relationship, tree volume was calculated on the basis of two various models (Figure 5). The results of comparison point to a high degree of correlation ($R^2=0.99$) between tree volume calculated on bases of these two models, *Alberti et al. (2005)* for white ash and *Pantić (1996)* for narrow-leaved ash. Minimal differences according to the proposed models are observed up to 11 cm diameter (larger tree volume of *Alberti et al.* model), which are later to disappear. The results of the applied t-test showed that there was no statistical difference ($p<0.001$) between the calculated volumes of these two models.

After that, the “nature” of relation between crowns and trees volume was analysed. In principle, assimilation-increment ability of tree crowns can differ widely depending on whether generated tree volume is analyzed as an absolute or a relative measure. The determined relation between tree volume (v) and S_{kr}/V_{kr} ratio showed the scattering of empirical data around regression line and, accordingly, not too recognizable dependence between them. In spite of that, general course of relation indicates lower stem volume of trees with slender crowns. On the other hand, when dependency between tree volume produced per unit of crown projection area - v/Zp_{kr} (as an indicator of crown efficiency) and S_{kr}/V_{kr} coefficient was observed in linear relationship and high coefficient of determination ($R^2=0.59$) can be detected. That means that higher S_{kr}/V_{kr} ratio leads to a higher tree volume per crown projection area, viz. higher crown efficiency.

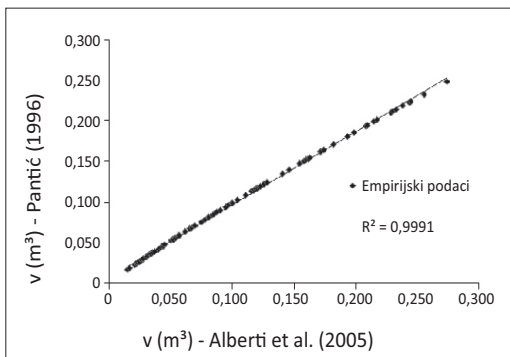


Figure 5. Correlation between tree volumes according to *Alberti et al. (2005)* and *Pantić (1996)*

Model of optimal stand development based on crown development parameters and optimal growing space utilization

The size and shape of tree crowns are the result of environmental impacts and tree capacity to use available resources (light, water, nutrients, soil) of importance for an undisturbed growth and development. In closed canopy stands, the availability of growth factors depends on intra- (pure stands) and inter-species (mixed stands) competition. Tree growing space serves as a convenient parameter which is a practical replacement for trees “available resources” and additionally it is easily measurable in the field (*Pretzsch, 2009*). In accordance with that, growing space in the broadest sense refers to all available resources necessary for the growth and survival of a tree in a given environment (*O’Hara, 1988; Foli et al., 2003*). In practical sense, the growing space of a tree is limited, from below (root system) by forest soil or parent soil, from above unrestricted or restricted by taller trees and laterally restricted by the crowns of neighboring trees (*Assmann, 1961; Stamenković, Vučković, 1988*). In a similar way, *Stajić and Vučković (2016)* define growing space above ground surface area as a space limited by tree height and crowns of neighboring trees.

In order to create objective criteria and unique procedures that will ensure conditions both for the development of high quality vigour trees with target dimensions and for rational utilization of production and other resources, it is necessary to define a development of growing space strategy (*Vučković, 1994*). For practical application as well as different scientific purposes the basis of the mentioned strategy refers to growing space quantification required for successful and undisturbed growth of trees. This involves optimal crown size calculation to produce maximal tree volume per growing space. This optimum is mainly located between predominant and codominant trees, given that predominant trees are not always “optimally” efficient in the utilization of available resources, while on the other hand, codominant trees have not sufficiently developed crowns to use resources for higher tree volume production. One of the possible ways for

the assessment of “neither too big nor too small” but “optimal” dimensions of crown is presented in Figure 6. The presented graph shows “optimal curve” which represents the relationship between tree volume per crown projection area and crown development parameter, in this case Zp_{kr} . The ratio between tree volume and crown projection area (v/Zp) Vučković and Stajić (2003) named as *quotient of economical growing space utilization*.

On the basis of the best possible

$$\frac{v / Zp}{Zp}$$

ratio, it was found that the optimal crown projection area of one dominant tree amounts 9,1 m^2 (Figure 6a), which means that trees with crown widths larger than 3.4 m irrationally exploit the available growing space. Based on the identified, it is clear that the situation regarding the crowns could be much better, because the current average crown width of all trees and trees from the upper floors amount to 2.23 m 2.90 m , respectively. Undoubtedly a poorly developed crown of trees from the upper floors is fully obvious if one compares this determined size of the crown with the results of other similar studies. For example Sperlich (2010) stated that one average crown

width of 20 years old white ash future crop trees was 3.2 m .

Here the determined optimal size of the tree crown, with an average coefficient of covering at the level of the stand (85%), corresponded to 934 trees per 1 ha in the upper floor. With this tree number in the upper canopy layer, stand volume would amount to 173 m^3/ha , close to current volume of all trees in a stand (187 m^3/ha). However, taking into account the current proportion of trees, volume in the upper and lower canopy layer (79% : 21%), optimal stand volume, which include all trees of all social positions in a stand, would be much higher, approximately 212 m^3/ha (upper canopy contain 60% thickest trees, lower canopy contains the remaining 40% of thinnest trees).

As stated, current stand indicators and growth elements are partially the result of heavy thinning from above applied 5 years before the measurement, at the stand age of 30. Based on dynamics of crown expansion and growing space coverage in the last 5 years, very weak lateral spreading of tree crowns and slow recovery of white ash can be noticed in the previous period. Therefore, the remaining trees after thinning have not increased their crowns enough for a full utilization of the

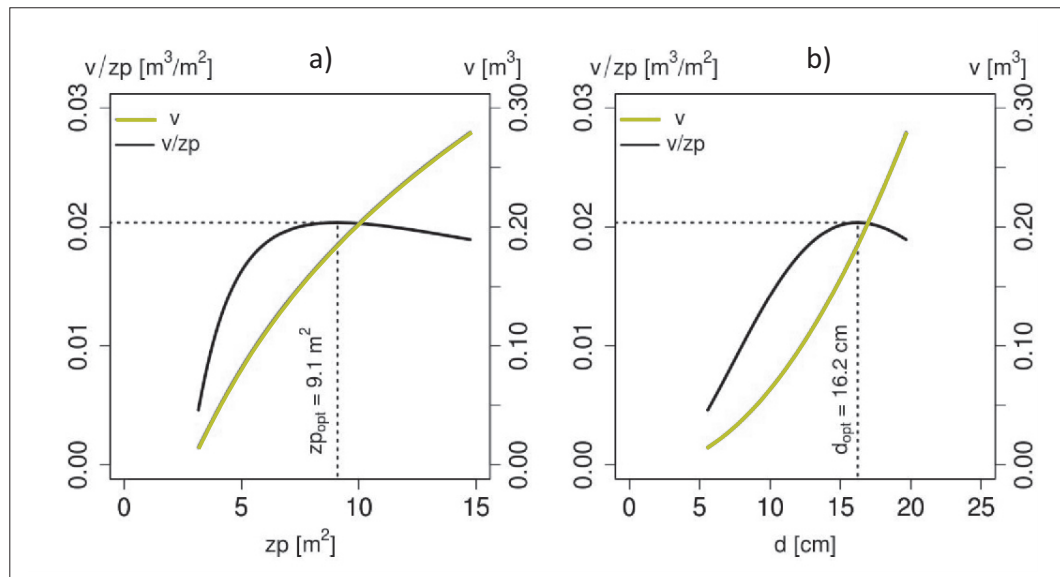


Figure 6. Dependence of quotient of economical growing space utilization (v/zp) and tree volume (v) on the crown projection area (Zp) and the tree diameter (d).

growing space potential to produce higher volume. With this in mind, it can be said that the current stand volume might undoubtedly be slightly higher, because of incomplete stand closure. Given that, it could be concluded that the current state of stand volume is close enough to the optimal state ($212 \text{ m}^3/\text{ha}$), which should be expected in close future after a stand reaches full crown coverage. However, the current stem number in a stand resulted in smaller diameter dimensions in comparison to stem number calculated on the basis of a presented model. In this case, that means higher average stand diameter (16.2 cm) instead of current average stand diameter (14.4 cm) with fewer trees (934) in comparison to the current stem number (1100) in the upper canopy layer (Figure 6b).

CONCLUSION

The obtained results showed that the primary indication of the efficiency of European ash growing space using and how trees use the available light per unit by crowns occupied space could be made on the basis of the crown surface area/crown volume (S_{kr}/V_{kr}) ratio. Larger crown surface area per crown volume (higher S_{kr}/V_{kr} value) means both higher direct sunlight exposure and a lower proportion of crown core per crown volume. Therefore, considering the optimal stand state from the view of tree crowns structure, a favourable stand structure could be expected with trees having the average S_{kr}/V_{kr} values. In relation to previous, it is evident that crowns which cover a smaller aboveground area (slender crowns) have larger S_{kr}/V_{kr} ratio in comparison to crowns with larger crown fullness.

However, with the aim to submit general references related to European ash efficiency of growing space utilization, it is important to estimate how crown development modifies a level of the produced volume of individual trees as well as the whole stand. It can be concluded, that slender crowns in spite of higher S_{kr}/V_{kr} ratio produce a lower tree volume because of the unfavourable environmental conditions. Unlike that, when the produced tree volume was placed in relation to growing space unit it was then evident

that trees having a lower crown projection area are more efficient in regard to produced tree volume. In other words, the lower is growing space of a tree - the more efficiently it is used! Considering stand volume, it can be concluded that higher stand volume per hectare is more likely to expect with a larger number of trees with slender crowns. On the other hand, it also has to be highlighted that tree crowns must not be "too small" in order to ensure a sufficient amount of leaves and the appropriate production of wood volume.

This means that the S_{kr}/V_{kr} ratio cannot be considered the only reliable indicator of assimilation-increment potential of tree crowns and its relation to the produced volume at tree level, without a simultaneous insight into crown size, a biological position of the tree within the stand and the observation at the stand level! This indicates the presence of an optimum between the produced stand volume and crown parameters. Based on the relation between stand volume and crown parameters, it is evident that the current state is "not far" from the optimum in relation to stem number and produced tree volume of the upper canopy layer. However, this "optimal state" was not carried out on time resulting in negative consequences on crowns size parameters and the values of other growth elements. In the case of optimal crown parameters, hypothetically discussed, the average diameter of dominant trees would be 2 cm higher than the current diameter causing better stand diameter structure.

Taking into account all previous, it should be underlined that the growing space of a tree, in addition to environmental conditions and tree genetic predisposition represents a basic factor influencing tree vigour and wood volume production. It is therefore obvious that successful management should assume the best possible estimate of growing space, mainly for future crop trees and other trees from the upper canopy layer at each growth stage. For practical purpose, an operative management requires a unique procedure necessary for stand density management, based on numerical directives and independent of who actually performed this procedure!

In this paper the applied method for economical stand density and growing space management have been used, as well as a range of par-

ticular criteria thanks to whose clarity and uniform application it is possible to realistically consider the issue of the optimal growing space disposition of individual trees and a stand. It should be noted that the results obtained here are part of "a spectrum of results generated by implementing the specific procedure to define the optimal stand structure in Serbia that does not involve long-term researches to get applicable results. The method is the product of decades of work by forest growth and productivity researchers from the Faculty of Forestry in Belgrade, whose recent results should serve as a basis for principle general knowledge regarding the required size "neither small nor large" crowns of trees have to be concretized through clearly defined standards. In this way, an abstract principle of an effort to provide the best conditions for maximum production trees and stands from the quantitative and qualitative aspects will be transformed into a real standard, which defines **how large growing space should be required for a certain amount of wood volume production!** The essence is that, according to the presented procedure, it can always be known why and how certain criteria can or should be applied or changed, allowing the development of different scenarios for managing the increment of trees, and of course, more importantly, the increment at the stand level.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Alberti G., Andido P., Peressotti A., Turco S., Piussi P., Zerbi G (2005): Aboveground biomass relationships for mixed ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy), Ann. For. Sci. 62 (831–836)
- Assmann E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, Bonn, Wien: BLV Verlagsgesellschaft, (490)
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N., Šljukić B., Obradović S. (2009): The growing stock of the Republic of Serbia - state and problems. Bulletin of the Faculty of Forestry 100 (7-30)
- Biging S. G., Dobbertin M. (1992): A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. Forest Science 38 (695–720).
- Binkley D., Campoe O. C., Gspaltl M., Forrester D. I. (2013): Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. Forest Ecology and Management 288 (5–13)
- Božić, M., Čavlović, J., Teslak, K., Vratarić, T. (2008): Modelling crown dimensions of silver fir trees. Works of Forest Research Institute 43, 2, (131-149), Jastrebarsko, Croatia, (in Croatian)
- Burger H. (1939): Kronenaufbau gleichaltrigen Nadelholzbestände, Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Band 21 (5-58)
- Cluzeau C., Le Goff N., Ottorini J. M. (1994): Development of primary branches and crown profile of *Fraxinus excelsior* L., Can J For Res 24 (2315-2323)
- Dobrowolska D., Hein S., Oosterbaan A., Wagner S., Clark J., Skovsgaard J. P. (2011): A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture, Forestry Vol. 84 (2)
- Foli E. G., Alder D., Miller H. G., Swaine M. D. (2003): Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. Forest Ecology and Management 173 (79–88)
- Halmshlager E., Kirisits T. (2008): First report of *Chalara fraxinea* on *Fraxinus excelsior* in Austria. New Dis Rep (17–20)
- Hein S. (2004): Zur Steuerung von Astreinigung und Dickenwachstums bei Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.). Schriftenr. Freib. Forst. Forsch. 25 (1–263)
- Hein S., Spiecker H. (2008): Crown and tree allometry of open-grown ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.). Agroforest Syst 73 (205–218)
- Janjatović Ž. (2012): Modelovanje izgrađenosti krošnji belog jasena (*Fraxinus excelsior* L.). Master rad, Šumarski fakultet, Beograd
- Juodvalkis A. A., Kairiukstis L., Vasiliauskas R. (2005): Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania, Eur. J. For. Res. 124 (187–192)

- Kadunc A. (2004): Growth characteristics of Common ash (*Fraxinus excelsior* L.) in Slovenia. Zbornik gozdarstva in lesarstva 73, Ljubljana, 73 (63-88), (in Slovenian).
- Kerr G. (1995): Silviculture of ash in southern England, Forestry 68 (63–70).
- Kerr G., Cahalan C. (2004): A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.), For. Ecol. Manage. 188 (225–234)
- Klädke J. (1993): Konstruktion einer Z-Baum-Ertragsstafeln am Beisoel der Fichte. Mitteilungen FVA Baden-Württemberg 173 (110)
- Kraj W., Zarek M., Kowalski T. (2012): Genetic variability of *Chalara fraxinea*, dieback cause of European ash (*Fraxinus excelsior* L.). Mycol Progress 11 (37–45)
- Le Goff N., Granier A., Ottorini J.-M., Peiffer M. (2004): Biomass increment and carbon balance of ash (*Fraxinus excelsior*) trees in an experimental stand in northeastern France, Ann. For. Sci. 61 (577-588)
- Milin, Ž. (1965): Study the impact of silvicultural system and elements of stand structure on the way of regeneration and productivity of beech stands in the Region Južni Kučaj. Bulletin of Faculty of Forestry Belgrade, 32, (in Serbian)
- Miščević V., Stamenković, V. (1972): Development and production of a young European ash stand (*Fraxinus excelsior* L.) in Majdanpečka domena. Current problems in forestry, wood industry and horticulture, Belgrade
- Nüßlein S. (1995): Struktur und Wachstumsdynamik jüngerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestände in Nordbayern. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- Ottorini J. M., Le Goff N., Cluzeau C. (1996): Relationships between crown dimensions and stem development in *Fraxinus excelsior* L., Can. J. For. Res. 26 (394–401)
- Pantić D. (1996): Volume tables for Narrow-leaved ash (*F. angustifolia* Vahl.) in Ravni Srem forests Forestry 1-2, Faculty of Forestry, Belgrade (58-60), (in Serbian)
- Pretzsch H., Schütze G. (2005): Crown Allometry and Growing Space Efficiency of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Pure and Mixed Stands. Plant Biol. 7 (628–639)
- Pretzsch H. (2009): Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (664).
- Pretzsch H. (2014): Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. Forest Ecology and Management 327 (251–264)
- Röhrig E. (1966): Mischbestände aus Edellaubbauarten und Buche, Der Forst- und Holzwirt 3 (59-64)
- Schöpfer W. (1986): Zusammenhang zwischen Wuchsraum und Zuwachs in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen. Forst und Holz 41 (315-319)
- Sommer G. H. (1961): Tannenkronen im Plenterwald. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 7/8 (215-223)
- Sommer G. H. (1961): Tannenkronen im Plenterwald, Forstwissenschaftliches Centralblatt, Heft 7/8 (215-223)
- Spiecker H. (1983): Zusammenhänge zwischen sozialer Stellung, Kronenlänge, Kronenschluß und Gesundheit von Weißtannen. Allgemeine Forstzeitschrift 38 (442-443)
- Spiecker H. (1991): Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L.). Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart, (155)
- Sperlich D. (2010): Investigation of single tree parameters in deciduous forests. Master thesis, BOKU.
- Stajić B. (2003): Growth characteristics of Common ash (*Fraxinus excelsior* L.) in Region of Majdanpečka domena. Magister work, Faculty of Forestry, University of Belgrade, (in Serbian)
- Stajić B. (2004): Definition of optimal structure of Common ash juvenile stands, Bulletin of Faculty of Forestry 89, Belgrade (213-214), (in Serbian)
- Stajić B. (2010): Characteristics of the Stand Structure and the Trees Growth in the mixed stands of Beech and Valuable Broadleaved Tree Species in the National Park "Djerdap". Doctoral dissertation, Faculty of Forestry, Belgrade, (in Serbian)

- Stajić B., Vučković M. (2016): Forest growth and productivity – a practicum. University of Belgrade, Faculty of Forestry, (144), (in Serbian)
- Stamenković V., Vučković M. (1988): Increment and productivity of forests trees and stands. Book, Belgrade, (368), (in Serbian)
- Sterba H. (1991): Forstliche Ertragslehre. BOKU Universität, Wien
- Sterba H., Amateis, R. L. (1998): Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. Canadian Journal of Forest Research 28 (1344–1351)
- Tren M. (1987): Kiefernproduktionsprogramme – Erstellt auf der basis von ertragskundlichen Versuchsflächen und Einzelbäumen. Dissertation Universität Freiburg i. Br., (182)
- Vučković M. (1989): Development-productive characteristics of Austrian pine in artificially established stands on Južni Kučaj and Goč. Doctoral dissertation, Faculty of Forestry, Belgrade, (in Serbian)
- Vučković M. (1994): Regulisanje prostora za rastenje - uslov pravilnog razvoja, stabilnosti i visoke produkcije sastojina. Zbornik radova sa savetovanja: Uzgojno-biološki i ekonomski značaj proreda u šumskim kulturama i mladim šumama. JP "Srbijašume", Beograd (61-70).
- Vučković M., Stamenković V. (1990): Ekonomičnost korišćenja prostora za rastenje kao osnova za utvrđivanje modela optimalne izgrađenosti, Savetovanje: Pošumljavanje goleti i unapređivanje šumarstva Srbije u periodu 1972-1989, Institut za šumarstvo i drvnu industriju. Republička samoupravna interesna zajednica za šumarstvo, Beograd
- Vučković M., Stamenković V., Stajić B. (2001): Effect of tending on the growth of a young common ash (*F. excelsior*) stand. Study, conservation and utilization of forest resources. Proceedings of the Third Balkan Scientific Conference 2–6 October 2001, Sofia, Bulgaria (420–425)
- Vučković, M., Stamenković, V., Stajić, B., Ratknić, M. (2003): Wuchskarakteristika und Vitalität der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) in einem ungleichaltrigen Bestand im Zlatar-Gebirge. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 50/03, , S.132-140, Trippstadt, S. R. Nemačka
- Vučković M., Stajić B., Radaković N. (2006): Modelovanje optimalne izgrađenosti sastojine hrasta kitnjaka u N.P. Đerdap, Šumarstvo 1-2, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Beograd
- Vučković M., Stajić B., Smiljanić M. (2008): Elementi izgrađenosti i rasta sastojine crnog bora na staništu cera i sladuna, Šumarstvo 4, Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Beograd.
- Wickel A. (1991): Z-baum-orientierte Durchforstungsansätze für Douglasien-Bestände im Südschwarzwald. Dissertation University of Freiburg i. Br., (125)
- Wyckoff P. H., Clark J. S. (2005): Tree growth prediction using size and exposed crown area. Can. J. For. Res. 35 (13–20)



