

Stajić B., Vučković M., Janjatović Ž. 2014. *Dendrochronological research in an artificially established sessile oak stand in the area of Fruška gora*. Bulletin of the Faculty of Forestry 109: 149-168.

Бранко Стајић
Миљивој Вучковић
Живан Јањатовић

UDK: 630*561.24:582.632.2(497.11 Fruška gora)
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1409149S

ДЕНДРОХРОНОЛОШКА ИСТРАЖИВАЊА У ВЕШТАЧКИ ПОДИГНУТОЈ САСТОЈИНИ ХРАСТА КИТЊАКА НА ПОДРУЧЈУ ФРУШКЕ ГОРЕ

Извод: У раду се, по први пут у Србији, на бази дендрохронолошких процедура анализирају хронологије стабала храста китњака и дефинише мастер хронологија храста китњака (подручје Фрушке горе). Такође, циљ рада је био и да се утврди јачина заједничког сигнала у расту храста китњака и његов дендроклиматолошки потенцијал у датим условима. Квалитет локалних серија радијалног прираста (хронологија), јачина заједничког и климатског сигнала евалуирани су помоћу следећих параметара: средњег степена сензитивитета, коефицијента изражености популационог сигнала, тзв. односа "сигнал-шум" и варијансе објашњене помоћу сопствених вектора у процедури анализе главних компоненти. Резултати истраживања су показали да су добијене мастер хронологије задовољавајућег квалитета и поузданости и да садрже довољан општи заједнички "сигнал", који карактерише сва анализирана стабла и који може бити процесуиран у дендроклиматолошким анализама. Закључено је да је у истраживаним станишним условима храст китњак слабо до средње сензитивно реаговао на модификације услова средине у задњих 90-ак година.

Кључне речи: храст китњак, радијални прираст, дендрохронологија, Фрушка гора, Србија

DENDROCHRONOLOGICAL RESEARCH IN AN ARTIFICIALLY ESTABLISHED SESSILE OAK STAND IN THE AREA OF FRUŠKA GORA

Abstract: This paper presents the first regional research of the chronologies of sessile oak trees and definition of the local (master) chronology of sessile oak in the area of Fruška Gora. In addition, the aim of this study is to determine the strength of the

Др Бранко Стајић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Др Миљивој Вучковић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Живан Јањатовић, мастеринг. шумарства, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

common signal in the growth of sessile oak and its dendroclimatological potential under the given conditions. The quality of the local series of radial increment (chronology) and the strength of the common and climatic signals were evaluated using the following parameters: average mean sensitivity, expressed population signal, signal-to-noise ratio and the variance explained by eigenvectors in the procedure of analysis of the principal components. The results have shown that the obtained master chronologies are of satisfactory quality and reliability, and that they contain a sufficient general common "signal", which is a characteristic of all analyzed trees that can be processed in all dendroclimatological analyses. It was concluded that, under the investigated site conditions, sessile oak showed low to medium sensitivity of reaction to the modifications of environmental conditions in the past 90 years.

Key words: oak, radial increment, dendrochronology, Fruška Gora, Serbia

1. УВОД

С обзиром да је раст шумских стабала и састојина комплексна реакција на дејство различитих егзогенних и ендогених утицаја, истраживања карактеристика раста представљају важан део екосистемских истраживања (Gadow 2002, Vučković Stajić 2004). У таквим околностима савремена планирања у шумарству морају уважавати многе чињенице условљене динамичном изменом основних услова за раст шума (Vučković, Stajić 2003).

Због низа својих специфичности (егзактност мерења, уска веза са климатским и другим еколошким факторима, могућност прикупљања података и више векова уназад итд.), истраживања раста и прираста стабала у дебљину су од посебног значаја за анализу и дефинисање природе реакције стабала на измене основних услова за раст. Раст шумских стабала у дебљину на нашим просторима одвија се у току једног вегетационог периода, који почиње крајем марта или почетком априла и завршава се најчешће у октобру. У току овог периода сваке године камбијум ствара по један слој дрвета – год, односно прстен прираста или радијални прираст стабала (Stamenković, Vučković 1998). Ширине прстенова прираста су најзначајнији и најупотребљиванији мерни параметри у научној дисциплини која се назива *дендрохронологија*. Дендрохронологија (*dendro*-дрво, *hronos*-време и *logos*-наука) се бави истраживањем раста стабала и његовим односом према условима животне средине у зависности од простора и времена (Cherubini *et al.* 2004). Методе ових истраживања се у потпуности поклапају са методама у истраживањима раста и производности шума (Stajić 2010).

Један од најважнијих задатака дендрохронолошких истраживања, посебно у циљу даљег развоја климатологије и екологије јесте детекција оних климатских елемената који имају доминирајући утицај на раст стабала и састојина (Biondi 1997). Поред велике привредне и разноврсне еколошке апликативности, истраживања утицаја климатских варијација на раст и прираст стабала су од специфичног значаја за реконструкцију карактера климе у прошлости и прогнозу правца евентуалних измена климатских услова у будућности. Стога се у последњим

деценијама интензивно развија посебна поддисциплина у оквиру дендрохронологије – дендроклиматологија, која се базира на утврђивању везе између грађе и величине радијалног прираста и климатских елемената и њихових варијација.

Екстракција климатског утицаја (сигнала) из радијалног прираста представља веома комплексан методолошки приступ, с обзиром да величину радијалног прираста модификује низ разноврсних фактора, те стога није лако закључити који ”део величине ширине года” је настао као резултат утицаја искључиво климатских фактора. У најопштијем смислу Fritts (1976) је све делујуће факторе, који опредељују раст стабала, груписао у две групе: егзогени (простор за раст, вода и хранљиве материје, светлост, температура, угљен диоксид итд.) и ендегени (количина расположивих хранљивих материја, регулатори раста, старост, ензими, вода итд.). Поред тога, свака серија радијалног прираста (серија ширина година на једном извртку или котуру) може бити сматрана једном временском серијом, која је у појединим деловима сачињена од случајно варирајућих компоненти. У дендрохронолошким и дендроклиматолошким истраживањима, термин ”сигнал” представља жељено заједничко својство у серијама година, које је предмет интересовања и анализе. Са друге стране, нежељено својство у ширинама година, које је потребно елиминисати из емпиријских ширина година, означава се као ”шум” (енг. *noise*). Заједнички сигнал у ширинама година највећим делом представља величину ширине года условљену климатским приликама у датој години. Поред наведених ограничења, величине узастопних година су статистички зависне једна од друге услед утицаја различитих трендова, циклуса или осталих неслучајних компоненти, које су резултат климатских и осталих утицаја из претходних година и генеришућих процеса раста стабала (Fritts 1976). Стога су истраживачи раста и прираста стабала и састојина, дендрохронолози и дендроклиматолози фокусирани на то да што јасније и недвосмислено колико је могуће оцене природу и ниво (обим) случајности и неслучајности у свакој серији ширина година, не само за прецизну реконструкцију климе у прошлост, већ и у циљу обезбеђивања информација о природи генеришућих процеса раста стабала.

Истраживање радијалног прираста и његове погодности за даља дендроклиматолошка истраживања на бази модерних дендрохронолошких процедура скоро да нису до сада провођена у шумарској науци и струци у Србији. Прва истраживања оваквог карактера на нашим просторима провео је Stajić (2010), када је на бази три локалне хронологије букве дефинисао регионалну хронологију за подручје НП ”Ђердап” и оценио дендроклиматолошки потенцијал букве, констатујући да је буква ”способна” да региструје климатске сигнале и на регионалној скали. С обзиром на претходну чињеницу два основна циља овде проведених истраживања су:

- утврдити хронологије стабала храста китњака и дефинисати прву локалну (мастер) хронологију храста китњака у анализираним станишним условима на подручју Фрушке горе и
- утврдити јачину заједничког сигнала у расту храста китњака и његов дендроклиматолошки потенцијал.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Истраживања су проведена у вештачки подигнутој, дозревајућој до зрелој састојини храста китњака, лоцираној на подручју Националног парка "Фрушка гора", у ГЈ "Стражилово-Парагово", у оквиру 56. одељења. Састојина припада заједници *Quercetum montanum tilietosum tomentosae* и старости је око 90 година. Надморска висина на којој су узимани узорци за анализу износи 240 m, а експозиција терена је западна. Неки од основних нумеричких показатеља састојине су следећи: број стабала по хектару је 256, темељница по хектару је 25,9 m², запремина по хектару је 366 m³, средњи пречник састојине по темељници је 36 cm, средњи пречник доминантних стабала по темељници је 48,3 cm, Лорајева средња висина је 27,1 m, а средња висина доминантних стабала по темељници износи 28,2 m.

Просечна годишња температура ваздуха за период 1965-1990 износи 10,0° C. У овом периоду просечна минимална и максимална температура ваздуха износе 4,5° C и 14,0° C. Просечна температура у јулу је 19,5° C, а у јануару -1° C. Просечна годишња количина падавина у периоду 1966-1987. година достиже 797 mm, од којих 502 mm пада у току периода април-октобар. Подаци су добијени са Метеоролошке станице "Иришки венац".

У циљу квантитативне анализе радијалног прираста, дефинисања мастер хронологије и утврђивања заједничког сигнала у расту храста китњака Преслеровим сврдлом је бушено 22 доминантна стабла и узет по један извратак са сваког стабла на висини 1,3 m. Затим је у Лабораторији за истраживање прираста и биомониторинг на Шумарском факултету у Београду, помоћу мерног инструмента LINTAB (дигиталпозициомер), прецизно мерено укупно 1866 прстенова прираста (ширина година), са тачношћу мерења од 1/100 mm. Серије ширина година су датиране, односно синхронизоване (Vučković 1994, Stajić 2010) најпре двоструко визуелно (провером лоцираности упадљиво уских или широких година и померањем и преклапањем кривих у специјализованом програму TSAP, а затим и коришћењем програма COFFECHA (Holmes 1983).

Коефицијент интерсеријске корелације између низа x и низа y (радијалног прираста појединачних хронологија и мастер хронологије) израчунат је помоћу следећег обрасца:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x) \cdot (y_i - m_y)}{(n-1) \cdot s_x \cdot s_y}, \dots \dots \dots (1)$$

у којем је: n – број анализираних година, x_i – ширина година у низу x (хронологија x), y_i – ширина година у низу y (хронологија y), m_x – аритметичка средина ширине година (хронологија x), m_y – аритметичка средина ширине година (хронологија y)

Затим су серије радијалног прираста стандардизоване-детрендоване (Stajić 2010) помоћу тзв. глатких кубних сплајнова (енг. *smoothing cubic spline*) или

сплајна изравнања (Bronštejn *et. all* 2007) са ригидношћу од 32 године ($\lambda=32$), при чему се задржава 50% варијансе у низовима ширина година (Cook, Peters 1981).

Наконведеног поступка стандардизације, свака емпиријска величина ширина година подељена је са својом изравнатом (процењеном) величином, при чему су настали индекси ширине година (I_t) за сваку појединачну хронологију. У циљу добијања стандардизоване мастер хронологије, извршено упросечавање стандардизованих серија коришћењем тежинске средине путем Такијеве биквадратне функције (енг. *biveight robust estimation of the mean value function* - Cook *et al.* 1990). Биквадратна (тежинска) средина стандардизованих вредности индекса ширине года за годину t израчуната је итеративним путем, према следећој формули:

$$I_t = \sum_{j=1}^m w_j \cdot I_t, \dots \dots \dots (2)$$

где је w_j – тежински коефицијент, I_t – стандардизована вредност индекса ширине года за годину t .

У току сваке итерације вредност тежинског коефицијента w_j за сваку стандардизовану вредност индекса ширине года у години t , се рачуна по следећој формули:

$$w_t = \left[1 - \left[\frac{I_t - \bar{I}_t}{c \cdot S_t} \right]^2 \right]^2, \dots \dots \dots (3)$$

где је I_t – стандардизована вредност индекса ширине года за годину t , \bar{I}_t - биквадратна (тежинска) средина стандардизованих вредности индекса ширине года за годину t .

Вредност тежинског коефицијента w_j , израчуната по претходно наведеној формули, има вредност различиту од нуле само ако је испуњен следећи услов:

$$\left[\frac{I_t - \bar{I}_t}{c \cdot S_t} \right]^2 < 1, \dots \dots \dots (4)$$

где је c – коефицијент, S_t - робустна мера стандардне девијације дистрибуције фреквенција. Вредност S_t представља медијану серије података добијених из апсолутних вредности разлике између стандардизоване вредности индекса ширине года за годину t и биквадратне (тежинске) средине стандардизованих вредности индекса ширине года за годину t , према следећој формули:

$$S_t = \text{median} \left(\left| I_t - \bar{I}_t \right| \right), \dots \dots \dots (5)$$

У циљу отклањања аутокорељације извршено је ауторегресионо моделовање и дефинисана тзв. резидуална мастер (локална) хронологија. Резидуална хронологија

се израчунава на исти начин као и стандардна хронологија, с том разликом, што је из постојећих индекса ширине година појединачних серија уклоњена аутокорељација путем ауторегресионог модела 1. реда. Општа једначина ауторегресионих модела гласи (Mladenović, Nojković 2012):

$$X_t = \varphi_1 \cdot X_{t-1} + \varphi_2 \cdot X_{t-2} + \dots + \varphi_p \cdot X_{t-p} + e_t, \dots \dots \dots (6)$$

где је: φ_p - параметар ауторегресионог модела, X_{t-p} - чланови временске серије са тзв. доцњом p , e_t - случајна грешка ауторегресионог модела.

Постојање аутокорељације унутар израчунатих хронологија тестирано је применом Љунг-Бокс (*Ljung-Box*) теста:

$$Q(m) = T(T+2) \sum_{i=1}^m \frac{\hat{\rho}_i^2}{T-i} : \chi_m^2, \dots \dots \dots (7)$$

где је T - дужина временске серије, m - број доцњи, $\hat{\rho}_i$ - коефицијент аутокорељације при одређеној доцњи, χ_m^2 - таблична хи-квадрат вредност за m степени слободe. У том циљу постављена је нулта хипотеза - H_0 : унутар временске серије не постоји статистички значајна аутокорељација закључно са доцњом m ($Q_m < \chi_m^2, p > 0.05$). Нулта хипотеза се одбацује ако је кореспондирајућа вредност p мања од 5%, или ако је вредност Q статистике већа од табличне χ^2 величине за m степени слободe.

Анализа серија радијалног прираста утврђена је и за заједнички период од 1938. до 2010. године за стандардну и резидуалну хронологију, односно свака серија ширина и индекса година има као први и последњи податак у временском низу 1938. и 2010. годину. У начелу, најкраћи заједнички период који обухватају све појединачне емпиријске серије ширине година износи 74 године, односно од 1937. до 2010. године. Међутим, пошто је на све емпиријске вредности ширине година примењен ауторегресиони модел 1. реда, то је за потребне анализе заједничког периода обухваћен период за једну годину мање, односно период од 73 године.

Квалитет локалних (мастер) серија радијалног прираста (хронологија), јачина заједничког и климатског сигнала евалуирани су помоћу следећих параметара: (8) средњег степена сензитивитета – MS (Fritts, 1976, Schweingruber 1983), (9) коефицијента изражености популационог сигнала – EPS (Wigley *et al.* 1984, Briffa, Jones 1990), (10) тзв. односа ”сигнал-шум” - SNR (енг. *signal-to-noise ratio*) према Briffa и Jones (1990) и (11) варијансе објашњене помоћу сопствених вектора у процедури анализе главних компоненти:

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|, \dots \dots \dots (8)$$

при чему су: x_{t+1} - ширина года у години (t+1), x_t - ширина года у години t.

$$EPS = \frac{t \cdot \bar{r}_{bt}}{t \cdot \bar{r}_{bt} + (1 - \bar{r}_{bt})}, \dots \dots \dots (9)$$

где је t – број серија укључених у хронологију, а \bar{r}_{bt} - просечни интерсеријски коефицијент корелације индекса радијалног прираста.

$$SNR = \frac{t \cdot \bar{r}_{bt}}{1 - \bar{r}_{bt}}, \dots \dots \dots (10)$$

при чему су: t – број стабала, \bar{r}_{bt} – просечни коефицијент корелације између серија радијалног прираста.

Веза између оригиналних варијабли и одговарајућих главних компоненти је представљена следећом једначином:

$$E_m = PC_m X_m, \dots \dots \dots (11)$$

где је E_m – скуп сопствених вредности матрице, X_m – матрица оригиналних варијабли, PC_m - матрица сопствених вектора (PC), m – број варијабли. Најважнији сопствени вектори, односно главне компоненте, су оне које садрже највећи удео у укупној варијанси података.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

3.1. Квалитет и поузданост узорка - серија радијалног прираста

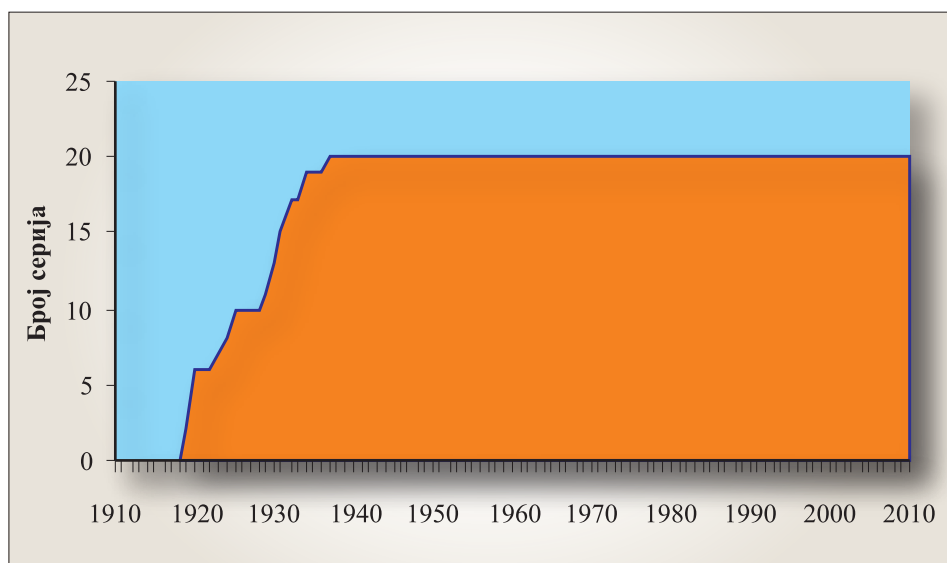
У циљу анализе квалитета и подобности прикупљеног материјала (серија радијалног прираста) за дендроклиматолошка истраживања анализирани су најпре емпиријски подаци о радијалном прирасту свих серија. Резултати троструко проведеног поступка синхронизације или датирања година (визуелно, помоћу померања и преклапања серија ширина година у програму TSAP и помоћу програма SOFTECHA) показују да је код две серије ширина година утврђено постојање проблема у датирању. Наиме, код ових серија изостало је постојање статистички сигнификантне корелације између ширина година у појединим сегментима ових серија и ширина година истих сегмената мастер хронологије (критична вредност коефицијента корелације на нивоу поузданости од 99% износи 0,3665). Као резултат таквих анализа (уочени проблеми у датирању у појединим сегментима), одбачене су ове 2 серије ширина година, односно хронологије 2 анализирана стабла. Из овог разлога, дефинитиван узорак за истраживања састојао се од 20 серија ширина година, које нису показивале ни један од проблема приликом визуелног и статистичког датирања.

Један од лимитирајућих фактора, који ограничава поузданост прикупљеног дендрохронолошког материјала, јесте и репрезентативност величине узорка,

односно број серија радијалног прираста и број година у серијама. У овим истраживањима код 10 серија радијалног прираста ”дубина” узорка датира до 1925. године, код 13 серија до 1930. године, а код свих 20 серија до 1937. године (графикон 1).

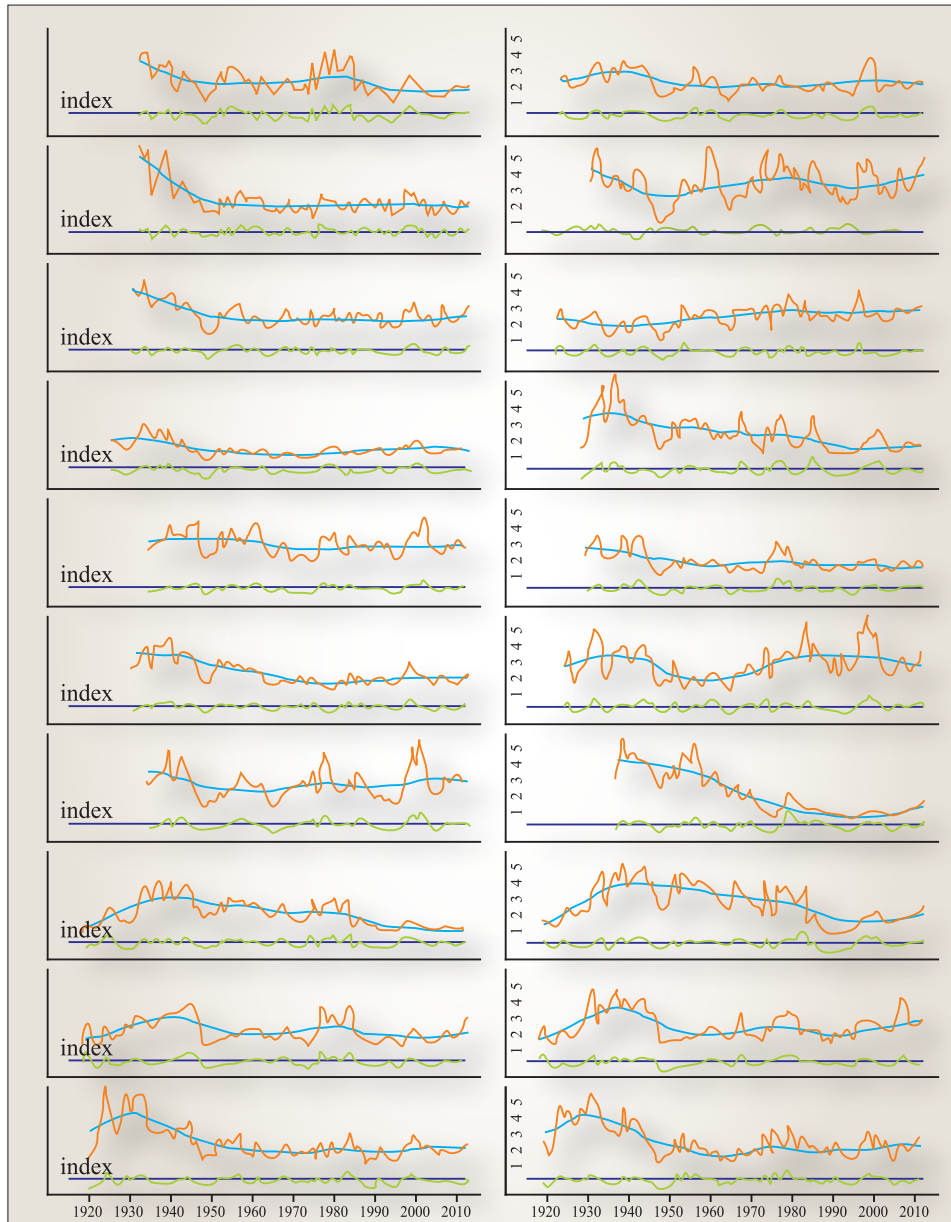
3.2. Карактеристике емпиријских серија радијалног прираста

Емпиријске серије радијалног прираста (серије обележене црвеном бојом) свих 20 анализираних стабала приказане су на графикону 2. Може се уочити да неке од анализираних серија радијалног прираста (8, 15, 16, 18, 19 и 20), имају типичне токове, са раним периодом интензивног пораста, затим кулминацијом и након тога постепеним опадањем величина прираста. Експоненцијалне токове имају серије прираста означене бројевима 3, 5, 11 и 14, док остале серије имају мање више атипичне токове, са повременим депресијама или са наглим повећањима величина радијалног прираста. С обзиром на присуство различитих токова прираста и чињеницу да су стабла расла у тзв. привредним шумама, где је великим делом присутна конкуренција у погледу простора за раст стабала, за елеминисање старосног тренда и уједначавање варијанси радијалног прираста дуж целог анализираних периода, примењено је изравнавање глатким кубним сплајном (плава линија провучена кроз емпиријске серије ширина година) – графикон 2.



Графикон 1. Дендрохронолошки узорак (број серија и број година у серијама радијалног прираста)

Diagram 1. Dendrochronological sample (number of series and number of years in the series of radial increment)

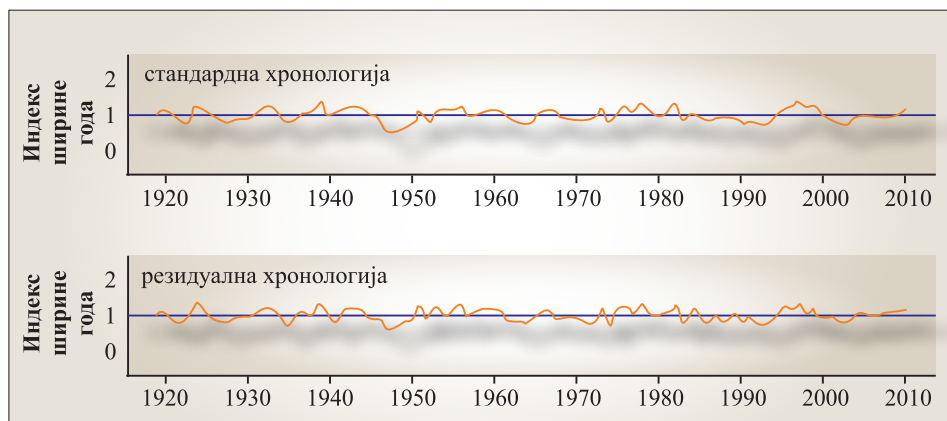


Графикон 2. Емпиријске серије радијалног прираста, линије изравнавања емпиријских серија (сплајн криве) и индекси радијалног прираста
Diagram 2. Empirical series of radial increment, fitting lines of empirical series (spline curves) and indices of radial increment

У циљу даље анализе квалитета еперијских серија радијалног прираста, односно прикупљеног дендрохронолошког материјала, коришћени су неки од основних статистичких показатеља, који се употребљавају у истраживањима овакве природе (табела 1). У наведеној табели презентовани су: укупан број анализираних серија (бушених стабала), идентификациони називи серија према методологији ITRDB (*International Tree Ring Data Base*), број година у серијама, укупан број сегмената и број проблематичних сегмената у серијама, величине просечне ширине прстенова прираста (\bar{i}_r), максималне ширине прстенова прираста ($i_{r,max}$), стандардне девијације ширина прстенова прираста (S_d), коефицијент интерсеријске корелације сваке серије са мастер хронологијом ($r_{x,y}$), величине средњег степена осетљивости (MS) и коефицијенти аутокорелације првог реда (AC1).

Табела 1. Карактеристике 22 серије радијалног прираста (емпиријски подаци)
Table 1. Characteristics of 22 series of radial increment (empirical data)

Бр. / No.	Серија Series	Интервал Interval	Бр. год. / No. year	Бр. сегм. No. segment	Бр. проб. сегм. No. prob. segm.	$r_{x,y}$	\bar{i}_r (mm)	$i_{r,max}$ (mm)	S_d (mm)	MS	AC1
1	FG10101	1932-2010	79	4	0	0,705	2,14	4,21	0,86	0,276	0,529
2	FG10201	1924-2010	87	4	0	0,666	2,23	3,84	0,65	0,187	0,695
3	FG10301	1932-2010	79	4	0	0,626	2,12	5,84	1,02	0,309	0,658
4	FG10401	1931-2010	80	4	0	0,783	3,29	5,76	1,14	0,282	0,524
5	FG10501	1912-2010	99	5	3	0,314	1,94	4,51	0,94	0,290	0,701
6	FG10601	1930-2010	81	4	0	0,770	2,44	4,86	0,73	0,197	0,651
7	FG10701	1923-2008	88	4	0	0,667	2,28	4,18	0,65	0,231	0,422
8	FG10801	1929-2010	82	4	4	0,267	2,86	5,26	1,04	0,303	0,458
9	FG10901	1925-2010	86	4	0	0,680	1,39	3,12	0,51	0,206	0,750
10	FG11001	1929-2010	82	4	0	0,616	2,43	6,22	1,13	0,249	0,733
11	FG11101	1934-2010	77	4	0	0,719	2,95	4,77	0,73	0,185	0,498
12	FG11201	1930-2010	81	4	0	0,801	1,75	3,52	0,65	0,229	0,686
13	FG11301	1931-2010	80	4	0	0,562	2,23	4,73	0,84	0,200	0,768
14	FG11401	1925-2010	86	4	0	0,746	2,83	6,22	1,10	0,288	0,584
15	FG11501	1934-2010	77	4	0	0,741	2,65	5,64	0,95	0,248	0,572
16	FG11601	1937-2010	74	4	0	0,667	2,06	5,59	1,46	0,223	0,904
17	FG11701	1920-2010	91	4	0	0,743	1,96	4,13	0,92	0,220	0,771
18	FG11801	1920-2010	91	4	0	0,781	2,64	5,24	1,21	0,221	0,772
19	FG11901	1919-2010	92	5	0	0,702	2,04	3,98	0,76	0,219	0,689
20	FG12001	1919-2010	92	5	0	0,581	2,37	4,87	0,88	0,199	0,714
21	FG12101	1920-2010	91	4	0	0,647	2,55	6,21	1,13	0,248	0,760
22	FG12201	1920-2010	91	4	0	0,743	2,62	5,73	1,05	0,247	0,722
Укупно или просечно Total or average			1866	91	7	0,659	2,35	4,93	0,93	0,239	0,664



Графикон 3. Стандардна и резидуална мастер хронологија
Diagram 3. Standard and residual master chronologies

Резултати мерења емпиријских величина радијалног прираста показују да средња величина прстена прираста по серијама радијалног прираста износи од 1,39 *mm* до 3,29 *mm*, у просеку $2,35 \pm 0,09$ *mm* (табела 1). Максимална величине прстена прираста по серијама износи од 3,12 *mm* до 6,22 *mm*, у просеку $4,93 \pm 0,19$ *mm*.

Величине средњег степена сензитивитета (осетљивости) износе од 0,185 до 0,309, просечно $0,239 \pm 0,008$. Просечни ниво корелације сваке од серија са мастер хронологијом износи $0,659 \pm 0,029$. Коефицијент аутокорелације свих емпиријских ширина година износи од 0,422 до 0,904, просечно $0,646 \pm 0,026$. Након одстрањивања серија FG10501 и FG10801 из узорка коефицијент аутокорелације износи $0,697 \pm 0,015$.

Укупан број проблематичних сегмената у свим серијама у апсолутном износу је 7, а у релативном износу 7,7%. С обзиром да су две серије, у којима је забележено свих 7 проблематичних сегмената, избачене из првобитног узорка серија, број проблематичних сегмената у том случају износи 0.

3.3. Карактеристике детрендованих и ауторегресионо моделованих серија радијалног прираста – стандардне и резидуалне мастер хронологије

Стандардна и резидуална мастер хронологија су приказане на графикону 3. Ове хронологије обухватају период од 92 године, од 1919. до 2010. године, са просечно 85 ширина година у низу. Као што је већ поменуто, утврђене мастер хронологије састоје се од 20 серија ширина година, од којих 7 прекорачује 90 година у низу.

Као што је већ назначено раније, стандардна и резидуална хронологија су настале након процеса стандардизације (детрендовања) емпиријских серија радијалног прираста и ауторегресионог моделовања детрендованих серија. Након ових процедура величине претходно коришћених дендрохронолошко-статистичких параметара су знатно промењене (табела 2). У табели 2 су представљени број година у обе врсте мастер хронологије, укупан број серија укључених у мастер хронологије,

просечне величине индекса радијалног прираста (i_r), стандардне девијација индекса радијалног прираста (S_d), величине коефицијената изражености популационог сигнала (EPS), величине коефицијената тзв. "однос сигнал-шум" (SNR), величине средњег степена сензитивитета (MS) и аутокорелациони коефицијенти првог реда (AC1).

Аритметичка средина индекса радијалног прираста износи 0,988 (код стандардане хронологије) и 0,996 (код резидуалне хронологије). Величине аутокорелационих коефицијената првог реда (AC1) износе 0,381 (стандардна хронологија) и -0,013 (резидуална хронологија). Највећа величина индекса радијалног прираста износи 1,443 (стандардна) и 1,363 (резидуална), а просечна стандардна девијација индекса радијалног прираста је 0,648 (табела 2). MS за резидуалну хронологију (0,205) је већи него за стандардну (0,175), али је стандардна девијација индекса ширина година код ове хронологија мања него код стандардне. Износи EPS и SNR код обе хронологије су исти (EPS) или веома слични (SNR).

Табела 2. Статистички параметри верзија мастер (локалне) хронологије

Table 2. Statistical parameters version of the master (local) chronology

Хронологија Chronology	Бр. год. No. year	Укупан број серија Total no. of series	i_r	S_d	EPS	SNR	MS	AC1
Стандардна Standard	92	20	0,988	0,192	0,96	23,8	0,175	0,381
Резидуална Residual	92	20	0,996	0,177	0,96	23,0	0,205	-0,013

У циљу даље анализе стандардне и резидуалне хронологије и њихове апликативности за анализе утицаја климе на раст шума урађени су неки од наведених денрохронолошко-статистичких параметара за заједнички период у расту свих стабала (табела 3). Просечне величине свих параметара (r_{bar} , EPS, SNR и PC1) за утврђени заједнички период су веома блиске код обе врсте мастер хронологије (табела 3).

Табела 3. Статистички параметри верзија мастер (локалне) хронологије за заједнички период 1938-2010. година (називи параметара су исти као и у табели 2, осим r_{bar} који означава просечни корелациони коефицијент између свих серија и PC1 представља прву главну компоненту, односно проценат варијансе објашњен првом главном компонентом)

Table 3. Statistical parameters version of the master (local) chronology for the common period 1938-2010 (parameters are the same as in table 2, except r_{bar} which denotes the average correlation coefficient between all series and PC1 stands for the first principal component, i.e. the percentage of variance explained by the first principal component)

Хронологија Chronology	Бр. год. No. years	Укупан број серија Total no. of series	r_{bar}	EPS	SNR	PC1
Стандардна Standard	73	20	0,543	0,96	23,803	57%
Резидуална Residual	73	20	0,534	0,96	22,954	56%

4. ДИСКУСИЈА

Почетни део ових истраживања односио се на комплетирање коначног дендрохронолошког материјала (након поступка вишеструке синхронизације) и оцену квалитета анализираних емпиријских серија радијалног прираста. Серије ширина година у дефинитивном узорку су, у просеку, показивале веома задовољавајући степен међузависности, јер су добијене просечне величине интерсеријских коефицијената корелације ширина година ($0,659 \pm 0,029$) у границама у којима се налазе величине ових показатеља интерсеријске корелације већине хронологија ($0,550-0,75$). Утврђене величине MS анализираних емпиријских серија (табела 1) упућују на закључивање да се ове серије, према инструкцијама Grissino-Mayer-a (2001), могу већином придодати групи средње сензитивних серија (величине MS код 16 од 20 серија су између 0,20 и 0,30). С обзиром да овај параметар дефинише разлике у величинама два узастопна года у низу (хронологији) година, утврђене величине средњег степена осетљивости указују на задовољавајуће присуство високо-фреквентних осцилација ширина година. У начелу, у свим серијама су пожељне веће величине стандардне девијације и средњег степена сензитивитета. Супротно од стандардне девијације и средњег степена сензитивитета, у серијама ширина година су пожељне мање величине аутокорелационих коефицијената (Stajić 2010). Стога је из ширина година неопходно уклонити и један вид нежељеног климатског варирања, јер одавно је познато да су серије ширина година високо аутокорелиране (Fritts 1976, Grissino-Mayer 2001). Наиме, климатски услови дате године (t) не утичу само на величину радијалног прираста у тој години, него и у следећој $t+1$ па све до $t+k$ године. Климатски утицаји претходне године на величину прираста у наредним годинама огледају се кроз утицаје на пупољке, хормоне, количину шећера, раст лишћа, корена и плодова (Fritts 1976). Аутокорелациони коефицијент је параметар који показује колика је корелација између ширина года у години t и ширине года у години $t + 1$. Ова корелација представља аутокорелацију 1 реда. Утврђене величине аутокорелације 1. реда емпиријских ширина година су прилично високе и износе у просеку $0,697 \pm 0,015$, али ипак припадају, према Grissino-Mayer (2001), категорији најчешћих величина.

У циљу максимизирања заједничког сигнала у расту, односно климатског сигнала у серијама радијалног прираста (ширина година), утицај свих фактора који изазивају неслучајне варијације у прирасту мора бити искључен. Након оцене квалитета и дефинисања коначног дендрохронолошког материјала, овај узорак са великом дендрохронолошко-статистичком поузданошћу и поверењем стандардизован је глатким кубним сплајном. „Уклапањем” глатких кубних сплајнова у емпиријске вредности радијалног прираста (серије ширина година) добијају се очекиване вредности ширина година које се деле са њиховим емпиријским вредностима чиме је извршена стандардизација (детрендовање) ширина година, којима се из емпиријских ширина година елиминисе утицај тзв. старосног тренда. Овакав поступак стандардизације емпиријских серија ширина година доминантан је метод детрендовања у дендрохронолошким истраживањима новијег датума. Циљ

проведене стандардизације ширина година, деобом емпиријске ширине година са очекиваном (процењеном) ширином година, био је да се елиминишу дугорочне ниско фреквентне осцилације у годовима изазване овом врстом тренда и уклони део неклиматских извора варирања, односно онај део варијабилитета који није својствен свим стаблима (серијама), али и стабилизација различитих варијанси ширина година у појединим периодима појединачних хронологија. На тај начин настају индекси радијалног прираста или индекси ширина година, који репрезентују одступања од "очекиваних" величина за дату календарску годину. С обзиром да су ова истраживања проведена у тзв. привредним шумама, како је то већ назначено, проблем утицаја конкурентског деловања и наглих промена у величинама простора за раст стабала на дефинисање типичног, карактеристичног "шаблона" низања ширина година (заједничког сигнала у расту) могуће је, према Fritts-у (1976) минимизирати употребом ортогоналних полинома различитих степена). Међутим, "... због повремених незадовољстава техником стандардизације помоћу полинома ..." Cook и Peters (1981) су предложили примену глатких сплајнова.

Упросечавањем добијених индекса ширина година, начином како је то објашњено у методу рада, добијена је стандардна хронологија. У циљу даље елиминације присутног тзв. ниско-фреквентног тренда, који може "маскирати" годишње варијације у радијалном прирасту (високо-фреквентне варијације), извршено је ауторегресионо моделовање индекса ширина година. На основу утврђених резидуала уклапања ауторегресионог модела дефинисана је резидуална хронологија. Извршеним процедурама отклоњен је ниско-фреквентни тренд и аутокорелација из емпиријских ширина година. Одсуство аутокорелације унутар резидуалне хронологије је потврђено и применом Љунг-Бокс теста ($p = 0,2257$, $df=18$, $Q_m = 22,1427$). Овим поступцима извршена је продукција хронологија, поступком који се у суштини може сматрати процесом редукције "шума" и утврђивања заједничког "сигнала" у расту (Griffa, Jones 1990). Овај сигнал представља заједнички варијабилитет присутан у свим серијама радијалног прираста у датим станишним условима.

Аритметичке средине индекса радијалног прираста код обе мастер хронологије сада су стандардизоване (након детрендовања) и износе око 1, а величине аутокорелационих коефицијента првог реда (AC1) су знатно смањене (стандардна хронологија) или веома блиске 0 (резидуална хронологија).

Компарирање величина стандардних девијација емпиријских ширина година између серија није смислено вршити, јер су те величине јако зависне од аритметичке средине емпиријских ширина година (Grissino-Mayer 2001). Наиме, емпиријске серије ширина година са већим аритметичким срединама су углавном и серије са већим стандардним девијацијама. Међутим, примена овог статистичког параметра код индекса ширина година је много кориснија, јер су аритметичке средине стандардизоване (Stajić 2010). Величина стандардне девијације индекса ширина година нешто је већа код стандардне него резидуалне хронологије (табела 2). Према томе, добијени резултати показују да је варијабилитет величина индекса ширина година око аритметичке средине нешто израженији код стандардне у односу на резидуалну хронологију.

MS код обе врсте мастер хронологије није велики (0,175 и 0,205), што указује на нешто мањи просечни варијабилитет два узастопна индекса ширина года у хронологијама. Pilcher (1976) је за стандардну хронологију хроста китњака у северном делу Ирске утврдио величину MS од 0,222. На простору САД White *et al.* (2011) су код три хронологије хрстова утврдили износе MS од 0,224 до 0,277. Према критеријумима Grissino-Mayer-a (2001), утврђене мастер хронологије са подручја Фрушке горе су малог сензитивитета (стандардна) и средњег сензитивитета (резидуална).

Обе врсте хронологије показују веома високе износе EPS (0,96) и SNR (око и преко 23). Овај параметар је израз јачине утврђеног заједничког сигнала између стабала (Wigley *et al.* 1984). EPS представља величину тзв. "сигнала" хронологије, који је изражен као фракција укупне варијансе хронологије (Griffa, Jones 1990). На примеру дефинисаних локалних хронологија, укупна варијанса сваке серије индекса ширина година састављена је од заједничког, општег "сигнала", који се може окарактерисати величином просечног коефицијента интерсеријске корелације (r) и "шума", који је у суштини једнак $1-r$.

$$EPS = \frac{\text{заједничка варијанса}}{\text{укупна варијанса}} = \frac{\text{сигнал}}{\text{сигнал+шум}}$$

Величине EPS овде анализираних локалних хронологија су далеко изнад доње границе прихватљивости и поверења хронологија, која према Wigley *et al.* (1984) износи 0,85. Као што се може уочити из табеле 4 добијене мастер хронологије су са довољном поузданошћу и значајношћу већ од најранијег периода (1921-1950) година, јер су величине EPS изнад 0,85, што према Wigley *et al.* (1984) представља доњи праг потребне величине EPS у хронологијама.

Табела 4. Величине EPS по анализираним периодима код обе врсте мастер хронологије
Table 4. EPS sizes by analyzed periods in both types of master chronologies

Период / Period	1921-1950	1936 -1965	1951-1980	1966-1995	1981-2010
EPS (станд) / EPS (stand)	0,953	0,971	0,938	0,942	0,961
EPS (резид) / EPS (resid)	0,957	0,969	0,947	0,952	0,957

SNR је израз јачине заједничког сигнала у расту између стабала, односно између серија радијалног прираста (Wigley *et al.* 1984, Cook *et al.* 1990). Добијени резултати показују да обе врсте хронологије имају веома високе износе и SNR (око 23). Величина SNR за резидуалну хронологију су нешто мање од величине SNR за стандардну хронологију, што је ипак делимично неочекивано, јер у начелу према резидуалне хронологије би требало да имају већи износ овог статистичког параметра. Међутим, овакви резултати су могући и потврђени су у појединим истраживањима (Huante *et al.* 1991).

Величине варијансе објашњене 1. сопственим вектором (првим вектором у анализи главних компоненти) – PC1 – за обе хронологије су скоро идентичне (56%

и 57%). Прве 3 сопствене компоненте код стандардне хронологије имају величине изнад 1 и чине кумулативно 69% укупне варијансе, а код резидуалне хронологије прве 4 сопствене компоненте имају величине изнад 1 и чине кумулативно више од 71% укупне варијансе. Може се закључити да фактор објашњен првом сопственом компонентом има највећи ефекат на варирање радијалног прираста, док је утицај фактора описаних другом и трећом сопственом компонентном много мањи. Утврђени проценат објашњеног варирања радијалног прираста првом компонентом код обе хронологије је веома висок и знатно је виши у односу на резултате многих истраживања (Feliksik *et al.* 2007, Liu *et al.* 2010...).

Добијени резултати показују да утврђене хронологије поседују висок ниво заједничког сигнала и да је коришћени пречишћени и хомогенизовани узорак дендрохронолошког материјала довољан да се "ухвати" жељени "сигнал", који репрезентује заједнички варијабилитет присутан у свим серијама ширина година у датим станишним условима. С обзиром да су просечне величине свих параметара (r_{bar} , EPS, SNR и PC1) за утврђени заједнички период веома блиске код обе врсте мастер хронологије (табела 3), за даља дендроклиматолошка истраживања могуће је користити и стандардну и резидуалну хронологију. Ипак, резидуална хронологија, с обзиром да су величине индекса у оквиру ове хронологије "очишћене" од јаког утицаја аутокорељације, може се сматрати нешто прикладнијом и прихватљивијом за даља дендроклиматолошка истраживања и анализу утицаја појединих климатских елемената на раст и прираст шума.

5. ЗАКЉУЧЦИ

Више пута у досадашњим истраживањима (Vučković, Stajić 2001, 2004, Stajić 2010) је констатовано да се у нашим условима истраживањима прираста стабала и састојина, као саставном делу еколошког мониторинга (Level II у оквиру Међувладиног панела за промену климе - IPCC) и недвосмисленом биоиндикатору деловања различитих фактора на шумске екосистеме, поклања недовољна пажња. Овакав приступ није сагласан суштини проблема и могућег начина његовог решавања, као и доминирајућем прилазу овом проблему у савременом европском шумарству (Vučković, Stamenković 2000).

Истраживања радијалног прираста стабала представљају основ дендрохронологије. Овде проведена истраживања могу се означити као "пионирска" дендрохронолошка истраживања у Србији, заснована на методолошким приступима који карактеришу модерна истраживања овакве природе у свету. Резултати истраживања су показали да су добијене мастер хронологије храста китњака на подручју Фрушке горе задовољавајућег квалитета и поузданости. Утврђене мастер хронологије садрже довољан општи заједнички "сигнал" у ширинама година, који карактерише сва анализирана стабла и који може бити процесуиран у дендроклиматолошким анализама. Према основним назнакама, које су резултат ових истраживања, може се рећи да је у истраживаним станишним условима храст китњак слабо до

средње сензитивно реаговао на модификације услова средине у задњих 90-ак година. Овде добијене ”прочишћене” серије ширина година и индекси ширина година могу послужити као основ за различита даља истраживања и у областима дендроклиматологије, дендроекологије, дендрогееоморфологије, дендроархеологије итд.

Напомена: Рад је реализован у оквиру пројекта: ”Шумски засади у функцији повећања пошумљености Србије”, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру програма технолошког развоја за период 2011-2014. године

ЛИТЕРАТУРА

- Biondi, F. (1997): *Evolutionary and Moving Response Functions in Dendroclimatology*. *Dendrochronologia* 15 (139-150),
- Briffa, K., Jones, P. D. (1990): *Basic Chronology Statistics and Assessment*. In: Cook E., Bronštejn, I. N., Semendjajev, K. A., Musiol, G., Milig, H. (2007): *Matematički priručnik*. Soho Graph, Beograd
- Cherubini, P. Gärtner, H., Esper, J., Dobbertin, M. K., Kaiser, K. F., Rigling, A., Treydte, K., Zimmermann, N. E., Bräker, O. U. (2004): *Jahrring als Archive für interdisziplinäre Umweltforschung*. *Schweizerische Zeitschrift fuer Forstwesen* 155 (162-168)
- Cook, E. R., Peters, K. (1981): *The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies*. *Tree-Ring Bulletin* 41 (45-53)
- Cook, E., Briff, K., Shiyatov, S., Mazepa, V. (1990): *Tree-Ring Standardization and Growth-Trend Estimation*. У: Cook, E.R., Kairiukstis L.A. (1992): *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer, Dordrecht, Boston, London (104-123)
- Feliksik, E., Orzel, S., Wilczyński, S. (2007): *Dendrometric and Dendroclimatological Analyses of Black Locust*. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 10 (2) (1-11)
- Fritts H.C. (1976): *Tree Rings And Climate*. The Blackburn Press
- Gadow, V. K. (2002): *Waldwachstum*. Beilage zur Vorlesung für das Sommer-semester. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Georg-August-Universität, Göttingen
- Grissino-Mayer, H. D. (2001): *Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA*. *Tree-Ring Research* 57 (205–221)
- Holmes, R. L. (1983): *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. *Tree-Ring Bulletin* 43 (69-78)
- Huante, P., Rincón E., Swetnam, T. W. (1991): *Dendrochronology of Abies religiosa in Michoacan, Mexico*. *Tree-Ring Bulletin* 51 (15-27)
- Kairiukstis L. (eds). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (137-152)
- Liu, J. J., Yang, B., Sonechkin, D. M. (2010): *Establishment of tree-ring chronology and climatic response of Tibetan juniper (S. tibetica) in south Tibet, western China*. *Sciences in Cold and Arid Regions*. 2 (6) (493-504)

- Mladenović Z., Nojković A. (2012): *Primenjena analiza vremenskih serija*. Ekonomski Fakultet, Univerzitet u Beogradu
- Pilcher, J. R. (1976): *A statistical oak chronology from the North of Ireland*. Tree-Ring Bulletin 36 (21-27)
- Schweingruber, F. H. (1983): *Der Jahring*. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart
- Stajić, B. (2010): *Karakteristike sastojinske strukture i rasta stabala u mešovitim sastojinama bukve i plemenitih lišćara na području Nacionalnog parka „Đerdap“*. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Beograd.
- Stamenković, V., Vučković, M. (1988): *Prirast i proizvodnost stabala i šumskih sastojina*. Udžbenik, Beograd.
- Vučković M., Stamenković, V. (2000): *Zadaci u oblasti istraživanja uslova za povećanje prirasta i korišćenja dendromase sa stanovišta savremenog šumarstva*. Glasnik Šumarskog fakulteta 82, Beograd (51-58)
- Vučković M., Stajić B. (2001): *Istraživanje prirasta dendromase kao dela ekološkog monitoringa*. Pregledni rad, Međunarodna konferencija „Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja“. Novi Sad (351-355)
- Vučković M., Stajić B. (2003): *Uticaj promena klime na rast i vitalnost šuma*. Pregledni rad. Međunarodna konferencija „Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja“. Novi Sad (227-232)
- Vučković M., Stajić B. (2004): *Zadaci i značaj istraživanja rasta i proizvodnosti šuma za ekologiju i šumarstvo*. Pregledni rad, Glasnik Šumarskog fakulteta u Banjoj Luci 1, Banja Luka (15-25)
- White, P. B., Van De Gevel, S. L., Grissino-Mayer, H. D., Laforest, L. B., Deweese, G, G. (2011): *Climatic response of Oak species across an environmental gradient in the Southern Appalachian mountains*. USA. Tree-Ring Research, Vol. 67(1) (27-37)
- Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. (1984): *On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology*. Journal of Climate and Applied Meteorology. Vol. 23 (201-213)

Branko Stajić
Miљivoј Vučković
Živan Janjatović

DENDROCHRONOLOGICAL RESEARCH IN AN ARTIFICIALLY ESTABLISHED SESSILE OAK STAND IN THE AREA OF FRUŠKA GORA

Summary

The research of radial increment of Sessile oak and its suitability for further dendroclimatic investigations on the basis of modern dendrochronological methodological procedures have never been carried out in Serbian forest science. Due to the previously mentioned fact the two main objectives of this research are (1) to determine the chronologies of sessile oak trees and define the first local (master) chronology of sessile oak in the analyzed site conditions in the area of Fruška Gora and (2) to determine the strength of the common signal in the growth of sessile oak and its dendroclimatic potential.

The investigations were conducted in an artificially established almost mature to mature sessile oak stand, located in the "Fruška Gora" national park, in the FMU "Stražilovo - Paragovo" within compartment 56. The stand belongs to the *Quercetum montanum tilietosum tomentosae* community and is about 90 years old. The altitude at which samples were taken for analysis is 240 m and the exposure of the terrain is western. The average annual air temperature for the 1965-1990 period was 10.0° C. During this period, the average minimum and maximum air temperatures were 4.5° C and 14.0° C, respectively. The average annual rainfall for the 1966-1987 period, reached 797 mm of which 502 mm falls during the period from April to October.

For the purpose of quantitative analysis of radial growth, defining of the master chronology and establishing of a common signal in the growth of sessile oak, 22 dominant trees were drilled with a Pressler borer and one core increment was taken from each tree at the height of 1.3 m. After that, a measuring instrument LINTAB (digital positioning meter), produced by the company RINNTECH was used in the Laboratory for increment and biomonitoring research of the Faculty of Forestry to precisely measure a total of 1866 growth rings (tree ring width), with an accuracy of measurement of 1 /100 mm. Tree ring width series were dated, and synchronized, i.e. first double visually synchronized (by checking the locations of conspicuously narrow or wide rings and sliding and folding of curves in a specialized TSAP program), and then by using the COFFECHA program.

After that the series of radial increment were standardized - detrended using a *smoothing cubic spline* with a rigidity of 32 years ($\lambda = 32$), with 50% of the variance in tree ring width series preserved. After the standardization procedure, each empirical size of tree ring width divided with its estimated size, with the resulting annual ring width indices (I_t) for each separate chronology. In order to obtain a standardized master chronology, averaging of the standardized series was performed using the biweight robust estimation of the mean value function.

In order to eliminate autocorrelation, autoregression modeling was performed and the so-called residual master (local) chronology was defined. Residual chronology is calculated in the same way as the standard chronology, except that autocorrelation was removed from the existing annual ring width indices of individual series using the autoregression model of the first order.

The quality of the local (master) series of radial increment (chronology), the strength of the common and climatic signals were evaluated using the following parameters : (1) average mean sensitivity - MS, (2) expressed population signal - EPS, (3) Signal-to-noise ratio - SNR, and (4) the variance explained using eigenvectors in the procedure of analysis of the principal components.

The results of measurement and analysis of the empirical values of radial growth showed that the sizes of a mean sensitivity range from 0.185 to 0.309, on average 0.239 ± 0.008 , and the average level of correlation of each series with the master chronology was 0.659 ± 0.029 . The autocorrelation coefficient of the empirical tree ring width ranges from 0.422 to 0.904, on average 0.646 ± 0.026 . The total number of problematic segments in all series in absolute terms is 7, and the relative amount is 7.7%. If we take into account the fact that two series with 7 problematic segments recorded were left out from the original sample of series, the number of problematic segments was in that case reduced to 0.

The obtained standard and residual master chronologies consist of 20 width series and cover a period of 92 years, from 1919 to 2010, with an average 85 tree ring widths in a row. The sizes of autocorrelation coefficients of the first order (AC1) are 0.381 (standard chronology) and 0.013 (residual chronology). The maximum size of the radial increment index is 1.443 (standard) and 1.363 (residual), and the average standard deviation of the index of radial increment is 0.648. MS

for residual chronology (0.205) is higher than the standard (0.175), but the standard deviation of the index of tree ring width in this chronology is lower than standard. The amounts of EPS and SNR in both chronologies are the same (EPS) or very similar (SNR). Both types of chronologies show a very high amount of EPS (0.96) and SNR (about 23 and over). This parameter is determined by measuring the expression of the common signal between trees (Wigley *et al.* 1984). The sizes of variance explained by the first eigenvector (the first vector in the analysis of the principal components) - PC1 - are almost identical for both chronologies (56% and 57%). The first three components of standard chronology have sizes above 1, and make a cumulative 69 % of the total variance, and in the case of residual chronology the first four components have sizes above 1 and are cumulatively more than 71% of the total variance. It can be concluded that the first factor explained by the first principal component has the greatest effect on the variation of radial growth, while the effect of the factors described by the second and third principal components is much smaller.

The average sizes of all parameters (r_{bar} , EPS, SNR and PC1) for a fixed common period (1938-2010) are very close in both types of master chronologies. Given that the average sizes of all parameters (r_{bar} , EPS, SNR and PC1) for the fixed common period are very close in both types of master chronologies, both standard and residual chronologies can be used for further dendroclimatological research. However, since the sizes of the index within residual chronology are "cleaned" from the strong influence of autocorrelation, this type of chronology can be considered a more appropriate and acceptable variety for further dendroclimatological research and analysis of the impact of certain climatic elements on the growth and increment of forests.

The results of this research have shown that the obtained master chronologies of sessile oak trees in the area of Fruška gora have satisfactory quality and reliability. The identified master chronologies have sufficient general "common signal" in tree ring width, which characterizes all analyzed trees that can be processed in dendroclimatological analyses. According to the basic indicators that are the results of these studies, it can be said that in the investigated site conditions, sessile oak showed low to medium sensitive reaction to the modifications of environmental conditions in the past 90 years.