

UDK: 630\*561.24(497.11 Rudnik)

551.583.4(497.11 Rudnik)

Оригинални научни рад

DOI: <https://doi.org/10.2298/GSF1818143S>

## УТИЦАЈ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И ПАДАВИНА НА ПРИРАСТ ЦРНОГ БОРА (*Pinus nigra* J. F. Arnold): СТУДИЈА СЛУЧАЈА СА ПОДРУЧЈА ПЛАНИНЕ РУДНИК

Др Бранко Стајић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет

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

**Извод:** У раду је истраживан утицај температуре и падавина на прираст стабала културе црног бора на подручју планине Рудник. У ту сврху је узето 50 серија радијалног прираста, из 25 доминантних стабала. Поменути утицај анализиран је применом три процедуре: корелације између сезонских величина температуре и падавина и RES хронологије индекса радијалног прираста, корелације између месечних температура и падавина и RES хронологије индекса радијалног прираста и тзв. одзивне функције. Резултати су показали да је црни бор у датим условима веома сензитиван према износима падавина у летњим месецима, на тај начин да веће количине падавина у лето проузрокују статистички значајно веће износе прираста. Варирање прираста много мање је условљено варијацијама температуре, при чему је регистрован слаб негативан утицај виших јулских температура на величину прираста. Закључено је да је реакција црног бора на овом локалитету у погледу прираста и његове зависности од климе слична реакцији црног бора у Србији и земљама у непосредном окружењу, које се карактеришу сродним климатским условима.

**Кључне речи:** клима, прираст стабала, дендроклиматологија, црни бор, Рудник, Србија

### УВОД

Бројна подручја примене резултата истраживања прираста стабала и шумских састојина (привредно-економска, истраживања климатских промена, ефекта аерозагађења, нивоа утицаја штеточина ентомолошког и фитопатолошког карактера, могућности примене ђубрења, анализа виталности и сушења стабала и састојина, анализа хомогености услова за раст појединих врста дрвећа на различитим стаништима итд.) и њихов значај у оквиру савремених научних истраживања одрживог развоја, прилично детаљно су у нашој земљи презентовали

Stamenković и Vučković (1988), Vučković и Stamenković (2000), Vučković и Stajić (2004), Stajić (2010) и Stajić *et al.* (2014). Најскорија истраживања овог типа у Србији проведена су у циљу утврђивања и евалуације динамике процеса девитализације и сушења стабала (Stajić *et al.* 2017a), јачине заједничког климатског сигнала у расту стабала (Stajić *et al.*, 2018), утицаја варијација температуре и падавина на прираст различитих врста дрвећа (Stajić *et al.* 2017b, Stojanović *et al.*, 2018) и утврђивања тзв. карактеристичних година у расту (Stajić *et al.*, 2017c).

Истраживања токова прираста као «економског» параметра и биоиндикатора реакције стабала на промене основних фактора раста посебно су значајна за црни бор, као најчешће коришћену врсту за пошумљавање у Србији, имајући у виду да затечено стање састојина ове врсте није задовољавајуће, како са аспекта њиховог здравственог стања и виталности, тако и станишта коришћења производних потенцијала станишта. Пошумљавања црним бором претежно су вршена на стаништима других врста дрвећа, па, у случају предугачких опходњи и неадекватног газдинског третмана, производна и еколошка ефикасност и стабилност оваквих вештачки подигнутих састојина могу бити значајно нарушени и угрожени (Vučković *et al.*, 2008, Stajić *et al.*, 2017a). Стога је, у таквим случајевима, често присутан процес девитализације стабала, а затим и потпуно сушење делова крошњи, па чак и целих стабала и група стабала.

Поред неодговарајућег узгојног третмана и предугачких опходњи, узрок умањења виталности и сушења стабала могу бити и варијације климатских елемената, од којих су најважнији температура ваздуха и количина падавина. С обзиром да све израженије сушење и девитализација стабала црног бора у вештачки подигнутим састојинама последњих година представља озбиљан проблем и изазов за шумарску струку и науку у Србији, циљ овог рада је био да се анализирају реакције стабала црног бора у вештачки подигнутој састојини на подручју планине Рудник, условљене вишедеценијским варијацијама температуре и падавина.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Узорци за анализу (извртци) прикупљени су у вештачки подигнутој састојини црног бора на планини Рудник, одељења 62, одсек “Б” (RU62b), која се налази на око 700 m.n.v. Локација истраживане састојине у оквиру Србије приказана је на левом делу слике 1, док мапа у горњем десном углу прецизније показује положај исте састојине у контексту конфигурације терена планине Рудник. Поред тога, на истом делу слике представљена је и позиција метеоролошке станице “Рудник-планина” (MS RU-PL), која се налази у непосредној близини истраживаног локалитета.

На основу климатских података за период 1962-2016. године, у доњем десном углу слике 1 приказани су подаци о просечној температури ваздуха (изломљена крива) и просечној количини падавина (сиви стубићи) на месечном нивоу. Према тим подацима, просечна годишња количина падавина је 910 mm·m<sup>-2</sup>, што је знатно више у односу на просек овог климатског елемента у Србији за период 1961–1990, који према Popović *et al.* (2005) износи 734 mm·m<sup>-2</sup>. Од тога, 65% падавина (587 mm·m<sup>-2</sup>) наступа у току вегетационог периода (април-октобар). Просечна годишња температура ваздуха и просечна температура у вегетационом периоду (април-октобар) износе 9,6 оС и 14,9 оС.

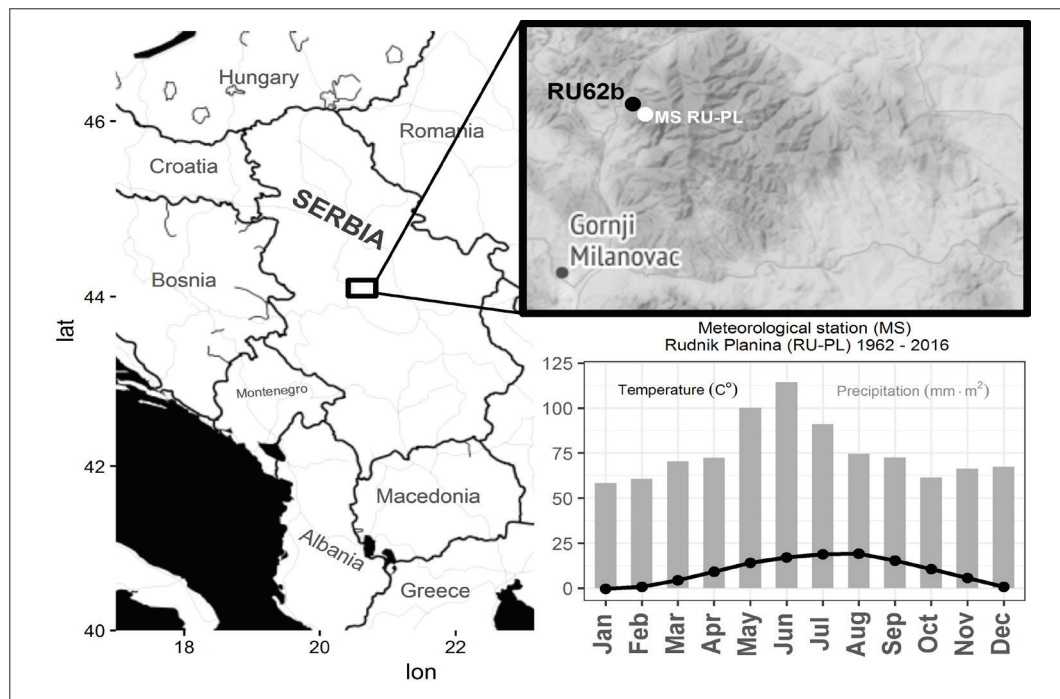
Првобитни узорак био је састављен од по два извртка, узетих са наспрамних страна сваког од 25 доминантних стабала црног бора (50 серија радијалног прираста). Величине радијалног прираста стабала мерени су на дигиталпозициометру (LINTAB), са тачношћу мерења од 1/100 mm. У току мерења извршена је синхронизација података (Vučković 1993, Stajić 2010), најпре провером позиције упадљиво малих или великих износа радијалног прираста, а затим и померањем и преклапањем кривих у специјализованом програму TSAP. Додатна оцена квалитета мерења и даља анализа дефинисане базе података извршена је у оквиру програмског пакета R. Том приликом је коришћено неколико дендрохролошких «библиотека», као и делови кода који су у сврху истраживања овог типа развијени у оквиру Лабораторије за истраживање прираста и биомониторинг Шумарског факултета у Београду.

У циљу утврђивања степена подударности појединачних серија радијалног прираста и мастер хронологије, све серије радијалног прираста подељене су на сегменте дужине 30 година, који су сукцесивно померани за периоде од по 15 година од почетка па до краја серија. Након тога, сваки сегмент је тестиран са тим истим сегментом серија радијалног прираста из дефинисане мастер хронологије. Наиме, ако су величине радијалног прираста у сегментима серија датиране прецизно и ако су токови раста ових стабала веома слични токовима осталих стаба-

ла уочава се позитивна и статистички сигнификантна корелација и обрнуто (Stajić 2010). Овом процедуром, услед уклањања појединих серија радијалног прираста са укупни коефицијентом међусеријске корелације мањим од 0,5 и серија са већим бројем "проблематичних" – несигнификантно корелираних сегмената, ређуован је првобитни узорак и формиран дефинитивни узорак серија радијалног прираста, који је коришћен у даљој статистичкој обради. За све серије у дефинитивном (пречишћеном) узорку утврђени су основни статистички показатељи: број података о радијалном прирасту (дужина серије), аритметичка средина ( $\bar{i}_r$ ) и стандардна девијација величина радијалног прираста (SD). Просечне величине ових показатеља презентоване су заједно са неким од типичних денхронолошко-статистичких параметара, као што су величине просечног степена сензитивности (осетљивости) - (MS), коефицијент аутокорелације 1. реда (AC1), коефицијент упоредности низања величина прираста (GIk),

коефицијент корелације и износ  $t$ -тест вредности ( $t_{bp}$ ) према Baillie и Pilcher (1973).

Процедура процене и уклањања тзв. неклиматског тренда из серија радијалног прираста стабала је веома важан корак у оквиру истраживања зависности прираста стабала, састојина и шума од климатских елемената (дендроклиматологија). Моделовање типичног тока радијалног прираста стабала, односно тренда прираста, омогућава стандардизацију појединачних серија радијалног прираста и њихово упросечавање у тзв. просечну - локалну хронологију (Cook E. *et al.* 1990). Један од често коришћених приступа за то јесте примена тзв. двоструког детрендовања (Holmes *et al.*, 1986). Стога, у циљу утврђивања очекиваног или "нормалног" тренда радијалног прираста, "очишћено" од утицаја старости и појединих варијација, најпре је извршено детрендовање применом негативне експоненцијалне функције, а затим и даље «филтрирање» путем глатких кубних сплајнова, при чему се задржава



Слика 1. Локација подручја и истраживане састојине RU62b. Доњи десни угао слике приказује просечну температуру ваздуха и просечну суму падавина на месечном нивоу у периоду 1962-2016. година за најближу метеоролошку станицу Рудник планина - MS RU-PL.

50% варијансе у низовима величина радијалног прираста на 67% дужине сваке појединачне серије. Индекси радијалног прираста сваке појединачне серије добијени су деобом емпиријске величине радијалног прираста са изравнатом (процењеном) величином. Даље је спроведено ауторегресионо моделовање, чији ред је дефинисан помоћу тзв. АИС критеријума (*Akaike Information Criterion*). Након тога, извршено је упросечавање резидуалних серија коришћењем тежинске средине путем Такијеве биквадратне функције (Cook *et al.*, 1990). На тај начин је развијена резидуална мастер хронологија индекса радијалног прираста (RES), која је коришћена за даље дендроклиматолошке анализе.

Квалитет локалне (мастер) хронологије серије радијалног прираста (хронологија), јачина заједничког и климатског сигнала, анализирани су помоћу уобичајених индикатора: коефицијента изражености популационог сигнала – EPS (Wigley *et al.*, 1984, Briffa, Jones, 1990), односа “сигнал-шум” - SNR (енг. *signal-to-noise ratio*) према Briffa и Jones (1990) и процента варијансе објашњене помоћу првог сопственог вектора у анализи главних компоненти (PC1).

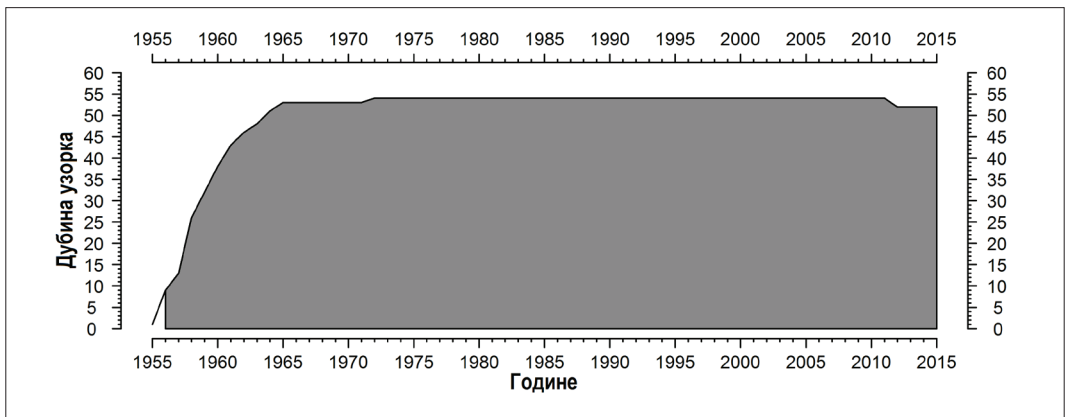
Стабилност EPS коефицијента кроз време, истражена је применом 30-годишњих покретних прозора који су сукцесивно померани за по једну годину (позицију) у десно дуж целе дужине серије радијалних прираста, односно мастер хронологије.

У циљу утврђивања зависности између прираста и климе спроведене су корелационе анализе између сезонских (3-месечних) величина температуре и падавина и величина индекса радијалног прираста. Утицај појединачних месеци истражен је путем корелационих и тзв. одзивних функција између месечних климатских података и величина индекса радијалног прираста. Ове анализе извршене су у оквиру тзв. *treeclim* библиотеке (Zang, Biondi, 2015).

## РЕЗУЛАТИ

Један од фактора који ограничава поузданост прикупљеног дендрохролошког материјала, јесте и репрезентативност узорка, односно број серија радијалног прираста и број година у серијама (Stajić *et al.*, 2014). У овим истраживањима “дубина” узорка (енг. *sample depth*) одређена је на начин да се као прва величина радијалног прираста за даље анализе узима величина у оној календарској години у којој има најмање 4 податка о радијалном прирасту (графикон 1).

Најважније карактеристике емпиријских серија радијалног прираста црног бора приказане су у табели 1. Након проведеног поступка синхронизације и вишеструке стандардизације, дефинитиван узорак сачињен је од 38 серија радијалног прираста, пореклом из 23 доминантна стабла. Просечна дужина хронологије



Графикон 1. Број узорака по анализираним календарским годинама. Сива боја означава године са више од 4 податка.

Табела 1. Карактеристике серија (хронологије) радијалног прираста (емпиријски подаци)

Број	≥ 4 понављања					Просечно за све серије						
	Статистички показатељи					Слагање са маст. хронол.						
	Стаб.	Изврт.	Од	До	Бр. год.	$\bar{l}_r$	SD	MS	AC1	Glk	$r_{xy}$	$t_{bp}$
$i_r$	23	38	1956	2015	57	2,29	1,59	0,32	0,71	0,67	0,72	4,48

емпиријских величина радијалног прираста износи 57 година, док је у најдужој серија у узорку констатовано 60 података о радијалном прирасту (од 1956. до 2015. године). Аритметичка средина величина радијалног прираста свих серија износи 2,29 mm, а просечна вредност стандардне девијације 1,59 mm. Просечна величина MS коефицијента износи 0,32, а просечна величина AC1 је 0,71 (табела 1).

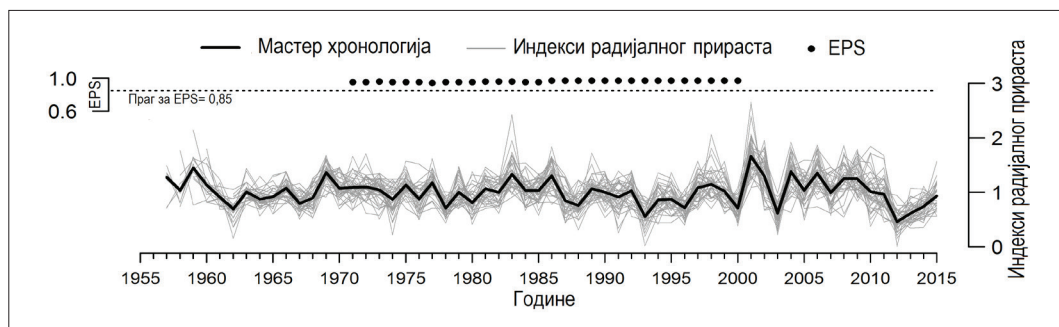
У циљу утврђивања заједничког сигнала у расту, према дејству основних фактора средине, неопходно је извршити што је могуће прецизнију оцену степена слагања (подударности) токова раста стабала у узорку. У ту сврху, одређена су три различита параметра као показатеља међузависности серија радијалног прираста (Glk,  $r_{xy}$  и  $t_{bp}$ ). Величине ових показатеља приказани су у табели 1 и износе: 0,67 (Glk), 0,72 ( $r_{xy}$ ) и 4,48 ( $t_{bp}$ ). Према добијеним резултатима, присутан је пожељан ниво слагања токова раста појединачних серија и мастер хронологије, што је условило да се приступи и изради резидуалне хронологије индекса радијалног прираста (графикон 2). Најзначајније статистичке и ден-

дрохронолошке карактеристике ове хронологије презентоване су у табели 2.

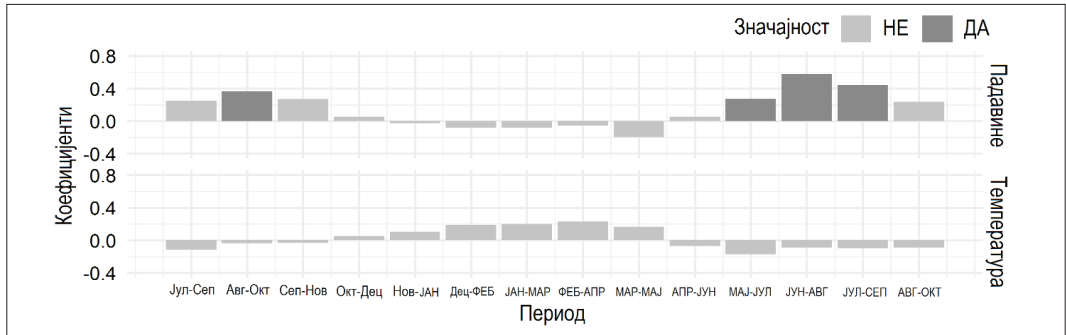
Процедура ауторегресионог моделовања појединачних индекса радијалног прираста утицала је на њихову дужину, па је временски интервал који обухвата RES хронологија краћи за једну календарску годину у односу на период код емпиријских серија. Поред тога, примењеним поступцима детрендовања и упросечавања, умањена је величина MS коефицијента на 0,26, а аутокорелација је скоро у потпуности елиминисана (0,08). Такође, добијени износи EPS (0,97) и SNR (27,9) су прилично велики. Величине варијансе објашњене 1. сопственим вектором (првим вектором у анализи главних компоненти) – PC1 – износи 0,49 (табела 2).

Табела 2. Основни статистичко-дендрохронолошки показатељи дефинисане RES хронологије.

	Бр. год.	MS	AC1	EPS	SNR	PC1
RES хронологија	59	0,26	0,08	0,97	27,9	0,49



Графикон 2. Појединачне серије индекса радијалног прираста, RES хронологија и величине EPS “крз време”.



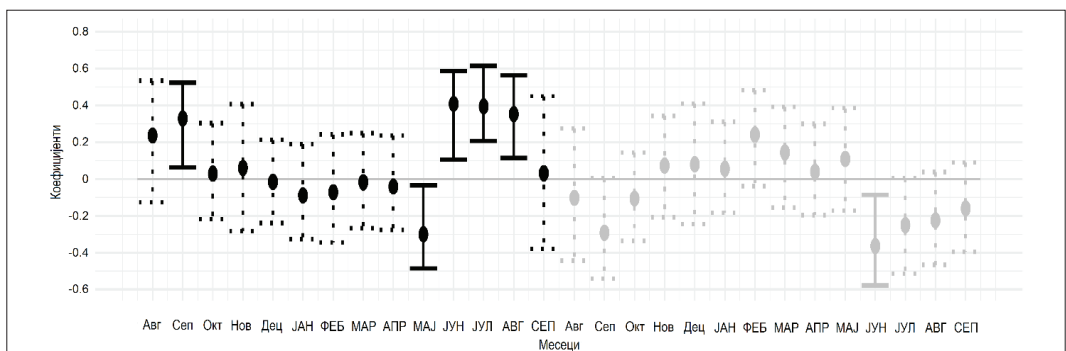
**Графикон 3.** Величине корелационих коефицијената између сезонских величина температуре и падавина и RES хронологије индекса радијалног прираста

У циљу стицања основних сазнања о периодима (сезонама) у току године који најзначајније утичу на раст и прираст шумских стабала утврђени су корелациони коефицијенти између сезонских (различити тромесечни временски периоди) података о температури и падавинама и индекса радијалног прираста (графикон 3). Тамно сиви стубићи представљају статистички сигнификантне коефицијенте на нивоу значајности од 0,05 (обе стране дистрибуције). У анализирањем тромесечним периодима, мала и велика слова у називима означавају месеце из претходне, односно текуће календарске године. Као што је могуће увидети из графикона 4, од укупно 14 тестираних тромесечних периода, статистички значајна позитивна корелација утврђена је само између индекса радијалног прираста и количине падавина (горњи део графикона) и то у периоду август-октобар претходне године и периодима мај-јул, јун-август и јул-

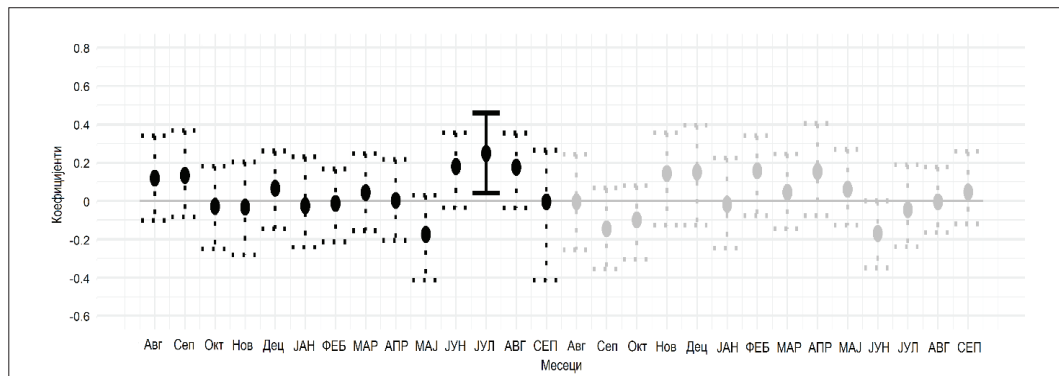
-септембар текуће године. Највећа корелација између испитиваних варијабли утврђена је за период јун-август текуће године (0,57).

Утицај појединачних месеци на износе прираста стабала црног бора анализиран је, најпре, корелационом анализом у којој су као варијабле узети подаци о температури и падавинама оних месеци који су већ детектовани као статистички значајни приликом оцене утицаја сезонских износа климатских елемената на индексе радијалног прираста (графикон 4).

Најјача статистички значајна позитивна корелација између падавина и прираста утврђена је за летње месеце текуће године (јун, јул и август). Поред тога, утврђен је и статистички значајан утицај падавина из септембра претходне године и статистички негативан утицај падавина из маја текуће године на величину прираста. Негативан утицај високе температуре у јуну текуће године такође је статистички значајан.



**Графикон 4.** Корелациони коефицијенти (дођени тзв. bootstrapped методом) између падавина (црна боја) и температуре (сива боја) за месеце август претходне године-септембар текуће године и RES хронологије индекса радијалног прираста.



**Графикон 5.** Коэффициенти одзивне функције (добијени тзв. bootstrapped методом) између падавина и температуре за месеце август претходне године-септембар текуће године и RES хронологије индекса радијалног прираста.

“Комбиновани” ефекат падавина и температуре на индексе радијалног прираста истраживан је применом тзв. одзивних функција за месеце предочене у претходном примеру. Резултати примене ове процедуре указали су на преовлађујући утицај падавина из месеца јула текуће године на индексе радијалног прираста (графикон 5).

## ДИСКУСИЈА

### Оцена квалитета серија радијалног прираста

Екстракција климатског утицаја (сигнала) из радијалног прираста представља веома комплексан методолошки поступак, с обзиром да величину радијалног прираста модификује низ разноврсних фактора. Стога, није лако закључити који «део величине радијалног прираста» је настао као резултат утицаја искључиво климатских фактора (Stajić *et al.*, 2014). Због тога, наведени аутори апострофирају чињеницу да у истраживањима раста и прираста стабала, дендрохронологији, дендроклиматологији, али и сличним дисциплинама у којима карактер и величина прираста служе као основ за различита стручно-научна закључивања (дендроекологија, дендрогеморфологија итд.), термин “сигнал» представља жељено заједничко својство у серијама радијалног прираста стабала, које је

предмет интересовања и анализе у датим условима станишта. Међутим, постоји и део укупних варијација у величинама прираста који се означава као «шум», настао као резултат специфичне реакције сваког индивидуалног стабла на услове станишта, али и разне случајне ендogene и екзогене факторе (Cook *et al.*, 1990). Имајући то у виду, може се десети да међусобно најближа суседна стабла имају сасвим или прилично различиту реакцију на доминирајуће факторе раста, што у великој мери може довести до неподударности и неслагања токова радијалног прираста ових стабала. Стога је од велике важности провођење детаљне синхронизације радијалног прираста анализираних стабала. У појединим случајевима, услед низа уочених неслагања у токовима раста и прираста, првобитни узорак за анализе прираста може бити значајно умањен. Тако су Stajić *et al.* (2017c) приликом дефинисања карактеристичних година у расту букве на подручју Жагубице, од укупно 64 првобитних серија радијалног прираста, поступком вишеструке синхронизације оставили само 52 серије задовољавајућег квалитета, неопходно за даља процесуирања у истраживањима поменутог типа. Још драстичнији случај констатован је приликом истраживања јачине сигнала и дендроклиматолошког потенцијала букве на подручју НП «Ђердап», када је Stajić (2010), услед могућих грешки у мерењу и датирању или нестандардног одступања у токовима раста појединих стабала изазваним случајним факторима, од укупно 93 првобитно узоркована

стабла за даља дендрохронолошка истраживања анализирао токове радијалног прираста само 61 стабла.

Резултати ових истраживања такође су потврдили неопходност правилно одабраног узорка, те је од укупно 50 серија прираста из првобитног узорка у коначан узорак узето само 38 серија, које су показивале довољан ниво слагања токова раста појединачних серија и која су коришћена за даља истраживања зависности прираста од варијација климатских елемената (дендроклиматолошка истраживања).

Серије радијалног прираста у дефинитивном узорку показале су висок степен међузависности (просечан коефицијент међусеријске корелације износи 0,72). Према просечној величини MS коефицијента (0,32) може се закључити да се, у просеку, емпиријске серије радијалног прираста, према инструкцијама Grissino-Mayer-a (2001), могу придодати групи сензитивних серија, што показује да су стабла прилично витална, са јасно утврђеном способношћу реакције на утицаје различитих стимулативних или ограничавајућих фактора раста. Утврђена просечна величина аутокорељационог коефицијената првог реда - AC1 (0,71) је прилично висока, индукујући при томе висок удео тзв. нежељеног климатског варирања, јер је познато да 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. Након примене поступка ауторегресионог моделовања серије прираста су практично «очишћене» од појаве аутокорељације, која представља непожељно својство серија прираста, које би могло утицати на правилно расуђивање о утицају варијација климе на величине и карактер прираста. Утврђене величине коефицијената  $G_{1k}$  и  $t_{\text{вр}}$  додатно су потврдиле да је квалитет узорка серија прираста прилично висок и да је присутан пожељан ниво слагања токова раста појединачних серија и мастер хронологије.

Дефинисана резидуална хронологија индекса радијалног прираста показује високе износе EPS (0,97) и SNR (27,9). Утврђене величине EPS коефицијента кроз време показују да су величине овог параметра у свакој наредној сукцесивно помераној години скоро идентичне и перма-

нентно изнад уобичајене и широко прихваћене доње границе, која према Wigley *et al.* (1984) износи 0,85.

## Релације између климе и прираста стабала

Резултати многобројних истраживања у Европи потврдили су да је црни бор веома прикладна врста за дендроклиматолошка истраживања, али је сама природа релација између прираста и климе условљена позицијом и климом локалитета на којем су вршена истраживања. С обзиром на то, у циљу стицања што вернијих сазнања о дендроклиматолошкој реакцији црног бора на Руднику, утицај климе на прираст стабала ове врсте дрвећа истражен је на бази: 1) корелације између радијалног прираста и сезонских података о падавинама и температури; 2) корелације између радијалног прираста и месечних података о падавинама и температури и 3) тзв. одзивне функције.

## Релације између количине падавина и прираста стабала

Сумирајући резултате примене све три методолошке процедуре за утврђивање зависности прираста од климе, може се извести закључак да постоји јасна зависност између прираста црног бора и анализираних климатских елемената. При томе, мора се подвући да величина радијалног прираста стабала црног бора зависи првенствено од количине падавина. Резултати примене корелационе анализе између прираста и сезонских (тримесечних) падавина показали су да присуство велике количине падавина у касно пролеће, лето и рану јесен текуће године резултира статистички значајним повећањем прираста црног бора. Резултати су показали да на величину прираста ове врсте у текућој години позитивно утичу и падавине из претходне године и то посебно већи износи падавина у касно лето и рану јесен (период август-октобар). Преовлађујући утицај падавина у летњем периоду констатован је и добијеним резултатима примене методе корелације између месеч-



них података о падавинама оних месеци који су већ детектовани као статистички значајни приликом оцене утицаја сезонских износа климатских елемената на индексе радијалног прираста. Тако, највећи статистички значајан позитиван утицај на прираст текуће године имају веће падавине у летњим месецима - јун, нарочито јул и август. Поред тога, утврђено је и да падавине из септембра претходне године статистички позитивно утичу на величину прираста у текућој години. Као резултат овог методолошког поступка утврђен је и негативан утицај повећаних падавина у мају текуће године на величину прираста исте године.

Имајући у виду да су падавине и температура ваздуха у међусобној корелацији (већа температура – мање падавине и обрнуто), што у значајној мери може модификовати релације између климе и прираста, овај проблем се успешно може решити трансформацијом падавина и температуре у нове независно променљиве – некорелиране величине које се зову сопствени вектори или главне компоненте (Fritts 1976). Овакав метод коришћења новоформираних ортогоналних климатских података у регресионим анализама у циљу детекције зависности прираста од климе назива се тзв. анализа одзивне функције (енг. *response function analysis*) – Blasing *et al.* (1984). Резултати примене ове статистичке процедуре показали су доминирајући позитиван значај падавина из месеца јула текуће године на величину прираста црног бора. Поред тога, утврђени број месеци са сигнификантним утицајем на величине прираста је много мањи него број оваквих месеци утврђен путем метода корелационе анализе.

Добијени резултати реакције црног бора у зависности од варијација климатских елемената веома су слични резултатима првих дендроклиматолошких истраживања у састојинама црног бора у Србији, спроведених на станишту сладуна и цера у Липовици (околина Београда) од стране Stajić *et al.* (2017b). На бази резултата овог истраживања, може се прелиминарно закључити да што су већи износи падавина у летњим месецима (јак утицај) и мање температуре у лето и рану јесен (слаб утицај), то црни бор интензивније расте и прираштају у дебљину.

## Релације између температуре ваздуха и прираста стабала

Добијени резултати показали су да је варирање величина прираста много мање условљено варијацијама температуре. Статистички значајан утицај температуре на прираст добијен је само применом методе корелације између месечних података о падавинама оних месеци који су већ детектовани као статистички значајни приликом оцене утицаја сезонских износа климатских елемената на прираст. У том контексту утврђен је негативан утицај виших температура у јуну текуће године на величину прираста. Показала се, такође, да је утицај температуре из претходне године на величину прираста текуће године миноран.

## Поређење добијених резултата са истраживањима из земаља непосредног окружења

У погледу сагледавања утицаја падавина на прираст црног бора може се рећи да су резултати ових истраживања у великом сагласју са резултатима који осликавају реакцију стабала црног бора у зависности од количине падавина у земљама бивше Југославије и Балканског полуострва. Утврђени доминирајући позитиван утицај већих летњих падавина на величину прираста црног бора констатован је и приликом оваквих истраживања у Босни и Херцеговини (Poljanšek *et al.*, 2013) и у југозападном делу Бугарске (Shiskova, Panayotov, 2013). Поред тога, издвојен позитиван утицај већих износа падавина у јулу на повећање прираста текуће године, забележен је и истраживањима у природним састојинама црног бора у Румунији (Levanič *et al.*, 2013) и у Албанији (Levanič *et al.*, 2013).

Добијени резултати у погледу температуре и њеног утицаја на прираст показали су да је овај климатски елемент мање утицајан на величине прираста него падавине. Утврђени статистички негативан утицај виших температура у месецу јуну на прираст бора, делом је потврђен и у другим истраживањима у поменутом региону. Нпр. Poljanšek *et al.* (2013) су констатова-

ли најјачу корелацију између прираста и просечне температуре ваздуха у периоду јун-август. Слични резултати добијени су анализама Shiskova и Panayotov (2013) у Румунији, где је констатован јак негативан утицај просечне температуре у периоду мај-јул текуће године на износ прираста текуће године. Када се говори о зависности прираста од температуре ваздуха, може се уочити да су овде изведени закључци о далеко мањој значајности овог климатског елемента на раст и прираст стабала црног бора у супротности са добијеним резултатима из Албаније (Levanič *et al.*, 2013). Наведени аутори су утврдили да су падавине од мањег значаја за формирање и износе прираста црног бора у Албанији него што је то температура. Поред, тога Levanič *et al.* (2013) су детектовали чак нешто јачи утицај температуре у јулу на варијације прираста него што је то утицај јулских падавина, који је био такође статистички значајан.

## ЗАКЉУЧЦИ

Резултати истраживања показали су да стабла црног бора на подручју планине Рудник имају способност сличне – заједничке реакције према дејству различитих фактора раста, те да су токови прираста и њихове варијације веома прикладне за анализе утицаја климе на шуме и шумске екосистеме.

У ту сврху утврђене анализе зависности прираста од климе наговештавају да је црни бор на овом подручју веома сензитиван према износима падавина у летњим месецима, на тај начин да веће количине падавина у лето проузрокују статистички значајно веће износе прираста у текућој години. Поред тога, може се закључити да је варирање величина прираста много мање условљено варијацијама температуре, што је на неки начин и разумљиво, имајући у виду да више температуре у планинским подручјима нису чест случај.

Реакција црног бора на подручју овог локалитета у погледу прираста и његове зависности од климе слична је реакцији црног бора у околини Београда и у земљама у непосредном окружењу, које се иначе карактеришу сличним климатским условима. На тај начин је још јед-

ном потврђено да би радијални прираст црног бора могао бити одличан биоиндикатор ефекта варирања климатских утицаја на прираст стабала црног бора у региону југоисточне Европе и веома употребљив “*proxy*” за реконструкцију климе у прошлости, али и прогнозу измена климе у будућности на овом подручју. У ту сврху је неопходно извршити додатна истраживања дендроклиматолошке реакције црног бора и на другим подручјима Србије, али применити и друге познате методолошке процедуре у истраживањима карактера и величине прираста, од значаја за тачну и јасну оцену условљености прираста варијацијама појединих климатских елемената.

На крају, треба напоменути да су оваква истраживања основ за разумевање комплексних и више-узрочних процеса девитализације (сушења) стабала, група стабала или чак састојина црног бора на подручју Србије, масовно уочених у претходним годинама, што је, поред осталог, од изузетног значаја за очување концепта одрживог газдовања шумама ове врсте дрвећа.

**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 технолошки развој.

## THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON THE INCREMENT OF BLACK PINE (*Pinus nigra* J. F. Arnold): A CASE STUDY FROM THE AREA OF MT. RUDNIK

Dr. Branko Stajic, associate professor, University of Belgrade – Faculty of Forestry

MSc Marko Kazimirovic, assistant, University of Belgrade – Faculty of Forestry

**Abstract:** The influence of temperature and precipitation on the growth of artificially established black pine trees in the area of Mountain Rudnik was studied in this paper. For that purpose, we bored 50 series of radial increment from 25 dominant trees. The aforementioned influence was analyzed by applying three procedures: a correlation between seasonal values of temperature and precipitation and RES chronologies of radial increment, a correlation between monthly temperature and precipitation data and RES chronologies, and response function analysis. The results have shown that black pine was very sensitive towards the precipitation in summer months in the given conditions, in the way that higher amounts of summer precipitation resulted in significantly higher radial increment values. The variations of radial increment were less conditioned by temperature oscillations, whereby the weak negative influence of July temperatures on the increment values was detected. It was concluded that the reaction of black pine in the investigated site in terms of increment and its dependence on climate was similar to the reaction of this species in Serbia and other neighbouring countries characterized by similar climate conditions.

**Keywords:** climate, tree growth, dendroclimatology, black pine, Serbia

### INTRODUCTION

Numerous areas of application of growth researches (commercial-economic, climate change research, air pollution effects, understanding the level and character of the impact of entomological and phytopathological pests, possibilities for fertilization, analysis of vitality and drying of trees and stands, analysis of homogeneity of the growth conditions for tree species in different sites etc.) and their importance within contemporary scientific research on sustainable development have been presented in detail in our country by Stamenković и Vučković (1988), Vučković и Stamenković (2000), Vučković и Stajić (2004), Stajić (2010) и Stajić *et al.* (2014). The most recent research of this type in Serbia was carried out in order to determine and evaluate the dynamics of the devitalization process and drying of trees (Stajić *et al.* 2017a), the strength of common climate signal (Stajić *et al.* 2018), the impact of temperature and precipitation variations on the growth of various tree species (Stajić *et al.*

2017b, Stojanović *et al.* 2018) and the pointer years determination in tree growth (Stajić *et al.* 2017c).

The studies of increment as an “economic” parameter and bioindicator of the reaction of trees to changes in the main growing factors are particularly important for black pine, as a dominant tree species for afforestation in Serbia, having in a mind that the current status of black pine stands and forests is not satisfactory, both from the aspect of their health and vitality as well as the point of view of using site potentials.

Afforestation with this species has been predominantly done in more productive sites and in the case of too long rotations and inadequate silvicultural approach, economic and ecological efficiency and stability of such artificially established stands can be significantly impaired and endangered (Vučković *et al.* 2008, Stajić *et al.* 2017a). Therefore, in such cases, the process of devitalization of trees is often present, resulting in

the complete drying of tree crown parts, and whole trees and even groups of trees.

In addition to inadequate silvicultural treatment and too long rotations, the cause of vitality reduction and trees drying can also be variations of climatic elements, among which the most important are air temperature and the amount of precipitation. Considering that the emergence of ever-growing drying and devitalization of black pine trees in artificially established stands in the past years presents a serious problem and challenge for the forestry practice and science in Serbia, the aim of this paper was to acquire knowledge about the "nature" of the reaction of black pine trees from an artificially established stand in the area of Mt. Rudnik, conditioned by the variations in temperature and precipitation over decades.

**MATERIAL AND METHOD**

The cores were collected from an artificially established stand of black pine on Mt. Rudnik at

an elevation of approximately 700 m a.s.l. Within the valid management plan, the stand was labelled "b" and belongs to compartment 62 (RU62b). The location of the investigated stand on the map of Serbia is presented on the left side of Figure 1, while the map in the upper right angle shows the spot of the studied stand relative to the terrain contours. Moreover, this part of the Figure shows the position of the nearby meteorological station Rudnik Planina (MS RU-PL), situated close to the studied stand. The climate data from meteorological reports were available for the period between 1962 and 2016. The bars in the lower right part of Figure 1 show the average air temperature and the sum of precipitation in the monthly resolution. According to these data, the annual sum of precipitation is 910 mm·m<sup>-2</sup>, which is quite a lot above the Serbian overall average of 734 mm·m<sup>-2</sup> for the period 1961–1990, given by T. Popović *et al.* (2005). Within that framework, 65% (587 mm·m<sup>-2</sup>) of the rain falls during the vegetation period (April to October). The average annual air temperature and the average air temperature of the vegetation period are 9.6 °C and 14.9 °C, respectively.

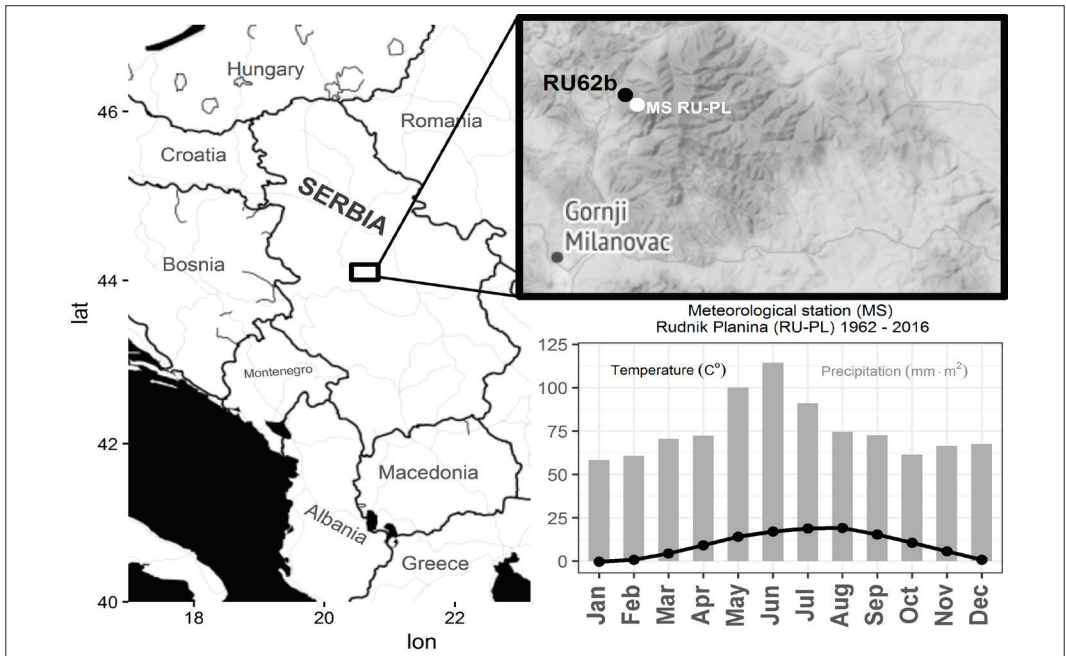


Figure 1. Location of the area and the studied stand (RU62b). The down left average part of the Figure shows monthly air temperature and the sum of precipitation during the period from 1962 to 2016 for the closest meteorological station Rudnik Planina (MS RU-PL).

For a primary sample, two cores were taken at breast height at opposite sides of the trunk from each of the 25 selected trees (50 radial increment series). During the measurements with the LINTAB device, the ring widths were cross-dated (1) visually by using strikingly narrow and wide tree rings and (2) in TSAP software by the radial increment curves sliding and overlapping. Additional assessment of measurement quality and further data processing was performed in open-sourced R environment, involving some of the existing dendrochronological libraries, as well as some personal codes that were developed in the Laboratory for increment and biomonitoring at the Faculty.

In order to establish the degree of coherence of individual series of radial increments and master chronology, all series of radial increments are divided into segments of 30 years, successively shifted for periods of 15 years from the beginning to the end of the series. Subsequently, each segment is tested with this same segment of radial increments from the defined master chronology. Namely, if the radial growth width in the series is dated precisely, and if the growth fluxes of these trees are very similar to the patterns which occurred in other trees, there is a positive and statistically significant correlation and vice versa (Stajić 2010). By this procedure, due to the removal of individual radial growth series with a total coefficient between the serial correlations of less than 0.5, and the series with a larger number of "problematic" - non-significantly correlated segments, the original sample was reduced and formed the definitive sample series of radial increments intended for further statistical processing. The basic statistical indicators are defined for all series in this "purified" sample: the number of tree rings (length of the series), the arithmetic mean of the radial increment ( $\bar{I}_r$ ) and the standard deviation of data (SD). The average amounts of these indicators are presented along with some of the typical dendrochronological-statistical parameters, such as the mean sensitivity (MS), the 1st order of autocorrelation coefficient (AC1), the coefficient of increment value series comparison (Glk), the correlation coefficient and amount of t-test values (tbp) according to *Baillie and Pilcher (1973)*.

The procedure for assessing and removing the so-called non-climatic trend in the radial tree growth series is a very important step in the re-

search of the dependence of tree growth on the climate (dendroclimatology). Modelling of the typical trends of radial growth allows for the standardization of individual radial increments series and their averaging in the so-called mean - local chronology (Cook E. *et al.* 1990). One of the frequently used approaches for this purpose is the application of the double detrending (Holmes *et al.* 1986). Therefore, in order to determine the expected or "normal" trend of radial growth, that has been "cleaned" from the impact of age and individual variations, detrending was first performed by using a negative exponential function, and then by smoothing cubic splines, where 50% of the variance in the sets of radial increments were retained at 67% of the length of each individual series. The radial increment indices of each individual series were obtained by dividing each radial increment value by the value of the fitted curve of that year. Further, autoregressive modeling was carried out whose order was defined using the AIC criterion (*Akaike Information Criterion*). Subsequently, the averaging of residual series was carried out by using the Tukey's biweight function (Cook *et al.* 1990). In this way, the residual master chronology of the radial growth index (RES) was developed, which was used for dendroclimatological analyses.

The quality of the local (master) series of radial increments (chronology), the strength of the common and climatic signals were analyzed using the following commonly used indicators: the coefficient of expressed population signal EPS (Wigley *et al.* 1984, Briffa, Jones, 1990), the signal-to-noise ratio - SNR (Briffa and Jones 1990) and the percentages of variances explained by the first eigenvector in the principal component analysis (PC1).

The stability of the EPS coefficient over time was investigated using 30-year moving windows, successively shifted for one year (position) to the right along the entire length of the series of radial increments, i.e. master chronology.

In order to determine the dependence between the increment and climate, the correlation analyses were first made between the seasonal (3-month) temperature and precipitation and the obtained RES chronology. The impact of individual months is investigated through correlation and response functions between monthly climatic data

and the radial growth index of RES chronology. These analyses were carried out within the *treeclim* library (Zang, Biondi, 2015).

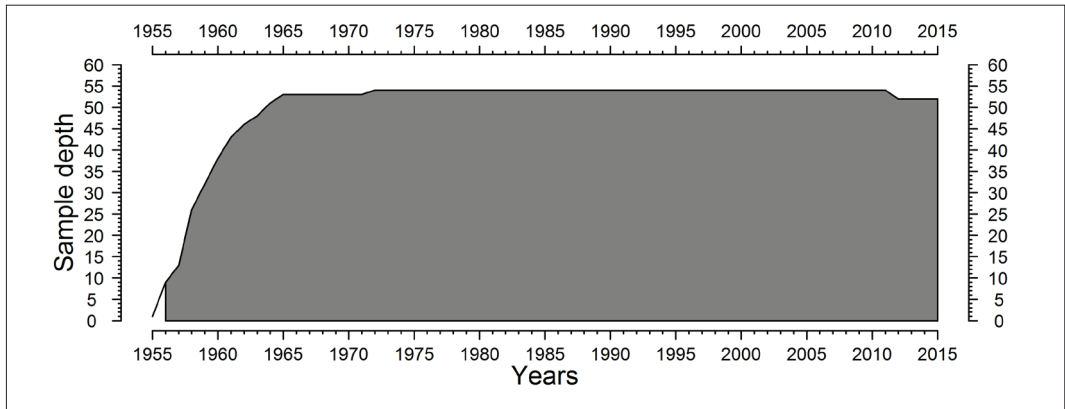
**RESULTS**

One of the factors that limit the reliability of the collected dendrochronological material is a sample depth, i.e. the number of series of radial increments and the number of years in series (Stajić *et al.* 2014). In this study, the chronology starts with the sample depth of four trees

The most important characteristics of the empirical series of black pine radial increment are shown in Table 1. After the performed procedures of synchronization and multiple standardization, the definitive sample was composed of 38 series of radial increment values, originating from the 23 dominant trees. The average length of the row increment chronology was 57 years, while in the longest series in the sample 60 data on radial growth were recorded (from 1956 to 2015). The

arithmetic mean of the radial increments of all series is 2.29 mm and the average standard deviation is 1.59 mm. The average size of the MS and AC1 coefficient is 0.32 and 0.71, respectively (Table 1).

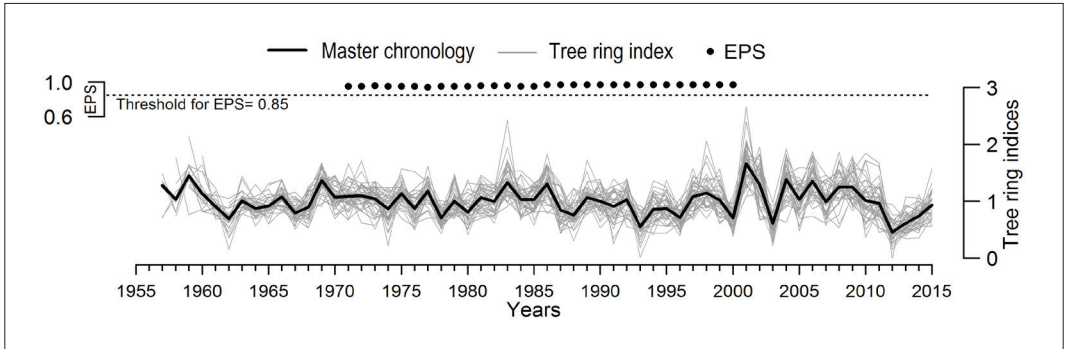
In order to determine a common signal in the growth introduced by the effect of the basic environmental factors, it is necessary to perform as precisely as possible a valid assessment of the degree of matching (synchronicity) between the radial increments of individual series combined to a chronology. For this purpose, we calculated three different parameters as indicators of the interdependence of radial growth series (Glk,  $r_{xy}$  and  $t_{bp}$ ). The values of these indicators are 0.67 (Glk), 0.72 ( $r_{xy}$ ) and 4.48 ( $t_{bp}$ ). The obtained coefficient values could be considered significant and it could be concluded that there is a desirable level of agreement between the individual series and master chronology. So, we computed the RES chronology of radial increment indices (Figure 2). The most significant statistical and dendrochronological characteristics of this chronology are presented in Table 2.



**Figure 1.** The number of samples (sample depth) by analyzed calendar years. The gray colour indicates years with more than 4 series.

**Table 1.** Characteristics of the series (chronology) of radial increment (empirical data)

Number of		≥ 4 replication			Average series							
		statistical properties			Agreement with master chr.							
trees.	cores.	from	to	length	$\bar{l}_r$	SD	MS	AC1	Glk	$r_{xy}$	$t_{bp}$	
$i_r$	23	38	1956	2015	57	2,29	1,59	0,32	0,71	0,67	0,72	4,48



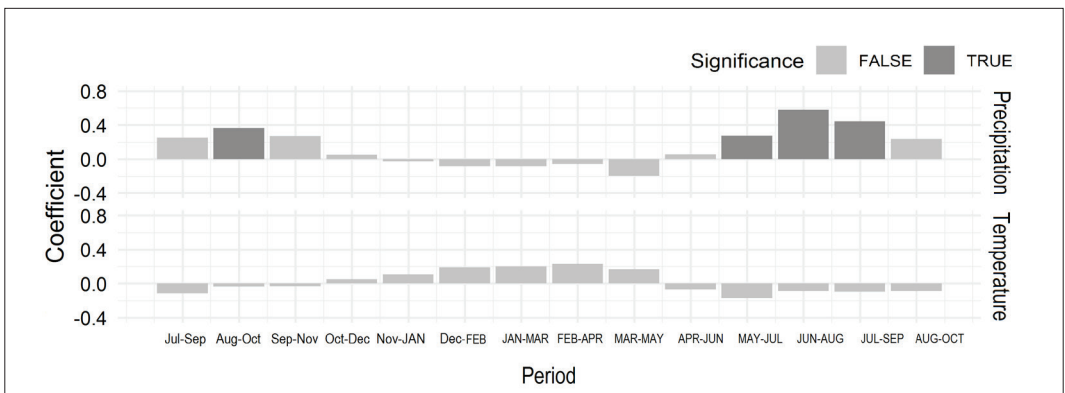
**Figure 2.** Individual series of the radial index, RES chronology and EPS size “over time”.

The procedure of autoregressive modelling of individual indices influenced their length, so the time interval of RES chronology is shorter for one calendar year compared to the period in the empirical series. In addition, by using the detrending and averaging procedures, MS coefficient was reduced to 0.26, and autocorrelation was almost completely eliminated (0.08). Further, the obtained values of EPS (0.97) and SNR (27.9) are quite large. The variance explained by the first eigenvector (PC1) is 0.49 (Table 2).

**Table 2.** Basic statistical-dendrochronological indicators of the defined RES chronology.

	Length	MS	AC1	EPS	SNR	PC1
<i>RES chronology</i>	59	0.26	0.08	0.97	27.9	0.49

To obtain a basic knowledge about the periods (seasons) during the year which significantly influence black pine growth, correlation coefficients between the seasonal (different three-month periods) data on temperature and precipitation and the RES chronology were determined (Figure 3). Darker bars represent statistically significant coefficients at the 0.05  $\alpha$ -level (two-tailed test). In the analyzed three-month periods, the lower case denotes the month in the year previous to the current year growth season, while the upper case denotes the month of the current year. As can be seen from Figure 4, out of a total of 14 tested three-month periods, a statistically significant positive correlation was established only between the radial increment values and the amount of precipitation (upper part of the Figure) in the period August-October of the previous year and in the periods May-July, June-August and July-September of



**Figure 3.** The correlation coefficients between seasonal temperature and precipitation values and the RES chronology of the radial increment indices.

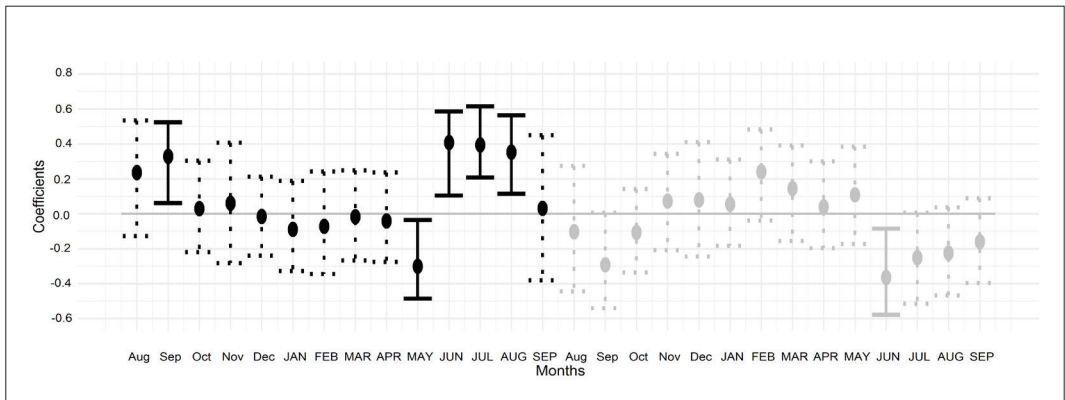
the current year. The largest correlation between the tested variables was determined for the period June-August of the current year (0.57).

The influence of individual months on black pine trees growth was first analyzed by a correlation analysis in which as variable were taken data on precipitation and temperature of those months that were already detected as statistically significant during the estimation of the seasonal influence of climatic elements on radial increment indices (Figure 4).

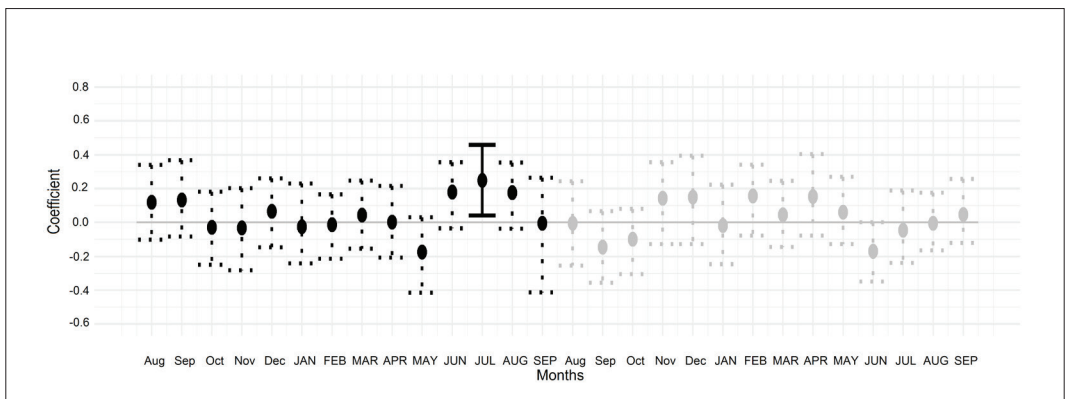
The strongest statistically significant positive correlation between precipitation and increase was determined for the summer months of the

current year (June, July and August). In addition, the statistically significant impact of precipitation from September of the previous year was determined and the statistically negative impact of rainfall from May of this year to the increment values. The negative impact of high temperatures in June of the current year is also statistically significant.

The “combined” effect of precipitation and temperature on radial growth indices was investigated using the response functions for the months presented in the previous example. The results of the application of this procedure indicated the prevailing influence of precipitation from July of the current year on radial increment indices (Figure 5).



**Figure 4.** Correlation coefficients (obtained by the bootstrapped method) between the precipitation (black) and temperature (gray) for the months of August of the previous year to September of the current year and the RES chronology of the radial increment indices.



**Figure 5.** Coefficients of the response function (obtained by the so-called bootstrapped method) between precipitation and temperature for the months of August of the previous year-September of the current year and the RES chronology.



## DISCUSSION

### Evaluation of the radial increment series quality

The extraction of climatic effects from the radial growth is a very complex methodological approach, since the radial growth size is modified by a variety of factors, and therefore it is not easy to conclude which "part of the radial increment values" was created due to the influence of purely climatic factors (Stajić *et al.* 2014). Therefore, the mentioned authors specifically point out the fact that in the forest growth research, dendrochronology, dendroclimatology and similar disciplines in which the "character" and the values of the growth serve as the basis for different valid expert-scientific conclusions (dendroecology, dendrogemorphology, etc.) the term "signal" represents the desired common feature in the radial growth series of trees, which is the subject of interest and analysis under the given site conditions. However, there is also a part of the total variation in radial increment values designated as "noise", formed as the result of a specific reaction of each individual tree to site conditions, as well as various random endogenous and exogenous factors (Cook *et al.* 1990).

Bearing this in mind, it may happen that the closest neighbouring trees have a completely or fairly different reaction to the dominant growth factors, which can greatly lead to the discrepancy and disagreement of the radial growth of these trees. In some cases, due to a number of observed disagreements in growth and growth rates, the initial sample for growth analysis should be significantly reduced. So, Stajić *et al.* (2017c), when defining the pointer years in beech growth in the area of Žagubica, determined that out of 64 original series of radial increments by the procedure of multiple synchronization only 52 series of satisfactory quality should be retained necessary for further processing in a research of this type. An even more drastic case was found when investigating the signal strength and dendroclimatology potential of beech in the NP "Đerdap" area, when Stajić (2010), due to possible errors in measurement or unexpected deviation in the growth patterns of certain trees caused by random factors, out of a total 93 originally sampled trees for fur-

ther dendrochronological research analyzed the radial growth streams of only 61 trees. Consequently, the detailed synchronization of the trees radial growth is of great importance for the purpose of detecting climatic variations patterns.

The results of the research carried out here again reaffirmed the necessity of a properly selected sample, since out of a total of 50 increment series from the original sample, only 38 series were taken into the final sample. Namely, these series have a sufficient level of agreement on the growth rates and they can be used for further research the dependence of the increment variation on climatic elements. The inter-correlation among all series and MS are quite high indicating that radial increment values contain common climatic forcing. So, the calculated average value of MS (0.32) pointed out that empirical radial growth series can be added to a group of sensitive series according to the Grissino-Mayer instructions (2001) suggesting that the trees are with clearly determined ability to react to the effects of various stimulating or limiting growth factors. The determined average value of the first order auto-correlation coefficient - AC1 (0.71) is quite high pointing out the existence of a large proportion of unwanted climate variations, because it is well-known that the climatic conditions of the given year ( $t$ ) do not affect only the radial growth value in that year, but also in the next  $t + 1$ , up to  $t + k$  years (Fritts 1976). After the application of the auto-regression modelling process, the increment series are practically "cleared" from the appearance of autocorrelation, designated as an undesirable feature of the increments series that could influence the correct reasoning of the effect of climate variation on the values and "nature" of the radial increment pattern. The values of the  $G/k$  and  $t_{bp}$  coefficients additionally confirmed that the quality of the sample is quite high and that there is a desired level of agreement between the individual series of radial increment and master chronology.

The defined RES chronology shows high amounts of EPS (0.97) and SNR (27.9). The values of moving EPS coefficient through time are almost identical and permanently above the usual and widely accepted lower limit of 0.85 (Wigley *et al.* 1984) indicating the signal strength was constant through the chronology.

## Growth-climate relations

The results of numerous studies in Europe have confirmed that black pine is a very suitable species for dendroclimatic research, but the nature of the relationship between climate and growth is determined by the position and climate of the site where the research was carried out. Having that in mind, to obtain the most reliable knowledge about the dendroclimatic reaction of black pine, the influence of climate on the growth of trees has been investigated on the basis of: 1) correlations between radial growth and seasonal data on precipitation and temperature; 2) correlations between radial growth and monthly data on precipitation and temperature, and 3) response functions analysis.

## Precipitation-radial growth relations

Summarizing the results of applying all three methodological procedures, it can be concluded that there is a clear dependence between black pine growth and the climatic elements analyzed in this paper. It must be emphasized that the radial growth of black pine trees depends primarily on precipitation. The results of the correlation analysis between increment and seasonal (three-month) precipitation showed that the presence of high precipitation in late spring, summer and early autumn of the current year resulted in a statistically significant increase in the black pine radial growth. The obtained results showed that the growth of this species in the current year is also positively affected by precipitation from the previous year, especially precipitation in the late summer and early autumn (August-October period).

The prevailing influence of summer precipitation could be also evident from the results of correlation analysis between the monthly precipitation data of those months that have already been detected as statistically significant when assessing the effect of seasonal amounts of climatic elements on radial growth. According to this procedure, it can be concluded that a higher precipitation in the warmest months of the year (June, July and August) of the current year result in larger black pine radial increment in the current growing season. In addition, it has been detected that the

precipitation from September of the previous year has statistically positive influence on the increment values of the current year. As a result of this methodological process, the negative impact of increased precipitation in May of the current year was determined.

Bearing in mind that precipitation and temperature are correlated (higher temperature - less precipitation and *vice versa*), which can significantly modify climate-growth relations, this problem can be successfully solved by the transformation of precipitation and temperature into new independent uncorrelated variables called principal component eigenvectors (Fritts 1976). The use of orthogonalized climatic variables in regression to specify tree growth/climate relationships has been commonly known as response function analysis (Blasing *et al.*, 1984). The results of the application of this statistical procedure confirmed the dominant positive significance of July precipitation of the current year on the values of black pine radial increment (Figure 5). Additionally, the detected number of months with a significant impact on increment is much lower than the number of these months determined by the correlation analysis method.

The obtained results of the black pine reaction to climatic variations are very similar to the results of the first dendroclimatological study in the black pine stand in Serbia carried out in Hungarian oak-Turkey oak stand in Lipovica (around Belgrade) by Stajić *et al.* (2017b). Based on the results of this research, it can be preliminarily concluded that the higher the amount of precipitation in the summer months (strong influence) and the lower temperature in the summer and early autumn (low impact) the more intense black pine growth is observed.

## Temperature-tree radial growth relations

The obtained results showed that black pine increment variations are much less conditioned by variations in temperature than in precipitation. The statistically significant influence of temperature on the radial increment was only obtained by applying the method of correlation between the monthly precipitation data and the radial growth. In this context, the negative impact of higher tempera-

tures in June of the current year on the increment values was determined. It was also shown that the effect of the previous year's temperature on the value of the current year's increment was minor.

### Comparison of results with data from neighbouring countries

Regarding the influence of precipitations on black pine growth, it can be said that the results of these studies are in agreement with the results that reflect the reaction of this species on the amount of precipitation in the countries of former Yugoslavia and the Balkan Peninsula. Here determined prevailing impact of higher summer precipitation on the growth was also found in studies from Bosnia and Herzegovina (Poljansek *et al.*, 2013) and from the south-western part of Bulgaria (Shiskova, Panayotov, 2013). In addition, the positive impact of higher precipitation in July on the increment of black pine in the current year has been recorded from black Pine in Romania (Levanič *et al.*, 2013) and in Albania (Levanič *et al.*, 2013).

The obtained results in terms of temperature and its impact on the growth showed that this climatic element is a less important factor that determines the size of the increment than the precipitation. The statistically negative influence of higher temperature in June on black pine increment was partly confirmed in other studies in the mentioned region. For example, Poljansek *et al.* (2013) found the strongest correlation between the black pine increment and the average temperature in the June-August period. Similar results were obtained by the analyses of Shikov and Panayotov (2013) in Romania, where a strong negative impact of May-July temperature of the current year was noted.

Regarding the growth-temperature relations, it can be noticed that the conclusions about a weaker significance of this climatic element on the growth of black pine trees are contrary to the results from Albania (Levanič *et al.*, 2013). Namely, the mentioned authors have found that radial growth of black pine for the studied site in Albania conditions was influenced more by temperature than by precipitation. In addition, Levanič *et al.* (2013) detected an even stronger influence of

temperature in July on the variations of radial increment than the impact of July precipitation, which was also statistically significant.

### CONCLUSIONS

The here obtained results showed that black pine trees in the region of Mt. Rudnik have a similar common reaction to the impact of various surrounding growth factors. The results of climate-growth relations in the studied area suggested that black pine was very sensitive to summer precipitation, in the way that higher summer precipitation benefited radial growth in the current year. In addition, it was concluded that pine increment was the less sensitive to temperature variations, which is understandable in some way bearing in mind that significantly higher temperatures in mountainous areas are not so common.

The detected reaction of black pine in the area of this region in terms of growth and its dependence on climate was similar to the reaction of black pine near Belgrade and in the neighbouring countries, which are also characterized by similar climatic conditions. In this way, it has been once again confirmed that radial growth could be a great bioindicator of the effect of climate change impact on black pine forests in the region of Southeast Europe and a very usable proxy for the reconstruction of a past climate, as well as the future climate change forecast in this area. For this purpose it is necessary to carry out additional investigations of the dendroclimatic response of black pine in a number of other areas of Serbia, but also apply some other well-known methodological procedures in the research of the "character" and values of trees growth, which is important for an accurate and clear estimation of the dependence of increment variations on the variability of individual climatic elements.

In the end, it should be noted that such researches are the basis for understanding the observed complex and multi-causal processes of tree devitalization (drying) in groups of trees or even entire black pine stands in the territory of Serbia, contributing in this way to the sustainable management of forests and forest ecosystems of this tree species.

**Acknowledgment:** This paper was realized within the project: “Forest plantations in the function of increasing the forests of Serbia”, financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia within the framework of the program technological development.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Baillie M. G. L., Pilcher J. R. (1973): A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree Ring Bulletin* 33, (7–14)
- Blasing T. J., Solomon A. M., Duvick D. N. (1984): Response function revisited. *Tree-Ring Bulletin* 44, (1-15)
- Briffa K., Jones P. D. (1990): *Basic Chronology Statistics and Assessment*. In: Cook E., Kairiukstis L. (eds.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (137-152)
- Cook, E., Briff, K., Shiyatov, S., Mazepa, V. (1990): *Tree-Ring Standardization and Growth-Trend Estimation*. Y: Cook, E.R., Kairiukstis L.A. (1992): *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer, Dordrecht, Boston, London (104-123)
- Fritts H. C. (1976): *Tree Rings and Climate*. The Blackburn Press
- 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., Adams R.K., Fritts H.C. (1986): Procedures Used in the Chronology Development Work Including Users Man. for Com. Pr. COFECHA and ARSTAN. *Chronology Series* VI.
- Levanič, T., Popa, I., Poljanšek, S. (2013): A 323-year long reconstruction of drought for SW Romania based on black pine (*Pinus nigra*) tree-ring widths. *International Journal of Biometeorology* 57: (703–714)
- Levanič, T., Poljanšek, S., Toromani, E. (2015): Early summer temperatures reconstructed from black pine (*Pinus nigra* Arnold) tree-ring widths from Albania. *The Holocene* 25(3): (469–481)
- Poljanšek, S., Ceglar, A, Levanič, T. (2013): Long-term summer sunshine/moisture stress reconstruction from tree-ring widths from Bosnia and Herzegovina. *Climate Past* 9: (27–40)
- Popović T., Radulović E., Jovanović M. (2005): How is our climate changing and what will our climate be like in future? “Environment towards Europe”, Conference – EnE05, Belgrade, (212–218)
- Shishkova, V., Panayotov, M. (2013a): *Pinus nigra* Arn. Tree ring Chronology from Slavyanka Mts in Bulgaria is strongly related to regional drought events. *Forestry Ideas* 1 (45), (79-90).
- 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*.
- Stajić B., Vučković M., Janjatović Ž. (2014): Dendrohronološka istraživanja u veštački podignutoj sastojini hrasta kitnjaka na području Fruške gore. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 109, Beograd, (149-168).
- Stajić B., Dimitrijević S., Kazimirović M., Dukić V. (2017a): Debljinski prirast stabala kao bioindikator njihove vitalnosti: studija slučaja sa područja Despotovca. *Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina*, 27: 17–29.
- Stajić, B., Kazimirović, M., Dukić, V., Radaković, N. (2017b): First dendroclimatological insight into Black pine (*Pinus nigra* Arnold) climate-growth relations in Belgrade area. *Book of Abstracts, TRACE 2017 Conference*, 16-21 May 2017, Svetlogorsk, Kaliningrad region, Russia, p. 30.
- Stajić, B., Kazimirović, M., Baković, Z., Dukić, V. (2017c): Pointer years in beech growth in the region of Žagubica, Eastern Serbia. *TRACE 2017 Conference*, 16-21 May 2017, Svetlogorsk, Kaliningrad region, Russia, p. 31.
- Stajić B., Kazimirović M., Radaković N. (2018): The common population signal in the european ash (*Fraxinus excelsior* L.) tree-ring chronologies in NP „Djerdap“. *Proceedings of 6th international conference ecological truth and environmental research – EcoTER’18*.

- Stamenković, V., Vučković, M. (1988): *Prirast i proizvodnost stabala i šumskih sastojina*. Udžbenik, Beograd.
- Vučković M. (1993): Stvarna, a ne očekivana produkcija, osnov za planiranje u šumarstvu i preradi drveta. Beograd, Šumarstvo 3-5 (77-86)
- 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. (2004): Zadaci i značaj istraživanja rasta i proizvodnosti šuma za ekologiju i šumarstvo. Pregledni rad, Glasnik Šumarskog fakulteta 1, Banja Luka (15-25)
- Vučković, M., Stajić, B., Smiljanić, M. (2008): Elementi izgrađenosti i rasta sastojine crnog bora na staništu sladuna i cera. Šumarstvo 4, Beograd (31-41)
- 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)
- Zang, C., Biondi, F. (2015): Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38(4), (431-436)

