УДК: 582.475(497.11 Kopaonik)

Изворни научни рад *Original scientific paper*

УТИЦАЈ КЛИМЕ НА РАСТ И ВИТАЛНОСТ СМРЧЕ НА КОПАОНИКУ

Братислав Матовић[1], Дејан Стојановић[1], Лазар Кесић[1], Стефан Стјепановић[2]

Извод: У циљу утврђивања примарног узрока девитализације и сушења применом дендрохронолошких метода истраживан је утицај климе на раст стабала у чистим састојинама смрче на Копаонику. Теренско узорковање је обављено 2016. године на 4 локалитета у састојинама различитог здравственог стања и у којима су у прошлости примењиване различите газдинске мере. Годишња количина падавина и количина падавина у вегетационом периоду од 1980. до 2015. године је била на приближно истом нивоу са благом тенденцијом раста. Међутим, средња годишња температура и средња температура у вегетационом периоду имале су изражен раст. У истом периоду утврђен је опадајући тренд дебљинског прираста. Пирсонова корелациона анализа показује јасну везу између средње температуре у вегетацином периоду и ширине годова стабала са локалитета на којима је констатовано сушење. Истраживан је и утицај средње температуре на месечном нивоу и суме падавина по месецима на ширину годова стабала смрче. „Bootstrapping“ корелациона анализа показује да постоје карактеристични месеци у којима месечне вредности климатских елемената имају директан утицај на ширину годова.

Кључне речи: клима, ширина годова, смрча, Копаоник

IMPACT OF CLIMATE ON GROWTH AND VITALITY OF NORWAY SPRUCE AT KOPAONIK MOUNTAIN

Abstract: *In order to determine the primary cause of dieback and loss of tree growt and vitality in pure stands of Norway spruce at Kopaonik Mountain, dendrochronological methods were applied. Field sampling was carried out in 2016 at four sites in stands with various health conditions in which different forest management measures were applied. The*

[1]Др Братислав Матовић, научни сарадник; др Дејан Б. Стојановић, научни сарадник; мастер Лазар Кесић, Универзитет у Новом Саду, Институт за низијско шумарство и животну средину, Антона Чехова 13д, 21000 Нови Сад, Србија; [2] мастер Стефан Стјепановић, Универзитет у Источном Сарајеву, Пољопривредни факултет, Источно Сарајево, Република Српска, Босна и Херцеговина
[1]Dr Bratislav Matović, research associate; dr Dejan B. Stojanović, research associate; Lazar Kesić, MSc, research assistent; University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13d, 21000 Novi Sad, Serbia; 2 Stefan Stjepanović, University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, East Sarajevo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

annual amount of precipitation and precipitation during the growing season from 1980 to 2015 was approximately on the same level with a slight tendency of increase. However, the mean annual temperature and mean temperature during growing season had a significant increase. In the same period, the declining trend of growth was determined. Pearson's correlation analysis shows a clear relationship between the mean temperature during the growing season and the tree-ring widths from the sites where the tree mortality was determined. The influence of mean monthly temperatures and sum of precipitation on monthly level on the on the tree-ring growth of spruce trees was investigated. Bootstrapping correlation analysis showed that there were characteristic months in which monthly values of climatic variables have a direct impact on the annual tree-ring widths.

Keywords: *climate, tree-ring widths, Norway spruce, Kopaonik*

УВОД

Сушење шума је деградациони процес који није заобишао ни подручје Балкана. Највећи број досадашњих истраживања узрока девитализације и сушења стабала различитих врста дрвећа указује да је оно узроковано деловањем већег броја фактора, док се примарни утицај углавном приписује абиотичким штетним факторима као што су суша, екстремно високе температуре, загађење ваздуха, режим подземних и поплавних вода, концентрација CO_2 и други фактори (McDowell et al., 2008; Allen et al., 2010; Choat et al., 2012; Williams et al., 2013; O'Brien et al., 2017; и др.).

Климатски услови се сматрају једним од главних контролних фактора који утичу на раст и виталност шумског дрвећа. Одговор дрвећа на климатске услове је у значајној мери модификован врстом дрвећа, пореклом, старосном доби, конкуренцијом и условима станишта (Spiecker, 2002). Дебљински прираст је већ дуго препознат као индикатор утицаја климе (Fritts, 1976; Cook и Kairiukstis, 1990) и користи се за истраживање утицаја климатских услова на раст шумског дрвећа (Beck, 2009; Bolte et al., 2010). Такође, многи аутори су утврдили да је дебљински прираст добар индикатор слабљења виталности стабала па и појаве сушења (Fritts, 1976; Schweingruber, 1979; Stamenković и Vučković, 1990, и др.). Као један од јасних показатеља девитализације стабала услед неповољног деловања екстремних климатских услова је делимичан или потпун изостанак формирања годова (Flury, 1927; Elling, 1987; Vučković et al., 1998; и др.).

Досадашњим многобројним истраживањима у Европи утврђено је да је смрча посебно осетљива врста на сушу, нарочито на сува и топла лета (Eckstein et al., 1989; Spiecker, 1991, 1995; Kahle и Spiecker, 1996; Mäkinen et al., 2002; Andreassen et al., 2006; Pichler и Oberhuber, 2007; Lebourgeois, 2007; Reichstein et al., 2007; van der Maaten-Theunissen et al., 2013). На ширем подручју Балкана је било мање истраживања овог типа на смрчи (Levanič et al., 2009; Bouriaud и Popa, 2009). Очекивана честа појава сувих и топлих лета у будућности у централној Европи може изазвати и значајније дуготрајно смањење прираста смрче и тиме појаву девитализације и сушења стабала (Boden et al., 2014).

Девитализација и сушење стабала смрче, као најзначајније врсте дрвећа на подручју Националног парка Копаоник, је процес који, спорадично, траје дуги низ година. Међутим, од 2012. године па до данас констатовано је значајније сушење стабала смрче. Сушење се у првим годинама овог периода најчешће јављало на појединачним стаблима и мањим групама, али последњих година сушење је констатовано и на већим групама стабала и у целим састојинама. У оквиру пројекта „Мултидисциплинарна истраживања процеса сушења шума“ који је спроведен од стране Института за низијско шумарство и животну средину Универзитета у Новом Саду у 2015. и 2016. години утврђено је да непосредни узрок сушења стабала смрче у годинама истраживања на прегледаним локалитетима пренамножење поткорњака и да се они у овој фази понашају као примарне штеточине. Међутим, поставља се као основно питање „Који су примарни узроци девитализације и сушења стабала смрче у НП Копаоник“? Утврђивање примарних узрока сушења нам може омогућити избор одговарајућих адаптивних мера газдовања којима ћемо моћи да умањимо њихово негативно дејство.

Циљ овог истраживања је да се применом дендрохронолошких метода истражи утицај климе на раст и виталност стабала у чистим састојинама смрче у Националном парку Копаоник и процени да ли се климатски услови могу сматрати примарним узроком девитализације и сушења стабала смрче.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

У раду су примењене дендрохронолошке методе које су у Институту за низијско шумарство и животну средину коришћене последњих година код већег броја врста дрвећа (Stojanović et al., 2013; Stojanović et al., 2015; Kesić et al. 2016; Stjepanović et al. 2017; и др.)

Теренско узорковање извртака је обављено 2016. године на 4 локалитета (пет група стабала) у НП Копаоник у састојинама различитог здравственог стања и у којима су у прошлости примењиване различите газдинске мере:

1. **Сушење 1** (**КС1**), састојина са редовним газдовањем (координате 43°18’ 56,7’’ и 20°46’52,6’ надморска висина 1530 метара) – констатовано сушење јачег интензитета. Узети су узорци са 15 здравих стабала.
2. **Сушење 2** (**КС2**), састојина са редовним газдовањем (координате 43°19’21,5’’ и 20° 46’09,8’’, надморска висина 1450 метара) – констатовано сушење јачег интензитета. Узети су узорци са 15 здравих стабала.
3. **Строги резерват Јанкове баре,** на коме је констатовано сушење јачег интензитета (координате 43° 19’ 05,1’’ и 20° 47’ 37,6’’, надморска висина 1520 метара). Узети су узорци са две групе стабала: 15 стабала која су у процесу сушења (**КР 1 до 15**) и 15 здравих стабала (**КР 16 до 30**).

4. **Здрава састојина (КЗ)**, састојина са редовним газдовањем (координате 43° 18’ 45,3’’ и 20° 47’ 14,4’’, надморска висина 1530 метара). Није констатовано сушење, а састојина се одликује релативно сличним станишним карактеристикама као и састојине на којима је било сушења. Узети су узорци са 15 здравих стабала.

Узорковање извртака је вршено коришћењем Преслерових сврдала различите дужине. На сваком узоркованом стаблу узета су по два извртка до центра на прсној висини стабла. Извртци су узимани са стабала која су расла у истим станишним условима и која имају доминантан положај, да би се избегао утицај положаја стабла у састојини на дебљински прираст односно ширину годова.

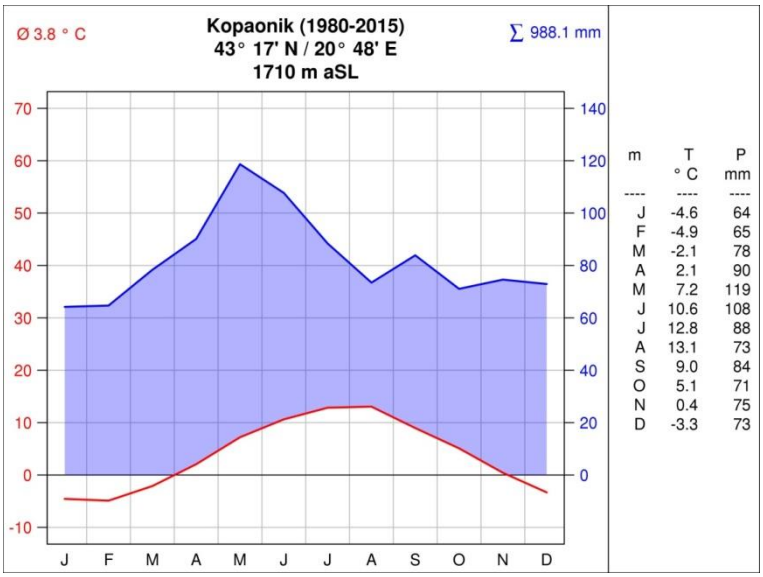
Узорци су осушени, фиксирани, изравнати и полирани. Скенирање дендрохронолошких узорака урађено је са ATRICS системом (Levanič, 2007). За мерење ширине годова коришћен је WinDENDRO софтвер (Regent instruments). Ширине годова су измерене прецизношћу од 0,01 милиметара. Провере дендрохронолошких мерења извршене су помоћу *PAST-4*™ и тестова *t-value* по *Baillie and Pilcher (tBP)* (Baillie и Pilcher, 1973) и одрђивање *Gleichläufigkeit* коефицијента *(GLK%)* (Eckstein и Bauch, 1969). Контрола квалитета извршена је помоћу *COFECHA* програма за откривање грешака у мерењима (Holmes, 1983). Пирсонова и „Bootstrapping“ корелациона анализа (Varian, 2005) и друга статистича обрада је извршена коришћењем ARSTAN програма и R статистичког софтвера, пакета BootRes (Zang, 2010) у Rstudio окружењу (www.rstudio.com).

Дендроеколошка истраживања у монодоминантним шумама смрче на Копаонику су релевантна и због постојања Метеоролошке станице првог реда на Копаонику, и у овом случају није била потребна екстраполација климатских података, јер се ова станица налази управо у зони распрострањења монодоминантних шума смрче на Копаонику. Једини недостатак је релативно кратак период метеоролошких осматрања за потребе дендроеколошких анализа (1980.-2015. година).

Прелиминарни резултати истраживања са једног локалитета су објављени у раду Kesić et al., (2016).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На слици 1 је приказан клима дијаграм по Walter-у и Lieth-у за Копаоник за период 1980.-2015. Копаоник, као доминантна планина у свом окружењу, има планинску климу са малом просечном годишњом температуром која на метеоролошкој станици (1710 m.n.v.) за посматрани период износи 3,8 ^{o}C. Просечна годишња сума падавина, за прилике Србије, је релативно висока и износи 988,1 mm.



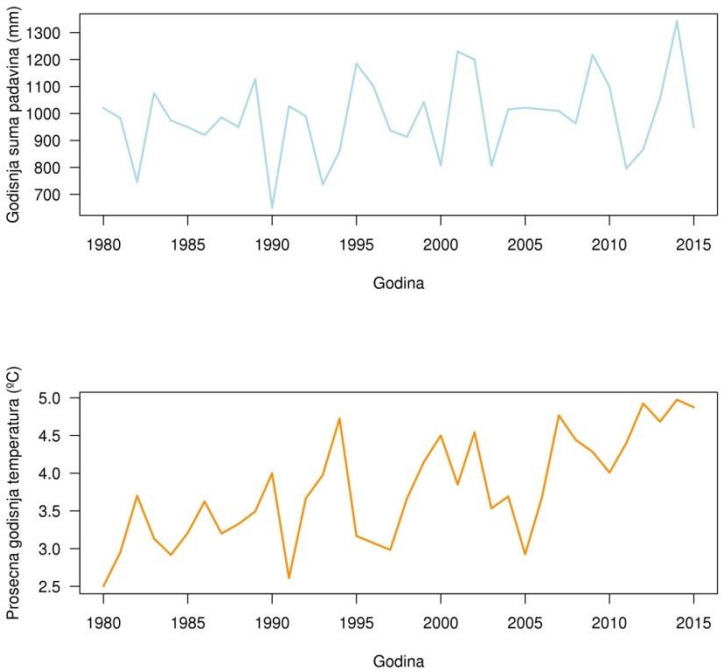
Слика 1. Клима дијаграм за Метеоролошку станицу Копаоник за период 1980-2015

Figure 1. *Climate chart for the Kopaonik Mt. in the period from 1980 to 2015*

На слици 2 су приказане годишња сума падавина и просечна годишња температура за период 1980-2015. године. Код просечне годишње температуре се уочава умерена тенденција повећања. Нарочито је забрињавајућа тендеција у последњих девет година (2007.-2015.), где средња годишња температура за тај период је 4,6 ^{o}C, док је на почетку посматраног периода за првих девет година (1980.-1988.) средња годишња температура 3,2 ^{o}C. У посматраном периоду се уочава и блага тенденција повећања годишње суме падавина али са значајним варирањем између година.

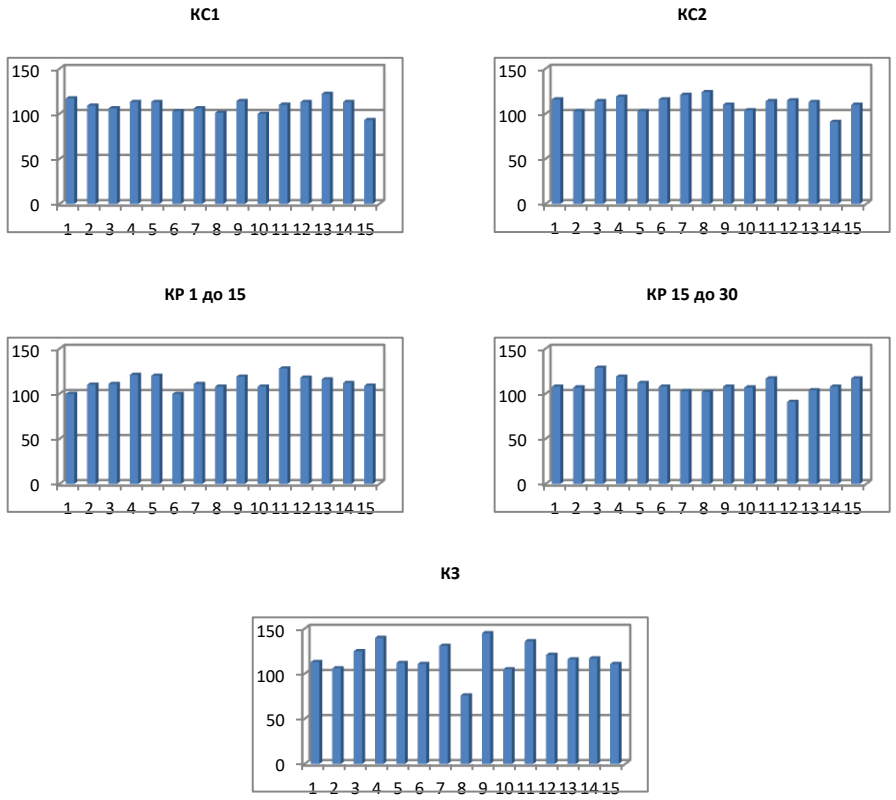
Аналогно са температуром просечна годишња сума падавина за последњих девет година је 1033,3 mm а за првих девет година 956,1 mm. Од 4 истраживана локалитета само на локалитету 4 (КЗ) на коме није утврђено сушење стабала био је утврђен значајнији структурни димензиони диверзитет састојине (прсни пречници и висине), док на три локалитета (два у газдованим састојинама – КС1 и КС2 и у резервату Јанкове баре – КЗ) је изражена структурна димензиона хомогеност најчешће карактеристична за једнодобне састојине. Након спроведених дендрохронолошких истраживања и утврђивања старости свих појединачних стабала потврђено је да је и старосни диверзитет једино био значајније изражен на локалитету 4 (КЗ), где је утврђена варијациона ширина старости од око 70 година (76. до 145. година). На два локалитета (КС1 и КС2) варијациона ширина старости доминантних стабала је око 30 година (92. до 123. година). На локалитету 3 (КР 1 до 15 и КР 16 до 30) варијациона ширина старости доминантних стабала је око 40 година (91. до 129. година). И поред релативно мале варијационе ширине старости на три

наведена локалитета истраживане састојине су разнодобне али са слабо израженим димензионим и старосним диверзитетом (Слика 3).



Слика 2. Годишња сума падавина и просечна годишња температура за Метеоролошку станицу Копаоник за период 1980-2015. године
Figure 2. *Annual sum of precipitation and average annual temperature for Kopaonik Mt. in the period from 1980 to 2015*

У конкретном случају потврђује се опште прихваћено научно мишљење данас у свету да у димензионо и старосно структуираним шумама се може очекивати већа еколошка стабилност у односу на старосно и димензионо хомогене састојине (Brang et al., 2014; Hanewinkel et al., 2014; Matović et al., 2018 и др.). Наравно, за потврду овог закључка истраживање би требало проширити на знатно већи број локалитета.



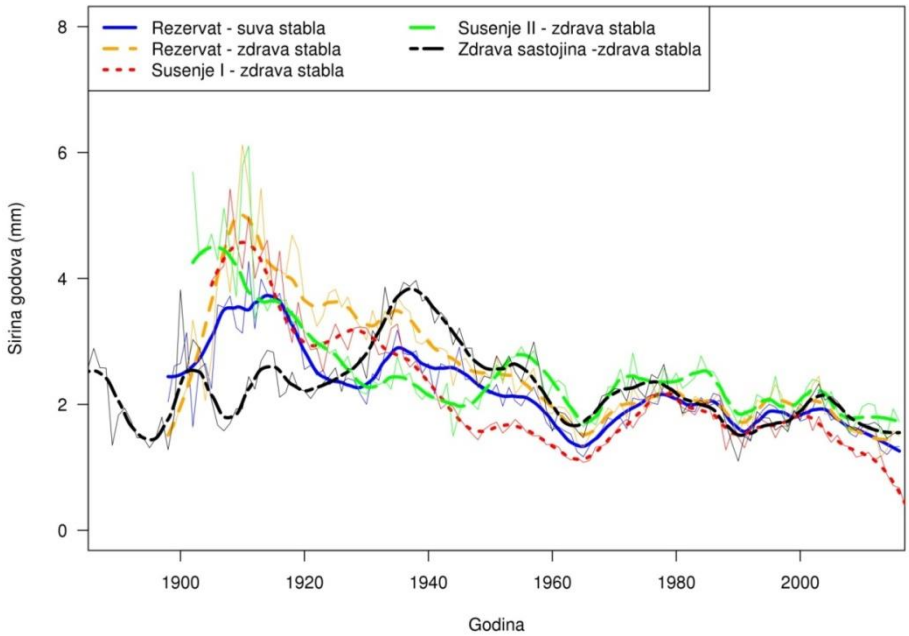
Слика 3. Старост стабала са истраживаних локалитета
Figure 3. *Age of tree from the research fields*

Мале апсолутне старости и структурна димензиона хомогеност у резервату Јанкове баре нам јасно говоре да суштински нису испуњени основни услови за еколошку стабилност овако издвојених резервата у дужем временском периоду. Напротив, они могу услед различитих негативних утицаја станишних фактора, а због не могућности провођења неопходних газдинских мера, постати простор за појаву каламитета инсеката и епифитоција гљива. Ове појаве ће угрозити и шуме које се налазе око овако издвојених резервата. Суштински, овако издвојени резервати престављају привремену конзервацију газдованих шума до појаве прве велике дистурбанце. Нажалост, наша је претпоставка да и остали резервати на Копаонику где су заступљене монодоминантне смрчеве шуме су такође са слабо израженим старосним и димензионим диверзитетом, чиме нису испуњени основни услови за еколошку стабилност овако издвојених резервата у дужем временском периоду.

Са нашег гледишта издвајање строгих резервата (резервата у којима су забрањене било какве газдинске мере) је оправдано само у шумским

екосистемима изражене еколошке стабилности. У првом реду мислимо на разнодобне састојине (са јасно израженим старосним и димензионим диверзитетом), за шта су добар пример букове прашуме у Србији (Винатовача, Кукавица и др.) и ако су уз то и мешовите (најбољи пример је Перућица у Републици Српској). У тим резерватима и прашумама имамо успостављену природну равнотежу и најшеће су еколошки стабилне у дужем временском периоду. Издвајање резервата у шумама са слабо израженим старосним и димензионим диверзитетом, монодоминантним шумама од еколошки нестабилних врста (а смрча је типичан пример) најчешће се завршава са појавом различитих дистурбанца које имају негативан утицај на њихову еколошку стабилност. У сушењу смрче на Копаонику од 2012. године до данас не треба занемарити ни ове чињенице. На основу затеченог стања, сматрамо да је решење да се законски омогући спровођење адекватних газдинских мера у резерватима на Копаонику, у циљу ублажавања даљег негативног деловања најчешће секундарних штеточина и болести и њиховог даљег ширења.

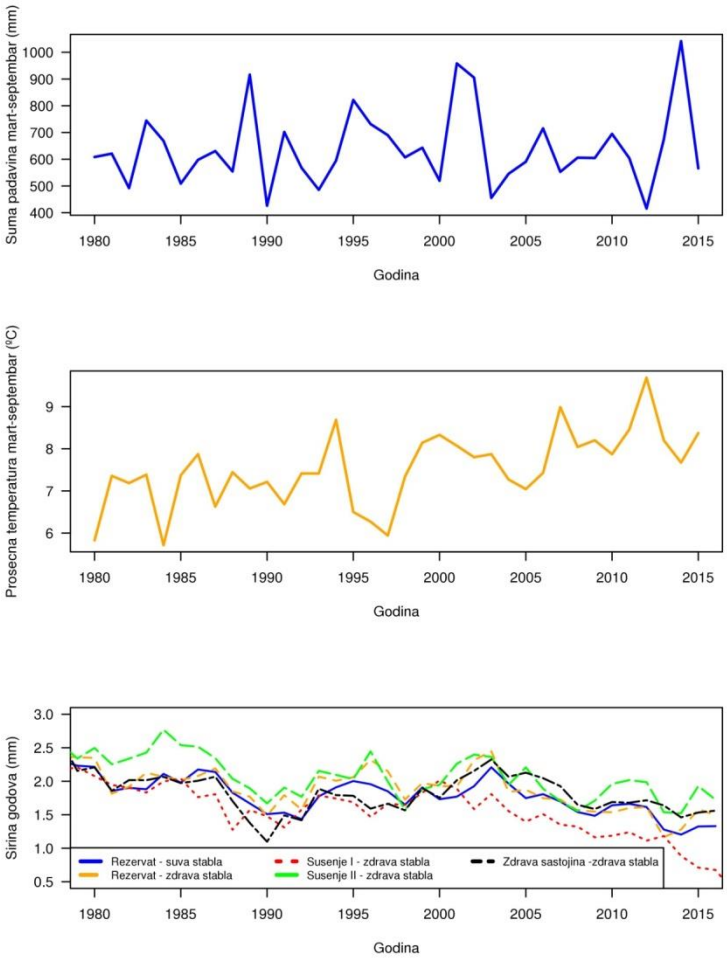
На слици 4 су приказане хронологије за пет анализираних група стабала са 4 истраживана локалитета. За већину истраживаних стабала са локалитета на којима је утврђено сушење може се констатовати јувенилни раст у периоду између 1900. – 1920. године. У здравој састојини ова појава није изражена у највећој мери због изражене разнодобности састојине у којима иначе положај за раст стабала у младости је неповољан. Посматрано на целим хронологијама од јувенилног раста до данас је уочен пад ширине годова, што је и очекивано с обзиром да са повећањем старости стабала после кулминације дебљинског прираста његова величина се најчешће континуирано смањује са старошћу нарочито у структурно хомегеним састојинама. Међутим, постоје и три карактеристична периода (оријентационо од краја тридесетих до почетка шездесетих, од осамдесетих до деведесетих и после 2002. године) констатовано је значајније смањење ширине годова. За прва два периода немамо увид како се ово смањење одразило на девитализацију стабала и њихово сушење. Треба имати у виду да су стабла тада била млађа и отпорнија и да у тим периодима ширине годова су још увек биле изнад или око два милиметра. Наравно, немамо ни увид у спроведене сече које су имале јасан утицај на дебљински прираст и ширину годова. После 2002. године на свим локалитетима ширина годова се смањила на 2 mm или мање од 2 mm. Посебно је алармантна ситуција са стаблима са локалитета 1 (КС1) где се код здравих стабала утврђује потпуна девитализација. Stamenković и Vučković, (1990) су констатовали да дугорочно смањење дебљинског прираста, које није само последица повећања старости стабала је често индикатор слабљења виталности и појаве њиховог сушења.



Слика 4. Хронологије истраживаних стабала смрче на Копаонику (танке линије) са изравнатим вредностима (дебље линије)
Figure 4. *Chronology of researched spruce trees from Kopaonik Mt. (tinner lines) with offset values (ticker lines)*

У дендроеколошкој анализи у овом раду истраживали смо утицај средње температуре у вегетационом периоду и суме падавина у вегетационом периоду на ширину годова стабала смрче на 5 група стабала са 4 локалитета.

На слици 5 су приказани сума падавина и просечна температура у вегетационом периоду и хронологије 5 група стабала у периоду 1980.-2015. Као и код годишњих вредности и у вегетационом периоду просечне годишње температуре карактерише умерена тенденција повећања. У последњих девет година (2007.-2015.), средња годишња температура за тај период је 8,4^{o}C, док на почетку посматраног периода за првих девет година (1980.-1988.) средња годишња температура је била 7,0 ^{o}C. У посматраном периоду се уочава и блага тенденција повећања годишње суме падавина. Аналогно са температуром просечна годишња сума падавина у вегетационом периоду за последњих девет година је 639,9 mm а за првих девет година 602,9 mm.



Слика 5. Сума падавина и просечна температура у вегетационом периоду и хронологије 5 група стабала у периоду 1980-2015.
Figure 5. *Sum of precipitation and average temperature in the growing season and chonology of 5 groups of trees in the period from 1980 to 2015.*

Визуелним поређењем са слике 5, нисмо утврдили значајнију директну везу између падавина у вегетационом периоду и ширине годова код стабала смрче. Када се посматрају три карактеристичне сушне године код којих је у вегетационом периоду утврђена мања сума падавина од 500 mm (1990., 2003. и 2012. година), значајније смањење ширине годова код већине група стабала је утврђено само за 1990. годину. Наше мишљење је да смрчеве састојине на Копаонику и у најсушнијим годинама, ако температуре ваздуха нису превише високе, имају довољно потребне влаге за несметане физиолошке

активности и да директан утицај падавина није значајније изражен ни на ширину годова. Наравно, утицај мале количине падавина у вегетационом периоду у садејству са екстремно високим температурама (најекстремнији пример је 2012. година) је највероватније основни узрок што је ширина годова на свим истраживаним локалитетима у 2012. и 2013. години била око 1,5 mm или мања од 1,5 mm (слика 5). За разлику од Копаоника у Ибарској Клисури, која се налази у подножју ове планине, Koprivica et al. (2009) су утврдили јак утицај падавина на дебљински прираст црног бора јер је раст стабала ове врсте на изразито плитким и сувим земљишима веома зависио од количине падавина у вегетационом периоду. Ову законитост потврђује Пирсонова корелациона анализа (Табела 1). Пирсонова корелациона анализа показује слабу везу између суме падавина у вегетационом периоду и ширине годова за свих пет анализираних група стабала смрче.

Табела 1. Утицај падавина на ширину годова (Пирсонова корелациона анализа)
Table 1. *The impact of precipitation on the tree-ring width (Pearson correlation analysis)*

	Локалитет *Site*				
	КС1	КС2	КР 1 - 15	КР 16 - 30	КЗ
r$^{*)}$	-0,11	-0,03	-0,13	-0,02	-0,06
p-вредност *p-value*	0,54	0,84	0,44	0,90	0,71

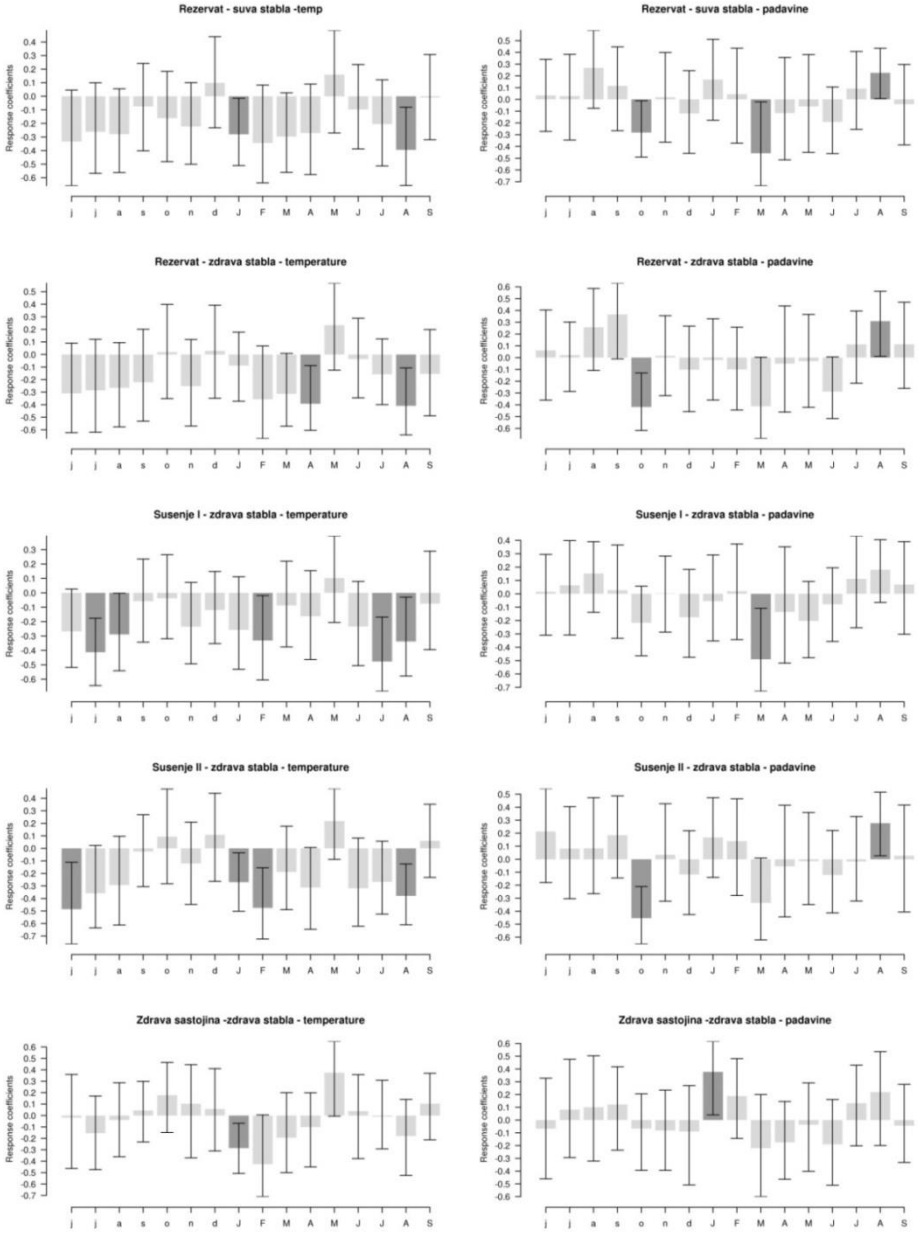
$^{*)}$Пирсонов коефицијент корелације *Pearsons' correlation coefficient*

Међутим, Пирсонова корелациона анализа нам показује јасну везу између средње температуре у вегетацином периоду и ширине годова за четири групе стабала са три локалитета на којима је констатовано сушење стабала (Табела 2). Полазећи од овог закључка, а са обзиром да је на ова три локалитета дошло до сушења наше је мишљење да изразито високе температуре у вегетационом периоду у три повезане године (2011., 2012. и 2013. године) у садејству са изразито малом количином падавина у 2012. години, поред јасног утицаја на смањење дебљинског прираста, представљају и примарни узрок девитализације и сушења стабала на Копаонику. Пресудан утицај дугих сушних лета са екстремним температурама на значајно смањење дебљинског прираста и девитализацију стабала су утврдили и други аутори (Kahle, 1994; Mäkinen et al., 2002).

Табела 2. Утицај температура на ширину годова (Пирсонова корелациона анализа)
Table 2. *The impact of temperature on the tree-ring width (Pearson correlation analysis)*

	Локалитет *Site*				
	КС1	КС2	КР 1 до 15	КР 16 до 30	КЗ
r$^{*)}$	-0,41	-0,41	-0,41	-0,45	-0,10
p-вредност *p-value*	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	0,56

$^{*)}$Пирсонов коефицијент корелације *Pearsons' correlation coefficient*



Слика 6. „Bootstrapping“ корелација између ширине годова и температура и падавина за период 1980-2015.

Figure 6. *Bootstrap corralation between tree-ring width and temperature and precipitation in the period from 1980 to 2015.*

Само на локалитету КЗ на коме није констатовано сушење веза између средње температуре у вегетацином периоду и ширине годова није статистички значајна.

Поред истраживања за вегетациони период, истраживали смо и утицај средње месечне температуре и суме падавина по месецима на ширину годова стабала смрче (Слика 6).

„Bootstrapping“ корелација показује да постоје карактеристични месеци у којима сума месечних падавина и средња месечна температура имају директан утицај на ширину годова. И у овом случају средња температура се показује као важнији показатељ од падавина. Такође, и у овом случају локалитет КЗ на коме није било сушења треба посматрати одвојено од остала три локалитета на којима је утврђено сушење. На овом локалитету утврђено је да само велике јануарске количине падавина у текућој години имају статистички значајан позитиван утицај на повећање ширине года, док повећане јануарске и фебруарске средње температуре имају негативан утицај и утичу на смањење ширине года. На три локалитета на којима је утврђено сушење корелација показује да повећана летња температура (јун, јул и август) у претходној години имају утицај на смањење ширине года у наредној години. Слично повећане температуре од јануара до априла у текућој години имају негативан утицај на ширину года. Занимљиво је да повећане мајске температуре позитивно утичу на благо повећање ширине года, а затим повећане јунске и нарочито јулске и августовске температуре у текућој години поново утичу на смањење ширине года. Са повећањем падавина у октобру претходне године се смањује ширина года у текућој години. Иста законитост важи и за месец март текуће године. Међутим, за месец август текуће године законитост је обрнута, са повећањем суме падавина у августу повећава се и ширина года у тој години. На локалитету Строгог резервата Јанкове баре није утврђен различит утицај климатских фактора на месечном нивоу на ширину годова са две групе стабала (КР 1 до 15 – стабла у процесу сушења и КР 16 до 30 – здрава стабла).

ЗАКЉУЧАК

Основни закључци овог истраживања су:

1. Слаба веза између суме падавина у вегетационом периоду и ширине годова за свих пет анализираних група стабала смрче.
2. Статистички значајна веза између средње температуре у вегетацином периоду и ширине годова за четири групе стабала са три локалитета на којима је констатовано сушење стабала. Полазећи од овог закључка, наше је мишљење да изразито високе температуре у вегетационом периоду у три повезане године (2011., 2012. и 2013. године) у садејству са изразито малом количином падавина у 2012. години представљају примарни узрок девитализације и сушења стабала смрче на Копаонику.

3. Ово истраживање даје полазну индицију да девитализација и сушење стабала је израженије у структурно и старосно хомогеним састојинама. За потврду ове индиције потребно је истраживање проширити на већи број локалитета.
4. Са повећањем температуре и у претходној и у текућој години смањује се ширина годова. Изузетак је месец мај текуће године.
5. Најкарктеристичнији месеци у којима сума падавина негативно утичу на ширину годова су октобар претходне и март текуће године а позитивно август текуће године.

ЗАХВАЛНИЦА

Истраживање је реализовано у оквиру пројеката „Мултидисциплинарна истраживања процеса сушења шума“ који је у периоду 2015.-2016. финансирало Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије, Управа за шуме и ТР 31070 „Развој технолошких поступака у шумарству у циљу реализације оптималне шумовитости“ који је у периоду 2011.-2018. финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M. et al (2010): A global overview of drought and heatinduced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. For Ecol Manag 259(4): 660–684.

Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O.E., Lystad, S.F. (2006): Regional differences in climatic responses of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) growth in Norway. Forest Ecol. Manage. 222: 211–221.

Baillie, M.G., Pilcher, J.R. (1973): A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-Ring Bulletin 33: 7-14.

Beck, W. (2009): Growth patterns of forest stands – the response towards pollutants and climatic impact. iForest 2: 4–6.

Boden, S., Kahle, H.P., von Wilpert, K., Spiecker, H., (2014): Resilience of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) growth to changing climatic conditions in Southwest Germany. Forest Ecology and Management 315: 12–21.

Bolte, A., Hilbrig, L., Grundmann, B., Kampf, F., Brunet, J., Roloff, A. (2010): Climate change impacts on stand structure and competitive interactions in a southern Swedish spruce–beech forest. Eur. J. Forest Res. 129: 261–276.

Bouriaud, O., Popa, I. (2009): Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian. Trees 23: 95–106.

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J.B., Bauhus, J., Bončina, A., Chauvin, C., Droessler, L., Garcıa-Guemes, C., Heiri, C., Kerr, G., Lexer, M.J., Mason, B., Mohren, F., Muehlethaler, U., Nocentini, S., Svoboda, M. (2014): Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. Forestry 87:492-503.

Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R. et al. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. Nature 491(7426): 752-755.

Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (1990): Methods of Dendrochronology, Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic, Dordrecht.

Eckstein, D., Bauch, J. (1969): Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 88(1): 230-250.

Eckstein, D., Krause, C., Bauch, J. (1989): Dendroecological investigations of spruce trees (Picea abies (L.) Karst.) of different damage and canopy classes. Holzforschung 43: 411–417.

Elling, W. (1987): Eine Methode zur Erfassung von Verlauf und Grad der Schädigung von Nadelbaumbeständen. Eur. J. For. Path. 17: 426 – 440.

Flury, P. (1927): Über den Einfluß von Trockenperioden auf das Bestandes-wachstum. Mitt. Schweiz. Centralanst. f. d. Forstl. Versuchswes 14: 251–292.

Fritts, H.C. (1976): Tree Rings and Climate. Academic press, London.

Hanewinkel, M., Kuhn, T., Bugmann, H., Lanz, A., Brang, P. (2014): Vulnerability of uneven-aged forests to storm damage. Forestry 87: 525-534.

Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring bulletin 43(1): 69-78.

Kahle, H.P. (1994): Modellierung der Zusammenhänge zwischen der Variation von klimatischen Elementen des Wasserhaushalts und dem Radialzuwachs von Fichten (Picea abies (L.) Karst.) aus Hochlagen des Südschwarzwaldes. Eine standortbezogenen dendroökologische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Trockenstreß, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg.

Kahle, H.P., Spiecker, H. (1996): Adaptability of radial growth of Norway spruce to climate variations: results of a site specific dendroecological study in the high elevations of the Black Forest (Germany). Radiocarbon 9999(38): 785–801.

Kesić, L., Matović, B., Stojnić, S., Stjepanović, S., Stojanović, D. (2016): Promena klime kao faktor smanjenja prirasta stabala čiste sastojine smrče (Picea abies (L.) H.Karst.) u Nacionalnom parku “Kopaonik”. Topola 197/198: 25-34.

Koprivica, M., Matović, B., Stajić, S., Čokeša, V. (2009): Diameter increment trend of the Austrian pine plantations in Raška. Sustainable Forestry 59-60: 63-78.

Lebourgeois, L. (2007): Climatic signal in annual growth variation of silver fir (Abies alba Mill.) and spruce (Picea abies Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). Ann. For. Sci. 64: 333–343.

Levanič, T. (2007): ATRICS-A new system for image acquisition in dendrochronology. Tree-Ring Research 63(2): 117-122.

Levanič, T., Gričar, J., Gagen, M., Jalkanen, R., Loader, N.J., McCarroll, D., Oven, P., Robertson, I. (2009): The climate sensitivity of Norway spruce [Picea abies (L.) Karst.] in the southeastern European Alps. Trees 23(1): 169-180.

Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H.P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H. (2002): Radial growth variation of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. Forest Ecol. Manage. 171: 243–259.

Matović, B., Koprivica, M., Kisin, B., Stojanović, D., Kneginjić, I., Stefanović, S. (2018): Comparison of stand structure in managed and virgin european beech forests in Serbia. Šumarski list 142 (1/2): 47-57.

McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T. et al. (2008): Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? New Phytol 178(4):719–739.

O'Brien, M.J., Engelbrecht, B.M., Joswig, J., Pereyra, G., Schuldt, B., Jansen, S et al. (2017): A synthesis of tree functional traits related to drought induced mortality in forests across climatic zones. Journal of Applied Ecology: doi: 10.1111/1365-2664.12874

Pichler, P., Oberhuber, W. (2007): Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to the heat-wave in 2003. Forest Ecol. Manage. 242: 688–699.

Reichstein, M., Ciais, P., Papale, D., Valentini, R., Running, S., Viovy, N. et al (2007): Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis. Glob Change Biol 13:634–651.

Spiecker, H. (1991): Growth variation and environmental stresses: long-term observations on permanent research plots in South-western Germany. Water Air Soil Pollut. 54: 247–256.

Spiecker, H. (1995): Growth dynamics in a changing environment – long-term observations. Plant Soil 168–169: 555–561.

Spiecker, H. (2002): Tree rings and forest management in Europe. Dendrochronolgia 20 (1–2): 191–202.

Stamenković, V., Vučković, M. (1990): Prirast šuma kao indikator slabljenja vitalnosti i pojave njihovog sušenja (umiranja). Šumarstvo 2: 53-60.

Stjepanović, S., Matović, B., Stojanović, D., Levanič, T., Orlović, S., Kesić, L., Pavlović, L. (2017): Uticaj sušnih godina na širinu godova evropske bukve (Fagus sylvatica L.) u zapadnoj Republici Srpskoj. Topola 199/200: 141-152.

Stojanović, D., Levanič, T., Orlović, S., Matović, B. (2013): Upotreba najsavremenijih dendroekoloških metoda u cilju boljeg razumevanja uticaja izgradnje savskog nasipa na sušenje hrasta lužnjaka u Sremu. Topola 191/192: 83-90.

Stojanović, D., Levanič, T., Matović, B. (2015): Korelacija različitih klimatskih elemenata i indeksa sa širinom godova cera (*Quercus cerris* L.). Topola 195/196: 23-29.

Schweingruber, F.H. (1979): Auswirkung des Lärchenwicklerbefalls auf die Jahrringstruktur der Lärche; Ergebnisse einer Jahrringanalyse mit röntgen-densiometrischen Methoden. Schweiz. Z. Forstw. 130 (12): 1071-1093.

Van der Maaten-Theunissen, M., Kahle, H.P., van der Maaten, E. (2013): Drought sensitivity of Norway spruce is higher than that of silver fir along an altitudinal gradient in southwestern Germany. Annal. For. Sci. 70(2): 185–193.

Varian, H.(2005). "Bootstrap Tutorial". Mathematica Journal 9: 768-775.

Vučković, M., Glavendekić. M., Mihajlović. Lj. (1998): Problem devitalizacije izdanačkih hrastovih šuma. Šumarstvo 3-4: 45-52.

Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M. et al. (2013): Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. Nature climate change 3(3): 292-297.

Zang, C. (2010): BootRes: Bootstrapped response and correlation functions. R package version 0.3.

Summary

IMPACT OF CLIMATE ON GROWTH AND VITALITY OF NORWAY SPRUCE AT KOPAONIK MOUNTAIN

by

Bratislav Matović, Dejan Stojanović, Lazar Kesić, Stefan Stjepanović

In order to determine the primary cause of dieback and loss of tree vitality in pure stands of Norway spruce at Kopaonik mountain, dendrochronological methods were applied. Field sampling was carried out in 2016 at four sites in stands with various health conditions with different forest management measures. The annual amount of precipitation and precipitation during the growing season from 1980 to 2015 was approximately on the same level with a slight tendency of increase. However, the mean annual temperature and mean temperature during growing season had a significant increase. In the same period, the declining trend of growth was determined. Pearson's correlation analysis had shown shows a clear relationship between the mean temperature during the growing season and the tree-ring widths from the sites where the tree mortality was determined. However, Pearson's correlation shows clear relationship between average temperature in the growing season and tree-ring width from three site field with a determined diebeck. Starting from this conclusion, it is our opinion that extremely high temperatures in the three related years (2011, 2012, and 2013) during the growing season, with a very small amount of precipitation in 2012, represent the primary cause of devitalization and drying of the spruce trees on Kopaonik Mt. The influence of mean monthly temperatures and sum of precipitation on monthly level on the

tree-ring growth of spruce trees was also investigated. Bootstrapping correlation analysis showed that there were characteristic months in which monthly values of climatic variables had had a direct impact on the annual tree-ring widths. With increasing of temperature in previous and current year the tree-ring width was deceasing. The only exception was May of current year. October of the previous year and March of the current year were the most characteristic months in which the sum of precipitation had negatively affected to tree-ring width, while this influence was positive for the August of the current year. In this case, the mean temperature, which directly affected the radial growth, had been shown as a more important indicator than precipitation.