

UDK: 633.2:630*111

Izvorni naučni rad *Original scientific paper*

**KORELACIJA RAZLIČITIH KLIMATSKIH ELEMENATA I INDEKSA SA
ŠIRINOM GODOVA CERA (*Quercus cerris* L.)**

Dejan Stojanović¹, Tom Levanič², Bratislav Matović¹

Izvod: Postizanje ranije zacrtanih ciljeva u šumarstvu neće biti jednostavno u svjetlu globalnih klimatskih promena. Očekivani uticaj promene klime na šume u Srbiji je već uočen u dendrohronološkim istraživanjima različitih vrsta hrasta. U radu je vršeno proučavanje uticaja 15 klimatskih elemenata uzetih iz CARPATCLIM baze podataka na hrast cer iz sastojine 8 i (GJ Branjevina, ŠG Sombor, JP Vojvodinašume) pomoću dendrohronoloških metoda. Analize pomoću proste Pirsonove korelacije su pokazale veću povezanost između prirasta cera i indeksa SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), RDI (*Reconnaissance Drought Index*) i PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) u vegetacionom periodu u odnosu na osnovne promeljive kao što su srednje mesečne temperature ili mesečne sume padavina. Do danas, indeksi SPEI i RDI nisu korišćeni u većoj meri u dendrohronološkim istraživanjima. Imajući u vidu njihove karakteristike da se koriste za monitoring suše, a da su među 15 klimatskih promenljivih pokazali korelacije za sve mesece tokom vegetacionog perioda, treba ozbiljno računati na njih u budućim istraživanjima i razumevanju uticaja suše na šume.

Ključne reči: dendrohronologija, klimatske promene, prirast, korelacije

**CORRELATION BETWEEN DIFFERENT CLIMATE VARIABLES AND INDICES
AND GROWTH OF TURKEY OAK (*QUERCUS CERRIS* L.)**

Abstract: Achieving the earlier set goals in forestry will not be easy in the light of global and climate change. The expected impact of climate change on forests in Serbia is already recorded in the studies of oak. This research was focused on the study of the impact of 15 climate variables from CARPATCLIM database over the Turkey oak from stand 8i (Management Unit Branjevina, Forest Division Sombor, Public Enterprise Vojvodinašume) using dendrochronological methods. Analyses using a simple Pearson's correlation showed the higher correlation between oak growth and SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), RDI (*Reconnaissance Drought Index*) and PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) in the growing season in comparison to simple variables such as mean monthly temperature of monthly sum of precipitation. To date, indices SPEI and RDI are not used to a greater extent in dendrochronological studies. Given their characteristics that they are used for monitoring of drought, and that among the 15 climate variables provide significant correlations for the main months (April to August) during growing season, they should be seriously considered in the future understanding of the impact of drought on forests.

¹ Dr Dejan Stojanović, naučni saradnik (dejan.stojanovic@uns.ac.rs), dr Bratislav Matović, naučni saradnik, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Univerzitet u Novom Sadu, Antona Čehova 13d, Novi Sad

² Prof. dr Tom Levanič, Gazdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana, Slovenija

Key words: dendrochronology, climate change, growth, correlations

UVOD

Projekcije govore da se pojave toplotnih talasa na globalnom nivou mogu udvostručiti do 2020. godine, a učetvorostručiti do 2040., što će imati uticaj i na šume, kako na njihove fiziološke procese, tako i na njihovu distribuciju u daljoj perspektivi (Teskei et al., 2014).

Kako na globalnom nivou, očekivani je i uticaj klimatskih promena na šume u Srbiji u kojima je zabeležena promena klimatskih uslova (Stojanović et al., 2012) i smanjenje vitalnosti hrasta lužnjaka (Stojanović et al., 2013a, Stojanović et al., 2015). Postizanje ranije zacrtanih ciljeva u šumarstvu Republike Srbije neće biti lako u svetlu globalnih i klimatskih promena (Orlović et al., 2014). Istraživanja uticaja klime na bukvu i ostalih značajnih vrsta u šumarstvu Srbije pokazale su da klimatske promene mogu imati veliki uticaj na bukvu, od planinskih, i na hrast lužnjak, od nizijskih vrsta (Stojanović et al., 2013b, 2014b).

Proučavanje uticaja klime na šume pomoću dendrohronoloških metoda je prikazano u više radova u našoj zemlji. Vršeno je istraživanje odgovora hrasta kitnjaka na klimatske uslove u Nacionalnom parku „Fruška gora“, gde se pokazalo da padavine imaju značajniju ulogu od temperaturu na širinu godova (Stajić et al., 2014, Stajić et al., 2014). Dendrohronološkim metodama razmatrani su i uzroci sušenja hrasta lužnjaka u Sremu i uticaj izgradnje nasipa na rast i vitalnost stabala (Stojanović et al., 2013a). Dendrohronološka istraživanja vezana za hrast cer su izuzetno retka. U referentnoj literaturi je zabeležen pozitivan uticaj padavina na prirast cera u Albaniji (Stafasani i Toromani, 2015).

Projekti CARPATCLIM (www.carpatclim-eu.org) ili ENSEMBLES (ensembles-eu.metoffice.com) su omogućili da se u dendrohronološke evaluacije uključe i neki drugi klimatski parametri, osim srednjih mesečnih temperatura i padavina za Karpatski region ili Evropu.

Cilj ovog rada je bila da pokaže mogućnost primene većeg broja klimatskih elemenata (promenljivih), koje je moguće preuzeti iz otvorenih baza podataka i savremenim robusnim alatima, kao što je R, porediti sa širinom godova na uzetom uzorku stabala cera.

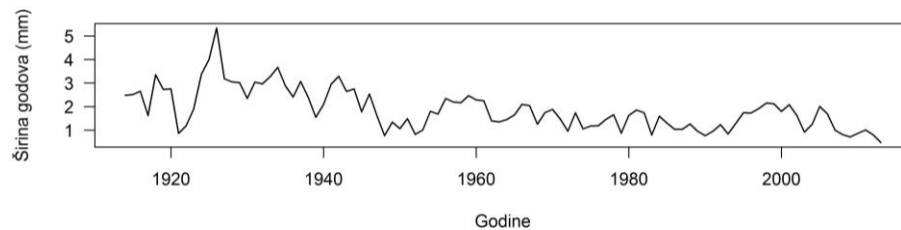
MATERIJAL I METODE

Za istraživanje je uzet uzorak stabala cera u sastojini GJ Branjevina, odeljenju 8, odseku i (ŠG Sombor, JP Vojvodinašume, 45° 28' N, 19° 10' E). Reč je o mešovitoj sastojini cera i lužnjaka starosti 120 godina u kojoj je zabeleženo masovno sušenje 2013. godine. Prilikom sanitarne seče je odabrano 10 kolutova cera dominantnih stabala na visini od 8 m (1/5 od 40 m kolilo je iznosila visina stabala cera; 1/5 visine je optimalna visina za uzorkovanje na osnovu dobre dendrohronološke prakse u uslovima kada je to moguće jer se računa da tu postoji najbolji balans između vode i ugljenika koji dolaze iz različitih smerova). Uzorci su kasnije osušeni, isečeni u letvice i izbrušeni. Skeniranje uzoraka je vršeno pomoću ATRICS sistema (Levanić, 2007). Merenje širina godova je izvršeno pomoću WinDENDRO softvera preciznošću 0,01 mm. Vizuelno i statističko unakrsno datiranje je sprovedno PAST-5™ softverom. Prikazane su vremenske serije prirasta cera i izvršene korelacione analize pomoću *bootRes* paketa (Zang, 2010) u R statističkom okruženju.

Promenljive koje su korišćene u analizama su: SPEI3 (tromesečni *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), indeks aridnosti, PDSI (*Palmer Drought Severity Index*), indeks vlažnosti, RDI3 (tromesečni *Reconnaissance Drought Index*), oblačnost, maksimalna temperatura, minimalna temperatura, srednja temperatura, relativna vlažnost, globalna radijacija, vazdušni pritisak, padavine, procenat vlažnih dana (<20mm) i potencijalna evapotranspiracija, preuzete iz CARPATCLIM baze podataka (Szalai et al., 2013). Indeksi SPEI3 (Beguería et al., 2013) i RDI3 (Tsakiris et al., 2007, Zarch et al. 2011) su indeksi razvijeni u protekloj deceniji, koji pored kumulativnih vrednosti padavina (u ovom radu uzete su tromesečne vrednosti, ali mogu biti i šestomesečne, devetomesečne, dvanaestomesečne, itd.) koriste i potencijalnu evapotranspiraciju. Indeks PDSI (Alley, 1984) je indeks razvijen šezdesetih godina prošlog veka. Za njegovu kalkulaciju potrebne su mesečne temperature, padavine i karakteristike zemljišta.

REZULTATI I DISKUSIJA

Najznačajniju povezanost sa prirastom (Slika 1.) su u periodu 1961-2010 pokazali indeksi SPEI3, RDI3 i PDSI (Slika 2.).

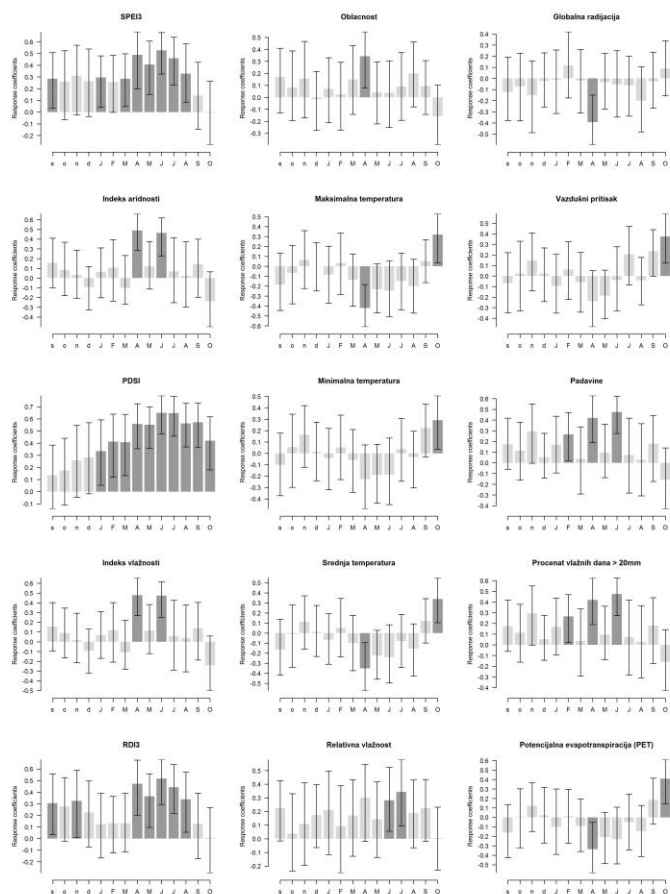


Slika 1. Hronologija prosečne širine godova 10 stabala cera (*Quercus cerris* L.) u sastojini u GJ Branjevina, odeljenju 8, odseku i.

Figure 1 Chronology of tree-ring widths of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) from 8i stand

Pored navedenih indeksa koji su značajno korelirali sa prirastom tokom glavnih meseci vegetacionog perioda, od aprila do avgusta, sve ostale promenljive su pokazale statistički značajne korelacije (tamniji stubići, Slika 2.) u određenim mesecima. Indeks aridnosti i indeks vlažnosti u aprilu i junu su korelirali sa godišnjim prirastom. Oblačnost, maksimalna, minimalna temperatura i evapotranspiraciju u aprilu su korelirali sa prirastom, dok je za minimalnu temperaturu to bio oktobar, što se ne može lako objasniti, pošto je u oktobru mesecu već završen rast. Relativna vlažnost u junu i julu je bila povezana sa prirastom, dok su padavine u februaru, aprilu i junu bile značajne za prirast. Značajne povezanost sa februarskim vrednostima sume padavina se možda može objasniti procesom natapanja zamljišta pred početak vegetacionog perioda koje će kasnije doprineti boljem prirastu.

Statistička povezanost između npr. globalne radijacije u martu ili vazdušnog pritiska u oktobru ne znači i vezu između pojava. Za donešenje zaključka da li su sve klimatske promenljive i njihove korelacije sa prirastom prikazanim na slici 2. stvarno u vezi potrebna je dublja analiza i razmatranje procesa. Npr. indeks vlažnosti u aprilu i junu, kao i padavine u istim mesecima mogu biti u realnoj vezi s obzirom da se radi o bitnom delu vegetacionog perioda.



Slika 2. Prosta Pearsonova korelacija između prirasta (residualnih hronologija širine godova) hrasta cera sastojine 8i (GJ Branjevina, ŠG Sombor, JP Vojvodinašume) i SPEI3 indeks, indeks aridnosti, PDSI indeks, indeks vlažnosti, RDI3 indeks, oblačnost, maksimalna temperatura, minimalna temperatura, srednja temperatura, relativna vlažnost, globalna radijacija, vazdušni pritisak, padavine, procenat vlažnih dana (>20mm) i potencijalna evapotranspiracija. Tamnijom bojom su predstavljene značajne korelacije ($p < 0,05$, $n=50$ godina) za period 1961-2010

Figure 2. Simple Pearson's correlation between the growth (residual chronologies of tree-ring widths) of Turkey oak from stand 8i (Management Unit Branjevina, Forest Division Sombor, Public Enterprise Vojvodinašume) and SPEI3, aridity index, PDSI, humidity index, RDI3, cloudiness, maximum temperature, minimum temperature, average temperature, relative humidity, global radiation, air pressure, precipitation, the percentage of wet days (> 20 mm) and potential evapotranspiration. Darker colour represents significant correlations ($p < 0.05$, $n=50$ years) for the period 1961-2010

PDSI indeks je i ranije korišćen u evaluaciji uticaja suše na šume, konkretno bukve u Italiji (Piovesan et al., 2008), gde je dovedeno u vezu smanjenje prirasta i povećanje aridnosti računato na osnovu PDSI. SPEI indeks je korišćen u evaluaciji sušenja četinarskih šuma gde je uočena značajna korelacija između ovog indeksa i sibirskog bora (Kharuk et al., 2015). Radova koji pominju korišćenje RDI indeks u dendrohronologiji nismo našli, tako da se ovo može smatrati prvom upotrebom indeksa u evaluaciji uticaja klimatskih faktora na prirast.

Skorašnja istraživanja u istoj sastojini su pokazala da vodostaj Dunava igra značajnu ulogu za prirast i vitalnost (Stojanović et al., 2014c). S obzirom da su korišćene iste metode, može se reći da indeksi suše (kumulirane vrednosti padavina) imaju jedanki ili čak veći uticaj od nivoa podzemnih voda koje diktira vodostaj Dunava.

Superiornost izvedenih klimatskih vrednosti kao što su PDSI, SPEI i RDI indeks u odnosu na druge klimatske promeljive je očigledna. Kumilirane vrednosti padavina daju značajnu snagu indeksima koji se bave sušom. Imajući u vidu fiziologiju i ekologiju šumskih ekosistema, ukupna količina padavina u određenom višemesečnom periodu jeste značajna za rast, što su pokazali i ovi indeksi.

ZAKLJUČAK

U radu je ispitana korelacija između mesečnih vrednosti više klimatskih promenljivih (SPEI3 indeks, indeks aridnosti, PDSI indeks, indeks vlažnosti, RDI3 indeks, oblačnost, maksimalna temperatura, minimalna temperatura, srednja temperatura, relativna vlažnost, globalna radijacija, vazdušni pritisak, padavine, procenat vlažnih dana (<20mm) i potencijalna evapotranspiracija) i prirasta hrasta cera. Najveća povezanost je zabeležena između SPEI3, RDI3 i PDSI indeksa. Indeksi SPEI i RDI su skorijeg datuma, tako da njihova primeni u dendrohronološkim analizama tek treba da dođe do izražaja. U radu je pokazana jasna superiornost izvedenih klimatskih promenljivih (indeksa suše) u odnosu na osnovne promeljive (mesečne temperature i mesečne sume padavina) koja potiče iz njihove moći da uzmu u obzir uticaj sume padavina u dužem periodu.

Zahvalnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekata: „Istraživanje klimatskih promena i njihovog uticaja na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (III 43007) koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije u okviru programa Integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja za period 2011-2015 godine, i projekta „Unapređenje gajenja nizijskih šuma“ (2013-2017) finansiranog od strane Javnog preduzeća „Vojvodinašume“, kao, Short-Term Mission COST Action EUMIXFOR za dr Dejan Stojanovića u Ljubljani (Slovenija) 2015. godine i projekta bilateralne saradnje Srbija-Slovenija broj 451-03-3095/2014-09/50.

LITERATURA

Alley, W. M. (1984): The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of climate and applied meteorology*, 23(7): 1100-1109.

- Beguera, S.; Vicente-Serrano, S. M.; Reig, F.; Latorre, B. (2014): Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10): 3001-3023.
- Kharuk, V. I.; Im, S. T.; Oskorbin, P. A.; Petrov, I. A.; Ranson, K. J. (2013): Siberian pine decline and mortality in southern Siberian mountains. *Forest Ecology and Management*, 310: 312-320.
- Levanič, T. (2007): ATRICS-A new system for image acquisition in dendrochronology. *Tree-Ring Research*, 63(2): 117-122.
- Orlović S.; Drekić M.; Matović B.; Poljaković-Pajnik L.; Stevanov M.; Stojanović D.; Stojnić S. (2014): Serbian Forestry - achievement of millenium goals in the era of climate change and globalization. *Bulletin of the Faculty of Forestry, Supplement*: 89-112.
- Piovesan, G.; Biondi, F.; FILIPPO, A. D.; Alessandrini, A.; Maugeri, M. (2008): Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*, 14(6), 1265-1281.
- Stafasani, M.; Toromani, E. (2015): Growth-Climate Response of Young Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Coppice Forest Stands along Longitudinal Gradient in Albania. *SEEFOR (South-east European forestry)*, 6(1): 25-38.
- Stajić, B.; Vučković, M.; Janjatović, Ž. (2015): Preliminary Dendroclimatological Analysis of Sessile Oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in "Fruška Gora" National Park, Serbia. *Baltic Forestry* 21(1): 83-95.
- Stajić, B.; Vučković, M.; Janjatović, Ž. (2014): Dendrochronological research in an artificially established sessile oak stand in the area of Fruška Gora. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, (109): 149-168.
- Stojanović D.; Levanič T.; Matović B.; Plavšić J. (2014a): Trendovi prirasta i vitalnosti hrasta lužnjaka u Sremu sa aspekta promene vodostaja Save. *Topola* 193-194: 107-115.
- Stojanović D.; Matović B.; Orlović S.; Kržič A.; Đurđević V.; Galić Z.; Vuković A.; Vujadinović M. (2012): Upotreba indeksa suše za evaluaciju uticaja promene klime na bukove šume u Srbiji. *Topola* 189/190: 117-123.
- Stojanović, D. B.; Kržič, A.; Matović, B.; Orlović, S.; Duputic, A.; Djurdjević, V.; Galić Z.; Stojnić, S. (2013b): Prediction of the European beech (*Fagus sylvatica* L) xeric limit using a regional climate model: An example from southeast Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 176: 94-103.
- Stojanović, D. B.; Matović, B.; Orlović, S.; Kržič, A.; Trudić, B.; Galić, Z.; Stojnić, S.; Pekeč, S. (2014b): Future of the Main Important Forest Tree Species in Serbia from the Climate Change Perspective. *SEEFOR (South-east European forestry)*, 5(2): 117-124.
- Stojanović, D.; Levanič, T.; Matović, B.; Galić, Z.; Bačkalić, T. (2014c): Vodostaj Dunava kao faktor smanjenja prirasta i vitalnosti stabala mešovite sastojine lužnjaka i cera. *Šumarstvo*, 3-4: 155-162.
- Stojanović, D.; Levanič, T.; Orlović, S.; Matović, B. (2013a): Upotreba najsavremenijih dendrokoloških metoda u cilju boljeg razumevanja uticaja izgradnje savskog nasipa na sušenje hrasta lužnjaka u Sremu. *Topola*, 191/192: 83-90.
- Stojanović, D.B.; Levanič, T.; Matović, B.; Orlović, S. (2015): Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *European Journal of Forest Research*, 134(3): 555-567.
- Szalai, S.; Auer, I.; Hiebl, J.; Milkovich, J.; Radim, T.; Stepanek, P.; Zahradnicek, P.; Bihari, Z.; Lakatos, M.; Szentimrey, T.; Limanowka, D.; Kilar, P.; Cheval, S.; Deak, Gy.; Mihic, D.; Antolovic, I.; Mihajlovic, V.; Nejedlik, P.; Stastny, P.; Mikulova, K.;

- Nabyvanets, I.; Skyryk, O.; Krakovskaya, S.; Vogt, J.; Antofie, T.; Spinoni, J. (2013): Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. www.carpatclim-eu.org.
- Teskey, R.; Wertin, T.; Bauweraerts, I.; Ameye, M.; McGuire, M.A.; Steppe, K. (2014): Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant, Cell & Environment*, 38(9): 1699–1712.
- Tsakiris, G.; Pangalou, D.; Vangelis, H. (2007): Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management*, 21(5): 821-833.
- Zarch, M. A. A.; Malekinezhad, H.; Mobin, M. H.; Dastorani, M. T.; Kousari, M. R. (2011): Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25(13): 3485-3504.

Summary

CORRELATION BETWEEN DIFFERENT CLIMATE VARIABLES AND INDICES AND GROWTH OF TURKEY OAK (QUERCUS CERRIS L.)

by

Dejan Stojanović, Tom Levanič, Bratislav Matović

Achieving the earlier set goals in forestry will not be easy in the light of global and climate change. The expected impact of climate change on forests in Serbia is already recorded in the studies of beech and oak.

*Sampled were 10 dead trees of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) in 2013 (Management Unit Branjevina, Forest Division Sombor, Public Enterprise Vojvodinašume). The age of trees was 120 years. Samples were processed with standard dendrochronological methods and statistically evaluated with bootRes package in R. Climate data was taken from CARPATCLIM database.*

This research was focused on the study of the impact of 15 climate variables (SPEI3-3-monthly Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), aridity index, PDSI-Palmer Drought Severity Index, humidity, RDI3-3-monthly Reconnaissance Drought Index, cloudiness, maximum temperature, minimum temperature, average temperature, relative humidity, global radiation, air pressure, precipitation, the percentage of wet days (<20 mm) and potential evapotranspiration) over the Turkey oak from stand Branjevina (Public Enterprise „Vojvodinašume“, Management Unit „Sombor“) using dendrochronological methods.

Analyses using a simple Pearson's correlation showed the higher correlation between oak growth and SPEI, RDI and PDSI in the main growing season months (April to August) in comparison to other variables.

To date, indices SPEI and RDI were not used to a greater extent in dendrochronological studies. Given their characteristics that they are used for monitoring of drought, and that among the 15 climate variables provide significant correlations for the months during growing season, they should be seriously considered in the future understanding of the impact of drought on forests.