

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA PRONOS NANOSA – STUDIJA SLUČAJA: REKA KOLUBARA (SRBIJA)

Jovan Mihajlović¹, Dragan Burić², Vladan Ducić³, Miroslav Doderović⁴

APSTRAKT: Osnovna ideja ovog istraživanja je da se, na osnovu podataka o pronosu nanosa u slivu Kolubare (profil Beli Brod) i podataka o širini godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice (1985–2004), koristeći dendrohronološki metod, utvrdi veza između ove dve varijable i povežu geomorfološki i klimatološki proces (pod pretpostavkom da su padavine ključne). To dalje otvara mogućnost rekonstrukcije geomorfološkog procesa mehaničke vodne erozije, tj. pronosa nanosa, ukoliko bi se pronašli stariji uzorci godova. Rad se odnosi na aspekt savremenih klimatskih promena, a posmatraju se padavine kao jedan od glavnih klimatskih faktora koji utiče na rast drvne mase, tj. širinu godova, kao i na proticaj reka, tj. pronos nanosa. Podaci se odnose na ukupan pronos nanosa u slivu Kolubare (profil Beli Brod) i širinu godova na drveću (jelka na planini Bokšanici). Najveći pronos nanosa je zabeležen 1999. godine (304 516,9 t), kada je zabeležena i najveća širina godova jele sa planine Bokšanice – 4,4 mm i utvrđena je statistički značajna veza na $p = 0.05\%$ verovatnoće rizika prihvatanja hipoteze, a zaključak je da uz rizik od 5% u osnovnom skupu postoji linearna veza. Ako se posmatraju pokretne pentadne vrednosti, može se reći da postoji statistički značajna veza između oba niza, kao i niza podataka za koji je skinut biološki trend ARMA metodom ($p = 0.01\%$). Postoji podudarnost maksimalnih vrednosti oba niza pokretnih pentada u tački 1995 i visok stepen autokorelacije. Dakle, dokazana je polazna hipoteza, jer postoji prostorno – vremenska promenljivost ovih varijabli, a koje su rezultat delovanja savremenih klimatskih promena.

Cljučne reči: pronos nanosa, dendroklimatologija, ARMA, Kolubara.

1. UVOD

Globalne klimatske promene su jedan od najvećih izazova i pretnji za današnje čovečanstvo (IPCC, 2021). Wolf (2012) ističe da su klimatske promene najveći izazov za kolektivno delanje u ljudskoj istoriji, jer su po svojoj prirodi globalne, krajnje dugoročne, tehnološki zahtevne i krcate distributivnim poteškoćama među državama, narodima i generacijama. Uticaj klimatskih promena je kolektivno nepredvidiv, što znači da je razvoj i ishod promena globalan, dugoročan i veoma neizvestan (Gough et al., 2008). Na primer, predviđa se da će porast nivoa mora postati veoma kritičan tokom narednih 50 godina, ali danas jedva da ima uticaja. Jedan od izvora nesigurnosti i neuspeha u tačnom predviđanju leži u nelineranom karakteru procesa klimatskih promena, što podrazumeva da kada se jednom stigne do tačke preokreta, veće klimatske promene postaju ireverzibilne i prezistentne. Ovaj proces se pojačava mehanizmima samoprisile kao što su veće količine gasova staklene bašte (GHG – greenhouse gases) bile oslobođene topljenjem ruskog i grenlandskog permafrosta u oblasti tundre. Drugo, ne samo troškovi, već i koristi od uticaja globalnog zagrevanja na regionalnom nivou, kao što je eksploatacija prirodnih resursa ispod Arktika koji se topi (Duhaime & Caron 2006).

Promene u cirkulaciji atmosfere i izmenjene klimatske šeme u vezi sa globalnim zagrevanjem, povezane su sa povećanim prenosom vlage u više geografske širine na severu Evroazijskog kontinenta, a samim tim utiču i na povećanje proticaja evroazijskih reka koje se ulivaju u basen Severnog ledenog okeana (Peterson et al., 2002; McClelland et al., 2004; MacDonald et al., 2007).

¹ Univerzitet Crne Gore - Filozofski Fakultet, Studijski program za geografiju, Nikšić, Crna Gora, millennium@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0322-2955

² Univerzitet Crne Gore - Filozofski Fakultet, Studijski program za geografiju, Nikšić, Crna Gora, draganburic33@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0905-1915

³ Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, Srbija, vladanducic@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-2673-7185

⁴ Univerzitet Crne Gore - Filozofski Fakultet, Studijski program za geografiju, Nikšić, Crna Gora, miroslav.doderovic@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7748-5560

Postoji dokaz o opštem povećanju padavina na Arktiku tokom XX veka (Katsov & Walsh, 2000). U prethodnih 120 godina globalna temperatura značajno raste, a najintenzivnije u regionu Arktika (Burić & Penjišević, 2023). Kod padavina postoje regionalne razlike, ali nizovi godišnjih količina padavina u Evropi ne pokazuju statistički značaj trend. Prema projekcijama, očekuje se povećanje padavina na severu Erobe, a smanjenje na jugu, generalno (IPCC, 2021).

Toplija atmosfera je u stanju da zadrži više vodene pare i ima veći energetski potencijal, što implicira da će doći do povećanja ekstremnih padavinskih događaja (Becker & Grünwald, 2003; Christensen & Christensen, 2004). Rast padavinskih ekstrema može biti veći od promena kod srednjih padavina (Kharin & Zwiers, 2005), ali to takođe ne isključuje mogućnost da slabe padavine u međuvremenu duže traju (Meehl et al., 2007). Mnoge studije za prostor Evrope potvrđuju porast trendova ekstremnih padavina (npr.: Semmler & Jacob, 2004; Frei et al., 2006, Beniston et al., 2007). Zapadni Balkan nije pošteđen od klimatskih promena, jer se registruje značajan porast temperature i češći ekstremni vremenski događaji, kao što su ekstremne temperature, toplotni talasi, suše, ekstremne padavine (Ducić et al., 2012; Burić, 2014; Stanojević et al., 2014; Tosic & Unkasevic, 2014; Kutiel et al., 2015; Burić et al., 2015; Bajat et al. 2015; Malinovic-Milicevic et al., 2016; Trbić et al., 2017; Stage et al., 2017; Popov et al., 2018; Mihajlović et al., 2021).

Istražujući dendroindikaciju suše u regionu Rogatice, u istočnoj Bosni, Ducić et al. (2015) su pronašli statistički značajnu vezu između SPI3 (tromesečnih vrednosti standardizovanog indeksa padavina) u Sarajevu i širine godova serije reziduala za mesece jul, avgust i septembar. Autori navode da to s jedne strane opravdava proces standardizacije, dok su s druge strane, padavine jako bitne za radikalni rast jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice. Naslanjajući se na rezultate prethodnih autora, osnovna ideja ovog istraživanja je da se, na osnovu podataka o pronosu nanosa u slivu Kolubare (profil Beli Brod) i podataka o širini godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice (1985 – 2004. godina), koristeći dendrohronološki metod, utvrdi veza između dva procesa – geomorfološkog i klimatološkog (pod pretpostavkom da su padavine ključne). To dalje otvara mogućnost rekonstrukcije geomorfološkog procesa mehaničke vodne erozije, tj. pronosa nanosa, ukoliko bi se pronašli stariji uzorci godova. Rad se odnosi na aspekt savremenih klimatskih promena, a posmatraju se padavine kao jedan od glavnih klimatskih faktora koji utiče na rast drvne mase, tj. širinu godova, kao i na proticaj reka, tj. pronos nanosa. Drugim rečima, cilj ovog rada je utvrđivanje korelativne veze između širine godova i pronosa nanosa, putem Prinsonovog koeficijenta proste linearne korelacije i koristeći ARMA metod. **Glavna hipoteza** od koje se polazi u ovom istraživanju je postojanje spatijalno – temporalne promenljivosti ovih varijabli, a koje su rezultat delovanja savremenih klimatskih promena.

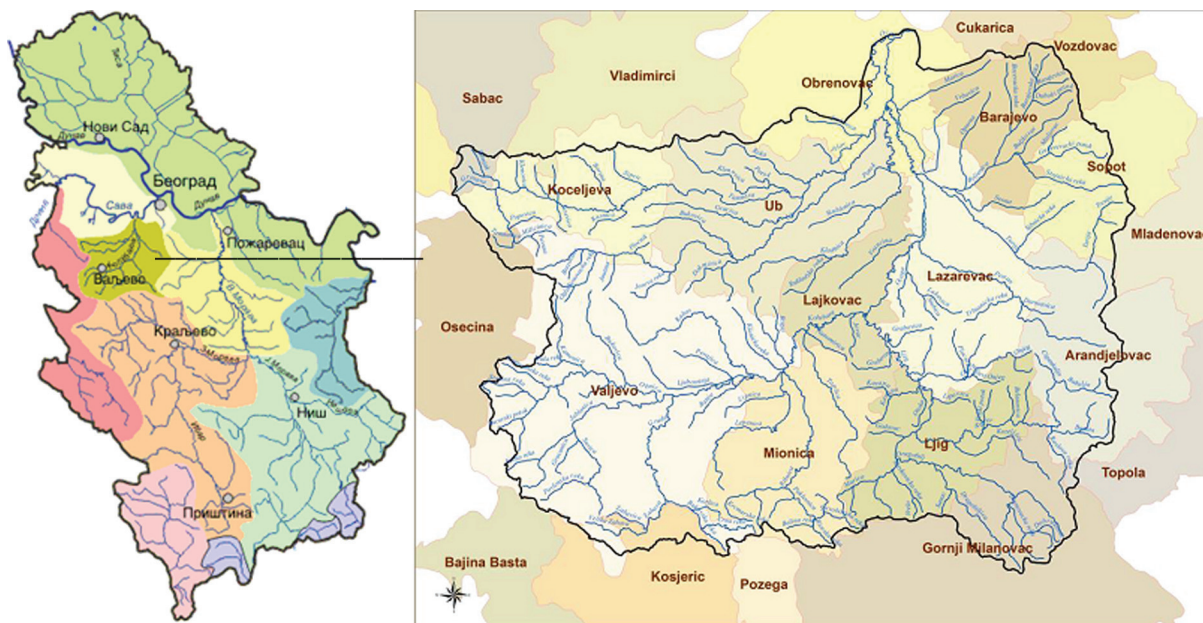
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Slivno područje reke Kolubare (slika 1) zahvata zapadni deo Srbije, odnosno 4,12% teritorije države. Ima oblik nepravilnog četvorougla, a rastojanje između najzapadnije (19°30'E) i najistočnije tačke (20°35'E), tj. u pravcu zapad–istok, iznosi 81,2 km. Rastojanje između najsevernije (44°40'N) i najjužnije tačke (44°05'N), odnosno u pravcu sever–jug, iznosi 64 km. Najviša tačka u slivu je na 1346 m, a najniža ima nadmorsku visinu od 73 m. Visinska razlika između ove dve tačke iznosi 1273 m (Dragičević et al., 2015). Kolubara je poslednja veća desna pritoka Save u koju se uliva na 28. kilometru od ušća Save u Dunav. Nastaje od Obnice i Jablanice koje se spajaju na oko 195 m nadmorske visine. Prema dužini toka (86,4 km) i površini sliva (3 638,47 km²), Kolubara se svrstava u reke srednje veličine na teritoriji Srbije.

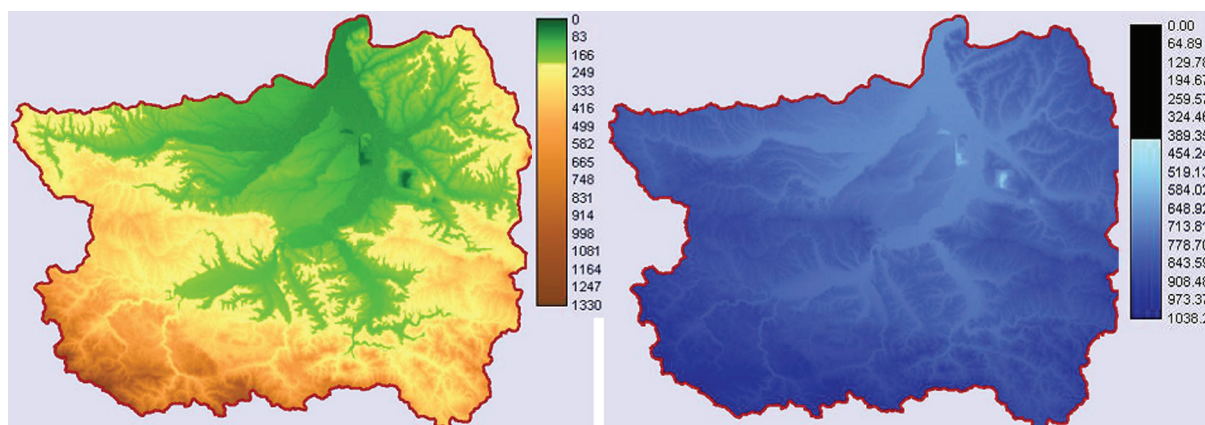
Reljef sliva Kolubare (slika 2, levo) odlikuje se poligenetskim i polifaznim karakterom. Nastao je pod uticajem višefaznih tektonskih pokreta, višestrukih transgresija i regresija tokom neogena, kao i smenjivanjem erozivnih i akumulativnih procesa. Srednja nadmorska visina reljefa u slivu Kolubare iznosi 276.4 m. Sliv se sastoji iz dva jasno izdvojena basena: Gornjekolubarskog na jugu i Donjekolubarskog na severu koji su razdvojeni Pridvoričkim suženjem (Dragičević, 2007; Dragičević et al., 2015). Oko 68% površine sliva Kolubare je nadmorske visine do 300 m.

Basen Kolubare ima umereno kontinentalnu klimu, ali postoje lokalne razlike uslovljene reljefnim karakteristikama. Što se padavina tiče, zastupljen je kontinentalni pluviometrijski režim, koji se odlikuje jednim maksimumom početkom leta i jednim minimumom u zimskim mesecima. Prosečna količina padavina za ceo sliv Kolubare, prema podacima meteoroloških stanica za period 1925–2000. godine, iznosi 814.7 mm (<http://www.sepa.gov.rs>). Obodni planinski deo sliva, posebno jugozapad, dobija najviše padavina u toku godine – i do 1000 mm (slika 2, desno). Istraživanja pokazuju da se basen Kolubare značajno zagreva, dok se kod padavina ne uočavaju velike promene. Primera radi, prema podacima meteorološke stanice Valjevo za period 1959–2008, trend srednje godišnje temperature vazduha je 0,23°C/dekadi, dok su se godišnje sume padavina beznačajno smanjile po liniji trenda,

–2,77 mm/dekadi. Rast temperature i smanjenje padavina je u posmatranom 50-godišnjem periodu uzrokovao je smanjenje srednjegodišnjeg proticaja Kolubare pored Belog Broda (–0,76 m³/s). Za period 1991–2008, trend porasta srednjegodišnje temperature je skoro tri puta veći nego u celom periodu (0,64°C/dekadi). Međutim, u ovom periodu (1991–2008) srednjegodišnji proticaj raste po liniji trenda (4,0 m³/s/dekadi), a to je posledica rasta godišnjih suma padavina (18,5 mm/dekadi). Dakle, ove činjenice potvrđuju da je proticaj prvashodno pod uticajem padavina (Burić et al., 2012).



Slika 1. Sliv reke Kolubare i Srbije (levo) i položaj opština u njenom slivu (desno) (<https://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske/index.php>; <http://www.sepa.gov.rs>)

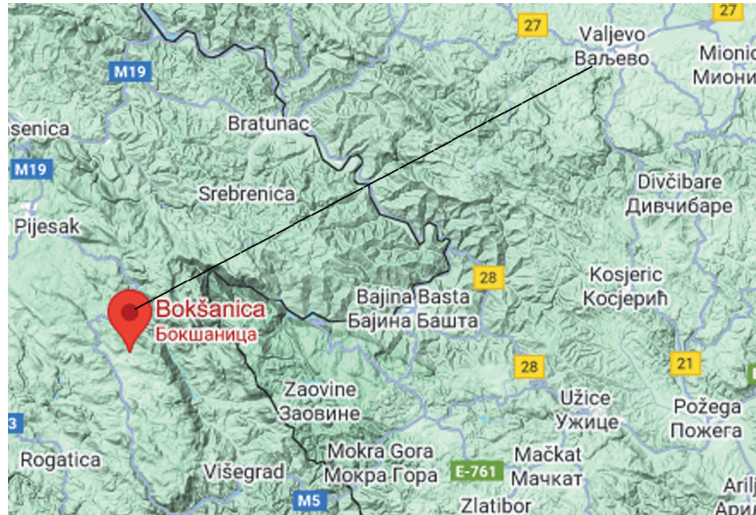


Slika 2. Hipsometrija sliva (levo) i godišnje izohijete padavina (desno) za period 1925–2000. godina (<http://www.sepa.gov.rs>)

3. PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Najbolju konekciju između širine godova i pronosa nanosa u slivu Kolubare pokazuje uzorak evropske jele (*Abies alba*), star oko 60 godina. Uzorak potiče sa planine Bokšanice (istočna Bosna). Nadmorska visina lokacije sa koje je uzet uzorak je oko 1200 m, geološki supstrat je krečnjak, a teren je blago vijugava površina. Zemljište je tipa kalkokambisola, a drvo je raslo u mešovitoj zajednici četinaru smrče, bora i jele.

Proračuni su urađeni za dvadesetogodišnji period od 1985 – 2004. godine. Posmatran je ukupan pronos nanosa (t) na profilu Beli Brod, sliv Kolubare. Približna udaljenost hidrološke stanice (HS) Beli Brod na reci Kolubari i planine Bokšanice (43°55'35"N, 19°06'48"E) je 139 km (slika 3).



Slika 3. Udaljenost lokacije sa kojih su uzeti uzorci

Za potrebe istraživanja, primenjena je sledeća metodologija:

1. srednja vrednost (\bar{X});

2. standardna devijacija (SD): $SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{N}}$.

Računate su i vrednosti gornje ($SD +$) i donje ($SD -$) standardne devijacije.

3. Pirsonov koeficijent proste linearne korelacije (r): $R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$,

gde je n veličina uzorka, a x, y promenljive. Statistička značajnost korelacije određena je pomoću dvosmernog Studentovog t - testa.

4. Metod linearnog trenda računat je jednačinom najmanjih kvadrata, a njego značajnost određena je prema jednačini:

$$y = R \sqrt{\frac{n-2}{1-R^2}}, \text{ gde je } R \text{ Pirsonov koeficijent korelacije, } R^2 \text{ koeficijent determinacije, a}$$

n dužina serija.

5. Metod autokorelacije koji ukazuje na određeno ponavljanje dela vremenske serije sa izvesnim vremenskim pomerajem („time lag“), tj. može se govoriti o cikličnosti, odnosno ponovljivosti vremenske serije posle određenog vremena. Računa se prema sledećem obrascu:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (Y_i - \bar{Y})(Y_{i+k} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}, \text{ gde su } Y_1, Y_2 \text{ promenljive, } x_1, x_2, \dots, x_n \text{ - vremenski razmak („time}$$

lag“), k - „lag“ funkcije autokorelacije.

6. U ovom radu je primenjen i ARMA (autoregressive – moving – average) metod u softveru PAST. Kako bi se standardizovala originalna serija podataka, u cilju istraživanja primenjen je matematički ARMA metod. Klasičan problem u dendroklimatologiji predstavlja skidanje biološkog trenda porasta prečnika drveća. Zato se i javila potreba da se biološki trend skine matematičkom metodom. Pored dendrohronologije, ARMA modeli se koriste i u hidrologiji, ekonomiji i drugim disciplinama. U ovom istraživanju, ARMA model je upotrebljen kako bi generisao rezidualnu hronologiju – vremensku seriju širine godova na drveću. Metod *pre-whitening* treba da otkloni biološko trajanje u vremenskoj seriji, pa reziduali postaju podesniji za istraživanje uticaja faktora sredine i klime na rast drveta. Za obradu podataka korišćen je softverski paket PAST (PAleontological Statistics) v 3.08 (<http://folk.uio.no/hammer/past/>).

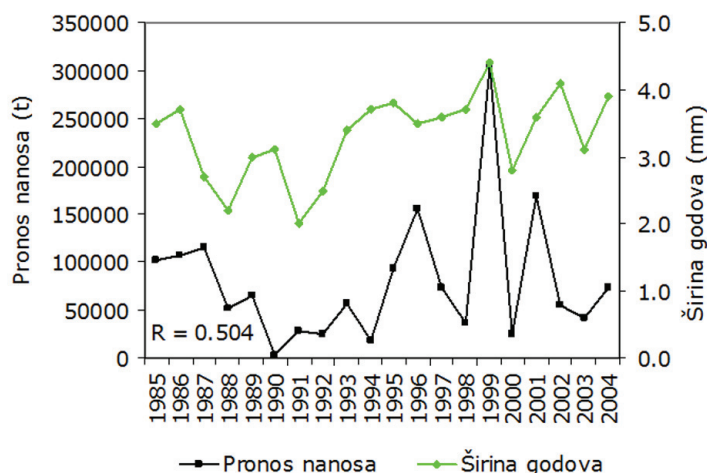
4. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1. dati su podaci za 20-godišnji period (1985–2004) ukupnog godišnjeg pronosa nanosa u slivu Kolubare (profil Beli Brod) i širine godova na drveću (jelka na planini Bokšanici). I pored toga što je relativno veliko rastojanje između posmatranih lokacija (139 km), očigledno je da su promene količine padavina sinhrona u slivu Kolubare i na planini Bokšanici (istočna Bosna).

Tabela 1. Pronos nanosa u slivu Kolubare (t) (HS Beli Brod) i širina godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice (istočna Bosna) za period 1985–2004.

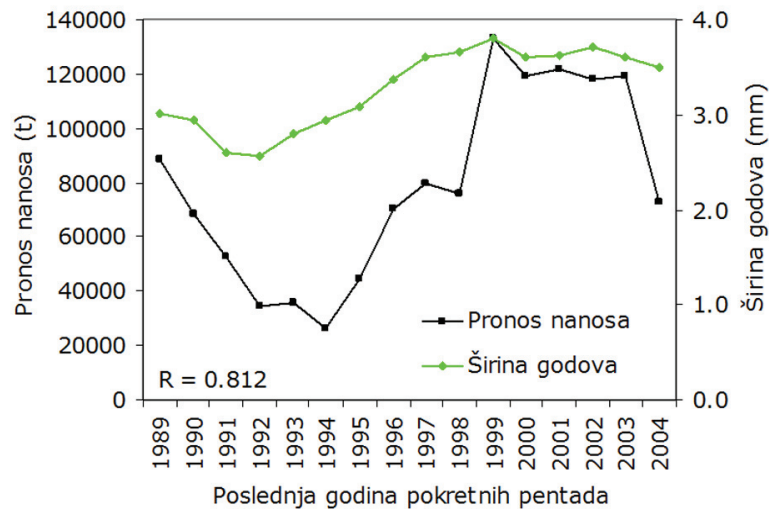
God.	Pronos nanosa (t)	Širina godova (mm)
1985	101532.3	3.5
1986	106619.5	3.7
1987	115448.8	2.7
1988	52230.6	2.2
1989	65792	3.0
1990	3275.7	3.1
1991	28127	2.0
1992	24490.6	2.5
1993	56952.4	3.4
1994	18512.2	3.7
1995	94026.2	3.8
1996	156109.6	3.5
1997	74058.4	3.6
1998	36425.1	3.7
1999	304516.9	4.4
2000	25577.2	2.8
2001	168945.5	3.6
2002	55419.9	4.1
2003	41227.5	3.1
2004	72998.8	3.9

Pirsonov koeficijent korelacije (R) za originalnu seriju podataka, između pronosa nanosa u slivu Kolubare (t) i širine godova jele (*Abies alba*) sa pl. Bokšanice, za posmatrani period (1985 – 2004.) iznosi 0,504 i može se reći da postoji statistički značajna veza na $p = 0.05\%$ verovatnoće rizika prihvatanja hipoteze, a zaključak je da uz rizik od 5% u osnovnom skupu postoji linearna veza. Najveći pronos nanosa je zabeležen 1999. godine (304 516,9 t), kada je zabeležena i najveća širina godova jele sa planine Bokšanice – 4,4 mm (slika 4).



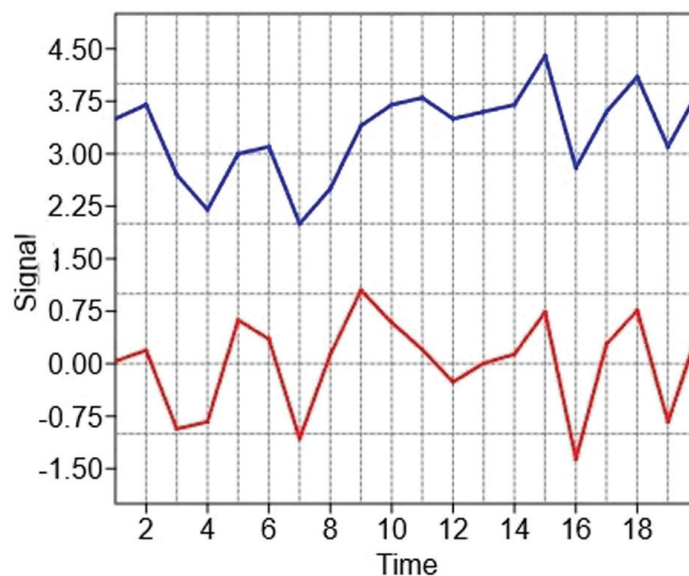
Slika 4. Pronos nanosa (t) kod Beleg Broda (Kolubara) i širina godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice za period 1985–2004.

Ako se posmatraju pokretne pentadne vrednosti (slika 5), uočava se da je najaktivnija pentada, što se pronosa nanosa tiče, bila 1995 – 1999. sa prosečno 133 027,2 t/god. Ako posmatramo pokretne pentadne vrednosti širine godova, uočava se podudaranje sa maksimumom pokretnih pentadnih vrednosti pronosa nanosa, sa prosečno 3,80 mm/god. Koefficient korelacije oba posmatrana niza pokretnih pentadnih vrednosti iznosi 0,812, pa se može reći da postoji statistički značajna veza na $p = 0.01\%$ verovatnoće rizika prihvatanja hipoteze, tj. zaključuje se da uz rizik od 1% u osnovnom skupu postoji linerana veza.



Slika 5. Pokretne pentadne vrednosti pronosa nanosa kod HS Beli Brod i širine godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice za period 1985–2004.

Primenom ARMA metode u softveru PAST 4.13, biološki trend rasta drveta je uklonjen, što je rezultiralo dve serije podataka: plava kriva na slici 6 predstavlja originalnu seriju podataka, dok su ostaci prikazani crvenom krivom. Korišćen je model ARMA (2,0).



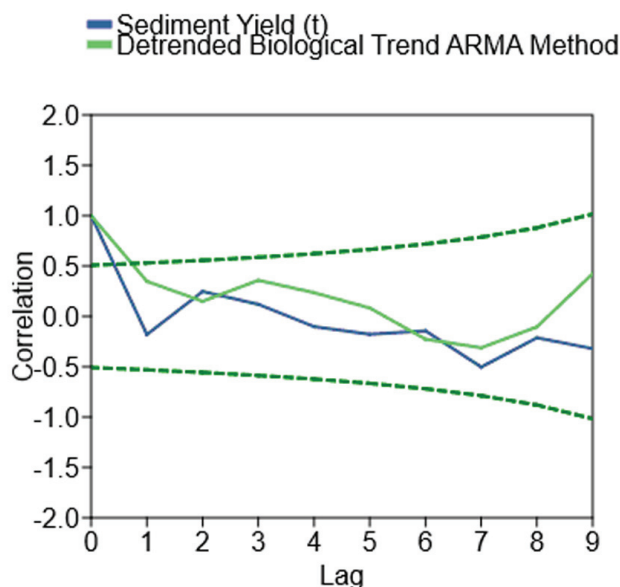
Slika 6. Biološki trend širine godova jele (*Abies alba*) u ARMA metodu

Koefficienti korelacije originalne serije podataka za pronos nanosa (t) i skinut biološki trend ARMA metodom, za posmatrani period iznosi 0,499, a za pokretne pentadne vrednosti 0.810 (tabela 2). U oba slučaja postoji statistički značajna veza na $p = 0.01\%$ verovatnoće rizika prihvatanja hipoteze.

Tabela 2. Pronos nanosa reke Kolubare kod HS Beli Brod i skinut biološki trend ARMA metodom širine godova jele (*Abies alba*) sa planine Bokšanice za period 1985–2004.

God.	Pronos nanosa (t)	Skinut biološki trend ARMA metodom	Pokretne pentade	Pronos nanosa - pokretne pentade (t)	Skinut biološki trend ARMA metodom -pokretne pentade
1985	101532.3	-0.11301	1985-1989	88324.6	-0.5825
1986	106619.5	0.092247	1986-1990	68673.3	-0.65724
1987	115448.8	-0.9025	1987-1991	52974.8	-0.99198
1988	52230.6	-1.39724	1988-1992	34783.2	-1.02673
1989	65792	-0.59198	1989-1993	35727.5	-0.78147
1990	3275.7	-0.48673	1990-1994	26271.6	-0.63621
1991	28127	-1.58147	1991-1995	44421.7	-0.49095
1992	24490.6	-1.07621	1992-1996	70018.2	-0.1857
1993	56952.4	-0.17095	1993-1997	79931.8	0.03956
1994	18512.2	0.134303	1994-1998	75826.3	0.104817
1995	94026.2	0.23956	1995-1999	133027.2	0.250074
1996	156109.6	-0.05518	1996-2000	119337.4	0.055331
1997	74058.4	0.050074	1997-2001	121904.6	0.080588
1998	36425.1	0.155331	1998-2002	118176.9	0.185845
1999	304516.9	0.860588	1999-2003	119137.4	0.071102
2000	25577.2	-0.73415	2000-2004	72833.8	-0.02364
2001	168945.5	0.071102			
2002	55419.9	0.576359			
2003	41227.5	-0.41838			
2004	72998.8	0.386873			
Korelacija	R = 0.499		R = 0.810		

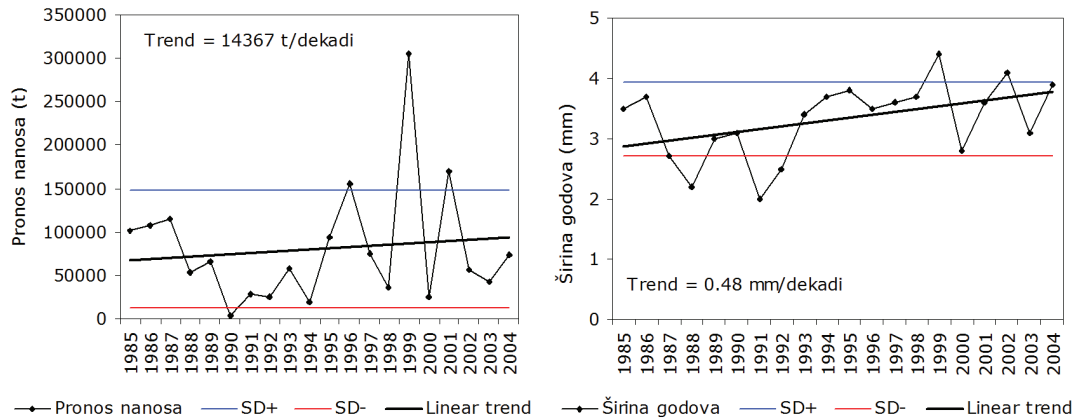
Postoji podudarnost maksimalnih vrednosti oba niza pokretnih pentada u tački 1995 (poslednja godina pokretnih pentada 1999), kao što je prikazano na slici 5, te visok stepen autokorelacije (slika 7).



Slika 7. Autokorelacija oba niza podataka sa vremenskim „lag“- om

Dalje se zaključuje da je zaključno sa 2001. godinom zabeleženo tri godine sa vrednošću pronosa nanosa iznad gornje standardne devijacije (SD+): 1996, 1999 i 2001. godina. Ako se posmatra donja standardna devijacija (SD-), zabeležena je samo jedna godina (1990) sa vrednošću ispod nje (slika 8, levo). Kada je u pitanju širina godova, iznad SD+ bilo je 1999 i 2002. godine, dok

je 2004. godina bila na granici. Vrednosti širine godova ispod SD- registrovane su 1988, 1991 i 1992. godine (slika 8, desno). Dakle, kod oba niza primarni maksimum se javlja 1999. godine, a primarni minimum 1990/1991. godina. U posmatranom periodu (1985–2004) uočava se statistički značajan porast ukupnog pronosa nanosa po liniji trenda (14 367 t/ dekad). Trend je statistički značajan na $p = 0.25\%$ verovatnoće prihvatanja hipoteze. Takođe, dobijen je i značajan trend porasta širine godova na jeli sa planine Bokšanice (0.48 mm/dekad ili ≈ 1 mm/ 20 godina). I u ovom slučaju trend je statistički značajan na $p = 0.25\%$ verovatnoće prihvatanja hipoteze.



Slika 8. Pronos nanosa Kolubare (levo) i širina godova jele sa planine Bokšanice (desno), te odgovarajuće vrednosti donje (SD-) i gornje (SD+) standardne devijacije za period 1985–2004.

5. ZAKLJUČAK

Studija je analizirala 20-godišnji period (1985–2004) ukupnog pronosa nanosa reke Kolubare na profilu HS Beli Brod i širinu godova na drveću (jelka na planini Bokšanici). Rezultati su pokazali da je najveći pronos nanosa zabeležen 1999. godine (304 516,9 t), kada je registrovana i najveća širina godova jele sa planine Bokšanice (4,4 mm). Između dve pomenute varijable, dobijena je statistički značajna veza na $p = 0.05\%$ verovatnoće rizika prihvatanja hipoteze, što znači da uz rizik od 5% u osnovnom skupu postoji linearna veza. Ako se posmatraju pokretne pentadne vrednosti, dobijena je statistički još značajnija veza između dva posmatrana niza, kao i niza podataka za koji je skinut biološki trend ARMA metodom ($p = 0.01\%$). Postoji podudarnost maksimalnih vrednosti oba niza pokretnih pentada u početnoj tački 1995 i visok stepen autokorelacije. Nadalje, kod oba niza uočava se poklapanje primarnog maksimuma iznad gornje standardne devijacije, a to je 1999. godina. Trend i pronosa nanosa i širine godova je statistički značajan.

Zaključuje se da je studija pokazala vezu između geomorfološkog procesa mehaničke vodne erozije, tj. pronosa nanosa i širine godova na drveću, koristeći dendrohronološki metod. Bilo bi poželjno pronaći starije uzorke drveća, čije bi merenje širine godova dalo mogućnost rekonstrukcije pronosa nanosa u prošlosti u slivu Kolubare, koristeći metod linearne regresije. U svakom slučaju, na osnovu sprovedenog istraživanja u ovom radu, a pod uslovom da su padavine ključan klimatski faktor, može se zaključiti da su one sinhronne u oba niza podataka, odnosno u slivu Kolubare i na planini Bokšanici (istočna Bosna). Ducić et al. (2015) pronalaze statistički značajnu vezu za dendroindikaciju suše u istočnoj Bosni, a pod pretpostavkom da su padavine ključne. Može se reći da je polazna hipoteza ovog rada dokazana, jer postoji prostorno – vremenska promenljivost posmatranih varijabli, koje su rezultat delovanja savremenih klimatskih promena.

LITERATURA

- Bajat, B., Blagojević, D., Kilibarda, M., Luković, J. & Tošić, I. (2015). Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961–2010. *Theor Appl Climatol.*, 121, 289–301. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1243-7>
- Becker, A. & Grünewald, U. (2003). Flood Risk in Central Europe. *Science*, 300(5622), 1099. <https://doi.org/10.1126/science.1083624>

- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T. & Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81, 71–95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>
- Burić, D., Stanojević, G., Luković, J., Gavrilović, Lj., & Živković, N. (2012). Climate change and river discharge: Case study Kolubara River, Beli brod hydrological gauge. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 92(1), 123–134. <https://doi.org/10.2298/GSGD1201123B>
- Burić, D. & Penjišević, I. (2023). Southern Hemisphere temperature trend in association with greenhouse gases, El Niño Southern Oscillation, and Antarctic Oscillation. *IDOJARAS*, 127(1), 23–42. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2023.1.2>
- Burić, D. (2014). *Dinamika i mogući uzroci temperaturnih i padavinskih ekstrema na teritoriji Crne Gore u periodu 1951–2010*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Beograd (eng. Dynamics and possible causes of temperature and precipitation extremes on the territory of Montenegro in the period 1951–2010. Doctoral dissertation, University of Belgrade – Faculty of Geography, Belgrade).
- Burić, D., Luković, J., Bajat, B., Kilibarda, M. & Živković, N. (2015). Recent trends in daily rainfall extremes over Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(9), 2069–2077. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2069-2015>
- Christensen, O.B. & Christensen, J.H. (2004). Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global Planet. Change*, 44, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.013>
- Dragičević, S. (2007). *Dominantni erozioni procesi u slivu Kolubare*, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd.
- Dragičević, S., Živković, N., Roksandić, M., Luković, J. & Kostadinov, S. (2015). *Recentno stanje, intenzitet i posledice degradacije obala Kolubare na teritoriji opštine Obrenovac*. Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd.
- Ducić, V., Ivanović, R., Mihajlović, J., Gnjato, R., Trbić, G. & Čurčić, N.B. (2015). Dendroindication of drought in Rogatica region (Eastern Bosnia). *Archives of Biological Sciences*, 67(1), 201–211. <https://doi.org/10.2298/ABS141114025D>
- Ducić, V., Luković, J., Burić, D., Stanojević, G. & Mustafić, S. (2012). Precipitation extremes in the wettest Mediterranean region (Krivošije) and associated atmospheric circulation types. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12(3), 687–697. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-687-2012>
- Duhaime, G. & Caron, A. (2006). The economy of the circumpolar Arctic, in S. Glomsrod, J. Aslaksen and L. Lindholt (eds), *The Economy of the North*, Oslo: Statistics Norway, chap. 2, 16–25. <https://www.nunivaat.org/doc/publication/Economy-of-Circumpolar-Arctic.pdf>
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., & Vidale, P.L. (2006). Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res.*, 111, D06105. <https://doi.org/10.1029/2005JD005965>
- Gough, I., Meadowcroft, J., Dryzek, J.S., Gerhards, J., Lengfeld, H., Markandya, A. & Ortiz, R. (2008) Climate change and social policy. *Journal of European Social Policy*, 18(4): 325–344. <https://doi.org/10.1177/0958928708094890>
- IPCC. (2021). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Kattsov, V. M. & Walsh, J.E. (2000). Twentieth-century trends of Arctic precipitation from observational data and a climate model simulation. *J. Clim.*, 13, 1362– 1370. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<1362:TC TOAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<1362:TC TOAP>2.0.CO;2)
- Kharin, V.V. & Zwiers, F.W. (2005). Estimating extremes in transient climate change simulations. *J. Clim.*, 18, 1156–1173. <https://doi.org/10.1175/JCLI3320.1>
- Kutiel, H., Lukovic, J. & Buric, D. (2015). Spatial and temporal variability of rain-spells' characteristics in Serbia and Montenegro. *International Journal of Climatology* 35(7), 1611–1624. <https://doi.org/10.1002/joc.4080>
- MacDonald, G.M., Kremenetski, K.V., Smith, L.C. & Hidalgo, H.G. (2007). Recent Eurasian river discharge to the Arctic Ocean in the context of longer-term dendrohydrological records. *J. Geophys. Res.*, 112, G04S50. <https://doi.org/10.1029/2006JG000333>
- Malinovic-Milicevic, S., Radovanovic, M.M., Stanojevic, G. & Milovanovic, B. (2016). Recent changes in Serbian climate extreme indices from 1961 to 2010. *Theor Appl Climatol*, 124, 1089–1098. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1491-1>
- McClelland, J.W., Holmes, R.M., Peterson, B.J. & Stieglitz, M. (2004). Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: Consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change. *J. Geophys. Res.*, 109, D18102. <https://doi.org/10.1029/2004JD004583>
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. & Zhao, Z.C. (2007). *Global Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter10-1.pdf>

- Mihajlović, J., Burić, D., Ducić, V. & Milenković, M. (2021). Synoptic characteristics of an extreme weather event: The tornadic waterspout in Tivat (Montenegro), on June 9, 2018. *Geographia Polonica*, 94(1), 69–90. <https://doi.org/10.7163/GPol.0194>
- Peterson, B.J., Holmes, R.M. McClelland, J.W., Vörösmarty, C.J., Lammers, R.B., Shiklomanov, A.I., Shiklomanov, I.A. & Rahmstorf, S. (2002). Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science*, 298, 2171– 2173. <https://doi.org/10.1126/science.1077445>
- Semmler, T. & Jacob, D. (2004). Modeling extreme precipitation events—a climate change simulation for Europe. *Global and Planetary Change* 44(1), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.008>
- Stagge, J.H., Kingston, D.G., Tallaksen, L.M. & Hannah, D.M. (2017). Observed drought indices show increasing divergence across Europe. *Scientific Reports*, 7, 14045 (pp 10). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14283-2>
- Stanojević, G., Stojilković, J., Spalević, A. & Kokotović, V. (2014). The impact of heat waves on daily mortality in Belgrade (Serbia) during summer. *Environmental Hazards*, 13(4), 329–342. <https://doi.org/10.1080/17477891.2014.932268>
- Tosic, I. & Unkasevic, M. (2014). Analysis of wet and dry periods in Serbia. *International Journal of Climatology*, 34(5), 1357–1368. <https://doi.org/10.1002/joc.3757>
- Trbić, G., Popov, T., Gnjato, S. (2017). Analysis of air temperature trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica*, 21(2), 68–84. DOI:10.18421/GP21.02-01
- Wolf, M. (2012). Living with limits: growth, resources, and climate change. *Climate Policy*, 12(6): 772–783. <https://doi.org/10.1080/14693062.2012.695464>

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SEDIMENT TRANSPOR - CASE STUDY KOLUBARA RIVER (SERBIA)

Jovan Mihajlović⁵, Dragan Burić⁶, Vladan Ducić⁷, Miroslav Doderović⁸

Abstract: The fundamental idea of this research is to establish a connection between sediment transport data in the Kolubara River basin (Beli Brod profile) and the width of tree rings of silver fir (*Abies alba*) from Mount Bokšanica (1985–2004), utilizing dendrochronological methods. The goal is to link these two variables and associate geomorphological and climatological processes, assuming that precipitation plays a key role. This, in turn, opens up the possibility of reconstructing the geomorphological process of mechanical water erosion, i.e., sediment transport, provided that older tree ring samples are found. The study focuses on the aspects of contemporary climate change, considering precipitation as one of the primary climatic factors influencing the growth of wood mass, i.e., the width of tree rings, and river flow, i.e., sediment transport. Calculations were conducted for a twenty-year period from 1985 to 2004. The data pertains to the total sediment transport in the Kolubara River basin (Beli Brod profile) and the width of tree rings in fir trees (silver fir on Mount Bokšanica). The highest sediment transport was recorded in 1999 (304,516.9 tons), coinciding with the widest silver fir tree rings on Mount Bokšanica – 4.4 mm. A statistically significant correlation at a 0.05% probability of risk acceptance was established, concluding that there is a linear relationship in the primary dataset with a 5% risk. When considering moving pentad values, there is a statistically significant correlation between both datasets and the dataset from which the biological trend was removed using the ARMA method ($p = 0.01\%$). There is a concurrence of maximum values in both sets of moving pentads at the point of 1995, along with a high degree of autocorrelation. The initial hypothesis of this study is proven as there is spatial-temporal variability in these variables, which is a result of the impact of contemporary climate change.

Keywords: climate change, sediment transport, dendrochronology, ARMA method, Kolubara

⁵ University of Montenegro - Faculty of Philosophy, Geography Study Program, Nikšić, Montenegro, millenniumum@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0322-2955

⁶ University of Montenegro - Faculty of Philosophy, Geography Study Program, Nikšić, Montenegro, draganburic33@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0905-1915

⁷ University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, vladanducic@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-2673-7185

⁸ University of Montenegro - Faculty of Philosophy, Geography Study Program, Nikšić, Montenegro, miroslav.doderovic@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7748-5560