

## ТРЕНДОВИ У ПОКАЗАТЕЉИМА РЕЖИМА ПАДАВИНА У БЕОГРАДУ

Андријана Тодоровић<sup>1</sup>

Јасна Плавшић<sup>2</sup>

Јован Деспотовић<sup>3</sup>

Драгутин Павловић<sup>4</sup>

УДК: 551.577.21:519.23(497.11Београд)

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.084

**Резиме:** Три непараметарска статистичка теста за детекцију тренда примењена су на низове показатеља режима падавина на кишомерној станици „Врачар“ у Београду у периоду од 1923. до 2012. године. Неки од показатеља режима падавина су укупне годишње и месечене падавине, број кишних дана током године и по месецима, индекс концентрације падавина, 1-дневне и вишедневне максималне годишње висине падавина, различити перцентили висине падавина и броја кишних дана у години, највећи број узастопних сушних дана током године, итд. Користићени су тест значајности нагиба регресионе праве, тест Мен-Кендала и Кокс-Стјуартов тест. Сви тестови имају нулту хипотезу да низ не показује статистички значајан тренд. На стационарне низове примењен је и параметарски Фишеров тест како би се испитале промене у варијанси низова. У раду су приказани резултати статистичких тестова и дати су закључци о променама у режиму падавина у Београду.

**Кључне речи:** Климатске промене, падавине, тренд, статистички тестови, нагиб регресионе праве, тест Мен-Кендала, Кокс-Стјуарт тест, Фишеров тест

### 1 УВОД

Поуздана процена падавина датог повратног периода је предуслов за адекватно димензионисање хидротехничких објеката. Међутим, у оквиру истраживања климатских промена током последњих деценија уочене су промене у количинама и просторној расподели падавина (слика 1), као и учесталости екстремних догађаја [1]. Узрок ових промена може бити повећана концентрација гасова ефекта стаклене баште у атмосфери, која доводи до повећања температуре (слика 2) и

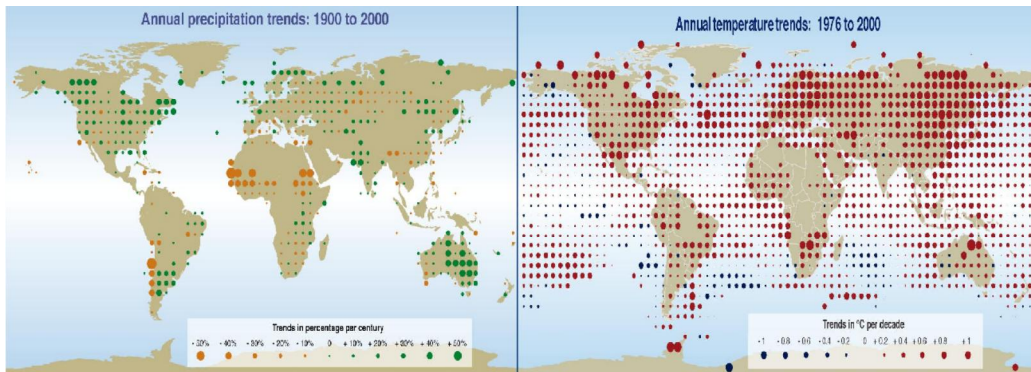
<sup>1</sup> Андријана Тодоровић, дипл.инж. грађ., Универзитет у Београду – Грађевински факултет, Институт за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство, Бул. краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3218 530, е – mail: [andrijana@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:andrijana@hikom.grf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Dr Jasna Plavšić, Assist. Prof., University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, P.O. Box 42, 11120 Belgrade, Serbia, Tel: 011 337 0206, е – mail: [jplavsic@grf.bg.ac.rs](mailto:jplavsic@grf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> Др Јован Деспотовић, дипл. инж. грађ., в.проф., (УБ-ГФ), е-mail: [jdespotovic@grf.bg.ac.rs](mailto:jdespotovic@grf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> Др Драгутин Павловић, дипл.инж. грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија, тел: 011 3370 206 (УБ-ГФ), е-mail: [epavlovd@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:epavlovd@hikom.grf.bg.ac.rs)

убрзања хидролошког циклуса. Са порастом температуре расте и садржај воде у атмосфери и повећава се и вероватноћа појаве интензивних падавина [2]. Осим повећања гасова ефекта стакле баште, урбанизација узрокује локално повећање температуре и промене у режиму падавина. Температуре у централним деловима града могу бити од 4-7°C веће у односу на ободне делове града (тзв. топлотна острва). Укупне годишње падавине у градовима могу бити до 5% веће у односу на суседне области, док висине кише током појединачних епозода могу бити и до 30% веће [5]. Утицај урбанизације је додатно изражен с обзиром да се већина кишомерних станица налази у урбанизованим областима [6].



Слика 1. Трендови у укупним годишњим падавинама

Слика 2. Трендови у просечним годишњим

[3]

температурама [3]

Постоје два приступа у оцени утицаја климатских промена на водне ресурсе. Први подразумева коришћење резултата глобалних климатских модела као улаза у хидролошке моделе, док се трендови промена у различитим компонентама хидролошког циклуса оцењују на основу резултата хидролошких модела. Други приступ се заснива на примени статистичких тестова за детекцију трендова у временским серијама метеоролошких и хидролошких величина, а који могу бити последица климатских промена. У овом раду усвојен је други приступ. Анализирана је промена режима падавина на станици „Врачар“ у Београду у периоду 1923-2012 применом статистичких тестова за детекцију трендова у великом броју показатеља дневних киша осмотреним на овој станици.

## 2 СТАТИСТИЧКИ ТЕСТОВИ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ТРЕНДА

За детекцију тренда у показатељима режима дневних падавина током времена коришћени су непараметарски тестови за детекцију тренда у средњој вредности низова, чија је предност што није неопходно да узорак потиче из нормалне или неке друге расподеле [7, 8]. Да би се испитало и присуство тренда у варијансама низова коришћен је параметарски  $F$  тест. У свим тестовима усвојен је праг значајности од  $\alpha = 5\%$ .

Нулта хипотеза **теста значајности нагиба регресионе праве** је да је коефицијент нагиба линеарне регресије  $Y = aT + b$  једнак нули, где је  $Y$  зависна променљива и  $T$  време) [6]. Контролна статистика овог теста се рачуна на основу Пирсоновог коефицијента корелације  $r$ :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (1)$$

Ова контролна статистика прати Студентову расподелу са  $N-2$  степени слободе [6]. Регион прихватања нулте хипотезе одређују Студентове променљиве за вероватноће  $\alpha/2$  и  $(1-\alpha/2)$ .

**Тест Ман-Кендала** испитује постојање монотоног тренда кроз нагомилавање позитивних и негативних разлика између чланова низа и базира се на статистици  $S$ , која се рачуна на основу знака вредности разлике узастопних чланова низа са помаком  $j$  [6, 7]:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sign}(x_j - x_i) \quad (2)$$

На основу статистике  $S$  рачуна се стандардизована статистика  $Z_S$ :

$$Z_S = \begin{cases} (S-1)/\sigma_S, & S > 0 \\ (S+1)/\sigma_S, & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

За обим узорка  $N \geq 8$  статистика  $Z_S$  прати нормалну расподелу  $N(0, \sigma_S)$ , где је  $\sigma_S$  [7]:

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^n t_k k(k-1)(2k+5) \right]} \quad (4)$$

где је  $t_k$  број група од  $k$  истих вредности у низу  $x_i$  [6, 7, 8, 9]. Регион прихватања нулте хипотезе о одсуству монотоног тренда одређује се на основу вредности стандардизоване нормалне променљиве за вероватноће  $\alpha/2$  и  $(1-\alpha/2)$  [6, 8].

**Кокс-Стјуартов тест** подразумева поделу временске серије на два подниза:  $x_1 : x_c$  и  $x_{(c+1)} : x_{2c}$  и формирање низа разлика одговарајућих чланова два подниза:  $x_1 - x_{(c+1)}$ ,  $x_2 - x_{(c+2)}$ , итд. Контролна статистика  $S$  представља број позитивних разлика, док је  $n$  број разлика различитих од нуле. Нулта хипотеза теста је да је број позитивних једнак броју негативних разлика [10]. Контролна статистика  $S$  прати биномну расподелу  $B(n, 0.5)$ , а регион прихватања нулте хипотезе одређује се из вредности биномне променљиве за вероватноће  $\alpha/2$  и  $(1-\alpha/2)$ .

**Фишеров  $F$  тест.** Нулта хипотеза овог теста је да су варијансе два подниза (прве и друге половине низа) једнаке [11]. Контролна статистика  $F$  је однос веће и мање варијансе и има вредности веће од 1 (једностран тест). Регион прихватања нулте хипотезе добија се из Фишерове расподеле са  $v_1 = N_1 - 1$  и  $v_2 = N_2 - 1$  степени слободе и

за праг значајности  $\alpha$ .  $F$  тест је примењен на низове из којих је уклоњен линеарни тренд, ако на постојање тренда указују најмање два непараметарска теста.

### 3 ПОКАЗАТЕЉИ РЕЖИМА ПАДАВИНА

У овом раду испитивани су трендови у 81 показатељу режима дневних падавина (табела 1). Показатељи су одабрани тако да представе својства просечних и екстремних догађаја [9]. Сви показатељи су срачунати на основу осматрених дневних падавина на станици „Врачар“ у Београду током 90 година (1923-2012). Показатељ 66 (индекс концентрације падавина –  $PCI$ ) рачуна се на основу укупних месечних падавина  $P_i$  [12]:

$$PCI = \sum_{i=1}^{12} P_i^2 / \left( \sum_{i=1}^{12} P_i \right)^2 * 100\% \quad (5)$$

Овај показатељ одражава унутаргодишњу расподелу падавина: вредности  $PCI < 10$  указују на равномерне падавине током године, вредности  $PCI < 20$  указују на разлике у сезонама, док  $PCI > 20$  указује на изразито неправилан режим [12].

Табела 1. Показатељи режима падавина

Број	Назив показатеља режима
1	Укупне годишње падавине [mm]
2-13	Укупне месечне падавине [mm]
14	Број дана током године са $P > 1$ mm
15	Број дана током године са $P > 10$ mm
16	Број дана током године са $P > 20$ mm
17	Број дана током године са $P > 30$ mm
18-29	Број дана током месеца са $P > 1$ mm
30-41	Број дана током месеца са $P > 10$ mm
42-53	Број дана током месеца са $P > 20$ mm
54-65	Број дана током месеца са $P > 30$ mm
66	$PCI$ – индекс концентрације падавина
67	Максимална 1-дневна висина кише у години
68	Максимална 5-дневна висина кише у години
69	Максимална 10-дневна висина кише у години
70	75-ти перцентил падавина
71	95-ти перцентил падавина
72	99-ти перцентил падавина
73	Број дана у години са падавинама $> 75$ перц.
74	Број дана у години са падавинама $P > 95$ перц.
75	Број дана у години са падавинама $P > 99$ перц.
76	Удео падавина $P > 95$ перцентиља у укупним годишњим падавинама
77	Удео падавина $P > 99$ перцентиља у укупним годишњим падавинама
78	Број дана током године са $P > 10$ mm
79	Број дана током године са $P > 20$ mm
80	Број дана током године са $P > 30$ mm
81	Максимални број узастопних сушних дана ( $P \leq 1$ mm) током године

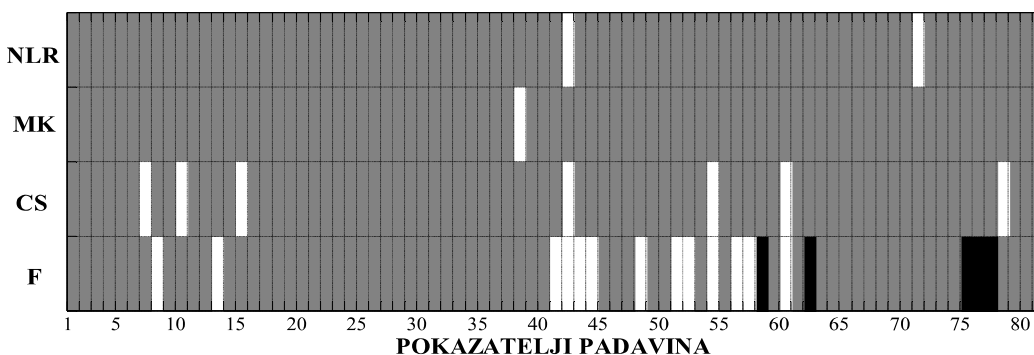
#### 4 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати примењених статистичких тестова приказани су на слици 3. На апсциси је редни број показатеља а на ординати тест (NLR – тест значајности нагиба лин. регресије, МК – тест Ман-Кендала, CS –Кокс-Стјуартов и F- Фишеров тест).

Сива боја означава одсуство статистички значајног тренда (прихватање  $H_0$ ), бела позитиван, а црна негативан тренд (одбацивање нулте хипотезе  $H_0$ ). У већини показатеља нису детектовани трендови, а сви детектовани трендови у средњим вредностима су позитивни.

Код многих параметара присуство тренда показује само један од три непараметарска теста. Једини показатељ где на присуство монотоног тренда у средњим вредностима указују два теста је показатељ 42 (број дана у јануару са падавинама  $P > 20 \text{ mm}$ ).

Са друге стране,  $F$  тест је указао на нестационарност у варијансама 18 показатеља. Смањење варијансе низова детектовано је код 5 показатеља: 58, 62, 75-77.



Слика 3. Резултати статистичких тестова: бела поља – позитиван тренд, црна поља – негативан тренд, сива поља – нема статистички значајног тренда

#### 5 ЗАКЉУЧЦИ

У овом раду су анализирани промене у показатељима режима дневних падавина осматраних на станици „Врачар“. Показатељи су одабрани тако да осликавају просечне и екстремне догађаје.

Код већине показатеља нису детектовани трендови у средњим вредностима. Интерпретацију резултата додатно отежава и чињеница да код већине показатеља само један од тестова указује на присуство тренда.

Трендови у варијансама детектовани су код 18 показатеља.

Пораст у варијанси је детектован претежно код показатеља који описују број дана са великим количинама падавина, што је у складу са претходним истраживањима [1, 2].

На режим падавина у Београду, поред промена услед глобалног повећања концентрације гасова ефекта стаклене баште, утиче и интензивна урбанизација.

Међутим, анализа приказана у овом раду није указала на значајне промене у режиму дневних падавина.

Разлог недетектовања трендова може бити и евентуално присуство цикличности у разматраним низовима. Даља истраживања требало би да обухвате и анализу цикличности, што би могло довести до поузданије детекције трендова у режиму падавина у Београду.

## ЗАХВАЛНОСТ

Истраживање приказано у раду урађено је у оквиру научних пројеката Министарства просвете и науке Републике Србије ТР37005 „Утицај климатских промена на водне ресурсе у Србији“ и ТР37010 „Системи за одвођење кишних вода као део урбане и саобраћајне инфраструктуре“. Подаци о падавинама добијени су од РХМЗ-а.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] IPCC, *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis*, Working Group I contribution to the fifth assessment report of the IPCC, Cambridge University Press, 2013.
- [2] Kundzewicz, Z.W., Schellnhuber, H.J., *Floods in the IPCC TAR perspective*, *Natural Hazards* 31: 111-128, 2004.
- [3] [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/)
- [4] <http://www.nrdc.org/globalwarming/qthinice.asp>
- [5] Maksimović Č., Tejada-Guibert J. A., *Frontiers in Urban Water Management. Deadlock or Hope*, IWA Publishing, 2001
- [6] Plavšić J., Obušковић Z., *Problemi u analizi trenda u hidrometeorološkim serijama pri ispitivanju uticaja klimatskih promena*, Zbornik radova sa 16. Naučnog savetovanja Srpskog društva za hidraulička istraživanja (SDHI) i Srpskog društva za hidrologiju (SDH), 512-526, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, 2012.
- [7] Yue S., Pilon P., Cavadias G., *Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*, *Journal of Hydrology* 259, p. 254-271, 2002.
- [8] Collins M.J., *Evidence for changing flood risk in New England since the late 20<sup>th</sup> century*, *Journal of the American Water Resources Association*, pp. 279, 2009.
- [9] Fatichi S., Caporali E., *Review: a comprehensive analysis of changes in precipitation regimes in Tuscany*, *Int. J. Climatol.* 29: 1883-1893, 2009.
- [10] Evans W.L., *Using Test Data to Detect Machinery Alignment*, Portland State University, ECE 457 Learning From Data, 2001.
- [11] Kottogoda N., Rosso R., *Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers*, 2<sup>nd</sup> Edition, Blackwell Publishing, 2008.
- [12] Michiels P., Gabriels D., Hartmann R., *Using the Seasonal and Temporal Precipitation Concentration Index for Characterizing the Monthly Rainfall Distribution in Spain*, CATENA, vol. 19, p. 43-58, 1992.

## TRENDS IN PRECIPITATION INDICES FOR BELGRADE

**Summary:** *Three statistical tests are applied to the precipitation indices time series, derived from daily precipitation observed at the “Vračar” raingauge in Belgrade from 1923 to 2012. Precipitation indices include total annual and monthly precipitation, yearly and monthly number of rainy days, precipitation concentration index, 1-day and multi-day annual maximum daily precipitation, various percentiles of daily precipitation and annual number of rainy days, annual maximum number of consecutive dry days, etc. The tests include the linear regression slope test, the Mann-Kendall test, and the Cox-Stuart test. All tests have an absence of a statistically significant trend as a null hypothesis. Detrended time series were subject to the parametric Fisher’s test for trend in variance. The results obtained are presented along with the conclusions about the change in the precipitation regime in Belgrade.*

**Keywords:** *Climate change, precipitation, trend, statistical tests, linear regression slope, Mann-Kendall test, Cox-Stuart test, Fisher test*