

# ПРОСТОРНО-ВРЕМЕНСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СУША У СРБИЈИ

СЛАВИША ТРАЈКОВИЋ\*

А п с т р а к т. – Суша је веома комплексна појава која утиче на водне ресурсе, земљиште, пољопривредну производњу, животну средину, економију, као и на друштво у целини. У овом раду, процена просторно-временских карактеристика суше заснива се на подацима о месечним падавинама са 28 станица у Србији, за период 1948–2012. Анализа главних компоненти и анализа кластера је показала да у Србији, према угрожености од суше, постоје следећи региони: регион Р1 – север Србије, регион Р2 – запад Србије и регион Р3 – југ Србије. Регион Р2 има месечне вредности падавина изнад просека, док су региони Р1 и Р3 са вредностима падавина испод просека Србије. Појава суше анализирана је на основу SPI-12 класа суше. Нормалној класи припада 69% анализираних година, 16% спада у године са вишком падавином, суша се јавља у 15% година и то: умерена суша у 8%, јака суша у 5% и екстремна суша у 2% година. Већа учесталост суше забележена је од 1990. године. Тренд повећања евапотранспирације показује да се у будућности може очекивати већа учесталост суше. У раду се предлаже укључивање нових индекса у мониторинг суше (SPEI, WSVI). Такође, предлаже се коришћење модификоване Харгривс и температурне Пенман-Монтеј методе за прорачун евапотранспирације у индексима суше (SPEI, WSVI, RDI).

*Кључне речи:* индекси суше, падавине, евапотранспирација, водни биланс, Србија

## 1. УВОД

Значајан недостатак падавина, који се дефинише као одступање падавина од нормале, односно од просека који је установљен за одређену област и дефинисани временски период, је основни узрок настанка суше. Суша може дugo да траје, да захвати велика подручја и ретко изазива људске губитке. По тим својим карактеристикама се значајно разликује од других елементарних непогода које се јављају нагло и ненајављено и имају релативно кратко трајање на малом простору. Сушом се баве стручњаци из различитих научних дисциплина (метеорологи, хидрологи, агрономи, еколози, социолози, економисти) и из различитих климатских региона, и сви они имају битно различите критеријуме за

---

\* Грађевинско-архитектонски факултет Универзитета у Нишу, имејл: slavisa@gaf.ni.ac.rs

процену и идентификацију суше. Суша је веома комплексна појава која утиче на водне ресурсе, земљиште, пољопривредну производњу, животну средину, економију, као и на друштво у целини, и не чуди да не постоји јединствена и општеприхваћена дефиниција суше. Уместо тога, постигнута је сагласност да постоје четири типа суше (метеоролошка, пољопривредна, хидролошка и социо-економска суша) који су међусобно повезани.

Значајан недостатак падавина у односу на просечне падавине на одређеном подручју у анализираном временском периоду доводи до појаве метеоролошке суше. Смањење падавина је, врло често, праћено високим температурима, јаким ветром, већом осунчаношћу, што доводи до смањења влажности у земљишту и повећања евапотранспирације (ET) и на крају се манифестије појавом пољопривредне суше. Дефицит влаге у земљишту изазива водни стрес код пољопривредних култура, што доводи до смањења приноса. Хидролошка суша је повезана са ефектима недостатка падавина на водне ресурсе и манифестије се смањењем протицаја река, дотока у језерима и акумулацијама, спуштањем нивоа подземних вода, нивоа воде у акумулацијама. Социо-економска суша настаје када несташица воде почне да утиче на животе људи, на економију, животну средину и на друштво у целини. Ови типови суше се не јављају у истом временском периоду. Генерално, прво се јавља метеоролошка суша, убрзо после ње пољопривредна, и ако се недостатак падавина продужи, долази до појаве хидролошке и социо-економске суше.

Штете од суше у Србији су велике. У XXI веку, у шест година, процењене штете од суше биле су веће од 500 милиона евра. Највеће су забележене 2012. године када је штета процењена на милијарду и осамсто милиона евра. Износ се најбоље истиче упоређивањем са штетама од катастрофалних поплава из 2014. године (милијарду и седамсто милиона евра) и земљотреса у Краљеву из 2010. године (25 милиона евра, односно 70-ак пута мање од штета од суше из 2012. године). Због великих штета у свим областима друштва, јавила се потреба проучавања самог феномена суше (Trajković et al. 2016). У овом раду биће представљени резултати вишегодишњег истраживања које је спроведено у оквиру пројеката „Развој хидроинформационог система за праћење и рану најаву суше“ (TR37003) и „Пројектоване промене хидролошких ризика (екстремне количине падавина и суше) у Мађарској и Србији“ .

## 2. МЕТОДЕ И МАТЕРИЈАЛИ

### 2.1. Подаци

Месечни подаци следећих климатолошких параметара: падавине, максимална и минимална температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, осунчаност и брзина ветра за 28 синоптичких станица у Србији за период

1948–2012. (слика 1) преузети су из метеоролошких годишњака Републичког хидрометеоролошког завода Србије. Подаци су изабрани на основу дужине периода мерења, њихове доступности и поузданости. У подацима није било неизмерених вредности. Временске серије коришћене у овом истраживању обезбеђују добру просторну покривеност целе Србије, изузев АП Косово и Метохија за коју новији подаци нису доступни.



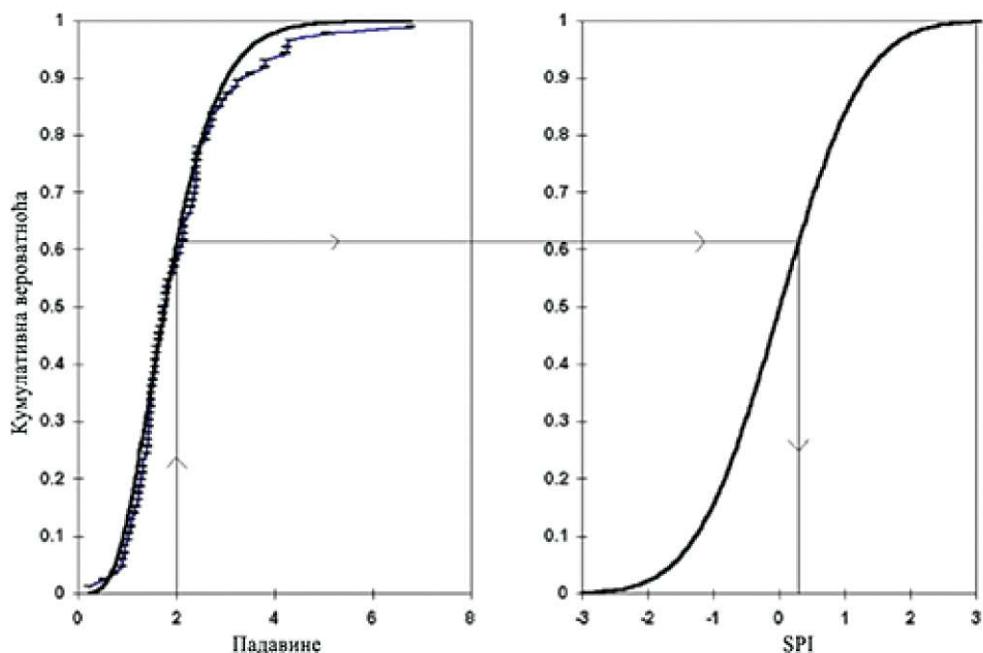
Слика 1. Просторна расподела 28 синоптичких станица

## 2.2. Индекси суше

Индекси суше представљају алате за детекцију, мониторинг и евалуацију сушних догађаја. До сада је развијено више од 100 индекса суша, а њихов детаљан преглед и класификација могу се наћи у *Mishra and Singh (2010)*. Индекс суша служи за процену ефекта суше и дефинисање различитих параметара суше као што су трајање, интензитет и обим простирања. Пожељно је да индекс суше буде у стању да квантификује сушу за различите временске скале за које су дуге временске серије од суштинског значаја. У овом одељку биће описани стандардизовани индекс падавина (SPI) и индекс варијабилности суфицита воде (WSVI).

### 2.2.1. Стандардизовани индекс падавина (SPI)

Стандардизовани индекс падавина (*Standardized Precipitation Index, SPI*) развијен је почетком 90-их година прошлог века (McKee et al. 1993). Овај индекс квантификује дефицит падавина за различите временске скале (1, 3, 6, 12, 24, 48 месеци) и може се користити за више типова суше. SPI за краће временске скале (један или три месеца) се користи за метеоролошке суше, за три или шест месеци за пољопривредну сушу, док се SPI за дуже временске скале (12 и 24 месеци) користи за хидролошке суше (Svoboda and Fuchs 2016). SPI је количина падавина забележена током неког временског периода, представљена преко вредности случајне променљиве која има стандардизовану нормалну расподелу вероватноће (слика 2).



Слика 2. Прорачун стандардизованог индекса падавина (SPI)

SPI се добија из израза:

$$SPI = \begin{cases} -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), & 0 < H(x) \leq 0,5 \\ +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), & 0,5 < H(x) \leq 1,0 \end{cases} \quad (1)$$

где је  $H(x)$  кумулативна расподела вероватноће,  $t$  се одређује као:

$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}}, & 0 < H(x) \leq 0,5 \\ \sqrt{\ln \frac{1}{(1-H(x))^2}}, & 0,5 < H(x) \leq 1,0 \end{cases} \quad (2)$$

а  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2$  и  $d_3$  су коефицијенти чије су вредности:  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ . Снага овог индекса лежи у чињеници да је могућа међусобна упоредивост података о падавинама из временских периода неједнаке дужине, као и података из сезона и локација са различитим режимима падавина. Највећа слабост је недостатак компоненте евапотранспирације, која је веома важна за водни биланс. Из тог разлога, овај индекс не може се користити у климатским моделима.

Класе суше дефинисане на основу SPI вредности приказане су у табели 1, из које се види да SPI, поред детекције суше, може да служи и за одређивање влажних периода.

Табела 1. Класе суше према SPI

Класе суше	SPI вредности
Екстремно влажно	
Веома влажно	
Умерено влажно	
Скоро нормално	
Умерена суша	
Јака суша	
Екстремна суша	

## 2.2.2. Индекс варијабилности суфицита воде (WSVI)

Индекс варијабилности суфицита воде (*Water Surplus Variability Index, WSVI*) (Gocic and Trajkovic 2014d) добија се из израза:

$$WSVI_k^{(i)} = \frac{D_k^{(i)} - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

где је  $WSVI_k^{(i)}$  = индекс варијабилности суфицита воде за k-ти месец за годину i,  $D_k^{(i)}$  = месечни дефицит воде за k-ти месец за годину i,  $\mu$  = средња вредност и  $\sigma$  = стандардна девијација за посматрани период.

Дефицит воде  $D_k^{(i)}$  за годину i и референтни период од k месеци се израчују на као:

$$D_k^{(i)} = \sum_{j=1}^k (P_{ij} - ET_{ij}) \quad (4)$$

где су  $P_{ij}$  = падавине и  $ET_{ij}$  = референтна евапотранспирација за месец j за годину i. За разлику од осталих индекса, евапотранспирација се рачуна према стандардној ФАО-56 Пенман-Монтеј (Penman-Monteith) методи (Allen et al. 1998). Укључивање ET га чини идеалним за климатске моделе. Ове године успостављена је сарадња на том плану са два веома угледна светска универзитета (ЕЛТЕ Универзитет из Будимпеште и Католички универзитет из Левена). Може се користити за све типове суше и има исте класе суше као и SPI. Овај индекс суше има одлично слагање у хумидним климатским условима са свим водећим светским индексима суше (SPI, SPEI, RDI).

### 2.3. Евапотранспирација

Постоји велики број емпиријских метода за прорачун евапотранспирације (ET) које су развијене и тестиране за различите географске и климатске услове. Евапотранспирација се не може увек описати једноставним, линеарним зависностима и зато боље резултате у различитим климатским условима, по правилу, имају комплексније методе (Trajkovic and Kolakovic 2009a). У овом раду биће представљене методе које се користе у појединим индексима суше.

#### 2.3.1. Торнтајт (Thornthwaite) метода

Торнтајтова метода (Thornthwaite 1948) рачуна ET из израза:

$$ET_0 = \frac{16N}{360} \left( \frac{10T}{\sum_{i=1}^{12} (0.2T_i)^{1.514}} \right)^{0.016 \sum_{i=1}^{12} (0.2T_i)^{1.514} + 0.5} \quad (5)$$

где је:  $ET_0$  = референтна евапотранспирација (мм дан<sup>-1</sup>), N = максимално трајање сунчевог сјаја (сат дан<sup>-1</sup>), T = средња дневна температура ваздуха (°C). Торнтајтова метода се примењује широм света и као улазни параметар тражи познавање само средње дневне температуре ваздуха која се добија као просечна вредност максималне и минималне температуре ваздуха.

### 2.3.2. Харгривс (*Hargreaves*) метода

Харгривс метода (Hargreaves et al. 1985) захтева само температуру ваздуха као улазни параметар и веома је погодна за једноставан и брз прорачун евапотранспирације. Регионална калибрација Харгривс методе урађена је изменом Харгривс експонента (Trajkovic 2007). На основу података из Ниша, Палића и Сарајева добијена је нова, изменењена вредност Харгривс експонента од 0.424. На тај начин, добијена је модификована Харгривс једначина (Trajkovic 2007):

$$ET_{0,AH} = 0.023 \cdot 0.408 \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.424} \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17.8 \right) \quad (6)$$

где је:  $R_a$  = екстратерестијална радијација (MJ m<sup>-2</sup> дан<sup>-1</sup>),  $T_{max}$  = максимална дневна температура ваздуха (°C),  $T_{min}$  = минимална дневна температура ваздуха (°C). Начин прорачуна екстратерестијалне радијације је детаљно објашњен у Allen et al. (1998).

### 2.3.3. Пенман-Монтеј (*Penman-Monteith*) метода

Пенман-Монтеј метода је стандардна метода прорачуна референтне евапотранспирације (Allen et al. 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (7)$$

где је:  $ET_0$  = референтна евапотранспирација (мм дан<sup>-1</sup>);  $\Delta$  = пад напона засићене водене паре (кПа °C<sup>-1</sup>);  $R_n$  = нето радијација (MJ m<sup>-2</sup> дан<sup>-1</sup>);  $G$  = земљишни флукс топлоте (MJ m<sup>-2</sup> дан<sup>-1</sup>);  $\gamma$  = психрометријска константа (кПа °C<sup>-1</sup>);  $T$  = средња температура ваздуха на 2 м висине (°C);  $U_2$  = брзина ветра на 2 м висине (м с<sup>-1</sup>);  $(e_a - e_d)$  = дефицит напона водене паре на 2 м висине (кПа).

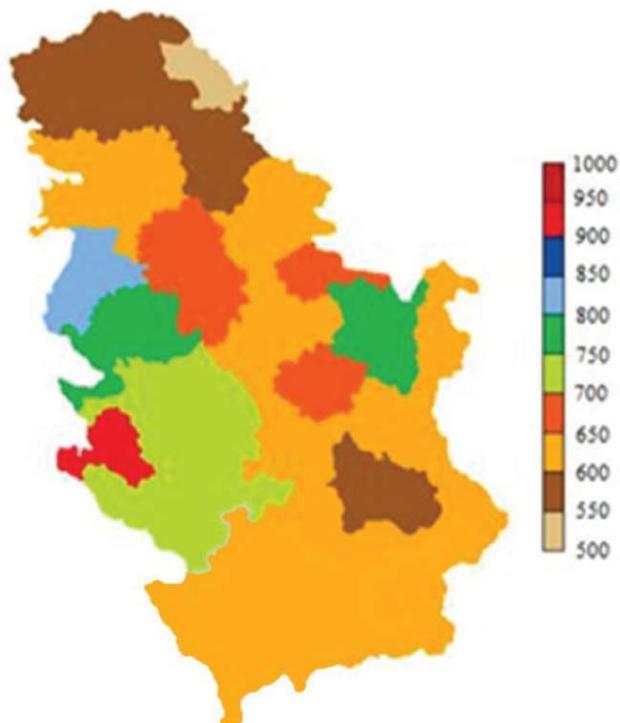
Бројни улазни подаци су потребни за прорачун евапотранспирације овом методом и то: максимална и минимална температура ваздуха; максимална и минимална релативна влажност ваздуха (или стварни напон водене паре), брзина ветра на 2 м висине, стварно трајање сунчевог сјаја (или соларна

радијација). Ако нема података о сунчевом сјају и релативној влажности, предлаже се њихов прорачун из израза у којима фигуришу максимална и минимална температура ваздуха (Allen et al. 1998). Ако нема података о брзини ветра предлаже се усвајање просечне глобалне, регионалне или локалне вредности за брзину ветра (Allen et al. 1998, Trajkovic and Kolakovic 2009b).

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

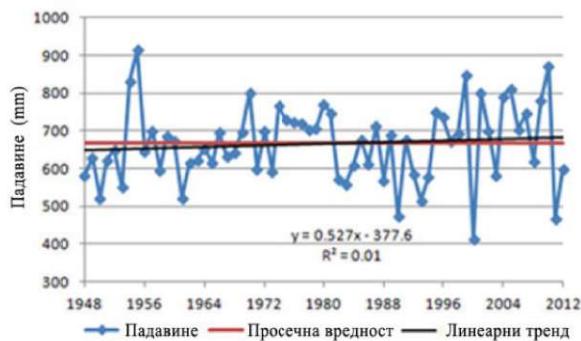
#### 3.1. Просп<sup>орно</sup>-временска расподела падавина

За одређивање просторне расподеле падавина коришћени су подаци о месечним сумама падавина за период 1948–2012. године са 28 синоптичким станицама Републичког хидрометеоролошког завода Србије. На слици 3. приказана је просторна расподела просечних годишњих падавина у Србији. Највећи део Србије има годишње падавине између 600 и 650 mm. Најмање падавина (500–600 mm) има на северу Војводине. Области на западу и југозападу су највлажнији региони Србије. Висина падавина се креће од 700 до 850 mm, на планинама и близу 1000 mm (Gocic and Trajkovic 2014c). Просечне падавине по годишњим добима износе: 167 mm у пролеће, 196 mm у лето, 158 mm у јесен и 141 mm зими.



Слика 3. Просторна расподела падавина у Србији

Најуједначеније су падавине зими, када на највећем броју станица падне од 120 до 160 mm. Лети падне највише кише на Златибору (271 mm), док најмање падавина зими има Палић (112 mm).



Слика 4. Временска серија падавина у Србији

На слици 4. представљене су просечне годишње падавине у Србији за период 1948–2012, линеарни тренд и просечна вредност падавина која износи 666 mm. Са слике се јасно види да нема значајнијег тренда. Линије тренда и просечне вредности падавина се скоро поклапају. Од 1990. године су уочене екстремније вредности падавина. Највише падавина је било 1955, 1999. и 2010, а најмање падавина 1990, 2000. и 2011. Деценија 1970–1980. је била просечно воднија од 1980–1990. Од 2000. године имамо учесталије годишње смене са израженијим разликама: „водна–сушна“.

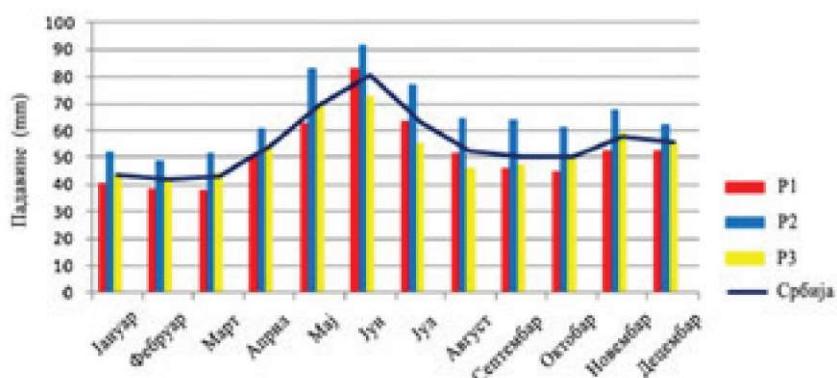
### 3.2. Регионализација Србије

У *Gocic and Trajkovic (2014b)* представљена су три региона одређена на основу спроведене анализе главних компоненти (*Principal Component Analysis, PCA*) и методе кластера (*Cluster Analysis, CA*) над добијеним главним компонентама (слика 5). Регион P1 обухвата север Србије од Палића до Смедеревске Паланке и то је регион са најмањом количином падавина у земљи. Запад Србије од Дрине до Крагујевца и Копаоника спада у регион P2, који је са највећом количином падавина. Остатак земље спада у регион P3, који карактеришу умерене падавине чији је просек око 630 mm.



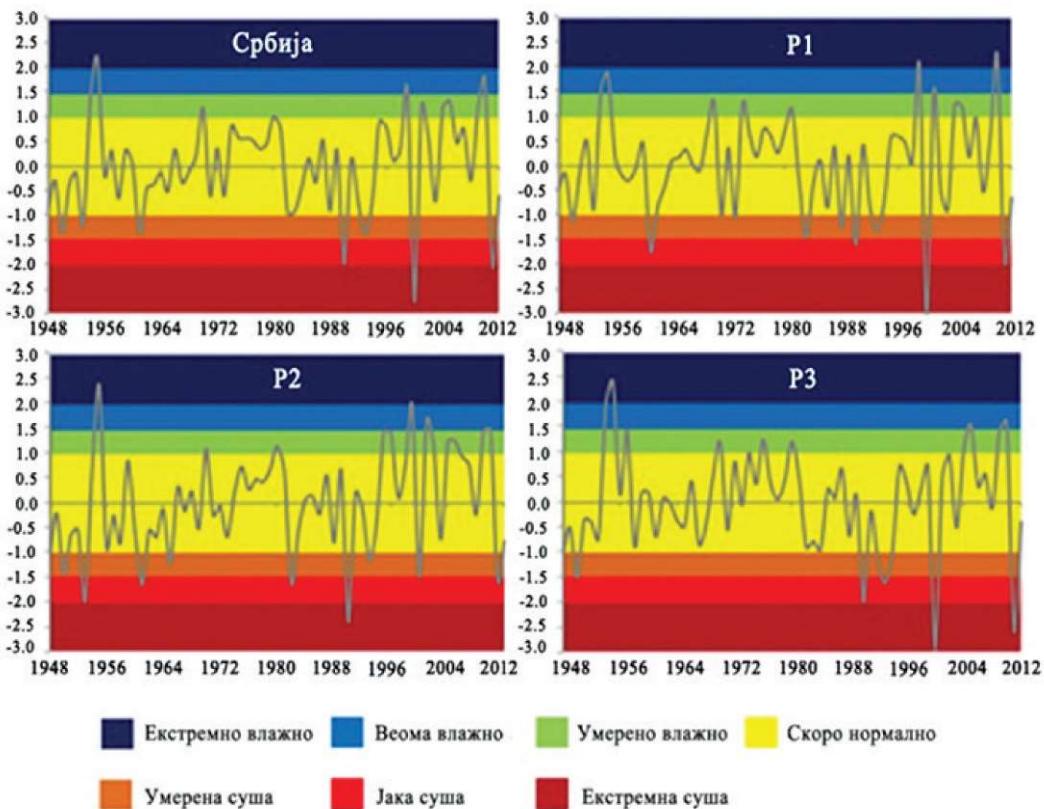
Слика 5. Регионализација Србије према угрожености од суша

На слици 6. представљене су просечне месечне падавине по регионима. У свим регионима највише кише падне током јуна (12%) и маја (10%), а најмање током фебруара (6%). У свим месецима највише падавина има у региону P2 (запад). Од септембра до маја, најмање падавина је у региону P1 (север), а у периоду јун–август најмања висина падавина је забележена у региону P3 (југ) (Gocic and Trajkovic 2014c).

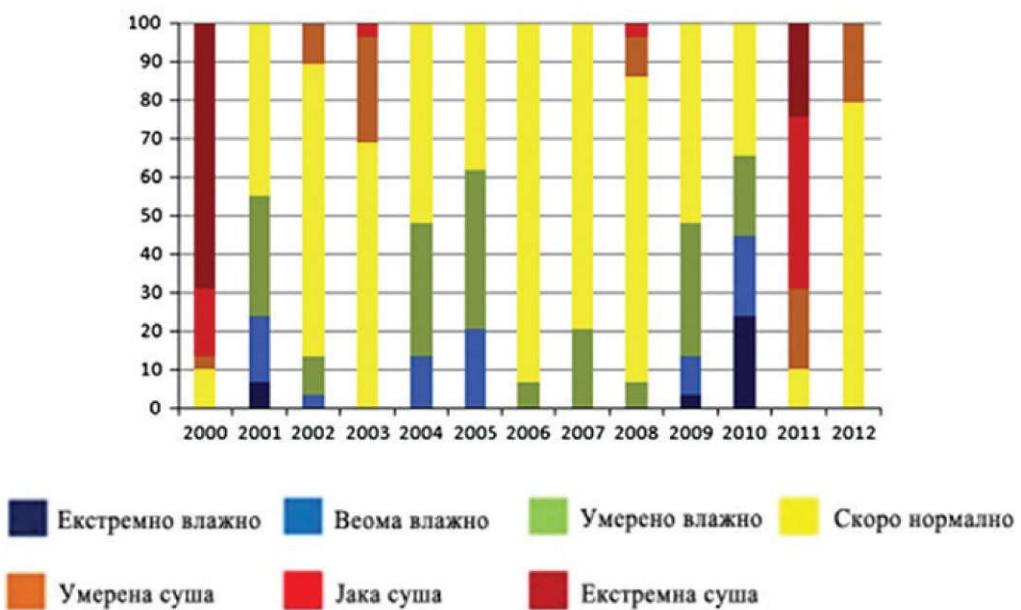


Слика 6. Просечне месечне падавине у регионима Србије

Временске серије SPI-12 акумулативно за сваку годину, за Србију и по регионима, приказане су на слици 7. Најсушнија је била 2000. година, док је 1955. била најкишнија током посматраног периода. Од 1990. године уочена је повећана учесталост појаве суше. Три најсушније године биле су 1990, 2000. и 2011, с тим да је суша у тим годинама била блажа у P2 региону. Појава суша у регионима P1 и P3 је слична. Приметна је нешто већа учесталост екстремних суша у P3 региону (Gocic and Trajkovic 2014b).



Слика 7. Временске серије SPI-12 за Србију и три региона

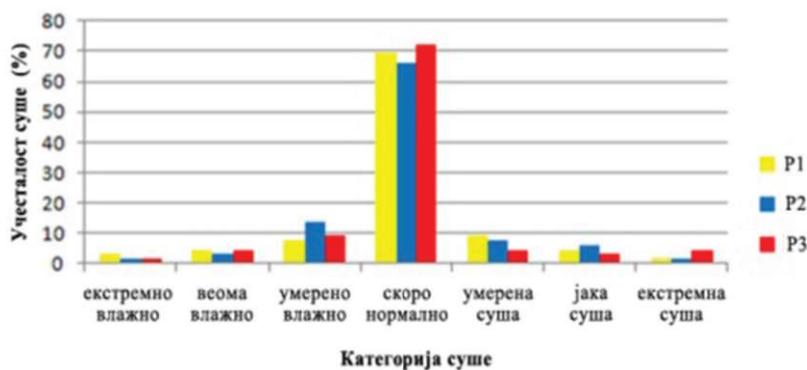


Слика 8. SPI-12 у периоду од 2000. до 2012.

Анализа просторне заступљености суше у Србији у периоду 2000–2012. приказана је на слици 8, са које се види да 2000. скоро 70% територије

Србије било погођено екстремном сушом, око 20% јаком сушом, а само 10% је имало нормалне климатске услове. Нешто другачија заступљеност је за 2011. годину – око 25% је погођено екстремном сушом, 45% јаком, а 20% умереном сушом (Gocic and Trajkovic 2014b).

Учесталост суше је представљена на слици 9. Приближно 69% анализираних година према SPI-12 припада нормалној класи суше, док 16% спада у године са вишком падавина. Нешто мањи проценат нормалних година био је у P2 региону (65%), у којем је забележен већи проценат влажних година у односу на остатак Србије. У 15% година забележене су суше, и то: у 8% година умерене, у 5% јаке и у 2% екстремне суше (Gocic and Trajkovic 2014b). По регионима, највише екстремних суша (око 4%) је било у јужном P3 региону, а највише умерених суша, око 10%, у северном P1 региону.

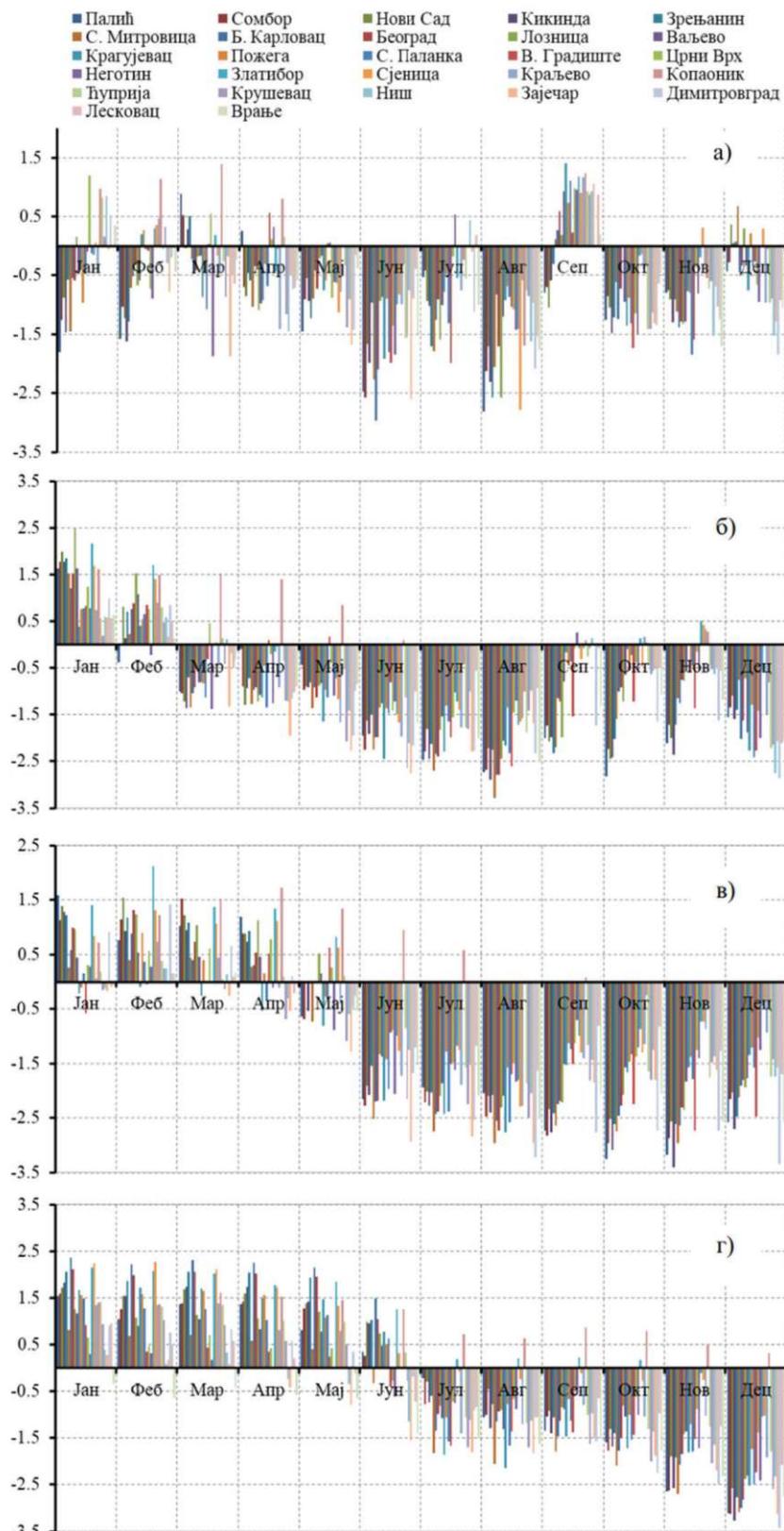


Слика 9. Категорије суше према SPI-12 у периоду 1948–2012.

Анализа SPI-12 за десет станица у Србији (од Палића до Врања) у периоду 1949–2011, показала је да је у Нишу суша седам пута трајала дуже од 12 месеци, а да је најдужа суша, у трајању од 29 месеци, забележена у Врању (Tosic and Unkasevic 2014). Генерално, закључак је био да суше трају дуже од севера према југу Србије и да на југу имају већи интензитет, што се слаже са резултатима представљеним у овом раду.

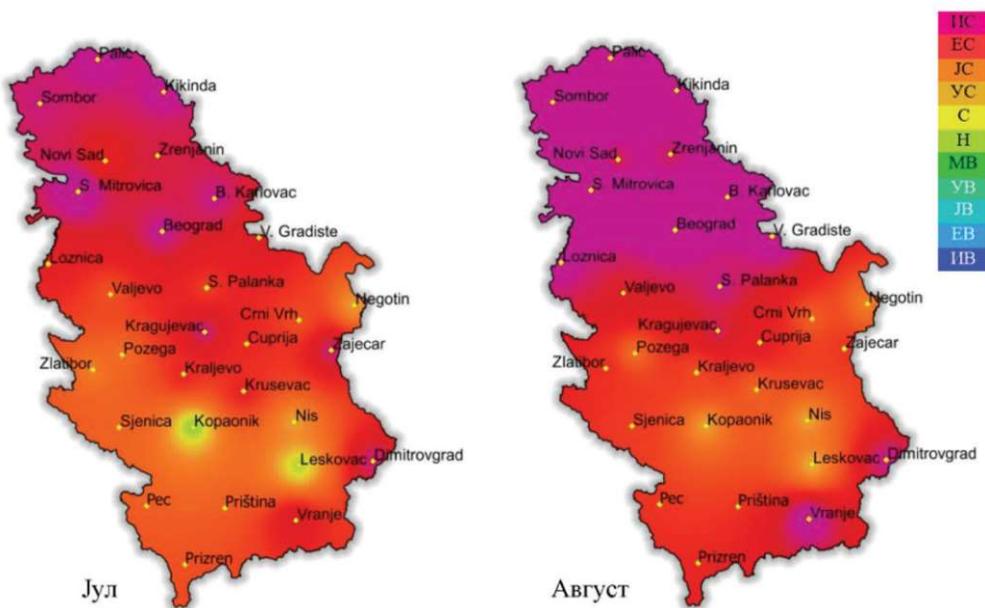
### 3.3. Проспирна расподела суше у 2000. години

Вредности SPI за различите временске скале (SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-12) за најсушнију 2000. годину, за 27 станица, приказане су у виду хистограма на слици 10. (Gocic and Trajkovic 2019). Вредности SPI-1 су најниže у јуну и августу и на већини станица су негативне, са изузетком септембра. Што се тиче SPI-3, негативне вредности почињу од марта, а најниже вредности су од јуна до августа. На основу вредности SPI-6, може се закључити да у Србији није било суше до јуна месеца, од када почиње јака суша на већини станица. Слични резултати се добијају и са SPI-12, с тим да је јака суша забележена на већини станица у новембру и децембру.

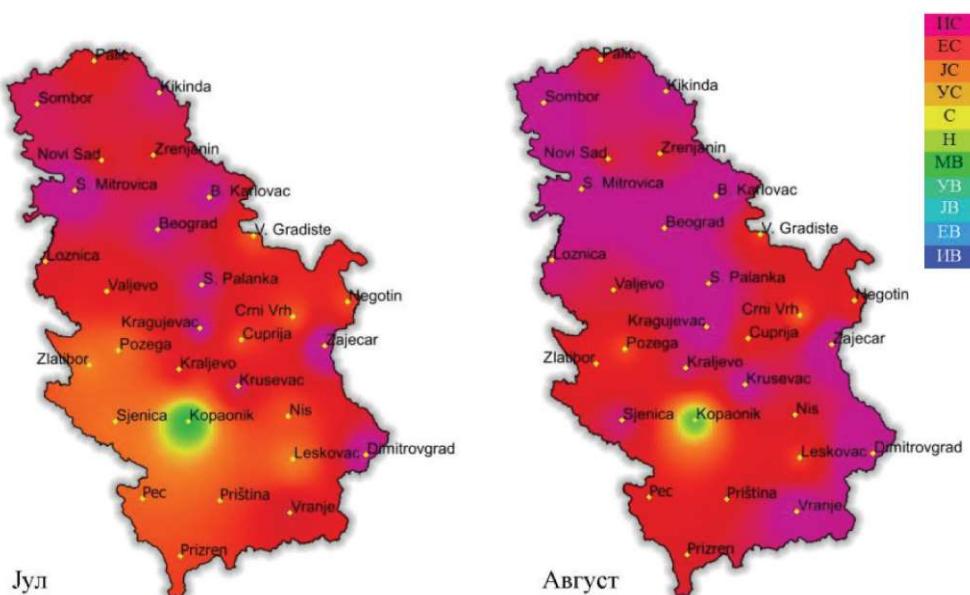


Слика 10. Хистограм SPI интензитета у Србији за 2000. годину а) SPI-1, б) SPI-3, в) SPI-6 и г) SPI-12

Просторни распоред суше на основу интезитета SPI-3 и SPI-6 за јули и август 2000. године представљен је на слици 11. и слици 12, респективно. Према SPI-3, суши се јавља од марта и достиже највећи интензитет у августу, али је изражена и у децембру (Gocic and Trajkovic 2019). Суша је углавном најинтензивнија на северу и југоистоку Србије (слика 11). Према SPI-6, суши се протеже у периоду јун–децембар и најинтензивнија је током августа (Gocic and Trajkovic 2019), када је забележена екстремна или изузетна суши на целој територији Србије осим Копаоника (слика 12).



Слика 11. Просторни приказ СПИ-3 за јул и август 2000. године



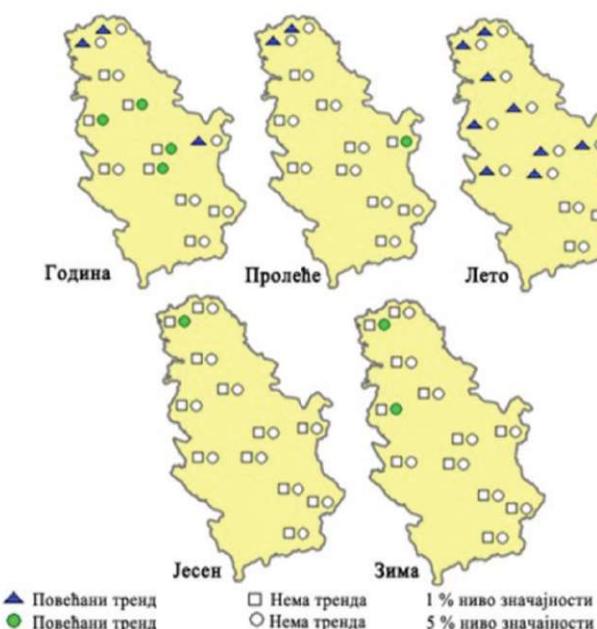
Слика 12. Просторни приказ СПИ-6 за јул и август 2000. године

### 3.4. Анализа тренда падавина и референтне евапотранспирације

Сезонски и годишњи трендови падавина добијени су Мен-Кенделовим и Сеновим тестовима за дванаест станица у периоду 1980–2010. (Gocic and Trajkovic 2013). Значајни растући годишњи тренд падавина забележен је само у Сомбору, за ниво значајности од 5%. Значајни сезонски растући трендови забележени су само у Неготину (пролеће) и Новом Саду (јесен), за ниво значајности од 5%.

Трендови референтне евапотранспирације добијени су Мен-Кенделовим и Спирмен ро тестом за дванаест анализираних станица у периоду 1980–2010. (Gocic and Trajkovic 2014a). Пенман-Монтеј метода је коришћена за прорачун евапотранспирације. Значајни сезонски растући трендови забележени су у пролеће у Неготину (5% значајности), Палићу и Сомбору (1% значајности), лети је забележен значајан тренд повећања на нивоу значајности од 1%, свуда осим у Димитровграду, Нишу и Врању, где није било значајнијих трендова. У јесен је постојао значајан тренд повећања у Сомбору (5% значајности) а зими у Лозници и Сомбору (5% значајности). На годишњем нивоу значајан тренд повећања забележен је у Београду, Краљеву, Крагујевцу и Лозници (5% значајности), као и у Неготину, Палићу и Сомбору (1% значајности).

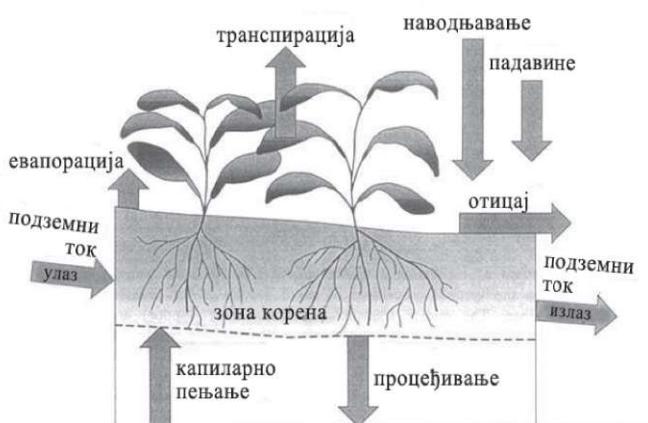
На слици 13. представљена је просторна расподела станица са трендовима за 1% и 5% нивоа значајности одређених Мен-Кенделовим тестом. На северу и у централном делу Србије видљив је значајан позитиван сезонски и годишњи тренд, док три станице на југу Србије (Ниш, Врање, Димитровград) нису имале значајан тренд.



Слика 13. Просторна расподела тренда

### 3.5. Утицај прорачуна ЕТ на юузданосӣ индекса суше

Евапотранспирација је, поред падавина, најзначајнији елемент водног биланса. Састоји се од међусобно зависних сложених процеса кретања воде из земљишта и кроз биљке у атмосферу (Trajkovic et al. 2003). Повећана евапотранспирација уз недостатак падавина доводи до дефицита влаге у земљишту (слика 14) и ствара услове за настанак пољопривредне суше и, посредно, до хидролошке и социо-економске суше.



Слика 14. Водни биланс земљишта

Зато не чуди да се у бројним индексима суше (PDSI, RDI, SPEI, WSVI) поред падавина користи и евапотранспирација. Торнтајтова метода, која за прорачун ЕТ користи само температуру ваздуха, се најчешће користи (PDSI, RDI, SPEI) због своје једноставности. Проблем је што та метода није нарочито поуздана и даје одступања од стандардних Пенман-Монтеј ЕТ вредности, која за Србију износе око 15% (Trajkovic et al. 2019).

Харгривс метода се, такође, често користи за прорачун ЕТ. Међутим, ова метода прецењује вредности ЕТ на хумидним локацијама (Trajkovic and Kolakovic 2009c) и у климатским условима Србије има вредности које су за 21% веће од стандардних Пенман-Монтеј ЕТ вредности (Trajkovic 2005). Из тих разлога је и развијена модификована Харгривс метода, чијим се коришћењем добија евапотранспирација која се мало разликује од стандардних Пенман-Монтеј вредности. У просеку, за локације у Србији те разлике износе мање од 0,3% (Trajkovic 2007), а за локације у Француској око 3% (Trajkovic 2004). Одличне резултате ова метода је показала у седијаридним (Farzanpour et al. 2019) и хумидним (Tabari et al. 2013) климатским условима Ирана.

Велики број улазних параметара (температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, соларна радијација, брзина ветра), који често нису доступни, је разлог зашто се стандардна Пенман-Монтеј метода више не користи у индексима суше. Развијене су процедуре за прорачун недостајућих параметара коришћењем података о температури ваздуха и тако добијена метода се назива температурном Пенман-Монтеј методом.

Коришћењем серија података са станица из Грчке анализиран је утицај избора метода прорачуна ET на поузданост индекса суше (Vangelis et al. 2013). Евапотранспирација за RDI-6 (октобар–март и април–септембар) и RDI-3 (октобар–децембар, јануар–март, април–јун и јули–септембар) добијена је коришћењем Тортнтајт, Харгривс, Блени-Кридл и температурне Пенман-Монтеј методе. У свим анализираним периодима и за све станице, значајно боље резултате су остварили Харгривс и температурна Пенман-Монтеј метода (Vangelis et al. 2013).

### 3.6. Мере за ублажавање последица суше

Основна мера за ублажавање последица суше је адаптација технологије гајења усева и засада. У оквиру ове мере посебну пажњу треба поклонити увођењу и коришћењу врста и сорти/хибрида толерантнијих на стресне услове, променама и усавршавању система обраде у циљу боље конзервације влаге, повећању заступљености гајења озимих усева и прилагођавању плодореда.

Веома важна мера је мониторинг, анализа и рана најава суше. Одељење за агрометеорологију РХМЗ у свом делокругу има анализу, праћење и оцену услова за појаву суше и користи већи број индекса суше: стандардизовани индекс падавина (SPI) за периоде од 1 до 24 месеца, PDSI, Палмеров Z индекс, климатски индекс влажности (CMI) и индекс влажности земљишта (SMI). Како је PDSI избачен из оперативне употребе у најразвијенијим земљама света већ више од двадесет година, потребно је укључити нове индексе суше који у обзир узимају и утицај евапотранспирације на сушу. На пример, SPEI и WSVI се користе у хидро-информационом систему за праћење суше који је развијен у оквиру научног пројекта ТР37003. Овај систем је заснован на сервисно-оријентисаној архитектури и веб-сервисима. Архитектура система је представљена на слици 15.



Слика 15. Архитектура хидро-информационог система

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Суша је веома комплексна појава која утиче на водне ресурсе, земљиште, пољопривредну производњу, животну средину, економију, као и на друштво у целини. Од свих елементарних непогода, суша у Србији изазива највеће материјалне штете. Велики значај има детекција, мониторинг и евалуација сушних догађаја и за ту сврху користе се индекси суше. Употреба стандардизованог индекса суше (SPI) је показала да на основу спроведене анализе главних компоненти и методе кластера у Србији, према угрожености од суше, постоје три региона (Р1 – северни, Р2 – западни и Р3 – јужни). У анализираном периоду 1948–2012. суша се појављивала у 15% година. Већа учсталост суше забележена је од 1990. године. Регион Р3 је највише угрожен од суше током летњих месеци. У остатку године, најугроженији је регион Р1. Тренд повећања евапотранспирације на већини анализираних локација, показује да се у будућности може очекивати већа учсталост суше. Из тог разлога избор индекса суше који ће се користити у мониторингу суше добија на значају. У раду се предлаже укључивање нових индекса суше (SPEI или WSVI) који у обзир узимају и утицај евапотранспирације на сушу. Такође, предлаже се коришћење модификоване Харгривс и температурне Пенман-Монтеј методе за прорачун евапотранспирације у индексима суше (SPEI, WSVI, RDI).

#### ЗАХВАЛНОСТ

У овом раду је представљен део истраживања која се спроводе у оквиру националног пројекта „Развој хидроинформационог система за праћење и рану најаву суша“ (TP37003) и билатералног пројекта „Пројектоване промене хидролошких ризика (екстремне количине падавина и суше) у Мађарској и Србији“ (451-03-02294/2015-09/10).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma.
- [2] Gocic, M., Trajkovic, S., 2013. *Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia*. Global and Planetary Change 100, 172–182.
- [3] Gocic, M., Trajkovic, S., 2014a. *Analysis of trends in reference evapotranspiration data in a humid climate*. Hydrological Sciences Journal 59 (1), 165–180.

- [4] Gocic, M., Trajkovic, S., 2014b. *Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia*. Journal of Hydrology 510, 110–123.
- [5] Gocic, M., Trajkovic, S., 2014c. *Spatio-temporal patterns of precipitation in Serbia*. Theoretical and Applied Climatology 117 (3–4), 419–431.
- [6] Gocic, M., Trajkovic, S., 2014d. *Drought characterisation based on Water Surplus Variability Index*. Water Resources Management 28 (10), 3179–3191.
- [7] Gocic, M., Trajkovic, S., 2019. *QGIS as a supporting tool for spatial distribution of drought*. Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria (in press).
- [8] Hargreaves, L. G., Hargreaves, G. H., Riley, J. P., 1985. *Irrigation Water Requirements for Senegal River Basin*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 111 (3), 265–275.
- [9] Farzanpour, H., Shiri, J., Sadraddini, A. A., Trajkovic, S., 2019. *Global comparison of 20 reference evapotranspiration equations in a semi-arid region of Iran*. Hydrology Research 50(1), 282–300.
- [10] McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In: 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, California, 179–184.
- [11] Mishra, A. K., Singh, V.P., 2010. *A review of drought concepts*. Journal of Hydrology 354 (1–2), 202–216.
- [12] Svoboda, M., Fuchs, B., 2016. *Handbook of Drought Indicators and Indices*. Drought Mitigation Center Faculty Publications, University of Nebraska, Lincoln, USA.
- [13] Tabari, H., Grismer, E. M., Trajkovic, S., 2013. *Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions*. Irrigation Science, 31(2), 107–117.
- [14] Thornthwaite, C. W., 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geography Review, 38 (1), 55–94.
- [15] Tasic, I., Unkasevic, M., 2014. *Analysis of wet and dry periods in Serbia*. International Journal of Climatology 35 (4), 1357–1368.
- [16] Trajkovic, S., 2004. *Estimating reference evapotranspiration at French humid locations by modified Hargreaves method*. International Conference BALWOIS 2004, Ohrid, Macedonia.
- [17] Trajkovic, S., 2005. *Temperature-Based Approaches for Estimating Reference Evapotranspiration*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 131 (4), 316–323.
- [18] Trajkovic, S., 2007. *Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133 (1), 38–42.
- [19] Trajkovic, S., Gocic, M., Pongracz, R., Bartoly, J., 2019. Adjustment of Thornthwaite equation for estimating evapotranspiration in Vojvodina, Theoretical and Applied Climatology, <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02873-1>
- [20] Trajkovic, S., Kisi, O., Markus, M., Tabari, H., Gocic, M., Shamshirband, S., 2016. *Hydrological Hazards in a Changing Environment: Early Warning, Forecasting, and Impact Assessment*. Advances in Meteorology, doi: 10.1155/2016/2752091
- [21] Trajkovic, S., Kolakovic, S., 2009a. *Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration*. Hydrology Research, 40(1), 45–52.

- [22] Trajkovic, S., Kolakovic, S., 2009b. *Estimating Reference Evapotranspiration Using Limited Weather Data*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 135(4), 443–449.
- [23] Trajkovic, S., Kolakovic, S., 2009c. *Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations under Humid Conditions*. Water Resources Management 23 (14), 3057–3067.
- [24] Trajkovic, S., Todorovic, B., Stankovic, M., 2003. *Forecasting of Reference Evapotranspiration by Artificial Neural Networks*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129(6), 454–457.
- [25] Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G., 2013. *The effect of PET method on Reconnaissance Drough Index (RDI) calculation*. Journal of Arid Enviroment, 88 (1), 130–140.
- [26] Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. *Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*. Journal of Hydrology 259, 254–271.

*Slaviša Trajković*

## SPATIOTEMPORAL CHARACTERISTICS OF DROUGHTS IN SERBIA

### S u m m a r y

Drought is a very complex phenomenon affecting water resources, soil, agricultural production, environment, economy and society as a whole. This paper bases its estimates of spatio-temporal characteristics of drought on the data on monthly precipitation from 28 stations in Serbia in the period 1948–2012. The analysis of main components and analysis of the cluster showed that there were the following regions in Serbia, regarding the drought hazard: R1 – North of Serbia, R2 – West for Serbia and R3 – South of Serbia. The R2 region has the above average values of precipitation, while the R1 and R3 regions have precipitation below average values for Serbia. The occurrence of drought is analyzed based on the SPI-12 drought class. 69% of analyzed years belongs to the normal class, while 16% belongs to the years with surplus of precipitation. Drought occurs in 15% of years, 8% being moderate drought, 5% severe drought and 2% extreme drought. An increase in the frequency of occurring droughts has been recorded since 1990. An increasing trend of evapotranspiration indicates that in the future, a higher frequency of drought can be expected. The paper proposes the inclusion of new indices into the drought monitoring (SPEI, WSVI). Also, it proposes the use of the modified Hargreaves and temperature Penman-Monteith method for calculating evapotranspiration in drought indices (SPEI, WSVI, RDI).