Pregledni (naučni) članak
UDK: 551.583(497.11)

PRO ET CONTRA КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА

Стеван Прохаска*, Недељко Тодоровић**,
Никола Божовић*

** Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд*
*** Републички хидрометеоролошки завод Србије, Београд*

РЕЗИМЕ
Последице климатских промена које се, са разних страна, из различитих извора и побуда, перманентно најављују за будући период, налазе се у жижи интересовања сваког нормалног човека. Углавном се најављује глобално отопљење, као последица „стаклене баште“ и учесталија појава екстремних (катастрофалних) метеоролошких ситуација – поплава природних водотокова и бујица, ерозија земљишта, појава клизишта, одрона и дужих сушних периода. Тако, на пример, многи извори процењују да ће средње годишња температура ваздуха на нашем подручју, односно у нашој земљи, порасти до краја овога века за 2 до 4 степена Целзијуса. Јавност посебно интересује понашање екстремних максималних температура ваздуха и падавина, посебно са аспекта најављених климатских промена. Многи стручњаци сматрају да су нагле промене температуре ваздуха и интензивне падавине у току краћих временских периода, које људи веома тешко прихватају, а често и негодују, такође, последица климатских промена. Да ли је то тако покушаћемо да илуструјемо на следећим примерима основних карактеристика клима на подручјима Београда, Зрењанина и Ниша.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: промена климе, температуре ваздуха, падавине, екстремни догађаји.

PRO ET CONTRA CLIMATE CHANGE

ABSTRACT
The consequences of climate change that are, from various sources and initiatives, permanently announced for the future, are in the interest of every person. Generally, global warming is prediced as a consequence of the "greenhouse" effect and the more frequent occurrence of extreme (catastrophic) meteorological events - floods and flash floods, soil erosion, landslides and extended drought periods. Thus, for example, many sources estimate that the mean annual air temperature in our country and the region will increase by the end of this century by 2 to 4 degrees Celsius. The public is particularly interested in the behavior of extreme maximum air temperatures and precipitation, especially from the aspect of the predicted climate changes. Many experts believe that sudden changes in air temperature and intense precipitation over shorter periods, which people are very difficult to accept, and often neglected, are also the result of climate change. This paper will try to illustrate through the following examples of the basic characteristics of the climate in the areas of Belgrade, Zrenjanin and Nis.

KEY WORDS: climate change, air temperature, rainfall, extreme events.

УВОДНЕ НАПОМЕНЕ

Основни метеролошки параметри који у основи карактеришу климу одређеног подручја су температура ваздуха и падавине. Због важности ових података у свакој земљи њих званично мере државне установе, као што су хидрометеоролошке службе. У нашој земљи за ову врсту делатности задужен је Републички хидрометеоролошки завод Србије. Подаци се мере и архивирају перманентно на официјелним метеоролошким и падавинским станицама у релативно дугом временском периоду. Најдуже серије метеоролошких података постоје на метеоролошкој опсерваторији од 1888. године до данас. На осталим постојећим метеоролошким станицама постоје подаци за релативно краће периоде мерења, али углавном и те временске серије су довољно дуге за поузданије статистичке прорачуне и анализе.

Предмет истраживања овога рада је утврђивање вишегодишњег карактера смене топлих и хладних, односно кишних и сушних временских периода у вишегодишњем периоду, с циљем да се сагледа евентуални утицај карактера промене климе, о чему се у последње време, са више или мање оправдања, интензивно расправља, како у научно-стручној јавности, на званичним скуповима и у писаним медијима, тако и у средствима јавног информисања, као и у друштву недовољно информисаних људи и љубитеља сензација.

За анализу вишегодишњег карактера промене режима температуре ваздуха и падавина по времену одабране су временске серије на главним метеоролошким станицама Београд-Врачар, Зрењанин и Ниш. Одабир ових станица је извршен с циљем покривања различитих региона у Србији, а с друге стране да се укључе што различитији утицаји локалних спољних фактора (урбанизације, физичко-географских услова, вегетације и сл.).

У конкретном случају за оцену вишегодишњег карактера промене режима температуре ваздуха анализирани су линеарни трендови у временским серијама апсолутно максималних и минималних, затим средње годишњих вредности, као и максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха. За оцену вишегодишњег карактера режима падавина проанализирани су линеарни трендови у временским серијама сума годишњих падавина, затим сума максималних дневних, дводневних и тродневних падавина, као и серија броја дана у години са падавинама већим од 30 мм, броја максималних дужина епизода бескишних дана, као и укупног броја бескишних дана у години.

На основу дефинисаних линеарних трендова у свим наведеним карактеристичним временским серијама режима температуре ваздуха и падавина сагледаће се вишегодишњи карактер промена ових карактеристика и извести одговарајући закључци о евентуалном могућем утицају климатских промена у до сада регистрованим временским серијама.

ИЗБОР ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Анализа вишегодишњег карактера промена режима падавина и температура ваздуха извршена је за три локалитета на територији Републике Србије и то на следећим главним метеоролошким станицама:

1. ГМС Београд-Врачар у периоду од 1888–2017. године
2. ГМС Зрењанин у периоду од 1941–2017. године
3. ГМС Ниш у периоду од 1949–2017. године.

Разматране су следеће временске серије:

- За режим температуре ваздуха:
  - Апсолутно максималне температуре ваздуха
  - Апсолутно минималне температуре ваздуха
  - Средње годишње температуре ваздуха
  - Максималне годишње разлике између максималних и минималних дневних температура ваздуха
- За режим падавина:
  - Годишње суме падавина
  - Максималне дневне, дводневне и петодневне суме падавина у години
  - Број дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години
  - Максимални број дана без падавина у континуитету у години
  - Укупан број дана без падавина у години.

За све ове временске серије, на одабраним главним метеоролошким станицама (ГМС), дефинисани су линеарни трендови. Периоди обраде су били укупно расположиви, а такође, због реалности процене резултата, и за јединствен период од 1949. до 2017. године.

МЕТОДОЛОГИЈА ПРОРАЧУНА ЛИНЕАРНОГ ТРЕНДА

Једначина за прорачун линеарног тренда у свим наведеним карактеристичним временским серијама температура ваздуха и падавина дефинисана је у следећем виду:

$$T_t = b*t + a$$

где су:

T_t – вредност тренда у тренутку t
b – нагиб линије линеарног тренда
a – коефицијент (одсечак на ординати)

Статистичка значајност линеарног тренда оцењује се помоћу Kendall Stuart-овог теста. Критеријум за прихватање нулте хипотезе да је линеарни тренд статистички значајан, под претпоставком да је закон расподеле параметра b нормалан, на 95%-ном ниву поверења, гласи:

$$b \geq 1.96\sqrt{\frac{12}{N^2}}$$

где је:

N – укупан број чланова низа.

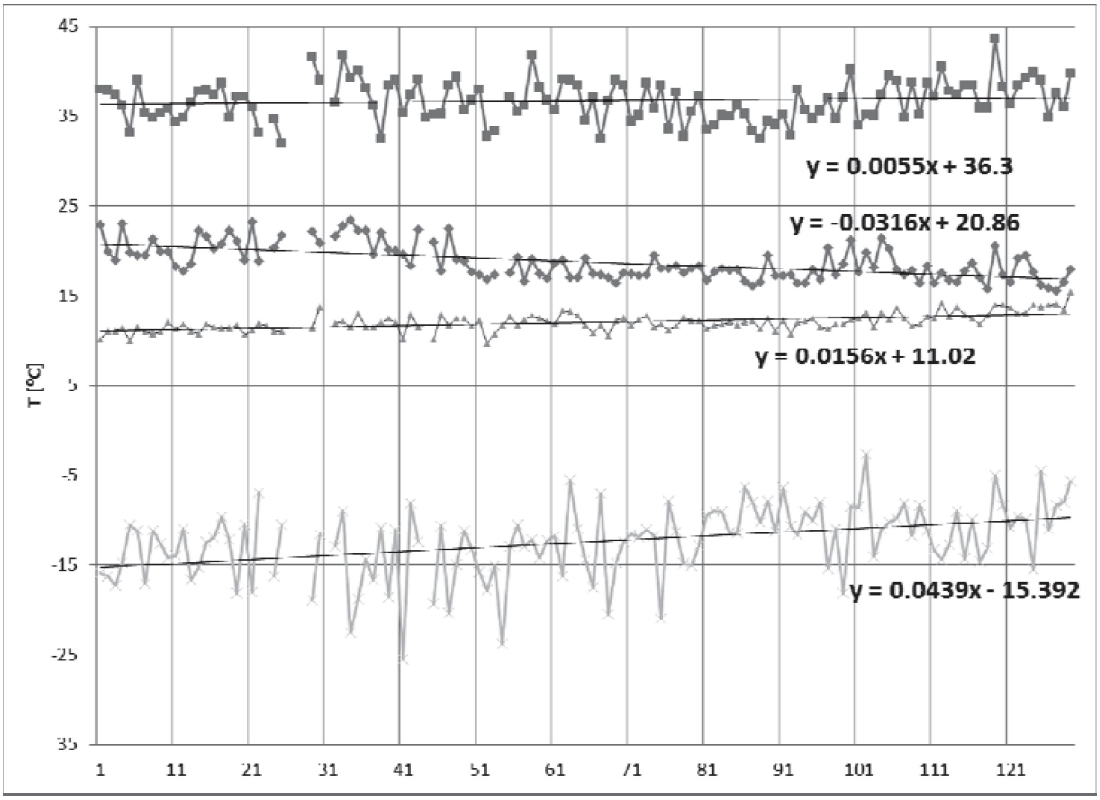
Ако је горе наведени критеријум задовољен, прихвата се нулта хипотеза да је дефинисани линеарни тренд статистички значајан, односно да у структури разматране временске серије постоји изражена детерминистичка компонента, која

може бити позитивног или негативног знака, и која може, између осталог, и бити последица климатских промена.

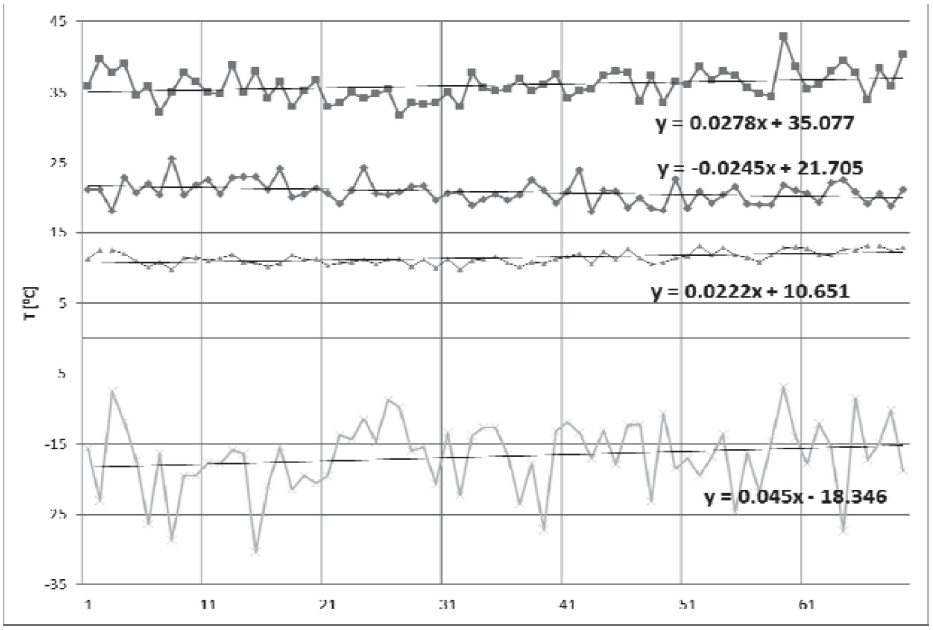
РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА ЛИНЕАРНОГ ТРЕНДА У РАЗМАТРАНИМ ВРЕМЕНСКИМ СЕРИЈАМА

Приказ резултата прорачуна линеарног тренда у свим наведеним карактеристичним серијама режима падавина и температура ваздуха за све ГМС, дат је на јединствен начин – нумерички у табеларном виду и графички у виду хистограма који показује хронологију разматране променљиве дуж целог вишегодишњег периода, као и дефинисан линеарни тренд.

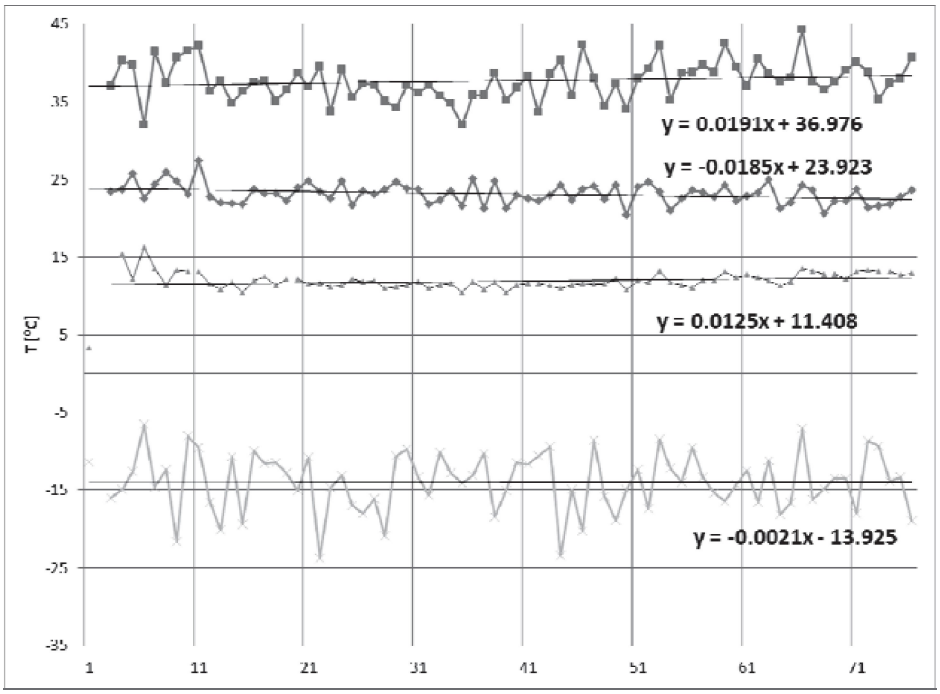
Резултати прорачуна линеарног тренда за изабране карактеристичне временске серије режима температуре ваздуха, апсолутно максималних и минималних, затим средње годишњих, као и максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха, приказани су по главним метеоролошким станицама на истим цртежима на сликама бр. 1/1-3.



Слика 1/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Београд-Врачар



Слика 1/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Зрењанин



Слика 1/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама режима температуре ваздуха на ГМС Ниш

Оцена статистичке значајности дефинисаних линеарних трендова у разматраним серијама режима температуре ваздуха, на свим разматраним метеоролошким станицама, а за различите дужине рачунских периода, дата је нумерички у табели број 1/1-4.

Табела 1/1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама апсолутно максималних температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	T = 0.0055x + 36.3	+	b=0.0055<0.0522	b
	1949-2017	T = 0.0367x + 35.3	+	b=0.0367<0.0989	b
Ниш	1941-2017	T = 0.0191x + 37.0	+	b=0.0191<0.0882	b
	1949-2017	T = 0.0262x + 36.8	+	b=0.0262<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	T = 0.0278x + 35.1	+	b=0.0278<0.0989	b

Табела 1/2. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама апсолутно минималних температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	T = 0.0439x - 15.4	+	b=0.0439<0.0522	b
	1949-2017	T = 0.0491x - 12.7	+	b=0.0491<0.0989	b
Ниш	1941-2017	T = -0.0021x - 13.9	-	b=-0.0021<0.0882	b
	1949-2017	T = 0.0078x - 14.4	+	b=0.0078<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	T = 0.0450x - 18.4	+	b=0.0450<0.0989	b

Табела 1/3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама средње годишњих температура ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	T = 0.0156x + 11.0	+	b=0.0156<0.0522	b
	1949-2017	T = 0.0277x + 11.4	+	b=0.0277<0.0989	b
Ниш	1941-2017	T = 0.0125x + 11.4	+	b=0.0125<0.0882	b
	1949-2017	T = 0.0153x + 11.3	+	b=0.0153<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	T = 0.0222x + 10.7	+	b=0.0222<0.0989	b

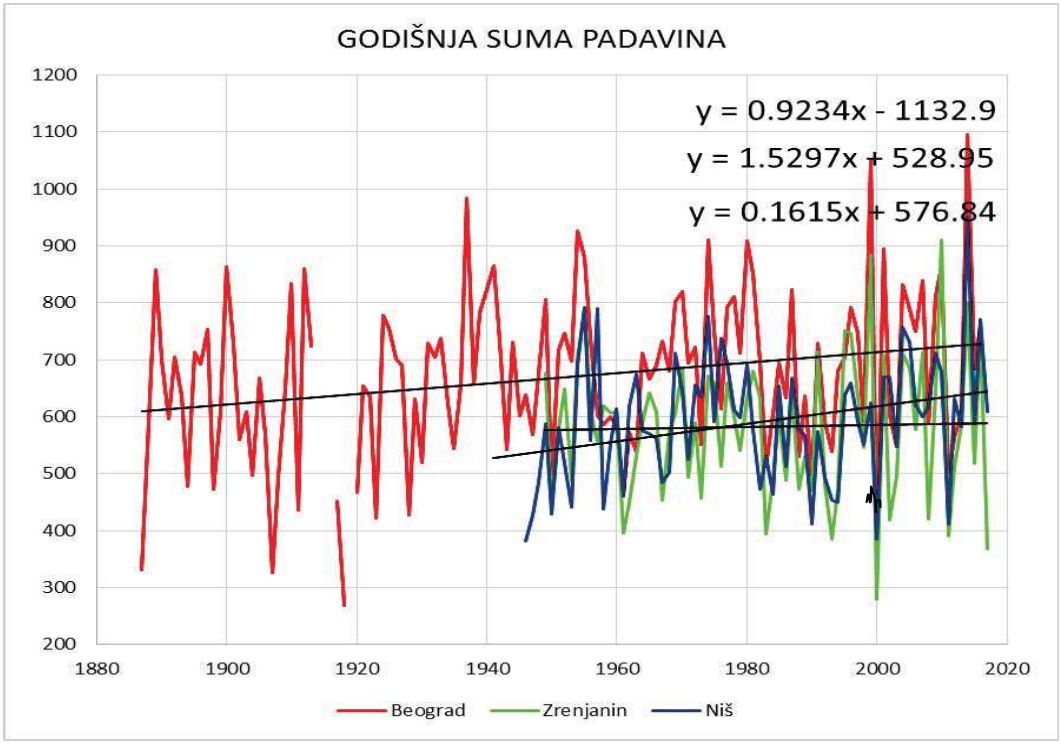
Табела 1/4. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама максималних годишњих разлика између максималне и минималне дневне температуре ваздуха на наведеним ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	T = -0.0316x + 20.9	-	b=0.0316<0.0522	b
	1949-2017	T = -0.0041x + 17.9	-	b=0.0041<0.0989	b
Ниш	1941-2017	T = -0.0185x + 23.9	-	b=0.0185<0.0882	b
	1949-2017	T = -0.0174x + 23.7	-	b=0.0174<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	T = -0.0245x + 21.7	-	b=0.0245<0.0989	b

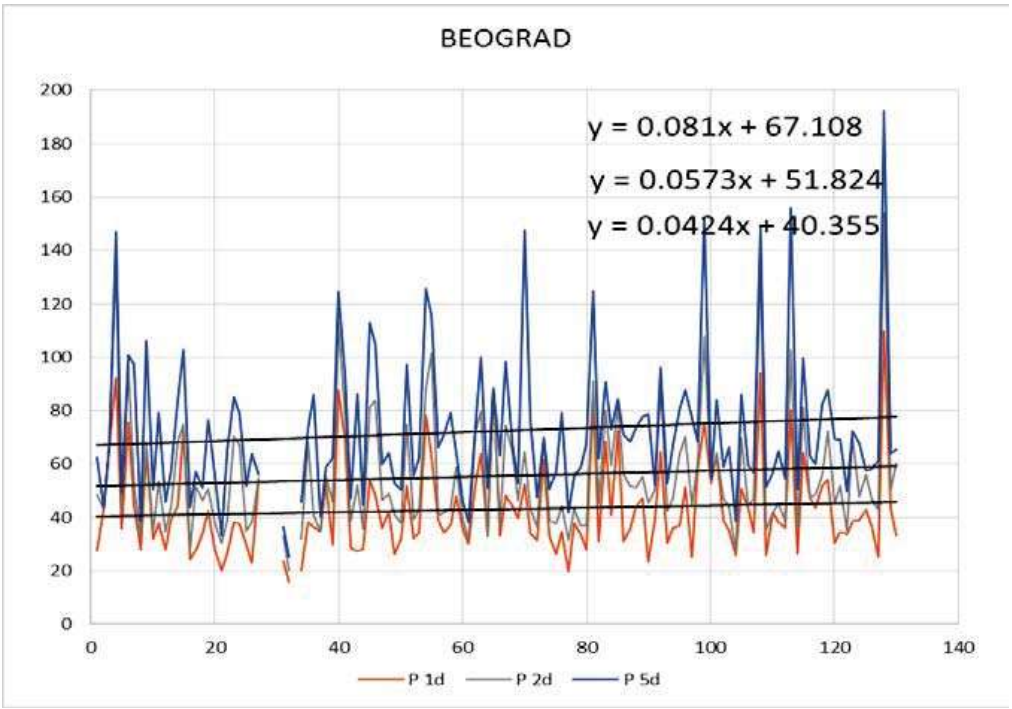
На основу резултата прорачуна линеарног тренда у свим разматраним вишегодишњим серијама режима температуре ваздуха на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, а за све наведене рачунске периоде, је евидентно да су идентификовани трендови статистички безначајни. У свим разматраним серијама апсолутно максималних и средње годишњих температура ваздуха знакови линеарног тренда су позитивни. Слична ситуација је и код серија апсолутно минималних годишњих температура ваздуха где је једино код серије за ГМС Ниш за рачунски период 1941–2017. године знак тренда негативан. Међутим, код свих измерених серија максималних годишњих разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха идентификовани трендови су негативног знак

Разлика између максималних и минималних дневних температура ваздуха се смањује првенствено због израженијег тренда пораста минималних у односу на максималне температуре што је последица урбанизације (више асфалта, повећање саобраћаја, изградња зграда) и стварања топлотног острва.

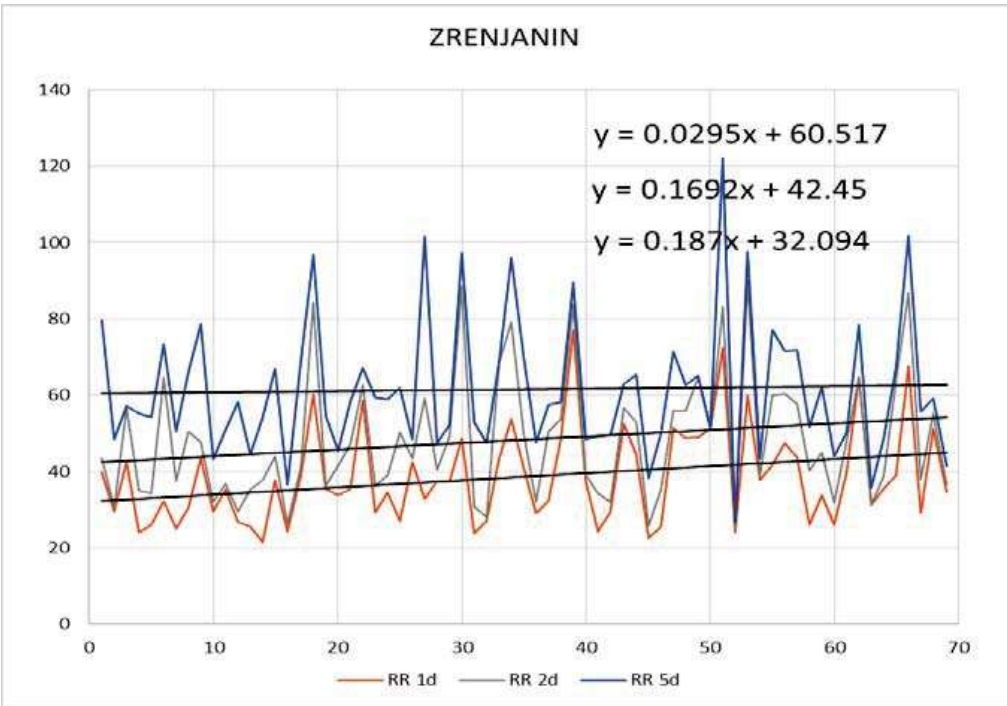
Резултати прорачуна линеарног тренда у одабраним карактеристичним временским серијама режима падавина приказани су на аналоган начин. На слици бр. 2 дати су хронолошки прикази вишегодишњих серија сума годишњих падавина, са приказом линеарних трендова на свим одабраним ГМС. Аналогни прикази за серије максималних дневних, дводневних и петодневних падавина дати су по ГМС на сликама бр. 3/1-3, а за бројеве дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години на слици бр. 4, док су резултати за максимални број дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја дана без падавина у години, приказани су на сликама бр. 5/1-3.



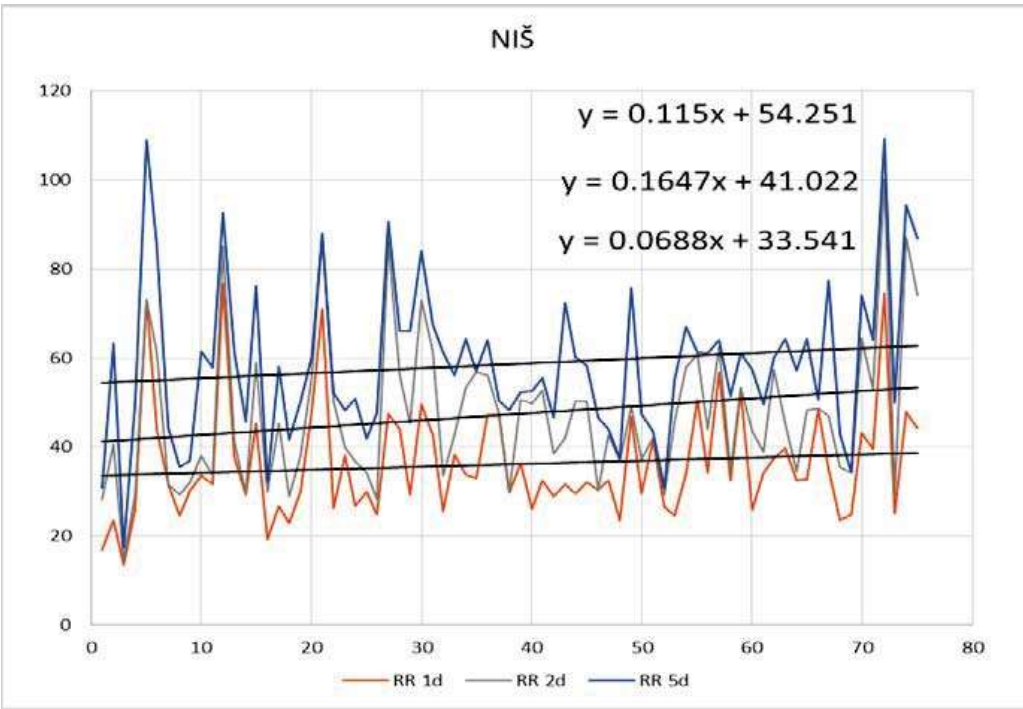
Слика 2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама сума годишњих падавина на ГМС



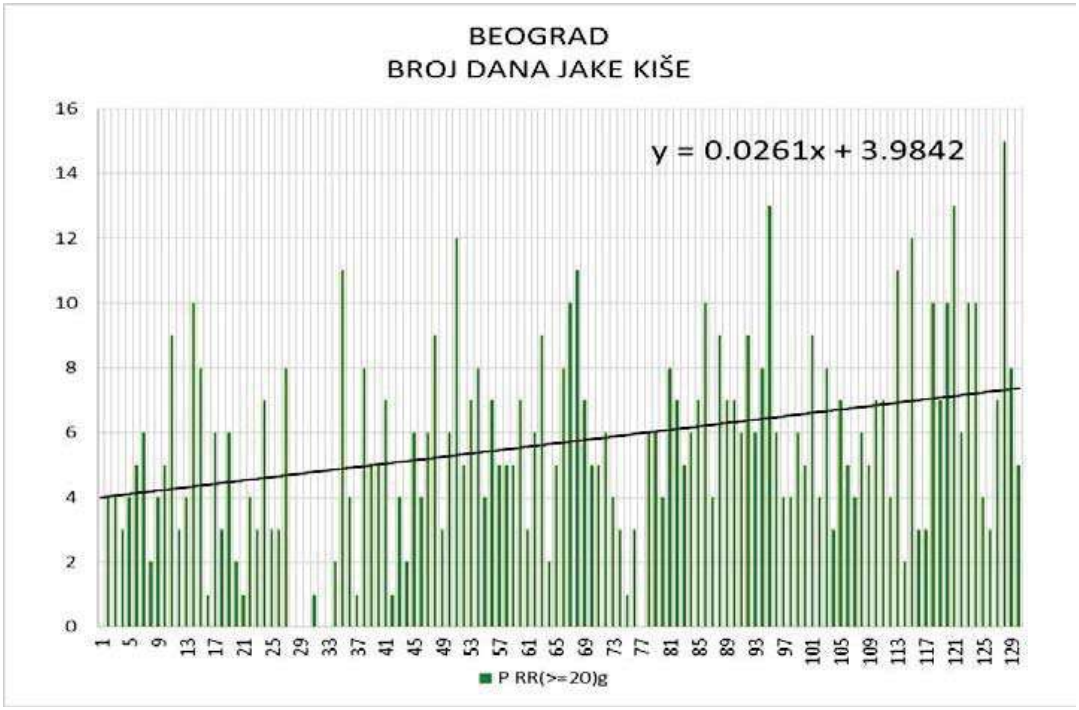
Слика 3/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Београд-Врачар

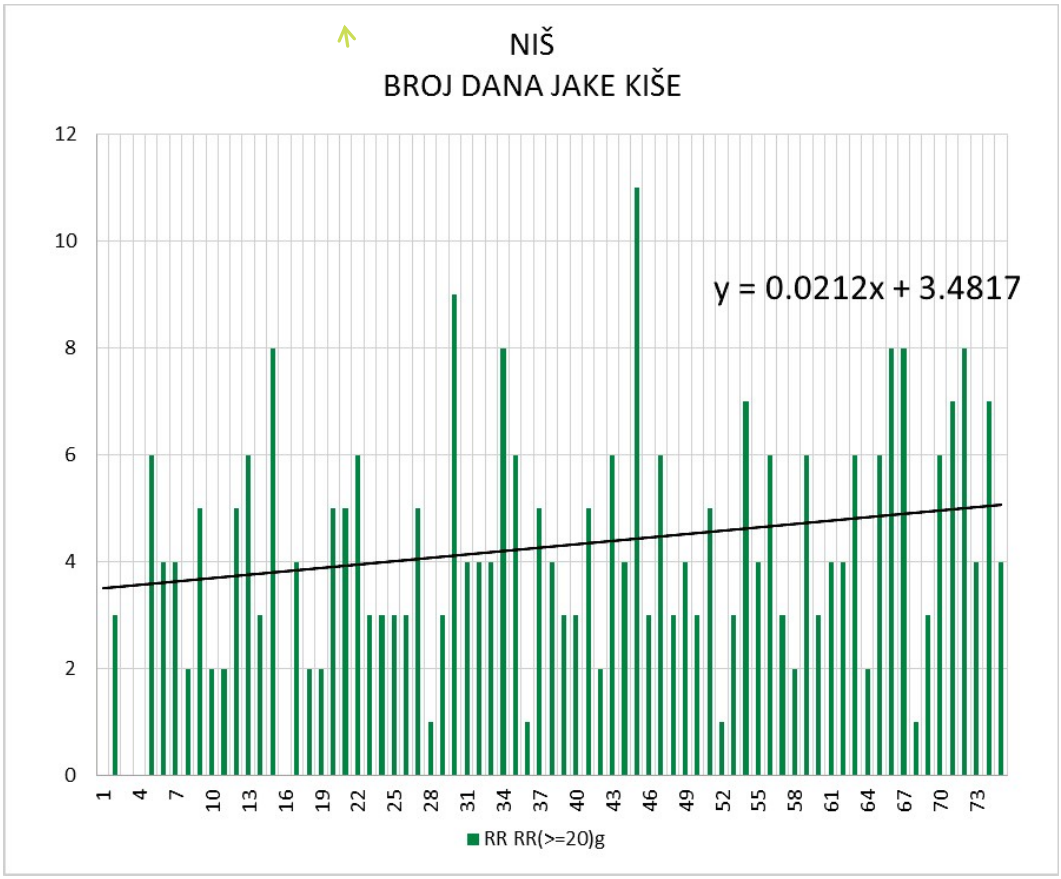


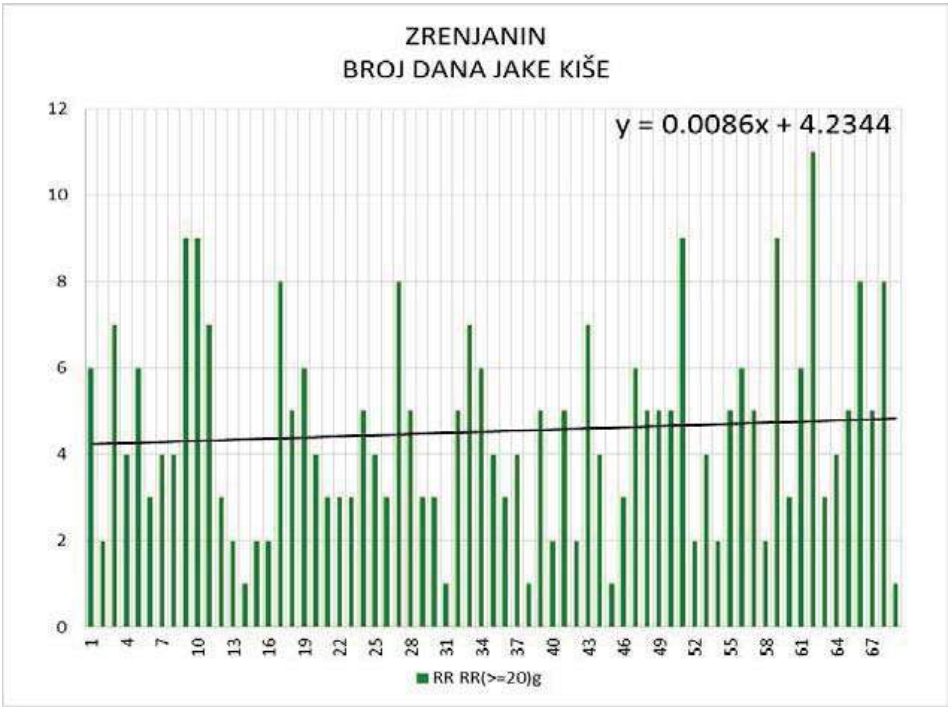
Слика 3/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Зрењанин



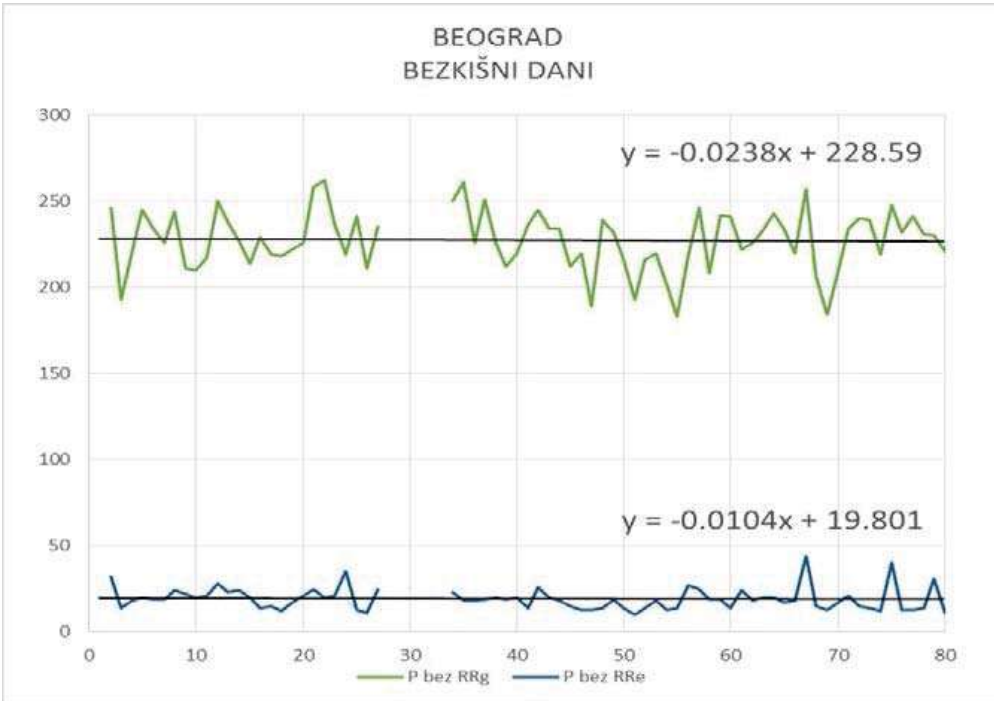
Слика 3/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максималних дневних, дводневних и петодневних сума падавина на ГМС Ниш


BEOGRAD
BROJ DANA JAKE KIŠE
y = 0.0261x + 3.9842
P RR(>=20)g

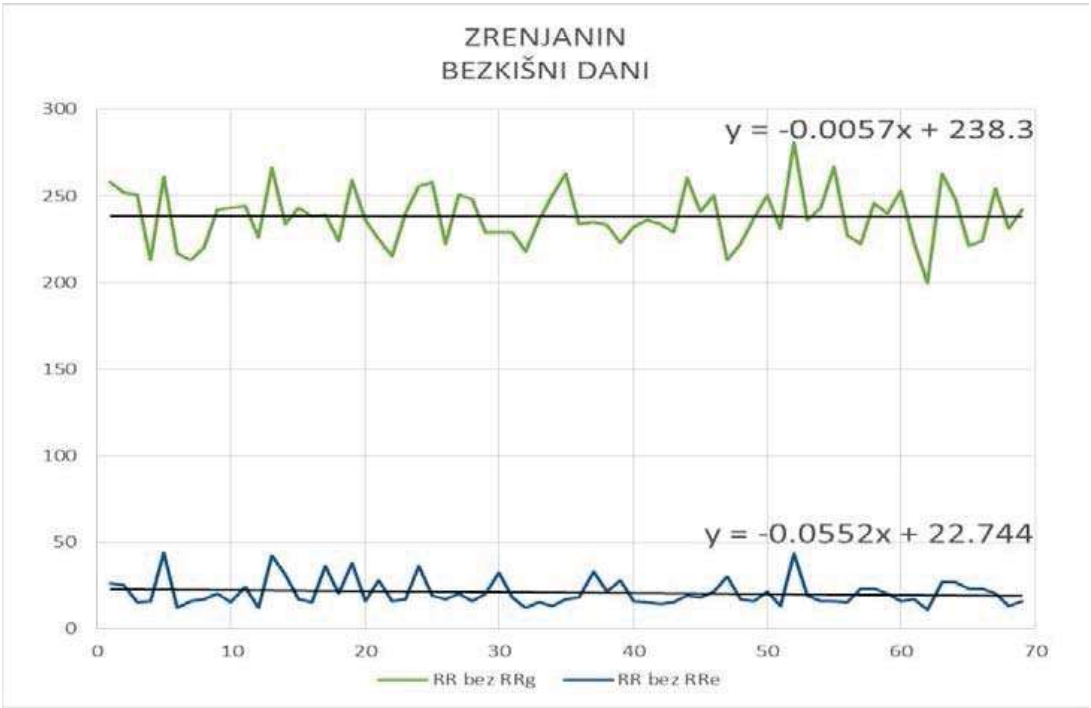

NIŠ
BROJ DANA JAKE KIŠE
y = 0.0212x + 3.4817
RR RR(>=20)g



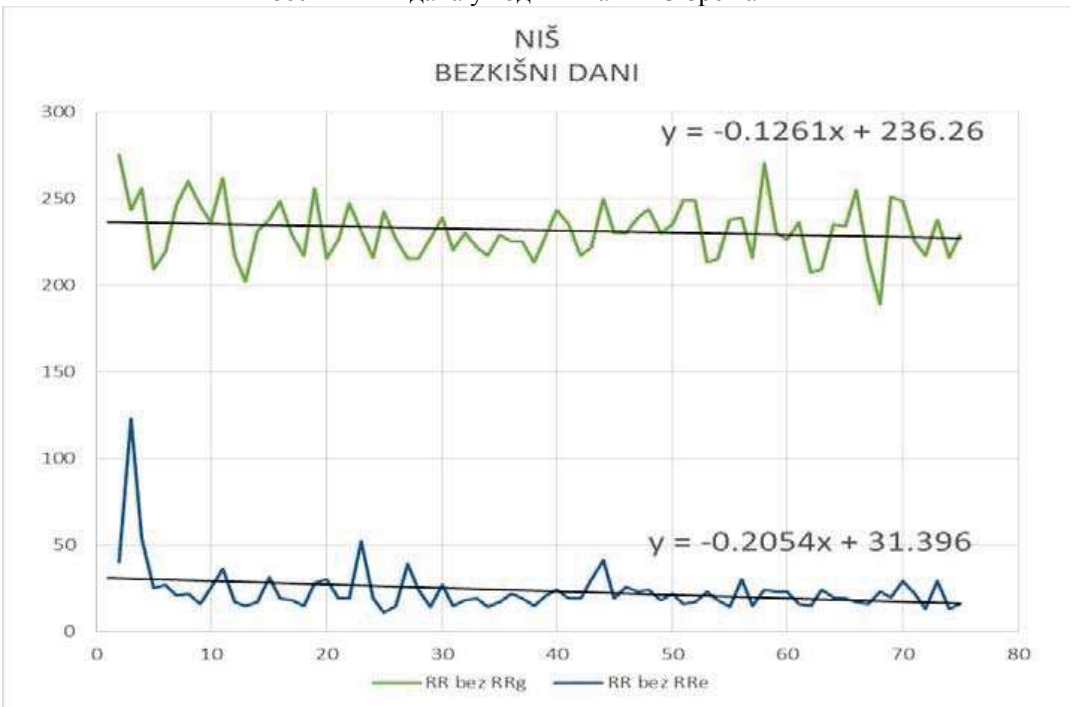
Слика 4. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама број дана са падавинама већим или једнаким 30 мм у години на ГМС



Слика 5/1. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Београд-Врачар



Слика 5/2. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Зрењанин



Слика 5/3. Приказ линеарних трендова у разматраним временским серијама максимални број бескишних дана у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја бескишних дана у години на ГМС Ниш

Аналогно претходном случају, оцена статистичке значајности дефинисаних линеарних трендова у разматраним карактеристичним серијама режима падавина, на свим разматраним метеоролошким станицама за различите дужине рачунских периода, дата је нумерички у табели број 2/1-5.

Табела 2/1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама сума годишњих падавина на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	P = 0.9234x + 608.6	+	b=0.9234>0.0522	z
	1949-2017	P = 0.5319x + 680.1	+	b=0.5319>0.0989	z
Ниш	1941-2017	P = 1.5297x + 528.9	+	b=1.5297>0.0882	z
	1949-2017	P = 0.887x + 567.47	+	b=0.8870>0.0989	z
Зрењанин	1949-2017	P = 0.1615x + 576.84	+	b=0.1615>0.0989	z

Табела 2/2.1. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних дневних сума падавина на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	P = 0.0424x + 40.4	+	b=0.0424<0.0522	b
	1949-2017	P = 0.0232x + 44.1	+	b=0.0232>0.0989	z
Ниш	1941-2017	P = 0.0688x + 33.5	+	b=0.0688>0.0882	z
	1949-2017	P = 0.0559x + 34.5	+	b=0.0559>0.0989	z
Зрењанин	1949-2017	P = 0.1870x + 32.1	+	b=0.1870>0.0989	z

Табела 2/2.2. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних дводневних сума падавина на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	P = 0.0573x + 51.8	+	b=0.0573>0.0522	z
	1949-2017	P = 0.1148x + 53.4	+	b=0.1148>0.0989	z
Ниш	1941-2017	P = 0.1647x + 41.0	+	b=0.1647>0.0882	z
	1949-2017	P = 0.1559x + 42.4	+	b=0.1559>0.0989	z
Зрењанин	1949-2017	P = 0.1692x + 42.4	+	b=0.1692>0.0989	z

Табела 2/2.3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у разматраним временским серијама максималних петодневних сума падавина на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	P = 0.0810x + 67.18	+	b=0.0810>0.0522	z
	1949-2017	P = 0.0542x + 73.46	+	b=0.0542<0.0989	b
Ниш	1941-2017	P = 0.1150x + 54.21	+	b=0.1150>0.0882	z
	1949-2017	P = 0.1450x + 53.5	+	b=0.1450>0.0989	z
Зрењанин	1949-2017	P = 0.0295x + 60.5	+	b=0.0295<0.0989	b

Табела 2/3. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама број дана са падавинама већим или једнаким 20 мм у години на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	y = 0.0261x + 3.9826	+	b=0.0261<0.0522	b
	1949-2017	y = 0.0307x + 5.4118	+	b=0.0307<0.0989	b
Ниш	1941-2017	y = 0.0212x + 3.4817	+	b=0.0212<0.0882	b
	1949-2017	y = 0.0242x + 3.4736	+	b=0.0242<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	y = 0.0086x + 4.2344	+	b=0.0086<0.0989	b

Табела 2/4. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама максимални број дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	Y = -0.0104x + 19.8	-	b=-0.0104<0.0522	b
	1949-2017	Y = -0.0103x + 19.413	-	b=-0.0103<0.0989	b
Ниш	1941-2017	Y = -0.2054x + 31.396	-	b=-0.2054>0.0882	z
	1949-2017	Y = -0.0440x + 22.829	-	b=-0.0440<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	Y = -0.0552x + 22.744	-	b=-0.0552<0.0989	b

Табела 2/5. Оцена статистичке значајности линеарног тренда у серијама укупног броја дана без падавина у години на ГМС

ГМС	*Период обраде*	*Једначина тренда*	*Знак*	$b \geq ili \leq b_{\alpha=0.05}$	*Значајност*
Београд - Врачар	1888-2017	Y = -0.0238x + 228.6	-	b=-0.0238<0.0522	b
	1949-2017	Y = -0.0151x + 227.3	-	b=-0.0151<0.0989	b
Ниш	1941-2017	Y = -0.1261x + 236.3	-	b=-0.1261>0.0882	z
	1949-2017	Y = -0.0894x + 233.9	-	b=-0.0894<0.0989	b
Зрењанин	1949-2017	Y = -0.0057x + 238.3	-	b=-0.0057<0.0989	b

Резултати прорачуна вишегодишњег линеарног тренда у свим разматраним временским серијама режима годишњих сума падавина на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, и за све наведене дужине рачунских периода, су показали да су трендови позитивног знака и статистички значајни. Слична ситуација је и код временских серија максималних дневних сума падавина, с тим што је у једном случају, код серије максималних дневних сума падавина за ГМС Београд-Врачар за најдужи постојећи рачунски период 1888–2017. године, идентификовани линеарни тренд у серији статистички безначајан. Аналогно серијама годишњих сума падавина и код серија максималних дводневних сума падавина је добијено да су у свим разматраним временским серијама на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин, и за све наведене дужине рачунских периода, трендови позитивног знака и статистички значајни. Ситуација код серија максималних петодневних сума падавина је нешто друкчија. У свим разматраним временским серијама на свим ГМС, и за све наведене дужине рачунских периода, трендови су позитивног знака. Код ГМС Ниш идентификовани трендови су статистички значајни за оба рачунска периода, док су код ГМС Београд-Врачар, у једном случају трендови статистички значајни за рачунски перод 1888–2017. године, а у другом периоду статистички безначајни. За ГМС Зрењанин је добијено да је идентификовани линеарни тренд у серији петодневних сума падавина статистички безначајан.

У свим разматраним временским серијама укупног броја дана са падавинама већим од 30 мм у години на ГМС Београд-Врачар, Ниш и Зрењанин и за све наведене дужине рачунских периода, трендови су позитивног знака и статистички значајни. За разлику од њих код временских серија максималног броја дана без падавина у континуитету (максималне епизоде без падавина) и укупног броја дана без падавина у години на свим разматраним ГМС је добијено да су идентификовани линеарни трендови негативног знака. Са гледишта статистичке значајности тренда они су углавном статистички безначајни, са изузетком ГМС Ниш, где је за рачунски период 1941–2017. у оба случаја добијено да су идентификовани линеарни трендови статитички значајни.

ЗАКЉУЧАК

Позитивни трендови температуре и падавина су природна варијација ових метеоролошких параметара. Нажалост, не постоје довољно дугачки низови података у инструменталном периоду којим би се то потврдило, мада најдужи низови 200–300 година са метеоролошких станица у Европи показују да су трендови мањи, а они су у корелацији са подацима из Србије. Што дужи низ података, то су трендови, било позитивни или негативни, мањи. То потврђују и реконструкције података, пре свега температуре. Утврђени позитивни трендови у овој анализи **нису доказ о климатским променама** јер ови параметри имају сталне природне варијације (пораст или пад) истог реда величине у последњих неколико хиљада година утврђене реконструкцијом. Човеков допринос је уочен на микро или мезоразмерном нивоу, пре свега у великим градовима као додатни ефект топлотних острва

ЛИТЕРАТУРА

Вујовић Д, Тодоровић Н, 2008: *The Changes in Extreme Air Temperatures during the period 1887-2007 at Belgrade, Serbia*. Ovidius University Annals, Series: Civil Engineering (2008), 1, No. 10, 119-124, Constantza, Romania.

Прохаска С, 2017: Хидрологија III Део, Стохастичка хидрологија, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Републички хидролметоролошки завод Србије.