

АНАЛИЗА НОВОСАДСКОГ УРБАНОГ ОСТРВА ТОПЛОТЕ¹

URBAN HEAT ISLAND ANALYSIS OF NOVI SAD

Стеван Савић, Марина Митровић**, Лазар Лазић**

Примљено: 09.05.2012. | Прихваћено: 25.09.2012.

РЕЗИМЕ: У овом раду је анализирана појава и интензитет урбаног острва топлоте у Новом Саду. У циљу добијања адекватних резултата коришћене су четири метеоролошке станице које су функционисале у последњих 60 година непрекидно или са повременим прекидима. Вредности средњих, максималних и минималних температура ваздуха упоређиване су између урбаних и руралних средина, односно корелисане су вредности параметара температуре ваздуха измерене на станицама лоцираним у градској зони и руралној зони. На основу оваквог приступа добијене су криве разлика које указују на различит карактер температура ваздуха у урбаној зони, односно постојања урбаног острва топлоте.

Криве разлика дневних средњих, максималних и минималних температура ваздуха за зимски и летњи период показују, у највећој мери, на више вредности на станици Петроварадин (урбана зона) у односу на станицу Римски Шанчеви (рурална зона). Овакве разлике су најинтензивније код минималних температура и крећу се до 2,8°C. На основу овог истраживања, а и ранијих истраживања других аутора, минималне температуре су се показале као адекватан параметар код проучавања урбаног острва топлоте, јер су најсличније ноћним вредностима температуре, када је процес урбаног острва топлоте најинтензивнији.

На основу целокупне анализе, уочено је да урбано острво топлоте постоји у Новом Саду, али да интензитет варира у зависности од периода године, што је највероватније условљено и различитим синоптичким ситуацијама.

Кључне речи: урбано острво топлоте, температура ваздуха, Нови Сад, Србија

¹ Анализе представљају резултат истраживања у оквиру пројекта под бројем 114-451-2446/2012-03 који финансира Секретаријат за науку и технолошки развој Аутономне Покрајине Војводине.

* Др Стеван Савић, доцент, др Лазар Лазић, редовни професор, Центар за климатолошка и хидролошка истраживања, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду; Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад, Србија; www.dgt.uns.ac.rs/page.php?4; e-mail: stevan.savic@dgt.uns.ac.rs

** Завод за урбанизам Војводине, Железничка 6, 21000 Нови Сад, Србија; www.zavurbvo.rs

ABSTRACT: *This study examines the existence and intensity of urban heat island in Novi Sad. In order to get appropriate results, data from four meteorological stations have been used covering the period of the last 60 years. Values of mean, maximum and minimum air temperature were used to compare urban and rural areas. Based on this approach, certain charts have demonstrated that there is a difference regarding temperature in urban areas i.e. the existence of the urban heat island.*

As the results showed, there are increasing trends of mean, maximum and minimum air temperature at Petrovaradin (urban area) and, in most cases, these trends are higher than trends at Rimski Šancevi (rural area). These differences are the most intense at minimum temperatures and range up to 2,8°C. According to these studies and previous researches by other authors, minimum air temperatures are appropriate parameters for studying urban heat island. This occurs due to similarities to those at nocturnal period, when the urban heat island has the maximum intensity.

Based on the overall analysis, the urban heat island has been identified in Novi Sad, but the intensity varies depending on the year period. This is probably caused by the different synoptic situations.

Key words: *urban heat island, air temperature, Novi Sad, Serbia*

УВОД

У другој половини XX века урбанизација је достигла значајне размере на глобалном нивоу. На основу тога, данас је око половине светског становништва под утицајем негативних фактора урбане животне средине, као што су: загађеност, бука, стрес узрокован стилем живота, а такође и модификованим параметрима урбане атмосфере (Unger et al., 2011a).

Најзначајнија одлика урбаних острва топлоте јесте да у градским областима доприносе смањеном хлађењу у касним поподневним и вечерњим сатима, што резултира вишом температуром у граду током ноћи. Наиме, урбана острва топлоте, најинтензивнија у току стабилних синоптичких ситуација са ведрим небом и slabим ветром, рапидно расту по интензитету око и непосредно после заласка сунца, и достижу свој максимум три до пет сати касније. Током ноћи интензитет урбаних острва опада споро, понекад чак незнатно, али се зато брзо нарушава после свитања, док је током обданице интензитет мали и врло често занемарљив.

Основна разлика између градске и околне руралне средине јесте у структури површине тла. Углавном природни предео села, у граду је замењен антропогеним структурама и објектима. Термичке карактеристике материјала од којих су сазидани објекти, топлотни капацитет и топлопроводљивост, као и карактеристике влажности, потпуно се разликују од физичких карактеристика природних објеката околине. Те особине подлоге су, заједно са вештачки изазваном концентрацијом енергетских извора и променом састава атмосфере, основни узрок постанка градске климе, као облика локалне климе, настале под утицајем човека (Попов, 1994; Попов, 1995).

До сада је објављено мало публикација које се баве порблематиком урбаног острва топлоте у Новом Саду. Прва истраживања објавила је Златица Попов (1994; 1995). Допринос анализи климатских прилика урбане зоне Новог Сада дали

су радови објављени у првој деценији XXI века (Lazić et al., 2006; Popov and Savić, 2010). Последње две публикације пружиле су детаљнију слику интензитета урбаног острва топлоте у Новом Саду и дале предлог локација урбаних станица у циљу даљег истраживања овог феномена (Unger et al., 2011a; Unger et al., 2011b; Savić et al., 2012).

Основни задатак овог рада је детектовање температурних разлика између урбане средине и околне руралне средине, коришћењем температурних временских серија између станица лоцираних у градској зони и станица у сеоским срединама. У раду ће бити приказана динамика урбаног острва топлоте у Новом Саду за период друге половине XX и почетак XXI века, на основу података метеоролошких станица у Римским Шанчевима и Петроварадину, као и две аутоматске метеоролошке станице у Петроварадину и Каћу.

ПОЛОЖАЈ, БАЗА ПОДАТАКА И КОРИШЋЕНЕ МЕТОДЕ

Нови Сад је смештен у северном делу Републике Србије (Покрајина Војводина), односно југоисточном делу Панонске низије (45°15'N, 19°50'E) (прилог 1). Подручје на којем се налази град одликује се равничарским рељефом изграђеним од Холоценских седимената, надморске висине од 80 до 86 метара. На основу тога, на климатске прилике нема утицаја орографски ефекат или је он минималан. Река Дунав протиче поред јужног и југоисточног обода урбане зоне и његова ширина варира од 260 до 680 метара. На крајњим јужним деловима урбане зоне (делови насеља Петроварадин и Сремска Каменица) оштро се спуштају северне падине Фрушке горе. Према Кепен-Гајгеровој (Köppen-Geiger) класификацији климата, подручје у околини Новог Сада одликује се климатом Cf (клима високих температура са ретком уједначеном годишњом расподелом падавина) (Kottek et al., 2006).

Нови Сад је други град по величини у Србији, са популацијом од око 320.000 становника (подаци из 2009) и изграђеним подручјем од око 80 km². Одликује се густо изграђеним централним подручјем са мрежом булеvara и улица средње ширине, који повезују различите делове урбане зоне. Подручје центра града и непосредне околине одликује се високим стамбеним зградама (углавном од 4 до 8 спратова) смештеним између зелених појасева и кућама које су изграђене једна до друге, односно без простора између њих. Северни део урбаног подручја одликује се индустријском зоном и објектима који представљају складишта, односно грађевинама која су равне и хоризонтално оријентисане до 10 метара висине. Слободан, односно зелени простор унутар урбане зоне налази се дуж Дунавског кеја, у парковима и градским предграђима (Unger et al., 2011a).

У циљу дефинисања урбаног острва топлоте Новог Сада, коришћене су четири метеоролошке станице. Главна метеоролошка станица Римски Шанчеви (РШ) (у оквиру мреже РХМЗ-а) непрекидно функционише од 1949. године и смештена је у руралном подручју (45°19'N, 19°49'E, 86 m.a.s.l.), односно 1,9 km од северног обода и 7,5 km од центра града. Обична метеоролошка станица у Петроварадину (ПЕТ) (у оквиру мреже РХМЗ-а) функционисала је од 1956. до 1992. године.



Прилог 1. Географски положај Новог Сада

Figure 1. Geographical location of Novi Sad

Извор: Google Earth

Она је била смештена на Петроварадинској тврђави ($45^{\circ}15'N$, $19^{\circ}52'E$, 132 m.a.s.l.) између густо изграђених ниских вишенаменских зграда. Подаци са ових станица преузети су из Метеоролошких годишњака Савезног хидрометеоролошког завода за период 1949-1984, затим Климатолошких годишњака Покрајинског хидрометеоролошког завода за период 1985-1990. и Метеоролошких годишњака Републичког хидрометеоролошког завода за период 1991-2010. године. У анализама су коришћени подаци са две аутоматске метеоролошке станице (у власништву Центра за климатолошка и хидролошка истраживања, УНСПМФ) које су у функцији од 2009. године. Прва (АМСПет1) је постављена на Петроварадинској тврђави ($45^{\circ}15'N$, $19^{\circ}52'E$, 132 m.a.s.l.) (на месту некадашње обичне метеоролошке станице), а друга (АМСКаћ1) је постављена у руралној зони у селу Каћ ($45^{\circ}18'N$, $19^{\circ}56'E$, 86 m.a.s.l.), око 9 km од центра Новог Сада. Програм осматрања на аутоматским станицама подешен је тако да се добијају нови подаци на сваких 15 минута. Креирање и преузимање базе података метеоролошких параметара, добијених са обе аутоматске станице, вршено је помоћу софтверског пакета *Weatherlink*.

Приликом проучавања карактеристика урбаног острва топлоте на подручју Новог Сада за период 1949-2010. године, анализирани су средње (T_{sr}), максималне (T_{max}) и минималне (T_{min}) температуре ваздуха на месечном, сезонском и годишњем нивоу. Истовремено, дефинисана је разлика дневних зимских и летњих температура ваздуха између станица РШ и ПЕТ за период 1965-1992. године. Такође,

коришћени су подаци са обе аутоматске метеоролошке станице у циљу добијања јануарских и јулских крива разлика између урбане и руралне зоне.

У раду су коришћене основне статистичке методе у циљу анализирања података. Проста линеарна регресија је коришћена за добијање трендова временских серија средњих, максималних и минималних годишњих и сезонских температура ваздуха. Мен-Кендал (Mann-Kendall) непараметарски статистички тест (Sneyers, 1990) је коришћен за показивање статистичке значајности трендова. За калкулацију је коришћен софтверски пакет МАКЕСЕНС (MAKESENS), који је развијен од стране Финског метеоролошког института (Salmi et al., 2002). Статистичка значајност је дефинисана на нивоу слободе од 95%.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Годишњи и сезонски трендови температуре ваздуха у Новом Саду

На обе метеоролошке станице (РШ и ПЕТ), годишњи и сезонски трендови различитих параметара температуре ваздуха показују углавном позитивне тенденције кретања у последњих 62, односно 37 година. Највише позитивне тенденције се уочавају у зимским и пролећним периодима за сва три температурна параметра (T_{sp} , T_{max} и T_{min}), док се са друге стране углавном негативни трендови јављају у јесењем делу године. Истовремено, трендови T_{min} имају највише вредности и они се на станици РШ показују као статистички значајни. Већина статистички значајних позитивних трендова на станици РШ највероватније је узрокована порастом температуре ваздуха током последњих двадесет година. Са друге стране, на станици ПЕТ нема статистички значајних трендова, иако су позитивни, што је највероватније последица рада станице до 1992. године, односно не постоје подаци за последњих двадесет година, када је температура достигала највише вредности (табела 1).

Детекција појаве и интензитета урбаног острва топлоте у Новом Саду

На почетку овог поглавља биће представљене криве разлика зимских и летњих дневних температура ваздуха између ПЕТ и РШ за период од 1965. до 1992. године. Резултати би требали да покажу колико су температуре у ПЕТ више, односно ниже од измерених температура на РШ за дато годишње доба.

Одступања средњих дневних температура ваздуха (прилог 2а) су изнад нуле током читавог истраживаног периода. Највећа одступања између две станице забележена су 03.01. и 09.02. ($1,5^{\circ}\text{C}$), а највеће одступање је било 08.12. када је средња дневна температура у Петроварадину била виша за $1,6^{\circ}\text{C}$. У прилогу 2б уочава се у готово читавом периоду да је дневна максимална температура виша у ПЕТ у односу на вредности у РШ. Највиша одступања забележена су 18.12, 27.12, 11.01, 12.01. ($0,9^{\circ}\text{C}$) и 25.12. када је максимална дневна температура у ПЕТ била виша за 1°C . У случају дневних минималних температура (прилог 2в), као и у претходна два случаја, крива разлике је током целог зимског периода изнад нуле. Већа одсту-

Табела 1. Трендови годишњих и сезонских параметара температуре ваздуха на Римским Шанчевима (1949-2010) и Петроварадину (1956-1992)

Table 1. Annual and seasonal air temperature trends in Rimski Šančevi (1949-2010) and Petrovaradin (1956-1992)

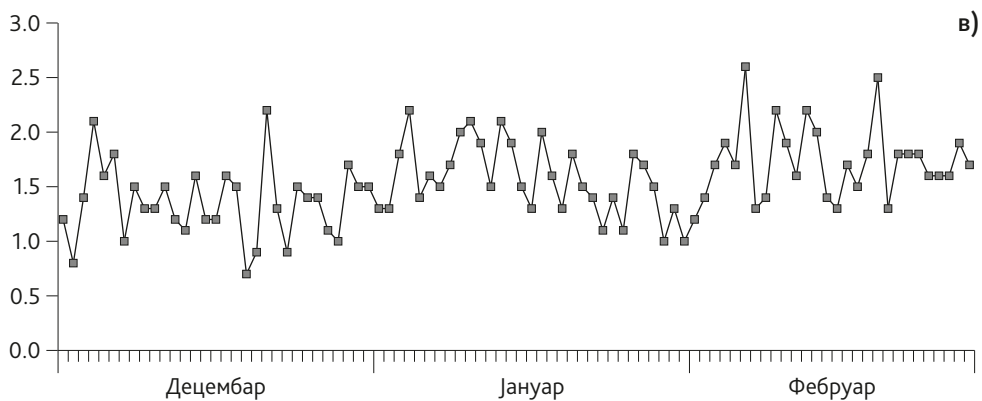
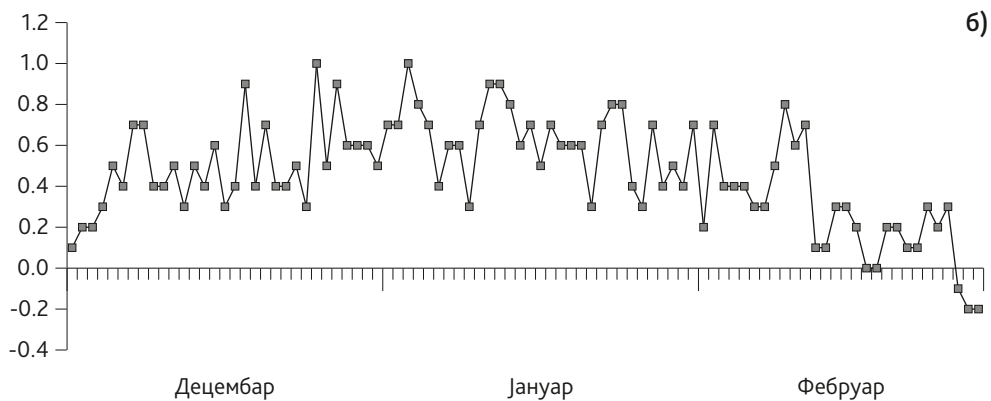
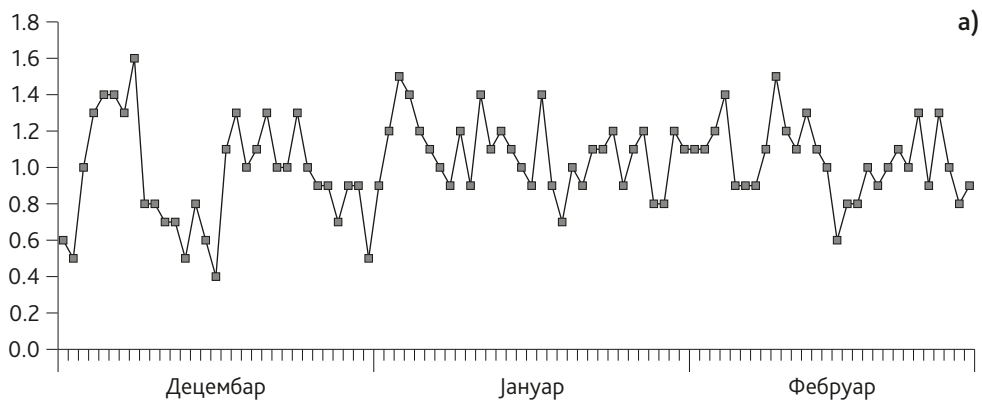
ст.	период	T_{sr}	T_{max}	T_{min}
РШ (°C/62г)	год.	0,9*	0,6	1,3*
	зима	1,3	1,3*	1,7*
	пролеће	1,6*	1,6*	1,7*
	лето	0,8*	0,5	1,4*
	јесен	-0,1	-0,5	0,5
ПЕТ (°C/37г)	год.	0,3	0,4	0,3
	зима	1,0	1,1	1,4
	пролеће	0,8	1,1	0,6
	лето	0,03	-0,004	-0,03
	јесен	-0,8	-0,7	-0,7

* сигнификантност на 95%; * significance 95%

пања измерена су 21.12, 04.01, 09.02. и 12.02. када је температура у ПЕТ била виша за 2,2°C, а 19.02. за 2,5°C. Највећа разлика била је 06.02. када је дневна минимална температура у ПЕТ била виша за 2,6°C. На основу анализа разлика параметара зимских температура ваздуха између урбане и руралне зоне, може се констатовати постојање урбаног острва топлоте. У периоду од 1966. до 1992. године, разлике у температурама су се кретале до 2,6°C.

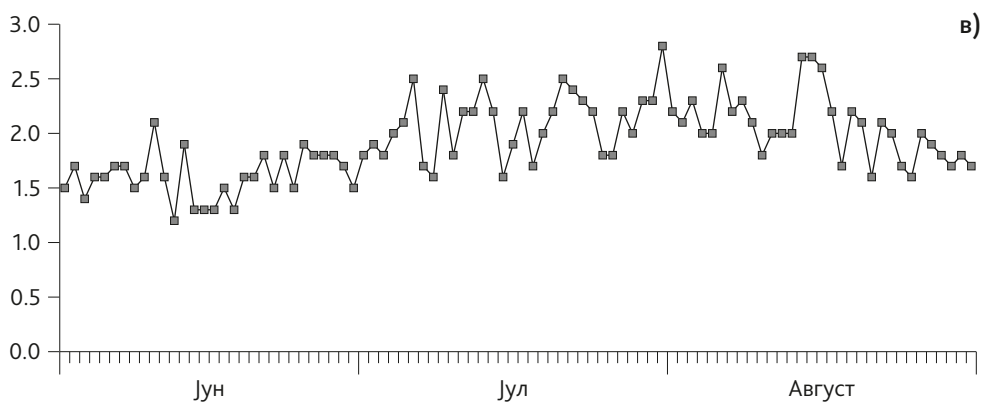
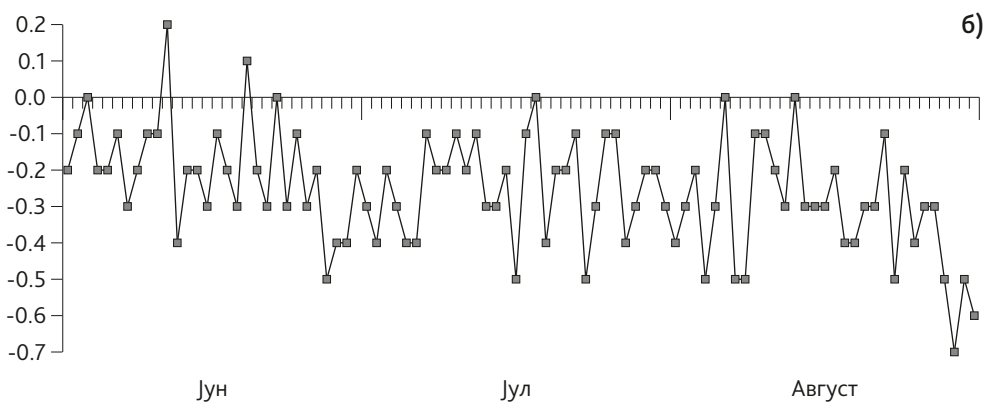
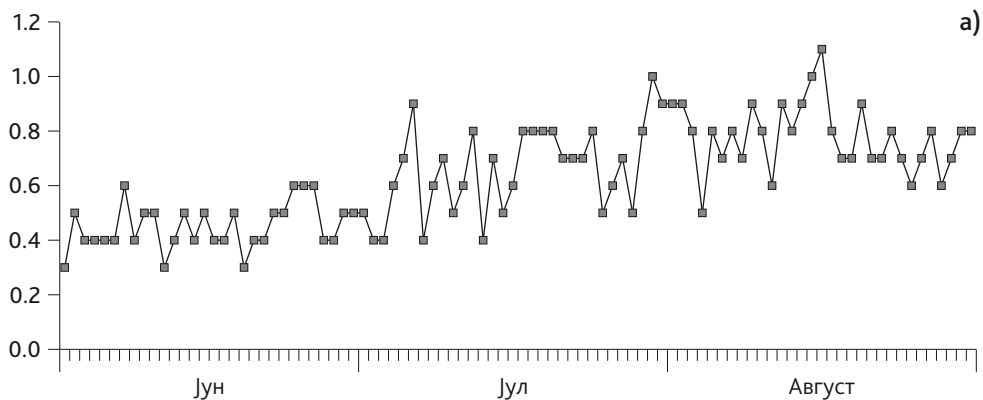
Анализа криве разлика средњих дневних температура ваздуха за летњи период од 1965. до 1992. године, показује позитивне вредности током читавог испитиваног периода, односно измерене температуре су више у ПЕТ у односу на РШ (прилог 3а). Већа одступања уочена су 30.07. и 15.08. (1,0°C), а највећа разлика је била 18.08. када је средња дневна температура у ПЕТ била виша за 1,1°C. Прилог 3б показује криву разлика дневних максималних температура ваздуха, у којем су у већем делу периода вредности ниже од 0°C, односно забележене су више температуре у РШ. Веће разлике уочене су 27.06, 16.07, 23.07, 04.08, 08.08, 23.08. и 28.08. када је вредности износила -0,5°C, а највећа негативна разлика била је 29.08. када је температура у РШ била виша за 0,7°C. Крива разлика дневних минималних температура ваздуха (прилог 3в) показује позитивне вредности током читавог летњег периода. Веће разлике измерене су 06.08. и 16.08. када је температура у ПЕТ била виша за 2,6°C, као и 14. и 15. августа (за 2,7°C). Највећа разлика била је 31.07. када је дневна минимална температура у ПЕТ била виша за 2,8°C.

У наставку поглавља коришћени су подаци са две аутоматске метеоролошке станице смештене у Петроварадину (АМСПет1) и Каћу (АМСКаћ1). Криве са ових станица упоређене су са вредностима измереним на станици у РШ (прилог 4). Неопходно је напоменути да метеоролошки подаци температура ваздуха нису добијени коришћењем идентичних стандарда осматрања. На основу тога, у климатолошким истраживањима није пракса да се такве криве међусобно упоређују.



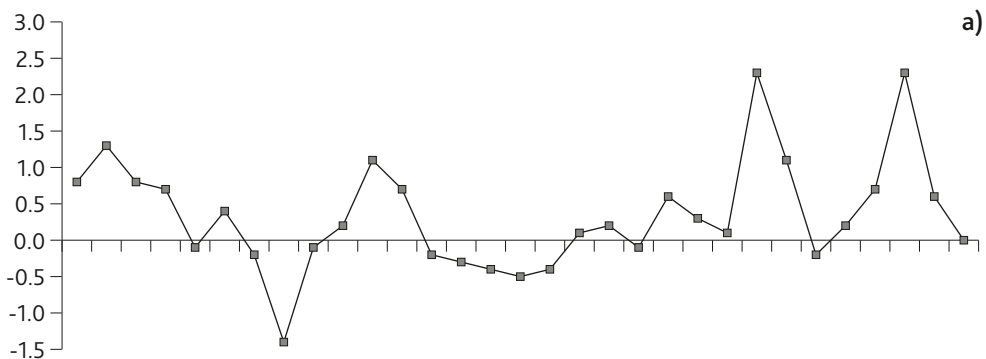
Прилог 2. Криве разлика (Петроварадин – Римски Шанчеви) параметера дневних температура ваздуха за зимски период од 1966. до 1992. године; а) средње дневне; б) дневне максималне; в) дневне минималне

Figure 2. Winter daily air temperature parameters differences (Petrovaradin – Rimski Šančevi) for the period 1966-1992; а) daily mean; б) daily maximum; в) daily minimum

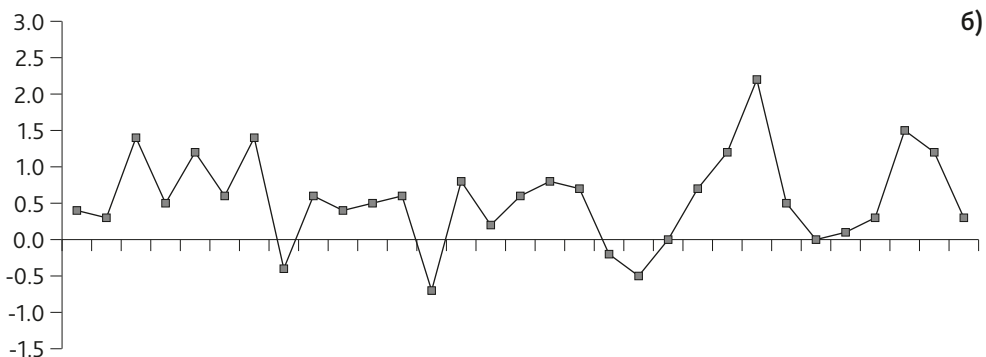


Прилог 3. Криве разлика (Петроварадин – Римски Шанчеви) параметера дневних температура ваздуха за летњи период од 1965. до 1992. године;
 а) средње дневне; б) дневне максималне; в) дневне минималне

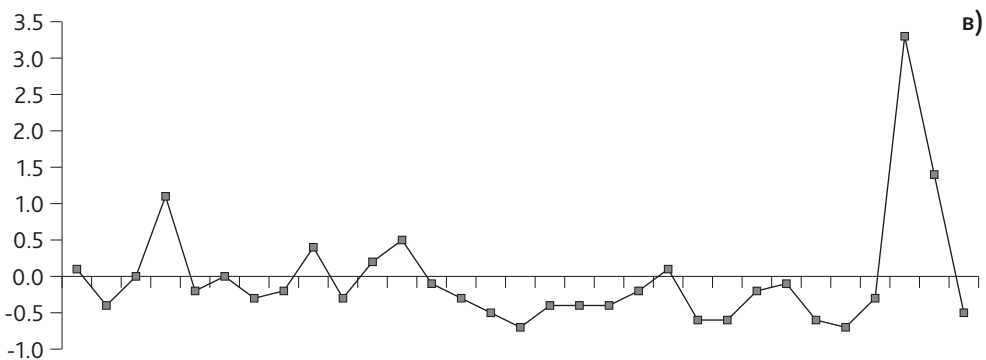
Figure 3. Summer daily air temperature parameters differences (Petrovaradin – Rimski Šančevi) for the period 1965-1992; а) daily mean; б) daily maximum; в) daily minimum



Јануар 2010.



Јул 2010.



Јануар 2010.

Прилог 4. Криве разлика средњих дневних температура ваздуха;
 а) АМСПет1-РШ, јануар 2010; б) АМСПет1-РШ, јул 2010;
 в) АМСПет1-АМСКаћ1, јануар 2010

Figure 4. Differences between daily mean air temperature;
 а) AMSPet1-RŠ, January 2010; б) AMSPet1-RŠ, July 2010; в) AMSPet1-AMSKaћ1, January 2010

Међутим, постојећи услови (мрежа станица, типови станица, дужина низова на постојећим станицама и др.) не омогућавају квалитетнију и поузданију анализу урбаног топлотног острва. Због тога, резултате разлика између аутоматских станица и станице РШ треба узети са резервом, иако ови прилози могу (и поред наведених методолошких недостатака), пружити генералну слику разлика у температурама између руралне и урбане зоне.

Добијени резултати указују на постојање урбаног острва топлоте у Новом Саду. У прилогу 4 уочавају се разлике средњих дневних температура које се крећу до 3°C. За нијансу више разлике, односно више температуре ваздуха у урбаној зони, бележе се у јануару, односно зимском периоду године.

На постојање овог процеса нарочито указују дневне минималне температуре, где су разлике између урбане и руралне станице највеће. Дневне минималне температуре представљају адекватан параметер за проучавање урбаног острва топлоте, с обзиром на то да су најсличније вредностима ноћних температура, када је интензитет урбане климе највећи. Сличне резултате су добили Унгер и сар. (Unger et al., 2011a; Unger et al., 2011b), који су поредили вредност средње температуре добијену коришћењем статистичког модела (Balázs et al., 2009), која је код Петроварадина била за 1,66°C виша у односу на руралну средину, а просечна разлика измерене минималне температуре између Петроварадина и Римских Шанчева је за исти период износила 1,8°C. Неопходно је напоменути да постоје потенцијални модификатори који би могли утицати на разлику у температурама између станица у руралној зони и станице на Петроварадину, као што су разлика у надморској висини или утицај реке Дунав. Међутим, уколико постоје одређени модификаторски утицаји, већа је вероватноћа да су то утицаји Дунава, у односу на разлику у надморској висини, која је мања од 50 метара (Lazić et al., 2006).

ЗАКЉУЧАК

На основу анализа и резултата добијених у овом раду могу се извести следећи закључци:

- Трендови параметара температуре ваздуха за станице на простору Новог Сада, у последњих 60 година, показују позитивне вредности, што свакако указује на генерални пораст температуре ваздуха, нарочито током последњих двадесет година. Овај ефекат може представљати један од фактора који доприносе повећању интензитета појаве урбаног острва топлоте у урбаним срединама, па самим тим и у Новом Саду.
- Анализа разлика дневних средњих, максималних и минималних температура између станица Петроварадин (урбана зона) и Римских Шанчева (рурална зона) указују на позитивна одступања, односно на више температуре у урбаној зони. Оваква тенденција је нарочито изражена код минималних температура.
- Разлике дневних минималних температура између урбане и руралне зоне се у зимским месецима креће до 2,6°C, а током летњег периода до 2,8°C. Дне-

вне минималне температуре су најадекватнији параметар за анализу урбаног острва топлоте, с обзиром на то да су најсличније просечној ноћној температури, када је процес урбане климе најинтензивнији.

- У овом раду је дефинисано постојање урбаног острва топлоте у Новом Саду, коришћењем података четири станице са повременим или сталним функционисањем. У циљу детаљније анализе интензитета урбаног острва топлоте и његове осцилације током године, неопходно је формирање мреже урбаних станица и дефинисање њихових, што је и започето у последњим објављеним публикацијама.

ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ

- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J., Szegedi, S. (2009): Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. *Meteorological Applications*, 16, pp. 275-287.
- Kotttek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, pp. 259-263.
- Lazić, L., Savić, S., Tomić, Ž. (2006): Analysis of the temperature characteristics and trends in Novi Sad area (Vojvodina, Serbia). *Geographica Pannonica*, 10, pp.14-21.
- Попов, З. (1994): *Урбана клима, методе, мерења и истраживања*. РХМЗ. Метеоролошка опсерваторија „Нови Сад” Београд, 37 стр.
- Попов, З. (1995): *Предлози за постављање фиксне мреже за праћење урбане климе Новог Сада*. РХМЗ. Метеоролошка опсерваторија „Нови Сад” Београд, 35 стр.
- Popov, Z., Savić, S. (2010): *The urban climate of Novi Sad*. Други Конгрес географа Србије, Српско географско друштво-Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, 10 i 11 decembar 2010, Novi Sad, Knjiga apstrakata, 62.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002): *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – The excel template application MAKESENS*. Finnish Meteorological Institut, Helsinki, 35 pp.
- Savić, S., Unger, J., Gál, T., Milošević, D., Popov, Z. (2012): Urban heat island research of Novi Sad (Serbia). *A review. Geographical Research and Cross-border Cooperation within the Lower Basin of the Danube*, Hungary, Eger 20-23.09.2012, Abstract book, 7.
- Sneyers, R. (1990): *On the statistical analysis of series of observations*. WMO, *Technical Note (143)*, Geneve, World Meteorological Organization, 192 pp.
- Unger, J., Savić, S., Gál, T. (2011a): Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network. *Advances in Meteorology*, vol. 2011, Article ID 398613, 9 pages, doi:10.1155/2011/398613.
- Unger J., Savić, S., Gál, T. (2011b): Method for representative siting of urban climate station network – Novi Sad (Serbia) as an example. *Climate and Constructions - International Conference*, October 24-25, 2011, Karlsruhe, Germany: 351-358.