

911.2:551.58 (497.11)

АНАЛИЗА ТОПЛОТНИХ ТАЛАСА ПОМОЋУ КЛИМАТСКОГ ИНДЕКСА У БЕОГРАДУ И НИШУ

Валентина Дрљача*, Ивана Тошић**, Мирослава Ункашевић**

* Републички хидрометеоролошки завод Србије

** Физички факултет Универзитета у Београду

Извод: У овом раду је извршена анализа топлотних таласа помоћу климатског индекса трајања топлотног таласа - Heat Wave Duration Index (HWDI), за Београд и Ниш. На основу дневних максималних вредности температуре ваздуха, одређена је дужина и јачина топлотних таласа. Анализе су урађене за зимску (децембар, јануар и фебруар) и за летњу сезону (јун, јул и август).

У Нишу је због израженије континенталности забележен већи број топлотних таласа (и зими и лети) у односу на Београду. Од средине 80-тих година топлотни таласи имају већу честину, јављају се у просеку сваке године (или се чак годишње јави и више од једног топлотног таласа), док су се пре 80-тих топлотни таласи просечно јављали једном у две године (Ниш лети), или чак једном у три године (Београд лети).

Кључне речи: топлотни таласи, климатски индекс трајања топлотног таласа

Увод

Климатске промене о којима се данас много говори, означавају пре свега негативне последице на чиниоце климатског система. Климатским променама, услед антропогених фактора, је највише угрожена атмосфера јер јој се састав мења због неконтролисаног сагоревања фосилних горива. Повећани ефекат „стаклене баште“ довео је до пораста средње глобалне температуре ваздуха од 0,3 °C до 0,6 °C у односу на преиндустријски период (IPCC, 2001). Пораст температуре узрокује топљење леденог покривача и доводи до пораста нивоа мора, док на копну долази до померања граница температурног и падавинског режима.

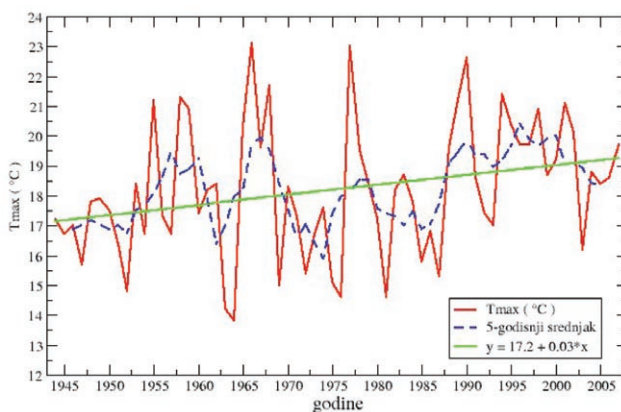
Кључни аспект климатских промена су екстремни климатски догађаји, као што су дужи периоди високих температура, зато што су екосистем и друштво најосетљивији на њих. Екстремни климатски услови утичу на живот људи и животиња, пољопривредну производњу и пренос енергије итд. Стога су периоди са екстремном температуром често проучавани (Rooney i sar., 1998; Colombo i sar., 1999; Kyselý, 2002; Beniston, Stephenson, 2004; Unkašević, Tošić, 2008). Препорука Светске метеоролошке организације (WMO – World Me-

teorological Organization) CCI/CLIVAR Радне групе за детекцију климатских промена су климатски индекси екстремних климатских догађаја који се могу применити у разним климатским регионима (Đorđević, 2006). Један од тих климатских индекса јесте и климатски индекс трајања топлотног таласа (HWDI) који је коришћен у овом раду.

Метод рада и резултати

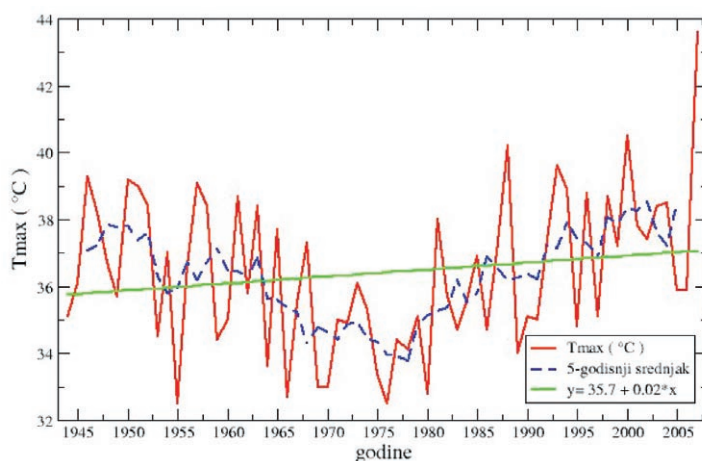
У овом раду је извршена анализа топлотних таласа у Београду и Нишу помоћу климатског индекса трајања топлотног таласа (HWDI). Овај индекс се дефинише као период дужи од пет узастопних дана са вредностима максималне дневне температуре ваздуха ($T_{\max}$) вишом за 5°C од средње $T_{\max}$ за период 1961-1990. Анализе су вршене за зимску (децембар, јануар и фебруар) и летњу (јун, јул и август) сезону.

За статистичку обраду су коришћене максималне дневне вредности температуре ваздуха са две Главне метеоролошке станице: Београд (надморска висина – 132 m, географска ширина $44^{\circ} 48' \text{N}$, географска дужина $20^{\circ} 28' \text{E}$) и Ниш (201 m, $43^{\circ} 20' \text{N}$, $21^{\circ} 54' \text{E}$), које репрезентују две области различите континенталности климе.



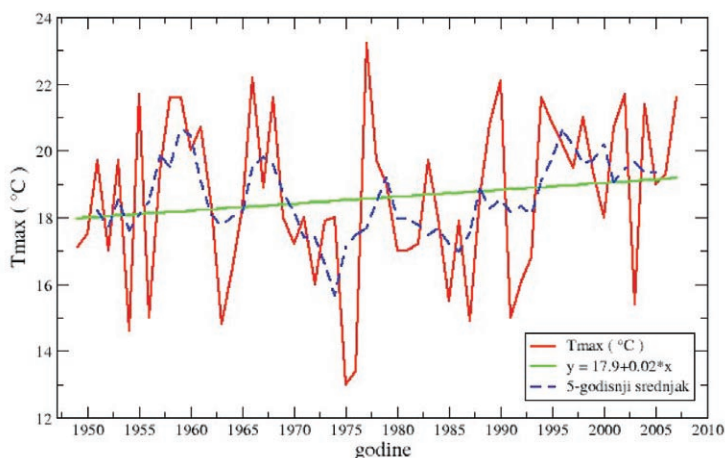
Слика 1. Апсолутне максималне годишње температуре ваздуха за Београд (зима), период 1943 - 2007. год.

Клима у Београду и Нишу је континентална (већа годишња амплитуда температуре у односу на маритимни тип, већа количина падавина лети него зими). Град Ниш је лоциран 240 km југоисточно од Београда. Анализа је вршена користећи податке од 01.12.1943. год. до 31.08.2007. год. за Београд, а за Ниш од 01.12.1948. год. до 31.08.2007. год.

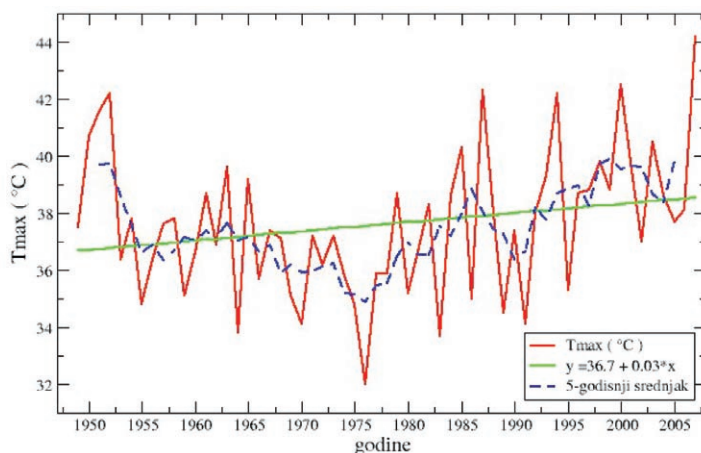


Слика 2. Апсолутне максималне годишње температуре ваздуха за Београд (лето), период 1944 - 2007. год.

Годишње максималне температуре ваздуха за Београд и Ниш, за зимску и летњу сезону су приказане на сл. 1, 2, 3 и 4. На сл. 1. пуном линијом су приказане годишње максималне температуре ваздуха за Београд, за зимску сезону, испрекиданом линијом је приказан клизна средња вредност годишњих вредности Tmax за 5 узастопних година и правом линијом је приказан тренд годишњих максималних температура ваздуха (та линија је добијена методом најмањих квадрата). Исте ознаке важе и за сл. 2, 3 и 4.



Слика 3. Апсолутне максималне годишње температуре ваздуха за Ниш (зима), период 1948 - 2007. год.



Слика 4. Апсолутне максималне годишње тампературе ваздуха за Ниш (лето), период 1949 - 2007. год.

У Београду и у Нишу лети, тренд је опадајући до средине 70-тих година, а затим се бележи позитиван тренд који се одржава до краја испитиваног периода. Тренд сезонских годишњих максималних температура ваздуха (права линија) је позитиван на сва четири графика, односно постоји тенденција да сезонске годишње максималне температуре ваздуха буду у даљем порасту.

У сврху одређивања топлотних таласа за сваку годину понаособ, прво је одређена средња вредност Tmax (посебно за зимску и летњу сезону) за период 1961-1990.¹ год. Затим су одређивани периоди дужи од пет узастопних дана када је вредност Tmax била за 5 °C виша од средње вредности Tmax за период 1961-1990. год. Добијене средње вредности Tmax за период 1961-1990. год. су:

- Београд (зимска сезона 5,1 °C и летња сезона 26,6 °C),
- Ниш (зимска сезона 5,4 °C и летња сезона 27,5 °C).

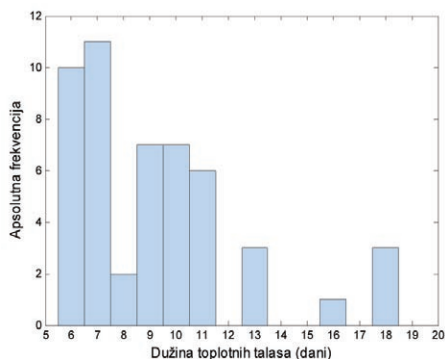
Када се на те средње вредности дода 5 °C добија се специфични праг :

- Београд (зимска сезона – tzB = 10,1 °C и летња сезона – tlB = 31,6 °C)
- Ниш (зимска сезона – tzN = 10,4 °C и летња сезона – tlN = 32,5 °C).

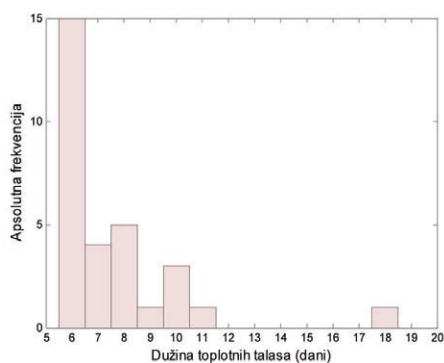
Поред дужине, одређена је и јачина топлотних таласа ($\Sigma \Delta T_{max}$), односно сабрана

⁴ Технички правилник Светске метеоролошке организације дефинише климатолошке стандардне нормалне вредности као средње вредности климатолошких података израчунатих за узастопне периоде од 30 година. Период 1961-1990. год. је период последње стандардне климатолошке нормале.

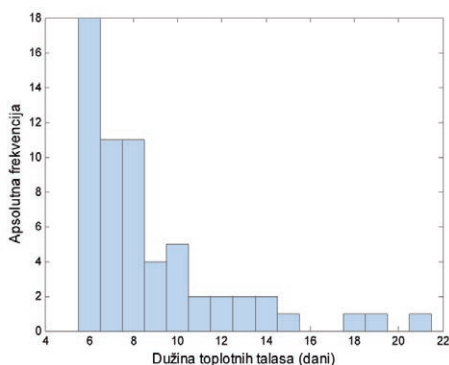
су одступања вредности $T_{\max}$ (за дане који припадају том топлотном таласу) од вредности специфичног прага за одговарајућу сезону (tzB , tIB , tzN и tIN).



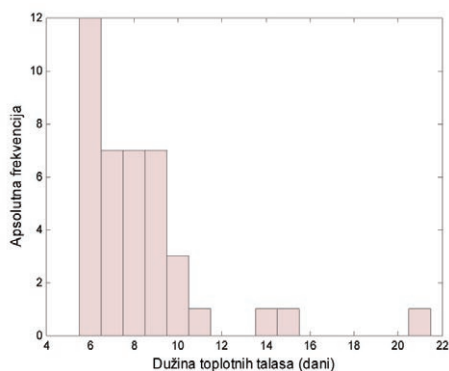
Слика 5. Апсолутна фреквенција топлотних таласа у Београду - зима, за период 1943 - 2007. год.



Слика 6. Апсолутна фреквенција топлотних таласа у Београду - лето, за период 1944 - 2007. год.



Слика 7. Апсолутна фреквенција топлотних таласа у Нишу - зима, за период 1948 - 2007. год.

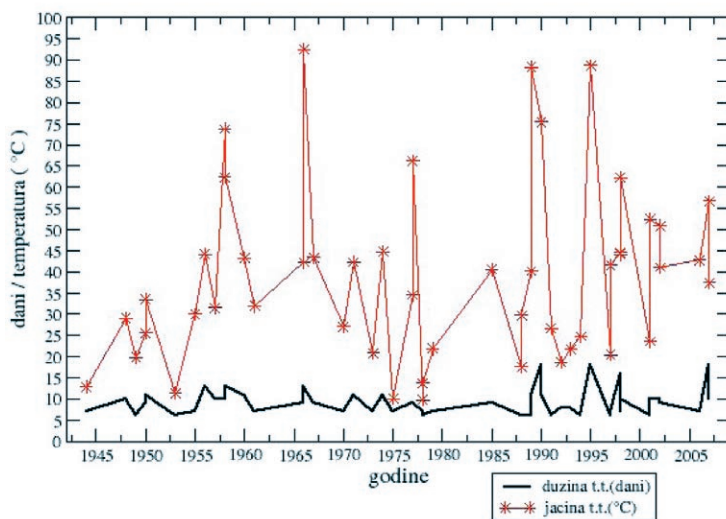


Слика 8. Апсолутна фреквенција топлотних таласа у Нишу - лето, за период 1949 - 2007. год

На сликама 5, 6, 7 и 8 су приказане апсолутне фреквенције топлотних таласа у Београду и Нишу, за зимску и летњу сезону. Са њих видимо да највећу фреквенцију имају најкраћи таласи, односно они који су трајали 6 дана, а што су таласи дужи они имају мању фреквенцију, односно мањи број пута су се јавили. Такође, ако упоредимо зимску и летњу сезону видимо да је за Београд и за Ниш карактеристично то да је више топлотних таласа осматрено зими него лети.

Графички приказ топлотних таласа у Београду и Нишу, по годинама је представљен на сликама 9, 10, 11 и 12. Са тих графика добија се увид о дужини (пуна линија – дани) и јачини (линија са звездицама – °C) топлотних таласа.

На х-оси су представљене године, а у-оса истовремено представља дане и температуру у °C.

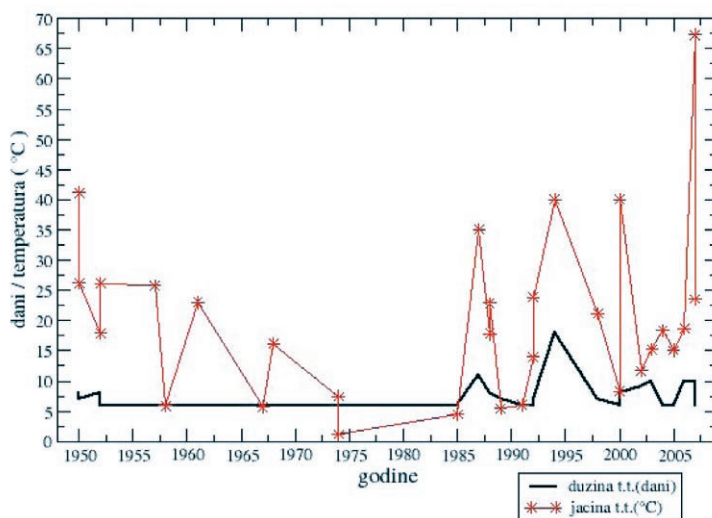


Слика 9. Приказ дужине и јачине топлотних таласа у Београду за зимску сезону, за период 1943 - 2007. год.

На сл. 9 и 10 су приказани топлотни таласи у Београду за зимску и летњу сезону. У Београду (таб. 1а), зими се могу уочити чак три топлотна таласа који су трајали 18 дана (1990. год., 1995. год. и 2007. год.). Затим имамо један топлотни талас од 16 дана (1998. год.) и три топлотна таласа од 13 дана (1956. год., 1958. год. и 1966. год.). Најјачи талас није и најдужи. То је талас који је трајао 13 дана и његова јачина је 92,5 °C (1966. год.).

Битно је рећи да укупан број осматраних таласа није равномерно распоређен по годинама. У периоду 01.12.1943. – 28.02.1985. (42 год.– 42 зимске сезоне) забележено је 27 топлотних таласа, а само у последњих 22 године (01.12.1985. – 28.02.2007.) је забележено скоро исто толико, тј. 23 топлотна таласа.

У Београду, лети су се од 1952. год. до 1985. год. јављали само најкраћи таласи тј. они од шест дана (и њихове јачине су ка средини 70-тих година опадале), а након тога таласи су све дужи и 1994. год. забележен је талас од 18 дана (таб. 1б). Јачина тог таласа, као и у зимској сезони, није максимална,



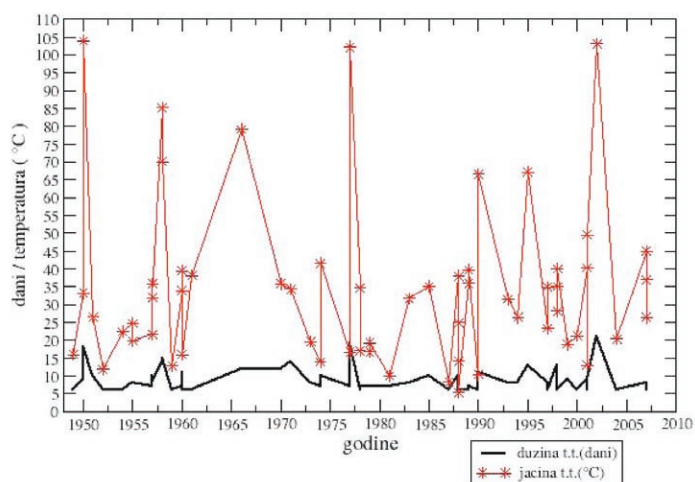
Слика 10. Приказ дужине и јачине топлотних таласа у Београду за летњу сезону, за период 1944 - 2007. год.

износи свега 40,0 °C. Максималну јачину забележио је топлотни талас 2007. год. који је трајао свега 10 дана (15.07.–24.07.) и његова јачина је била 67,3 °C.

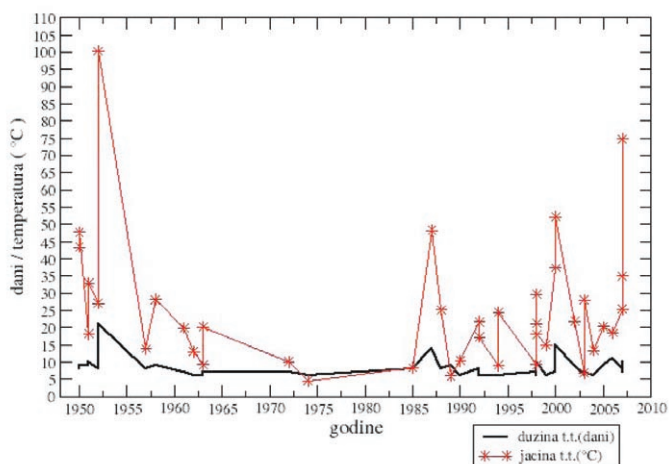
Те године, 24.07. у Смедеревској Паланци, измерена је највиша температура од кад постоје мерења у Србији. Измерено је 44,9 °C чиме је превазиђен претходни максимум од 44,3 °C забележен током јула 1939. год. у Краљеву. Као што смо претходно закључили за зимску сезону, и у летњој сезони уочавамо да је у периоду 01.06.1944. – 31.08.1985. (42 год.) забележено 12 топлотних таласа (тј. топлотни талас је бележен у просеку сваке треће године), а у периоду 01.06.1986. – 31.08.2007. год. (22 год.) је забележено 18 топлотних таласа.

На сл. 11 и 12 су приказани топлотни таласи у Нишу, за зимску и летњу сезону.

У Нишу, зими (таб. 2а), су јасно уочљива три топлотна таласа јачине преко 100 °C која су се јавила: 1950. год. (18 дана), 1977. год. (19 дана) и 2002. год. (21 дан). Као што се видело, у Београду ниједан топлотни талас није имао јачину преко 100 °C. Године 1958. забележена су два јака топлотна таласа: први од 14 дана јачине 85,2 °C и други од 15 дана јачине 70,1 °C. Издваја се и 1966. год. јак топлотни талас од 79,1 °C који је трајао свега 12 дана. Такође, у Нишу је у првих 37 зимских сезона (01.12.1948. – 28.02.1985. год.) забележено 34 топлотна таласа (у просеку нисмо имали сваке године топлотни талас), а од 01.12.1985.–28.02.2007. год. (22 год.) 27 топлотних таласа.



Слика 11. Приказ дужине и јачине топлотних таласа у Нишу за зимску сезону, за период 1948 - 2007. год.



Слика 12. Приказ дужине и јачине топлотних таласа у Нишу за летњу сезону, за период 1949 - 2007. год.

У Нишу (таб. 2б), лети је најуочљивији топлотни талас 1952. год. (сл. 12) који је трајао 21 дан и достигао јачину $100,3^{\circ}\text{C}$. И овде је 1985. год. као нека прекретница. Након те године јављају се таласи дужине 15 и 14 дана. Као посебно јак издваја се талас 2007. год. који је трајао 10 дана и достигао јачину од $74,8^{\circ}\text{C}$. У периоду од 01.06.1949. – 31.08.1985. год. (37 год.) је

забележено 16 топлотних таласа (у просеку сваке друге године смо имали топлотни талас), а од 01.06.1986. – 31.08.2007. год. (22 год.) 24 топлотна таласа.

Следи табеларни приказ значајнијих таласа у Београду и Нишу. Издвојени су таласи који су значајни у смислу њихове дужине и јачине.

Веза између топлотних таласа и атмосферске циркулације

Дневни максимуми температуре знатно преко нормале, у нашој земљи, у току зиме, најчешће се јављају када се развија и одржава јака циклонска активност у нижим ширинама источног дела Северног Атлантика (западно од Шпаније) или у западном Средоземљу. У првом случају обично се ради о врло пространој и дубокој долини изнад источног Атлантика и гребену

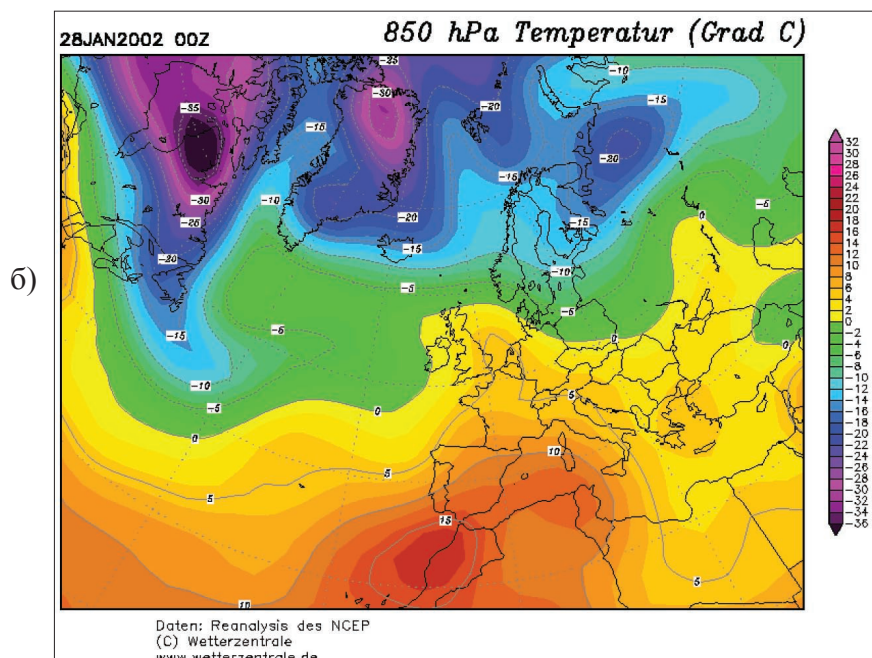
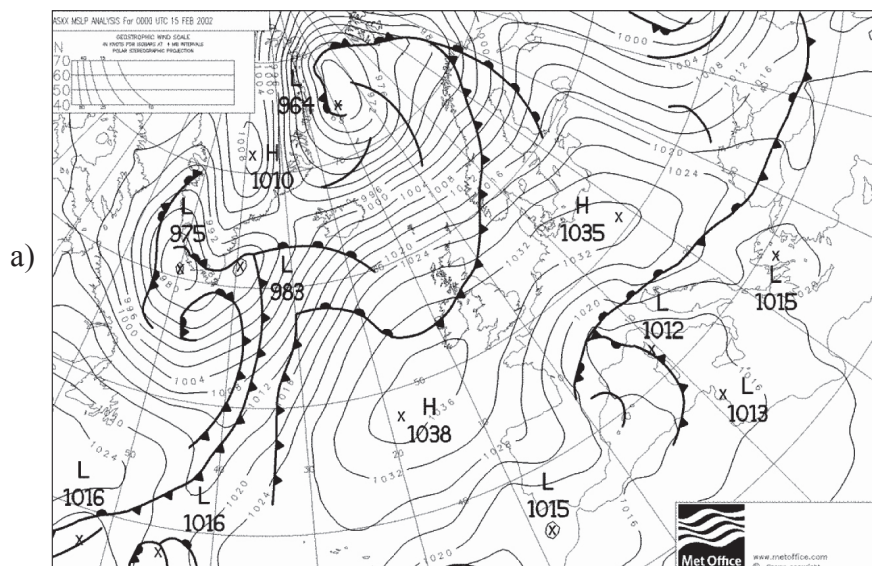
Табела 1. Година, дужина (дани) и јачина (изражена као сума одступања T_{max} изнад специфичног прага у $^{\circ}C$) топлотних таласа у Београду: а) зими, б) лети.

а)

Почетак, крај и година	Дужина (дани)	$\Sigma \Delta T_{max}$ ($^{\circ}C$)
23.01.-09.02.1990.	18	75,4
11.02.-28.02.1995.	18	88,7
07.01.-24.01.2007.	18	56,7
31.12.-15.01.1998.	16	44,6
12.01.-24.01.1956.	13	44,2
14.12.-26.12.1958.	13	62,4
16.02.-28.02.1966.	13	92,5
14.12.-24.12.1989.	11	88,3

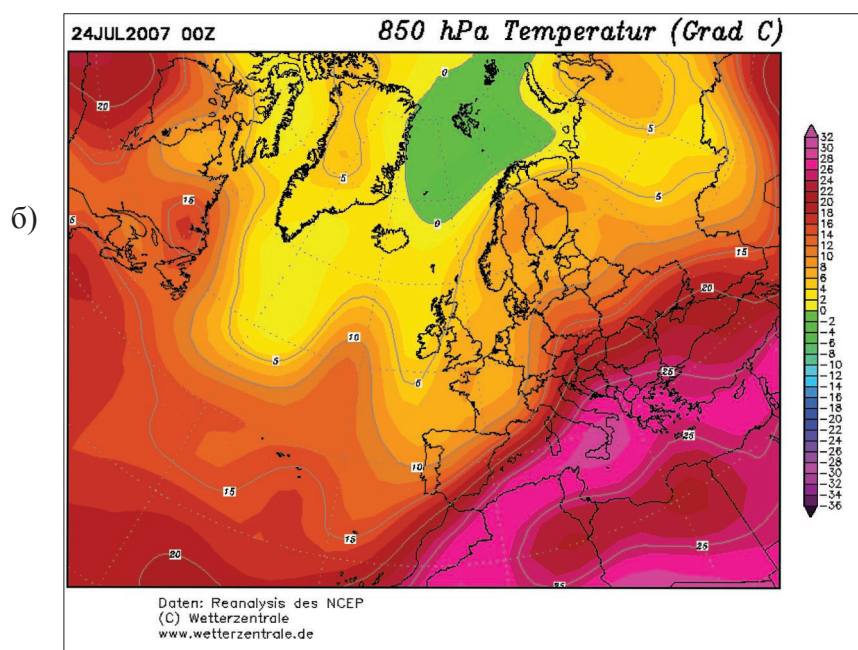
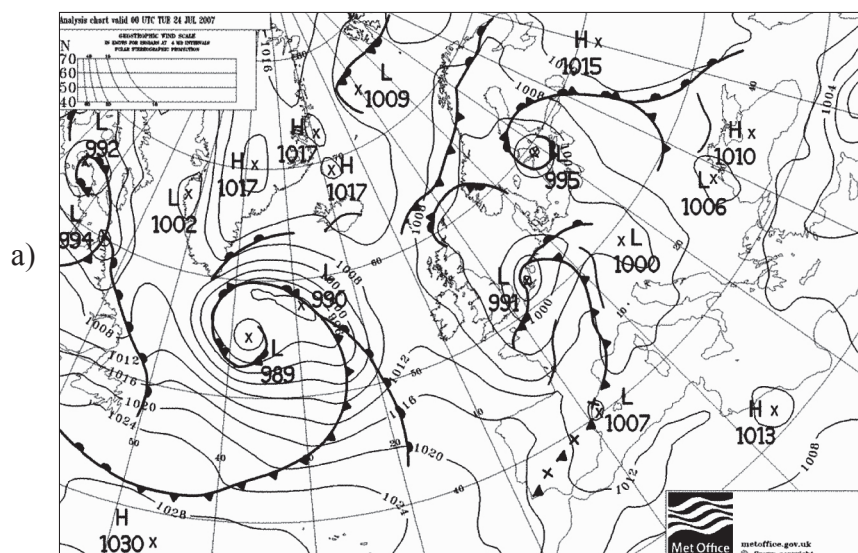
б)

Почетак, крај и година	Дужина (дани)	$\Sigma \Delta T_{max}$ ($^{\circ}C$)
25.06.-11.08.1994.	18	40,0
15.06.-25.06.1987.	11	35,1
15.07.-24.07.2007.	10	67,3
30.06.-07.07.1950.	8	41,2
16.08.-23.08.2000.	8	40,0



Слика 13. Синоптичка ситуација за 28. јануар 2002. год.

а) приземна карта, б) 850 hPa температура.



Слика 14. Синоптичка ситуација за 24. јул 2007. год. а) приземна карта, б) 850 hPa температура.

Табела 2. Година, дужина (дани) и јачина ($^{\circ}\text{C}$) топлотних таласа у у Нишу:
а) зими, б) лети.

а)	Почетак, крај и година	Дужина (дани)	$\Sigma\Delta T_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}$)
	26.01.–15.02.2002.	21	103,1
	08.02.–26.02.1977.	19	102,2
	02.12.–19.12.1950.	18	103,9
	05.02.–18.02.1958	14	85,2
	17.02.–28.02.1966.	12	79,1
	18.02.–28.02.1990.	11	66,6
б)	Почетак, крај и година	Дужина (дани)	$\Sigma\Delta T_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}$)
	02.08.–22.08.1952.	21	100,3
	10.08.–24.08.2000.	15	52,1
	13.06.–26.07.1987.	14	48,2
	15.07.–24.07.2007	10	74,8

изнад Европе, а у другом случају поремећај је обично ограничен на област Средоземља и Балкана. У оба случаја изнад наше земље тече интензивна адвекција топлоте (Radinović, 1981).

На сл. 13 приказана је синоптичка ситуација која је условила топлотни талас у Нишу од 21 дан, а у Београду су у том периоду забележена 2 топлотна таласа од 9 и 10 дана. Наша земља је била под утицајем циклонске циркулације и налазила се у топлом сектору, под утицајем топлог ваздуха из предела Африке.

У току лета, високе температуре се јављају у ситуацијама када се циклон формира у пределу Велике Британије па долази до увлачења топлог и сувог ваздуха из Северне Африке (таква ситуација је прузроковала топлотни талас у јулу 2007. год., сл. 14). Други начин да се формира период са високим температурама јесте тај да се успостави поље високог притиска изнад централне и јужне Европе. У таквој ситуацији ваздух се загрева и исушује услед силазног кретања, односно ваздух је „заробљен“ уз загрејану подлогу.

Закључак

У овом раду је извршена анализа топлотних таласа помоћу климатског индекса HWDI. Анализа је урађена за градове Београд и Ниш, за зимску и летњу сезону. Анализа топлотних таласа је показала следеће:

- највећу частину имају најкраћи таласи (они који су трајали 6 дана);
- више топлотних таласа је забележено у зимској сезони, у односу на летњу сезону, у Београду и у Нишу;
- у Нишу је забележен већи број топлотних таласа (зими и лети), дуже су трајали и достизали су већу јачину у односу на топлотне таласе у Београду, због израженије континенталности.
- од средине 80-тих година топлотни таласи имају већу частину, јављају се у просеку сваке године (или се чак годишње јави и више од једног топлотног таласа), а пре 80-тих просек је био да се топлотни талас јавља једном у две године (Ниш лети), или чак једном у три године (Београд лети);
- Дневни максимуми температуре знатно преко нормале, у нашој земљи, у току зиме, најчешће се јављају када се развија и одржава јака циклонска активност у нижим ширинама источног дела Северног Атлантика (западно од Шпаније) или у западном Средоземљу.
- У току лета, високе температуре се јављају у ситуацијама када се циклон формира у пределу Велике Британије па долази до увлачења топлог и сувог ваздуха из Северне Африке или када се успостави поље високог притиска изнад централне и јужне Европе. У таквој ситуацији ваздух се загрева и исушује услед силазног кретања, односно ваздух је „заробљен“ уз загрејану подлогу.

Литература

Beniston M, Stephenson D.B. (2004) Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global. Planet. Change.* 44, 1–9.

Colombo A.F, Etkin D, Karney B.W. (1999) Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: Implications for power usage. *J. Climate* 12, 2490–2502.

Ђорђевић S. (2006) Trend i čestina toplotnih talasa i tropskih dana u Srbiji, International Conference on the Problems of Hidrometeorological Security.

IPCC (2001) The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton JT, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJ van der Linden, X Dai, K Maskell, CA Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 944.

Kysely J. (2002) Probability estimates of extreme temperature events: stochastic. modeling approach vs. extreme value distributions. *Studia. Geoph. et Geod.* 46, 93–112.

Radinović Đ. (1981) Vreme i klima Jugoslavije, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 423 str.

Rooney C, McMichael A.J, Kovats R.S., Coleman, M.P. (1998) Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave. *J. Epidem. Comm. Health* 52, 482–486

Unkašević M, Tošić I. (2008) Analiza toplotnih talasa u Srbiji, Poslato u Theoretical and Applied Climatology.