

## Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану

Стеван Савић, Горан Трбић, Драган Милошевић, Татјана Попов

**Сажетак:** *Глобалне климатске промјене су процес који неминовно захвата простор европског континента, па самим тим и Босну и Херцеговину и друге земље Западног Балкана, које су смјештене на простору југоисточне Европе. Све интензивнији и дуготрајнији топли таласи (нарочито током љетњег периода), појава интензивних хладних таласа зими, интензивни краткотрајни падавински периоди, као и са друге стране дуготрајни сушни периоди посљедице су климатских промјена које су карактеристичне за просторе држава Западног Балкана, па самим тим и Босну и Херцеговину. Овакви температурни и падавински екстреми су све чешћи у посљедњих двадесет–тридесет година, што доказују и годишње температуре ваздуха у свим државама Западног Балкана, односно јасно је уочљиво да већина посљедњих неколико година представља најтоплије године од почетка XX вијека.*

*Усљед оваквих екстремних временских догађаја, јасно је да су урбане средине у земљама Западног Балкана под јачим, прије свега термалним притиском, јер је већ модификована микро и локална клима због одлика геометрије површине.*

---

*Цитирање:* Савић С, Трбић Г, Милошевић Д, Попов Т (2023) Климатске промјене и урбана клима на Западном Балкану. У: Трбић Г, Попов Т, Мирјанић Д (уредници) Управљање природним ресурсима у ери климатских промјена. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LIV:1–39

---

*Cite as:* Savić S, Trbić G, Milošević D, Popov T (2023) Climate Change and Urban Climate in the Western Balkans. In: Trbić G, Popov T, Mirjanić D (eds) Natural Resources Management in a Changing Climate. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LIV:1–39

*Као посљедица јављају се још више температуре током топлих таласа, и знатно већи број тропских ноћи, па самим тим долази до директног угрожавања здравља становништва и економије у урбаним срединама.*

*У овој студији је коришћено за анализу укупно 49 публикација које директно или индиректно анализирају, прије свега термалне вриједности и индексе, у урбаним срединама у земљама Западног Балкана, и то у Бањој Луци, Новом Саду, Београду, Тирани, Скопљу. Резултати јасно показују већи термални притисак у урбаним зонама, када се говори о температурама и индексима термалног комфора, и максималне разлике у односу на природну средину јављају се у најурбанизованијим и индустријским дијеловима града. Такође, анализе термалног ризика на квалитет и смртност становништва у урбаним зонама, показују да је повећани морталитет управо у категорији становника са преко 65 година.*

*Кључне ријечи: Климатске промјене, екстремни климатски догађаји, урбана клима, температура ваздуха, урбано острво топлоте, термални комфор, Западни Балкан*

## **1.1. Увод**

Посљедњих деценија климатске промјене на глобалном и регионалном нивоу углавном су негативно утицале на животну средину и друштвену заједницу на просторима свих континената, укључујући и Европу, а самим тим обухватиле су и географско подручје Западног Балкана. Интензитет и посљедице екстремних климатских догађаја, које су све чешће услед климатских промјена, као што су топли или хладни таласи, затим суше, поплаве изазване екстремним падавинама, шумски пожари, циклони итд., изазивају велику рањивост и изложеност природних екосистема и антропогених цјелина (градови, насеља, индустријска постројења). Као посљедица оваквих климатских екстрема, долази до промјена у животној средини, поремећаја у производњи хране и водоснабдијевању, оштећења инфраструктуре и насеља, повећаног морбидитета и морталитета становништва, али и до негативног утицаја на ментално здравље и општу добробит људи (IPCC 2014). Наведене екстремне појаве као посљедица климатских промјена (топли и хладни таласи, суше и поплаве) прије свега су карактеристичне за јужну и југоисточну Европу, па самим тим и за географско подручје земаља Западног Балкана.

Генерално, сиромашнији дио глобалне популације посебно је осјетљив на климатске екстреме, јер често као посљедица неких од температурних или падавинских екстрема јесте угрожавање егзистенције, смањење приноса усјева,

уништавање домова, а овакве посљедице доприносе порасту цијена и додатном снижавању животног стандарда. Истовремено, човјек као појединац који је социјално, економски, културно, политички, институционално или на било који други начин маргинализован посебно је рањив на климатске промјене, а уједно и са мањим капацитетом да реагује у смислу и ублажавања климатских промјена и прилагођавања на нове климатске процесе и појаве (IPCC 2014). Поједине студије показују да постоје и позитивни ефекти климатских промјена када се говори о пољопривредној производњи, међутим ти позитивни трендови уочавају се на просторима виших географских ширина (на примјер, регион Скандинавије). Са друге стране, знатан број студија показује да климатске промјене негативно утичу на приносе пшенице, кукуруза и соје, који су међу главним гајеним биљкама у земљама Западног Балкана (IPCC 2014; Milošević et al. 2015a). Истовремено, неопходно је нагласити да су у одређеним годинама крајем XX и почетком XXI вијека поједине екстремне појаве изазване климатским процесима довеле до огромне материјалне штете на простору централне, јужне и западне Европе. Тако су, на примјер, велике поплаве у централној Европи током 2000. године нанијеле штету у износу од преко 15 милијарди евра (Risk Management Solutions 2003), а интензивни топли талас током 2003. године усмртио је преко 30.000 људи и нанио материјалну штету у пољопривреди и кроз шумске пожаре од преко 15 милијарди америчких долара (Schär and Jendritzky 2004).

Према истраживањима Међувладиног панела за климатске промјене (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), фактори који угрожавају здравље људи на глобалном нивоу у мањој мјери су изазвани директним утицајем климатских промјена, односно и даље доминирају многобројни други неклиматски стресори (IPCC 2014). Међутим, општепознато је да екстремни климатски услови, нарочито током љетњих мјесеци, могу представљати главну пријетњу за јавно здравље (Conti et al. 2005), затим могу негативно утицати на спољашњи термални комфор (Ongoma et al. 2016; Lehnert et al. 2018; Milošević et al. 2022; Savić et al. 2022), повећани морталитет становништва (Arsenović 2019; Arsenović et al. 2019a) и допринијети повећању опасности од топлотног ризика, посебно у урбаним срединама.

Према подацима Уједињених нација (United Nations 2014), од 2007. године на глобалном нивоу први пут је у људској историји број становника градских средина постао већи од броја становника у сеоским срединама. Подаци из 2014. године указују да 54% свјетског становништва (односно 3,9 милијарди људи) живи у градовима, док је 1950. године број становника у градовима био 30%. Тренд раста градског становништва наставиће се и очекује се да ће до 2050. године 66% свјетског становништва живјети у градовима. Истовремено, актуелне климатске промјене највјероватније доприносе порасту ионако

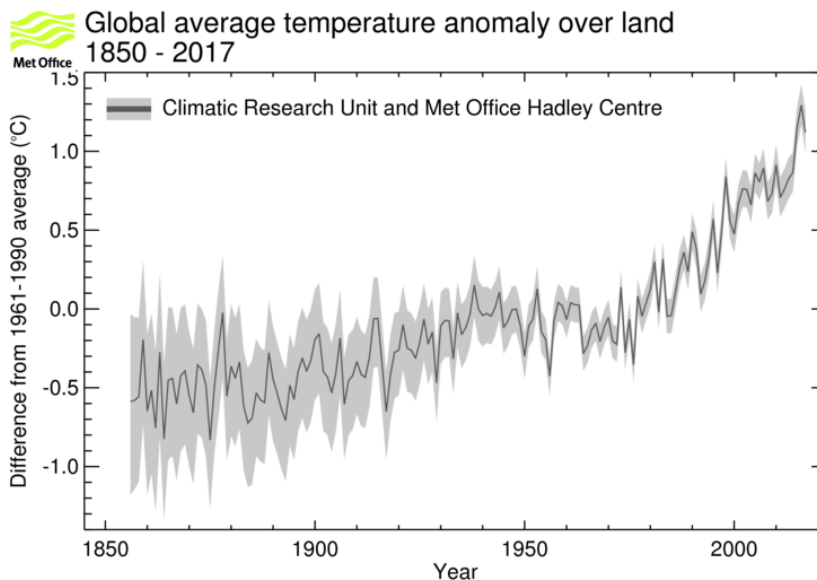
повишених термалних карактеристика у урбаним срединама (Erlwein and Pauleit 2021). На основу тога може се закључити да је становништво градских средина под већим климатским притиском и стресом него оно из сеоских средина, услед чешће појаве топлих таласа, тропских ноћи, сушних периода, градских поплава, што све утиче на термални комфор и здравље градског становништва, затим утиче на градску инфраструктуру и услуге екосистема (Rosenzweig et al. 2011). Због тога, климатска истраживања градских средина све више добијају на значају како би дала допринос рјешавању наведених проблема и помогла у доношењу адекватних стратегија са мјерама за адаптацију услед климатских промјена.

Просторни фокус у овој студији јесте географско подручје Западног Балкана, које је смјештено у југоисточној Европи, на површини од 208.000 км<sup>2</sup> и са популацијом од око 18 милиона становника. Географско подручје Западног Балкана чине државе Босна и Херцеговина, Република Србија, Република Црна Гора, Република Албанија и Република Сјеверна Македонија, као и територија Косова која има посебан статус на основу Резолуције Савјета безбједности Уједињених нација, под бројем 1244.

## **1.2. Климатске промјене – од глобалног до регионалног нивоа**

На основну истраживања водећих међународних институција, као што су Национална метеоролошка служба Уједињеног Краљевства Велике Британије и Сјеверне Ирске (*Met Office*) и Међувладин панел за климатске промјене (IPCC), у посљедњих неколико деценија уочава се интензиван тренд пораста температуре ваздуха, а нарочито је то изражено од почетка осамдесетих година XX вијека. На Граф. 1.1. види се пораст глобалне континенталне температуре у односу на тридесетогодишњи референтни период (1961–1990), који износи и до 1,5 °C и појављује се у другој декади XXI вијека (Jones et al. 2012). Са друге стране, кретање годишње висине падавина на глобалном нивоу, у посљедњих нешто више од 100 година, показује веће осцилације (Граф. 1.2). Нешто више количине падавина уочавају се током средине XX вијека, након чега почиње тренд опадања, да би почетком XXI вијека тај тренд почео лагано да расте, односно долази до пораста висине падавина (IPCC 2007).

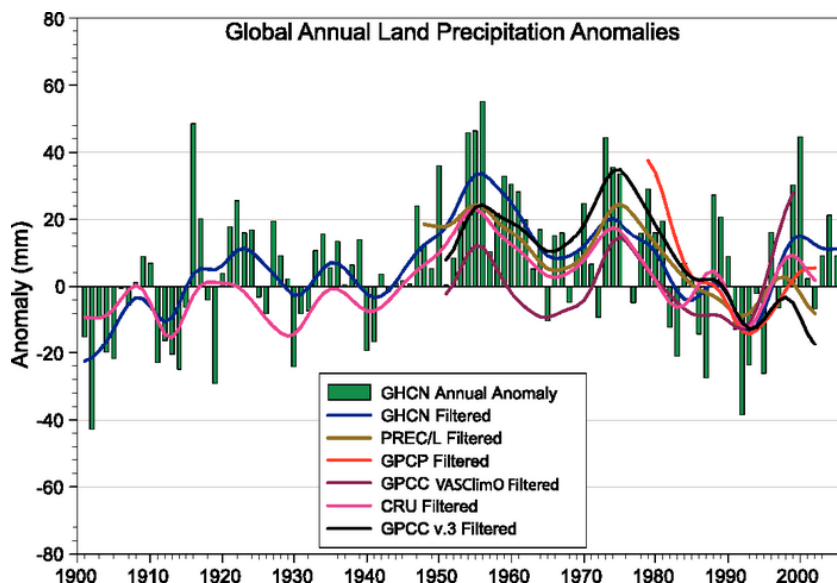
Подаци мониторинга показују да је глобална температура ваздуха током XX вијека порасла за око 0,6 °C, док је изнад Европе тај тренд још виши, односно износи 0,8 °C (IPCC 2007).



Граф. 1.1. Просјечна годишња одступања температуре ваздуха (°C) изнад копна за период 1856–2015. године (референтни период 1961–1990. година); црна линија – вриједност одступања; сиво поље – статистичка значајност од 95% (Jones et al. 2012)

*Graph. 1.1. Anomalies of the annual mean air temperature (°C) over land for the period 1856–2015 (the reference period is 1961–1990); black line – anomaly value; grey area – statistical significance of 95% (Jones et al. 2012)*

Просјечни пораст температуре ваздуха изнад Европе у првој декади XXI вијека (од 2002. до 2011. године) износио је 1,3 °C (Kovats et al. 2014). Такође, новија мјерења показују да је глобална средња температура ваздуха током посљедње деценије, односно од 2010. до 2019. године, била за 0,94 °C до 1,03 °C топлија од преиндустријског нивоа, што је чини најтоплијом декадом од када се врше редовна инструментална мјерења. Истовремено, температуре ваздуха изнад европског копна расле су још брже за исти период (2010–2019) и износиле од 1,7 °C до 1,9 °C (EEA 2020). На основу ових података може се закључити да је тренд раста температуре изнад Европе већи у односу на глобални ниво. Такође, подаци са инструменталних мјерења за температуру ваздуха за Европу показују тренд загријавања до 1947. године, који је затим праћен трендом хлађења до 1977. године, а у наредних тридесет година трајао је веома интензиван раст температуре ваздуха, посебно од 1994. до 2003. године (Luterbacher et al. 2004).



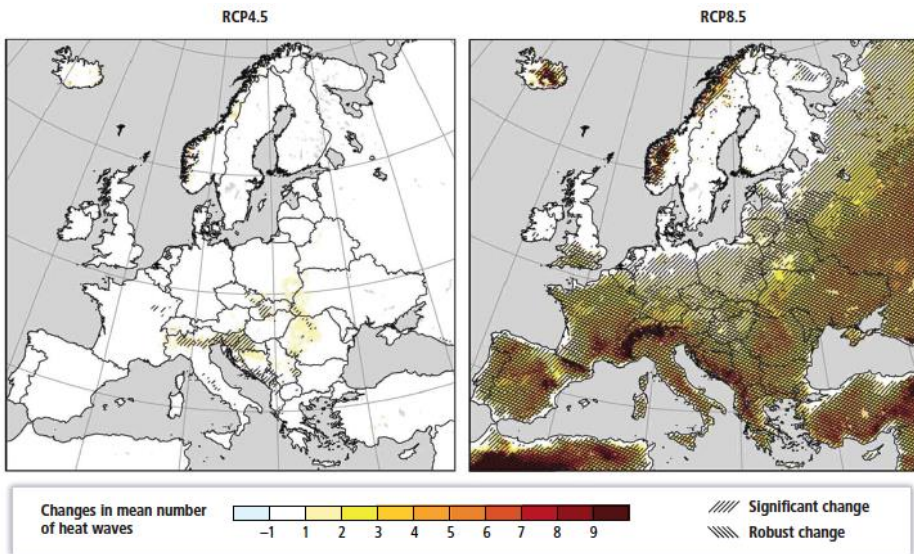
Граф. 1.2. Просјечна годишња одступања падавина (мм) на основу глобалне мреже станица за период 1900–2005. године (референтни период 1981–2000. година); зелени стубићи – годишња одступања у мм (IPCC 2007)

*Graph. 1.2. Anomalies of annual mean precipitation (mm) based on the global network for the period 1900–2005 (the reference period is 1981–2000); green bars – annual anomalies in mm (IPCC 2007)*

Овакви порасте средње температуре ваздуха снажно су повезани са порастом максималне и минималне температуре ваздуха (Easterling et al. 1997), јер чак и релативно мала промјена средње вриједности промјенљиве може довести до знатних промјена у учесталости екстрема (Nicholls and Alexander 2007). Важно је напоменути да су у оквиру европског континента највећи трендови раста температуре ваздуха примијећени на Пиринејском полуострву (нарочито током љетњег периода), затим широм централне и сјевероисточне Европе, а посебно у планинским регионима и над јужном Скандинавијом (ЕЕА 2020). Од средине XX вијека до данас уочава се и пораст екстремно топлих периода, као што су тропски или љетни дани, тропске ноћи, топли таласи. Тако су 2014, 2015, 2018. и 2019. година четири најтоплије године у Европи од када је започет процес инструменталног мјерења. Изнад многих дијелова Европе (као што је регион западне Европе) у јуну и јулу 2019. године јављали су се веома интензивни топли таласи, током којих су оборени многи дотадашњи национални температурни рекорди (С3S 2020). Са друге стране, када се говори о падавинама у Европи, од средине XX вијека висина падавина

константно расте на просторима сјеверне Европе (око 70 мм по деценији), док се пад биљежи у јужној Европи (Haylock et al. 2008).

Климатски модели указују да ће се у Европи трендови температуре и падавина у XXI вијеку наставити у истом смјеру као и током друге половине XX вијека. То значи да ће температура ваздуха и даље највише расти у зимском периоду у сјеверној Европи, а током љетњег периода у јужној Европи. Са друге стране, падавине показују већу регионалну и сезонску варијабилност, с тим да ће у сјеверној Европи расти, а у јужној Европи опадати висина падавина (Kovats et al. 2014). Такође, на основу резултата Beniston et al. (2007) и Lenderink and Van Meijgaard (2008), пројектује се пораст екстремних догађаја у Европи, нарочито у виду топлих таласа, суша и интензивних падавина. Сл. 1.1. и Сл. 1.2. показују тенденцију пораста броја топлих таласа и интензивних падавина на основу модела који су базирани на репрезентативним путевима концентрације (*Representative Concentration Pathway, RCP*), односно концентрацији CO<sub>2</sub> током XXI вијека (Kovats et al. 2014).

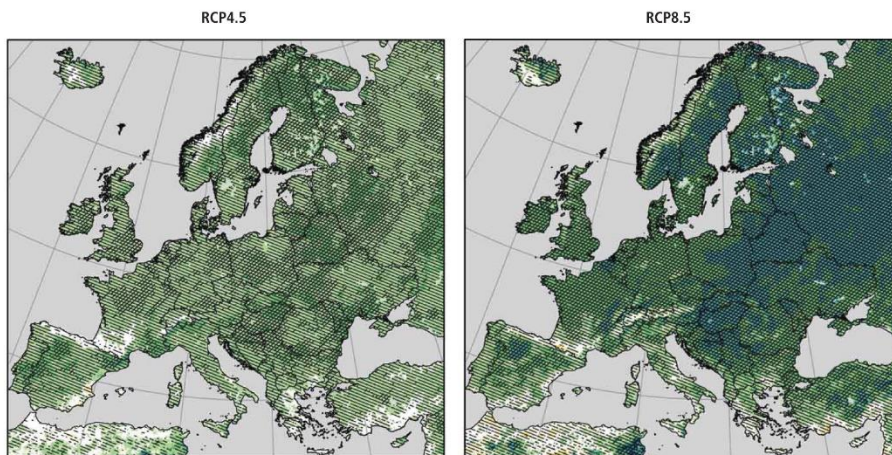


Сл. 1.1. Пројектована промјена просјечног броја топлих таласа у периоду од маја до септембра за период 2071–2100. године, а упоређено са периодом 1971–2000. године (Kovats et al. 2014)

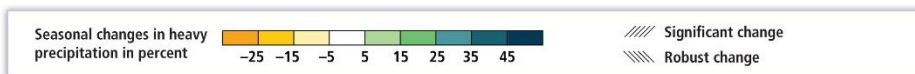
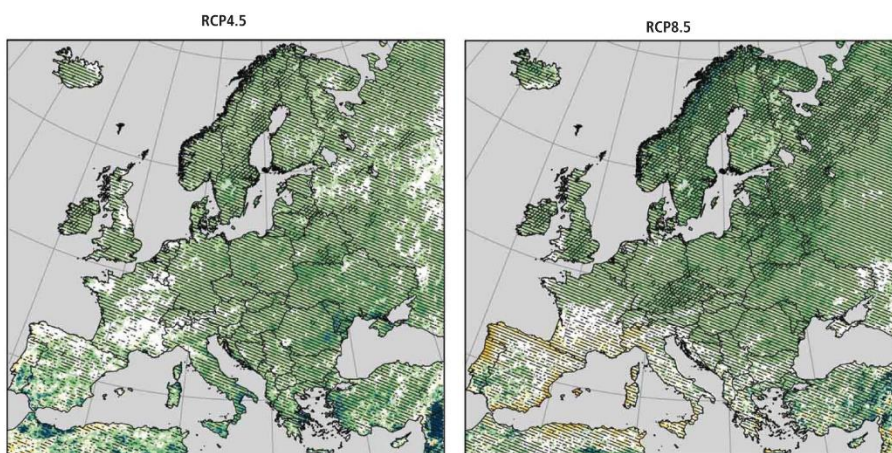
Fig. 1.1. Projected change in the average number of heat waves in the period from May to September for the period 2071–2100, and compared to the period 1971–2000 (Kovats et al. 2014)



(a) DJF seasonal changes in heavy precipitation (%), 2071–2100 compared to 1971–2000



(b) JJA seasonal changes in heavy precipitation (%), 2071–2100 compared to 1971–2000

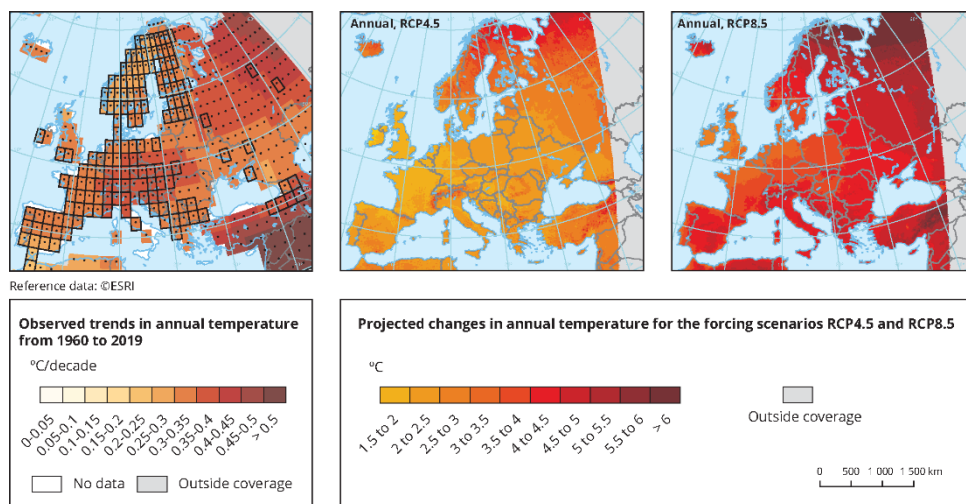


Сл. 1.2. Пројектоване сезонске промјене интензивних падавина (узети су у обзир дани са падавинама > 1 мм) за период 2071–2100. године, а упоређено са периодом 1971–2000. године (у %); а) зимски период (DJF); б) љетњи период (JJA) (Kovats et al. 2014)

Fig. 1.2. Projected seasonal changes of intensive precipitation (taken into account days with precipitation > 1 mm) for the period 2071–2100, and compared to the period 1971–2000 (in %); a) winter period (DJF); b) summer period (JJA) (Kovats et al. 2014)



Такође, пројекције EURO-CORDEX иницијативе сугеришу да ће температуре ваздуха широм европског копненог подручја наставити да се повећавају током XXI вијека бржим темпом од глобалног просјека. Предвиђа се да ће се температура ваздуха изнад копненог дијела у различитим европским регионима додатно повећати за 1,4 °C до 4,2 °C према сценарију RCP4.5, односно за 2,7 °C до 6,2 °C према сценарију RCP8.5 (до периода 2071–2100. године, у поређењу са периодом 1971–2000. године) (Сл. 1.3). Највећи ниво пораста температуре предвиђа се широм сјевероисточне Европе и Скандинавије у сезони зима и изнад простора јужне Европе у сезони љето (Jacob et al. 2013).



Сл. 1.3. Средње годишње промјене температуре ваздуха у Европи од 1960. до 2019. године (мапа лијево) и пројектоване промјене у XXI вијеку под различитим RCP сценаријима (мапе десно) (EEA 2020)

Fig. 1.3. Mean annual changes in air temperature in Europe from 1960 to 2019 (map on the left) and projected changes in the 21st century under different RCP scenarios (maps on the right) (EEA 2020)

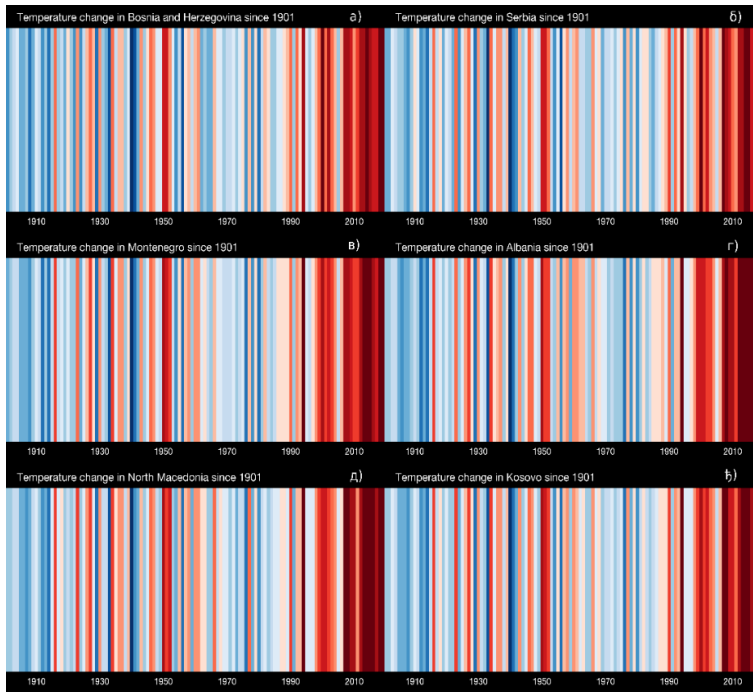
Екстремне температуре ваздуха кључни су аспект сваке климатске промјене јер су природни екосистеми и друштвени процеси најосјетљивији на њих (Easterling et al. 2000; Unkašević et al. 2005). У централној и југоисточној Европи топла љета, која су често праћена сушом, наносе знатну штету пољопривреди (Domonkos 1998). Важан задатак науке јесте разумијевање узрока који одређују промјене режима главних климатских параметара, односно екстремних температура. Наведене промјене могу се одредити кроз природне процесе или антропогеном активношћу, или оба фактора могу утицати заједно и истовремено.

Поред научних публикација које су истакле промјене температуре ваздуха изазване антропогеном активношћу, бројне студије су показале важан утицај општих механизма атмосферске циркулације на промјенљивост температуре у сјеверној, централној и источној Европи (Kozuchowski and Marciniak 1988; Sepp and Jaagus 2002; Tomozeiu et al. 2002; Jaagus 2006; Jaagus et al. 2008; van den Besselaar et al. 2010; Savić et al. 2015).

Појава ризика који се директно везују за климатске промјене повећава се у учесталости и интензитету током посљедњих неколико деценија, а очекује се да ће се тај раст наставити током XXI вијека. У Европи се очекује повећање броја екстремних падавинских догађаја у будућности, суше ће се појачати, а топли таласи ће постати све интензивнији и дужи (IPCC 2012; Alcantara-Ayala et al. 2015). Стога је анализа процјене ризика веома важна за дефинисање рањивости ризичних елемената на специфичан ризик (Parathoma-Köhle et al. 2016). Међувладин панел за климатске промјене класификовао је топле таласе као један од екстремних временских догађаја повезаних са климатским промјенама (Field et al. 2012). Учесталост, интензитет и трајање топлих таласа повећали су се на глобалном нивоу (Perkins et al. 2012), као и у југоисточној Европи (Tomczyk 2016), и наставиће да се повећавају током XXI вијека на глобалном нивоу (Clark et al. 2006). Топли таласи имају снажне негативне утицаје на урбана подручја, прије свега због интензивне храпавости вјештачке површине (густо изграђена подручја), локалне и регионалне климе, као и недостатка дрвећа и других зелених/плавих површина, што доводи до модификације температура ваздуха и стварања интензивног урбаног острва топлоте (*Urban Heat Island*, UHI) (Wilhelmi and Hayden 2010; Doborvolny and Krahula 2015; Skarbit et al. 2015, 2017; Gál et al. 2016; Lelovics et al. 2016; Hamdi et al. 2016). На основу тога, урбано острво топлоте представља разлику у температури ваздуха између градске (урбанизоване) средине и околних руралних (неурбанизованих) подручја (Dapietri et al. 2011), а интензитет урбаног острва топлоте углавном је позитиван у урбаним срединама (нарочито током ноћних периода) (Memon et al. 2009).

Простор Западног Балкана, као дио европског континента, није издвојен из процеса климатских промјена, односно интензитет процеса и посљедица климатских промјена сличан је са ситуацијама које се дешавају изнад подручја јужне и источне Европе. Посматрајући период од 1961. до 2015. године уочава се константни пораст температуре ваздуха, нарочито након 1980-их, а пораст просјечне температуре ваздуха изнад простора Западног Балкана износи 1,2 °C. Истовремено, пројекције кретања температуре ваздуха које су засноване на емисији гасова са ефектом стаклене баште (RCP4.5 и RCP8.5) указују да ће током XXI вијека пораст температуре износити од 1,7 °C до 4,0 °C.

Најинтензивнији пораст температуре ваздуха јављаће се током љетњег периода године, а вриједност иде и до 1,0 °C више, у односу на годишњи ниво. Са друге стране, нешто ниже вриједности пораста температуре очекују се у сјеверним дијеловима Босне и Херцеговине и Републике Србије, али разлике између најнижих и највиших трендова пораста неће бити статистички значајне (видјети Сл. 1.3. и Сл. 1.5). Када се говори о падавинама, генерално се уочава нешто већи раст висине падавина у сјеверним дијеловима Западног Балкана, а пад висине падавина према јужним дијеловима (Vuković and Vujadinović Mandić 2018) (видјети Сл. 1.4).



Сл. 1.4. Кретање просјечне годишње температуре ваздуха у периоду 1901–2019. године у државама Западног Балкана; а) Босна и Херцеговина, б) Република Србија, в) Република Црна Гора, г) Република Албанија, д) Република Сјеверна Македонија, њ) Косово (Hawkins 2022)

Fig. 1.4. Movement of the average annual air temperature in the period 1901–2019 in the countries of the Western Balkans; a) Bosnia and Herzegovina, b) the Republic of Serbia, c) the Republic of Montenegro, d) the Republic of Albania, e) the Republic of Northern Macedonia, f) Kosovo (Hawkins 2022)

На Сл. 1.4. представљено је кретање просјечних годишњих температура ваздуха за сваку појединачну државу Западног Балкана, за период од 1901. до 2019. године, у виду термалних линија (*warming stripes*). Резултати оваквог приказа кретања температуре ваздуха показују константан тренд раста, нарочито током посљедњих тридесетак година, а јасно је уочљиво да је у посљедњих двадесетак година, неколико година представљало најтоплије године од почетка XX вијека.

### **1.3. Истраживање урбане климе у градовима Западног Балкана**

Квалитативни процес урбанизације у просторном, временском и одрживом смислу веома је важан за разумијевање промјенљивих и сложених интеракција између глобалних климатских промјена и раста и развоја урбаних средина. С обзиром на веома интензиван ниво урбанизације на глобалном нивоу, све већи дио свјетске популације (односно више од половине укупног броја становника) биће изложен директним утицајима климатских промјена у урбанизованим срединама. Такође, процес урбанизације модификује физичко-географске карактеристике локалне средине кроз низ измијењених природних појава које могу резултирати микро или локалним стресовима у животној средини (Revi et al. 2014). Истовремено, својства грађевинског материјала објеката утичу на стварање специфичних режима урбане микроклиме (Jackson et al. 2010). То укључује и појаву урбаних острва топлоте, или појаве микро или локалних плављења (након интензивних падавина), које климатске промјене могу погоршати. Због тога, кључно је разумјети непосредну међусобну интеракцију процеса урбанизације, тренутних локалних промјена у животној средини и убрзавања климатских промјена. Урбанизација (од микро до мезо нивоа) може интензивирати и проширити утицај урбаног острва топлоте, мијењајући микроклиматске процесе, као што је смјер и јачина вјетра са копна и мора, затим утицај катабатских вјетрова и слично (Revi et al. 2014).

Занимљиво је да се феномен урбаних острва топлоте јавља у бројним градовима свијета без обзира на климатски тип у коме се градови налазе и величину града. Он настаје као посљедица људских измјена површинских и атмосферских особина и процеса који прате урбани развој. Феномен је добио назив „острво“ јер су изотермне вриједности изнад града веће од изотермних вриједности хладније околине која представља „море“ хладнијег ваздуха. Усљед тога, острво топлоте је дефинисано на основу разлика у температури ваздуха између градске и природне или сеоске средине (Оке 1995). Вишак топлоте у градовима може да има позитивне или негативне утицаје у зависности

од макроклиматских карактеристика региона у коме се град налази. У градовима који се налазе у хладнијим климатима, или током хладнијих годишњих доба, острва топлоте могу имати позитивне утицаје као што су: јефтиније гријање станова и кућа, побољшан спољашњи термални комфор, рјеђа појава поледнице на путу или магле, бољи услови за развој биљака и животиња итд. Међутим, острва топлоте у градовима који се налазе у топлијим климатима или током топлијих сезона (љетњи период) могу имати негативне утицаје као што су: повећан дискомфор и топлотни стрес становништва у спољној средини, повећана стопа морталитета становништва, већа потрошња енергије за хлађење станова и кућа, већа потрошња воде и слично. Осим тога, урбана острва топлоте могу знатно да утичу и на вјеродостојност климатских истраживања и коришћених података. Наиме, уколико се за анализу историјских промјена температуре ваздуха користе подаци са станица које су некада биле изван града, а сада се налазе унутар града (као посљедица урбанизације), забиљежене вриједности могу бити измијењене под утицајем урбанизације. Осим тога, уколико се у анализи узима већи број градских станица него што је потребно у односу на укупну градску површину на свијету, такође се може доћи до упитних закључака (Stewart and Oke 2012).

Већа између интензитета урбанизације и процеса климатских промјена има важне импликације на еколошку одрживост. Климатске промјене могу да убрзају еколошке стресове у урбанизованим срединама, као и да интензивирају већ постојеће урбане еколошке, економске и политичке стресове (Wilbanks and Kates 2010; Leichenko 2011). Такође, током урбанизације простора долази до модификације површине земљишта, односно генерално смањује се еколошки нетакнуто земљиште и фрагментише се преостало земљиште, што смањује капацитете за станишта различитих животињских врста, а повећава се вјероватноћа даље еколошке деградације (Revi et al. 2014).

Са друге стране, процесом адаптације урбаних средина омогућава се постепена трансформација која пружа отпорност на климатске промјене и интензивира одрживи развој. Овакав процес може се реализовати кроз ефикасно административно управљање, затим усклађивањем политика и подстицаја, ојачаним капацитетима за прилагођавање локалне управе и заједнице, синергијама са приватним сектором и одговарајућим финансирањем и институционалним развојем. Могућности за то су велике у многим градовима који интензивно расту, и гдје се развијају институције и инфраструктура, мада постоје ограничени докази да се то реализује у пракси (Revi et al. 2014). Слични проблеми, када се говори о интеракцији урбанизације и климатских промјена, као и капацитета локалних заједница да реализују адаптивне процесе, јављају се и за најзначајније градове у државама Западног Балкана. На овим просторима, након почетка процеса демократизације и развоја (у

последњих тридесетак година) започео је процес интензивне урбанизације и ширења највећих градова и њихова трансформација из некадашњег социјалистичког уређења у савремени урбанистички оквир. Услед тих веома интензивних процеса, минимална пажња посвећена је очувању или унапређењу урбане животне средине или одрживог развоја. Самим тим, као посљедица, све чешће и интензивније појављују се термални ризици који су пријетња становништву и инфраструктури. Да би се мјере прилагођавања (адаптације) могле примијенити што ефикасније у будућности, неопходна су интензивна и константна истраживања климатских и других карактеристика урбаних средина на подручју Западног Балкана.

Истраживања термалних карактеристика у урбаним срединама током XXI вијека обухватају у себи два веома битна елемента: раст броја становника и климатске промјене. Услед тога, није необично да се бројни истраживачи посвећују овој тематици, од Ванкувера до Токија, Лондона до Сао Паола, Делхија до Кејптауна, Берлина до Сегедина и Новог Сада. Међутим, пошто се свјетски градови међусобно разликују, не само по броју становника него и по нивоу изграђености, проценту зелених површина, висини зграда, а разликују се и природне средине око њих, установљено је да некадашњи оквир за истраживања термалних разлика (град–село) није довољно прецизан. Наиме, установљено је да је интензитет урбаних острва топлоте или термалних осцилација практично неупоредив између градова јер се, на примјер, у једном граду метеоролошка станица налази у парку (Преторија, Јужна Африка), а у другом у градској улици са високим зградама (тзв. градски кањон у Даласу, Тексас, САД) (Stewart and Oke 2012). Сличан проблем је и са метеоролошким станицама постављеним у природној или сеоској средини јер се оне могу налазити у пољу, шуми, дворишту, па мјерења са њих нису директно упоредива.

Због тога, у последњих десетак година, уочавају се све интензивнија истраживања урбане климе за одређене градове у државама Западног Балкана, са доминантним фокусом на термалне карактеристике (као што су температура ваздуха и подлоге, или анализа индекса термалног комфора), али и са новом методологијом мониторинга и анализирања базираном на унутарградске (*intra-urban*) и међуградске (*inter-urban*) калкулације.

### **1.3.1. Резултати истраживања урбане климе**

У наредним потпоглављима детаљније ће се представити анализе и резултати истраживања урбане климе у градовима/регионима држава које чине подручје Западног Балкана. У Таб. 1.1. приказани су публиковани радови за сваку државу, као и подјела анализираних литературе на основу главног циља



сваког рада. У овој студији представљени су радови који су публиковани у међународним или националним научним часописима, као и публикације објављене у цјелини са неколико међународних конференција које представљају допринос у смислу истраживања урбане климе. Такође, селектовани су радови који су писани на енглеском језику у циљу практичнијег претраживања радова и избјегавања пропуста у налажењу публикација уколико су радови писани на неком од националних језика (на примјер, албанском или македонском, или пак ћириличним писмом). Ради лакше анализе до сада урађеног и публикованог, све селектоване публикације су подијељене према главном циљу и резултатима, односно на радове са фокусом на:

- развој и имплементацију мониторинга у урбаним зонама и аналитику прије свега температуре ваздуха/површине и падавина,
- анализу индекса спољашњег термалног комфора,
- анализу утицаја урбане климе на морталитет и квалитет живота становништва.

У овој студији представљено је 49 публикација које директно или индиректно анализирају проблеме урбане климе, а градске средине за које су најчешће вршена истраживања су Нови Сад (Србија), Тирана (Албанија), Скопље (Сјеверна Македонија), Београд (Србија) и Бања Лука (Босна и Херцеговина).

Таб. 1.1. Продукција научних публикација које анализирају климатске одлике и њихов утицај на животну средину и становништво у градовима, односно државама Западног Балкана

*Table 1.1. Production of scientific publications that analyze climatic characteristics and their impact on the environment and population in cities and countries of the Western Balkans*

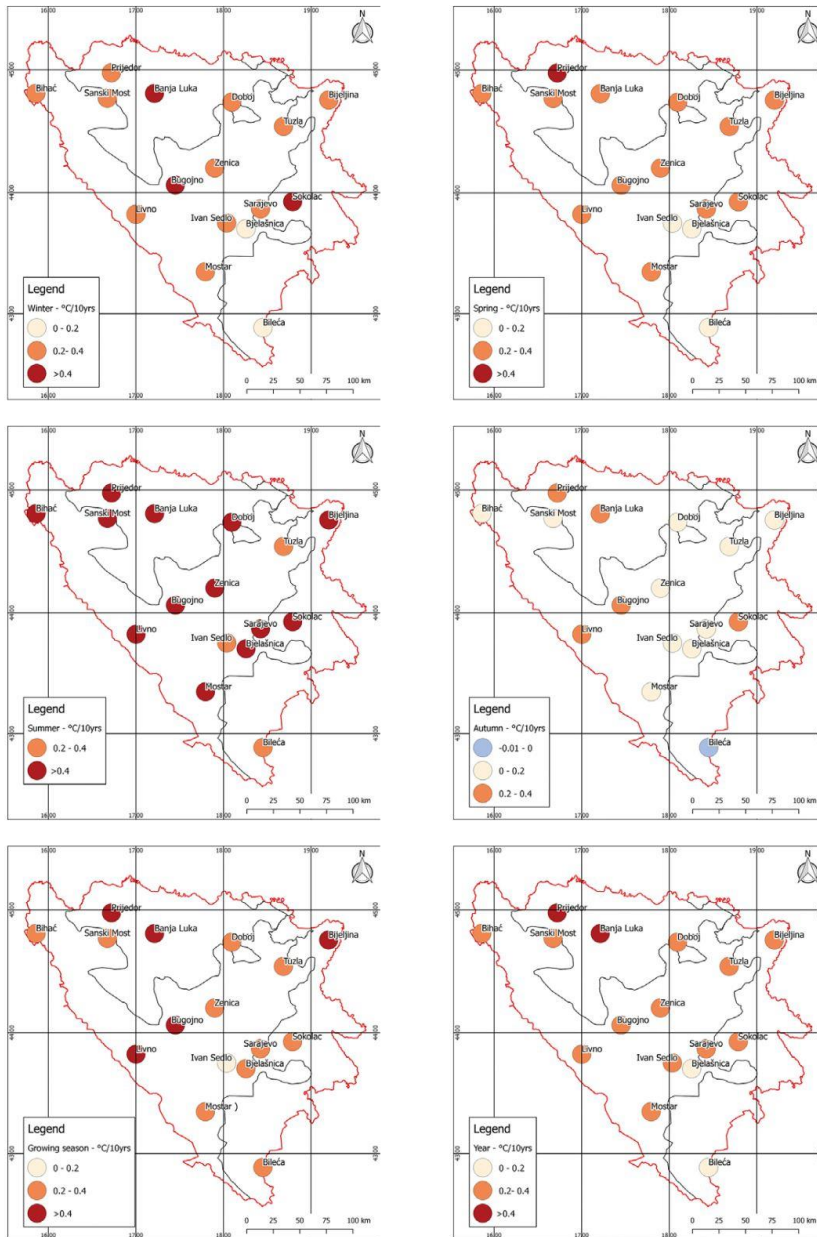
Држава / територија	Град / регион	Литература		
		Мониторинг / Температура / Падавине	Спољашњи термални комфор	Урбана клима и становништво
Босна и Херцеговина	Већи градови; Херцеговачко- неретвански кантон	Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a; 2018b; 2019	Pecelj et al. 2011; Jahić and Mezetović 2014	/
Република Србија	Нови Сад; Београд	Unger et al. 2011; Savić et al. 2013, 2018a, 2020a, 2020b; Jovanović et al. 2015; Milošević	Vajšanski et al. 2015; Basarin et al. 2016; Milošević et al. 2016,	Đurđev et al. 2012; Savić et al. 2014, 2018b; Arsenović 2019;

		et al. 2015, 2018, 20226; Šećerov et al. 2015, 2019, 2021; Lelovics et al. 2016; Geletič et al. 2019; Milovanović et al. 2020; Fricke et al. 2020	2017, 2020; Pecelj et al. 2020	Arsenović et al. 2019a, 20196
Република Црна Гора	Подгорица; Даниловград; Колашин; приморски градови	Burić et al. 2014, 2015, 2019; Bajčinovci 2017; Burić and Doderović 2019, 2020	Joksimović et al. 2013	/
Република Албанија	Тирана; Скадар; Дуреш	Fintikakis et al. 2011; Dervishi et al. 2012; Porja 2013; Malltezi et al. 2015	Panariti et al. 2015	/
Република Сјеверна Македонија	Скопље	Kaplan et al. 2018	/	Kendrovski et al. 2011, 2014; Martinez et al. 2016
Косово (УН 1244)	Приштина	Dugolli 2013	/	/

---

### **1.3.2. Развој мониторинга и анализе параметара урбане климе**

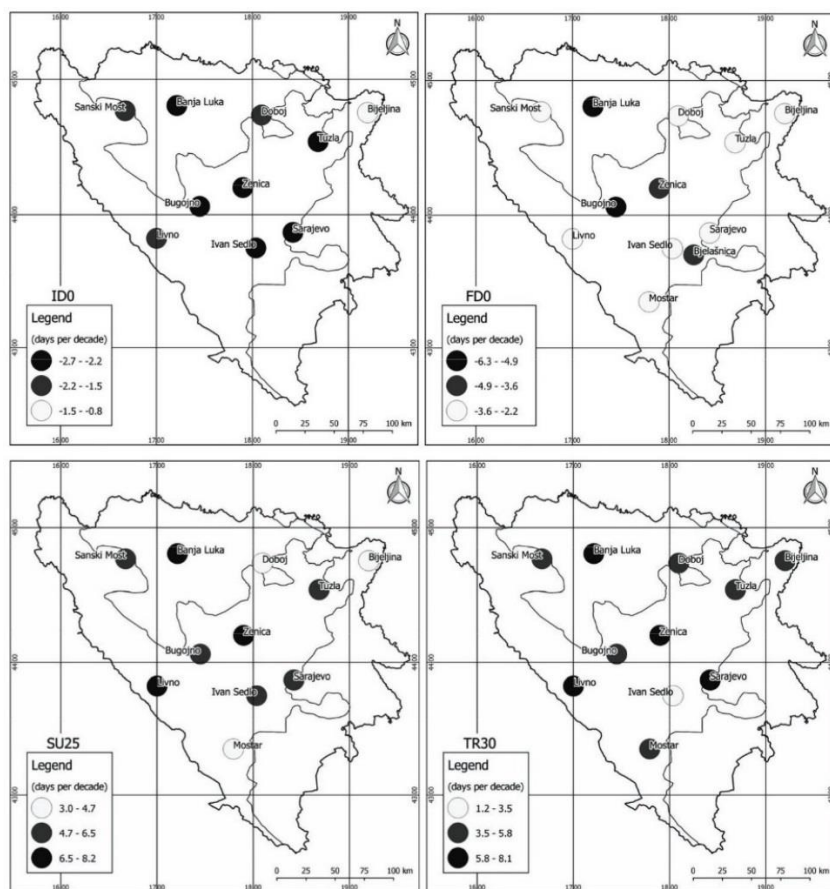
Истраживачка група са Универзитета у Бањој Луци до сада је највише допринијела у анализама трендова термалних карактеристика на територији Босне и Херцеговине. Иако су у овим истраживањима коришћени подаци са метеоролошких станица националне хидрометеоролошке мреже, а не мјерења у самим урбаним срединама, на основу представљених резултата, могу се уочити тенденције кретања температуре ваздуха и температурних екстрема и у урбаним срединама и самим тим предвидјети даљи термални притисак и ризик за становништво.



Сл. 1.5. Декадни трендови средњих сезонских и годишњих температура ваздуха за Босну и Херцеговину у периоду од 1961. до 2015. године (Trbić et al. 2017)

Fig. 1.5. Decade trends of mean seasonal and annual air temperatures for Bosnia and Herzegovina in the period from 1961 to 2015 (Trbić et al. 2017)

Према њиховим истраживањима, трендови високих температура константно расту, док трендови ниских температура опадају (Popov et al. 2018a). Оваква тенденција раста температура и индекса екстремно топлих дана има још значајнији тренд раста крајем XX и почетком XXI вијека, а интензивни тренд опадања за исти период изражен је код екстремно ниских температура ваздуха (Trbić et al. 2017; Popov et al. 2018a, 2018b, 2019) (Сл. 1.5. и Сл. 1.6).



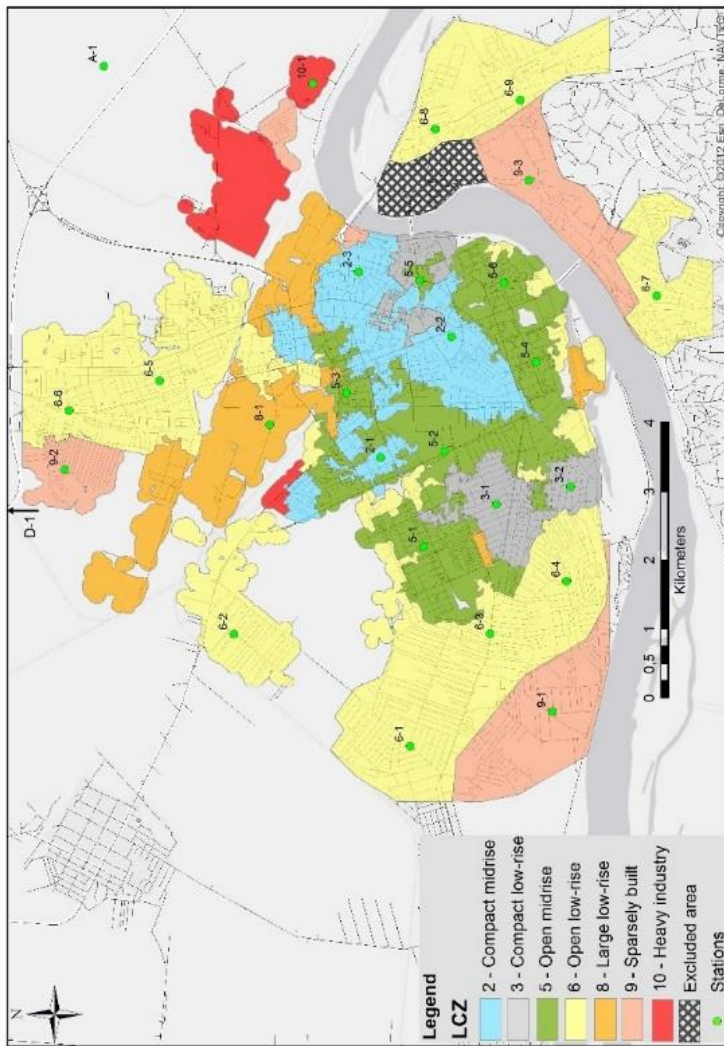
Сл. 1.6. Декадни трендови дана са екстремним температурама у Босни и Херцеговини у периоду од 1961. до 2016. године (Popov et al. 2018b)  
*Fig. 1.6. Decade trends of days with extreme temperatures in Bosnia and Herzegovina in the period from 1961 to 2016 (Popov et al. 2018b)*

На Сл. 1.5. уочава се највиши декадни тренд раста температуре ваздуха на станицама поред већих градова, и то током топлијег периода године (љето, вегетациони период). На Сл. 1.6. такође се виде генерално највиши, односно

најнижи декадни трендови, индекса екстремно топлих, односно хладних дана, и то за податке са станица поред највећих градова.

Миловановић са сарадницима (Milovanović et al. 2020) покушао је да утврди термални притисак у урбаној зони Београда користећи метеоролошке станице националне мреже и да дефинише сезонске разлике и дистрибуцију интензитета урбаног острва топлоте користећи кластерску анализу са подацима и без података из урбане зоне Београда. Међутим, највећи напредак у истраживању урбане климе извела је истраживачка група са Универзитета у Новом Саду у сарадњи са Универзитетом у Сегедину. Урбана зона Новог Сада дефинисана је према концепту локалних климатских зона (*Local Climate Zone, LCZ*) (Stewart and Oke 2012), на основу којег је дефинисано седам урбанизованих зона (*built LCZs*) и три доминантне природне зоне (*land cover LCZs*). За класификацију урбане зоне у LCZ коришћена је метода заснована на ГИС-у (Lelovics et al. 2014), у оквиру урбане зоне Новог Сада дефинисане су LCZs 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, A, D, G (Сл. 1.7). Дефинисање LCZ неопходно је да би се на најбољи начин креирала мрежа урбаних станица које би пратиле кретање метеоролошких параметара унутар урбане зоне и уочавале разлике унутар самог града. Резултати су показали да не постоје само температурне разлике између урбаних и природних средина него да су јасне разлике и унутар саме урбане зоне, изазване прије свега у различитом типу урбанизације. Управо LCZ концепт, односно свака локална климатска зона, представља другачији тип урбанизације који има сопствени термални отисак. На основу тога, од 2014. године у урбаној зони Новог Сада постављена је NSUNET (*Novi Sad Urban Network*) мрежа од 28 станица, са сензорима температуре и влажности ваздуха, која покрива сваку од LCZ, у циљу детаљног мониторинга термалних разлика између различитих урбаних зона (Сл. 1.7) (Unger et al. 2011; Savić et al. 2013; Milošević et al. 2015b; Šećerov et al. 2015, 2019, 2021).

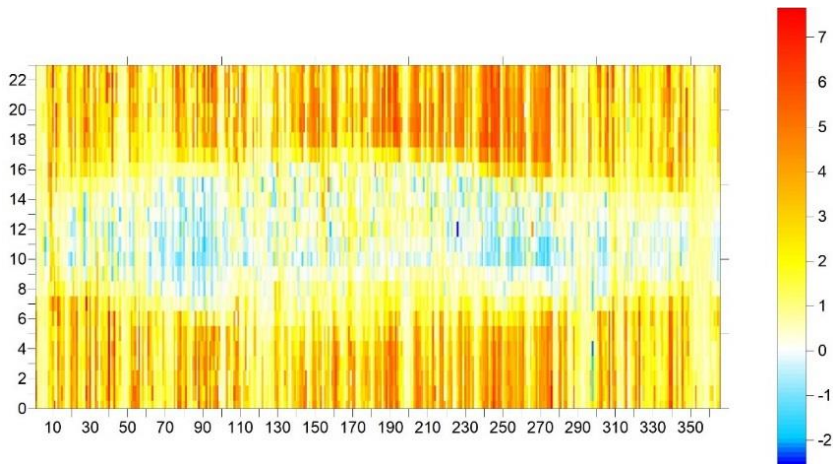
Истраживањем унутарградске температуре ваздуха, користећи податке са NSUNET мреже, односно дефинисањем разлика између различитих типова урбанизације (различитих LCZ), добијају се резултати који показују највеће разлике током ноћи и за вријеме топлих таласа у току топлијег периода године (Сл. 1.8). За Нови Сад, разлике између најурбанизованијих дијелова града, као што су LCZ 2, 5 и 8, у односу на LCZ A (шумски простор око града) износе од 3–4 °C до 6–7 °C. Знатно веће разлике се уочавају од заласка до изласка сунца него током обданице (Граф. 1.3). Свакако, разлике се уочавају и између различитих урбанизованих LCZ, али су оне мање и та разлика зависи од степена урбанизације и удјела зелених површина (Lelovics et al. 2016; Savić et al. 2018a; Milošević et al. 2022b).



Сл. 1.7. Приказ урбанизованих типова LCZ и локација станица NSUNET мреже у Новом Саду (Србија). Ознаке станица: први број – тип LCZ; други број – број станице у датом LCZ типу (Šećerov et al. 2015)

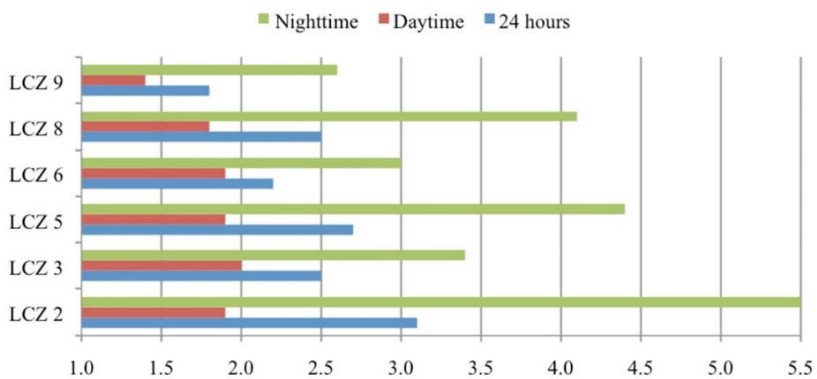
Fig. 1.7. The obtained LCZ built classes and NSUNET station locations of the urban monitoring network in Novi Sad (Serbia). Note (Station labels): first character – LCZ type; second character – station number in the given LCZ type (Šećerov et al. 2015)





Сл. 1.8. Просјечне дневне температурне разлике (°C) између LCZ 2 и LCZ A (LCZ2-A) за мјерни период 2014–2017. године; у-оса – вријеме (координисано универзално вријеме); х-оса – дани у години (Savić et al. 2018a)

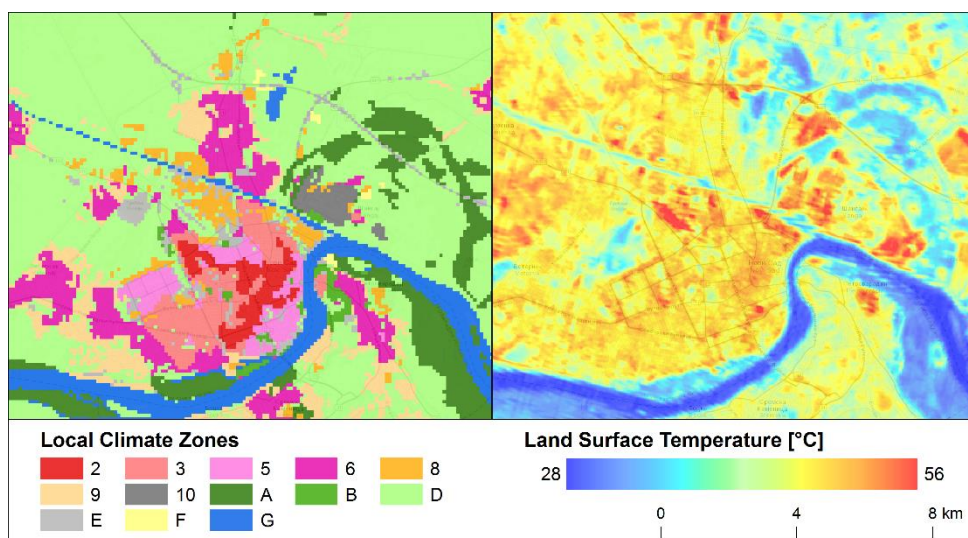
Fig. 1.8. Daily average temperature differences (°C) between LCZ 2 and LCZ A (LCZ2-A) for the monitoring period 2014–2017; y-axis – time (Coordinated Universal Time); x-axis – days of the year (Savić et al. 2018a)



Граф. 1.3. Просјечне дневне температурне разлике (°C) између LCZx (урбанизоване зоне) и LCZ A током топлог таласа (од 4. до 15. августа 2015. године); период: ноћ (зелена), обданица (црвена) и дан-24 часа (плава) (Savić et al. 2018a)

Graph. 1.3. Daily average temperature differences (°C) between LCZx (built-up areas) and LCZ A during the heat wave period (from August 4th to 15th 2015); for the periods: nighttime (green), daytime (red) and 24-hours (blue) (Savić et al. 2018a)

На основу анализе површинских температура (*Land Surface Temperature, LST*) у урбаним срединама, уочавају се корелације између LST и зелених површина које ублажавају ефекат површинског урбаног острва топлоте, док корелација између LST и урбанизованих површина доводи до јачања термалних разлика у односу на неурбанизоване средине, што показује примјер урбане зоне Скопља (Karlan et al. 2018). У истраживањима утицаја урбанизације и LST у урбаномј зони Новог Сада ишло се и корак даље, то јест анализирани су разлике у вриједностима LST у различитим дијеловима града, односно у различитим LCZ (Jovanović et al. 2015; Savić et al. 2020a; Fricke et al. 2020) (Сл. 1.9). Резултати показују највише вриједности у најурбанизованијим дијеловима града, као што су LCZ 2, 8 и 10, а најниже у воденим и парковским површинама. Geletić et al. (2019) чак су анализирали LST разлике између LCZ природних средина (*land cover LCZs*) и на основу тога дефинисали LCZ подтипове (укупно 11).



Сл. 1.9. Просторна дистрибуција LST у Новом Саду (слика лијево) и примјер распореда LST са сателитског снимка (LANDSAT-8, scene LT8\_20170710) за Нови Сад и непосредну природну околину (слика десно) (Savić et al. 2020a)

Fig. 1.9. Spatial distribution of LCZs in Novi Sad (left) and example of the LST pattern (from LANDSAT-8, scene LT8\_20170710) in Novi Sad's urban area and hinterland (right) (Savić et al. 2020a)

Слично као и истраживања у Босни и Херцеговини, анализе термалних карактеристика у Црној Гори концентрисане су у неколико публикација које анализирају вишедеценијске временске серије температуре ваздуха и термалних екстрема са националне мреже станица, али са фокусом на неколико градова, као што су Подгорица, Даниловград, Колашин и приморски градови (Burić et al. 2014, 2015, 2019; Burić and Doderović 2020). Кроз ове анализе могу се спознати додатни термални стресови у овим урбаним зонама, нарочито када су у питању Подгорица, Даниловград, Бар и Будва.

Анализа појаве екстремних климатских догађаја у албанским градовима Тирани и Скадру показује да је у периоду 1982–2012. године дошло до појаве 61 топлог таласа (Pořja 2013). Урбану зону Тиране карактерише тренд раста температуре ваздуха (на основу података од 1947. до 2010. године), као и резултати моделирања који предвиђају даљи тренд раста температуре, броја топлих дана и броја дана са екстремним падавинама у наредним деценијама XXI вијека, па се јавља потреба за увођењем климатских адаптивних мјера (Malltezi et al. 2015). Због тога су важне анализе Fintikakis et al. (2011) и Dervishi et al. (2012), који детаљно представљају микроклиматске и термалне разлике у урбаној зони Тиране, током различитих периода године, у односу на површинску геометрију, тип урбанизације и доминације зелених површина. Сличну анализу урадио је Вајсiнoвcи (2017) за Улцињ, гдје је истраживао принципе биоклиматског пасивног дизајна који су повезани са еколошки одрживим дизајном, затим са микроклиматским условима, као и термалним, просторним, визуелним и акустичним условима и квалитетом ваздуха. За урбану зону Приштине анализу је урадио Dugolli (2013) предлажући мјере адаптације површинске геометрије, односно типа урбанизације, да би се ублажио интензитет урбаног острва топлоте.

За разлику од термалних анализа, за друге метеоролошке параметре, као што су релативна влажност ваздуха и падавине, не уочавају се значајне разлике у зависности од типа урбанизације. Генерално, ниже вриједности влажности ваздуха јављају се у најурбанизованијим дијеловима града, док се према периферији она постепено повећава, што је примијећено у Новом Саду (Milošević et al. 2018). Такође, анализе разлика у падавинама су минималне и статистички незначајне, осим за неке индексе падавина, када се посматрају разлике између различитих типова урбанизације (на примјеру Новог Сада) (Savić et al. 2020b), мада се генерално уочавају разлике у релативној влажности ваздуха и падавинама између урбане средине и непосредног природног окружења (на примјеру Подгорице) (Burić and Doderović 2019).

### 1.3.3. Анализа спољашњег термалног комфора у градовима

Истраживање спољашњег термалног комфора у Босни и Херцеговини представљено је кроз рад Pecelj et al. (2011), који анализирају биоклиматски индекс Блажејчког и Мацаракиса (Blazejczyk and Matzarakis 2007), чије вриједности представљају топлотно оптерећење, временске подтипове и физичке компоненте метеоролошких вриједности. Циљ њихове анализе јесте приказати термалне услове за бањски туризам у урбаном и непосредном природном окружењу Добоја у зимском (јануар) и љетњем (јул) периоду. Резултати показују да у јануару доминира хладни стрес, без интензивног зрачења и са slabим термичким контрастом температуре ваздуха. У јулу мјесецу доминира биотермални тип са топлим стресом, интензивним зрачењем и знатним термичким контрастом температуре ваздуха.

Jahić and Mezetović (2014) користили су туристички климатски индекс (*Tourism Climate Index, TCI*) да би процијенили туристичке потенцијале Херцеговачко-неретванског кантона. Према резултатима њиховог истраживања, повољнији услови за развој туризма, на основу TCI вриједности, карактеристични су на простору од планинских предјела према Јадранском мору, односно од Бјелашнице према Чапљини и Неуму (Таб. 1.2). Такође, TCI за четири града у Црној Гори анализирали су Joksimović et al. (2013) и представили вриједности на мјесечном нивоу, које показују боље услове у Подгорици и Херцег Новом у односу на Жабљак и Колашин.

Таб. 1.2. Мјесечне вриједности туристичког климатског индекса за дефинисане локације и градове у Херцеговачко–неретванском кантону (Jahić and Mezetović 2014)

*Table 1.2. Monthly values of tourist climate indices for defined locations and cities in Herzegovina–Neretva Canton (Jahić and Mezetović 2014)*

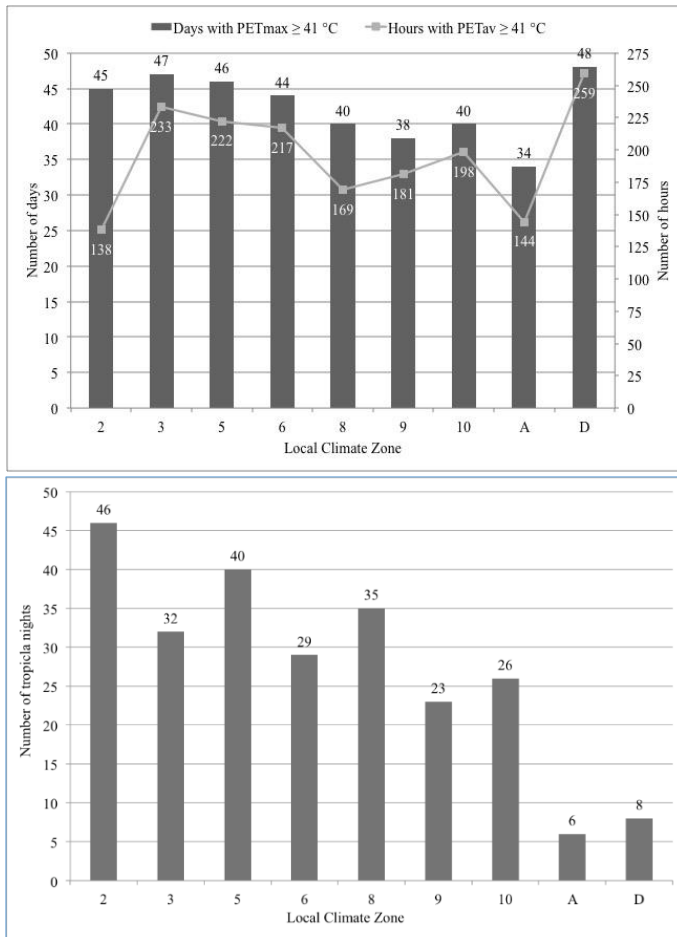
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bjelašnica	12	4	16	22	29	38	47	49	36	29	18	14
Ivan s.	24	24	31	42	54	72	78	81	55	42	24	21
Jablanica	32	31	38	45	71	77	84	79	71	52	37	31
Konjic	33	33	48	55	74	79	85	85	76	57	36	29
Prozor	39	43	47	52	71	76	84	83	79	54	41	33
Mostar	32	39	46	64	78	80	75	73	80	63	42	33
Čapljina	40	44	51	67	82	90	81	80	84	71	45	38
Neum	46	52	49	70	85	95	86	82	82	70	44	41

■ ideal weather (90-100)  
 ■ excellent (80-89)  
 ■ very good (70-79)  
 ■ good (60-69)  
■ acceptable (50-59)  
■ possible (40-49)  
■ unfavourable (30-39)  
■ very unfavourable (20-29)  
■ extremely unfavourable (10-19)  
■ impossible (-30-9)

У неколико студија покушало се уз помоћ вишедеценијских података са главних метеоролошких станица дефинисати термални комфор у градским подручјима у Србији, прије свега користећи главне индексе, као што су физиолошки еквивалентна температура (*Physiologically Equivalent Temperature*, PET) или универзални термални климатски индекс (*Universal Thermal Climate Index*, UTCI) (Basarin et al. 2016; Pecelj et al. 2020). Детаљнија истраживања појаве и утицаја спољашњег термалног комфора рађена су на примјеру урбане зоне Новог Сада. Резултати дана са  $PET_{max} \geq 41$  °C показују највеће вриједности за LCZ D (отворена обрадива површина), и та вриједност је већа него вриједност у најурбанизованијим дијеловима града (као што су LCZ 2, 3, 5). Истовремено, број сати са  $PET_{av} \geq 41$  °C највиши је у LCZ D, а најнижу вриједност има у најурбанизованијем дијелу града, односно LCZ 2 (Граф. 1.4а). Овакви резултати имају логичко објашњење, јер током обданице високи грађевински објекти стварају сјенке на улицама током дужег периода, омогућавајући слабији интензитет загријавања у односу на отворене површине, као што су обрадиве површине или дијелови града са приземним кућама. Истраживања су показала да је утицај сјенки веома битан фактор у ублажавању спољашњег термалног комфора у најурбанизованијим дијеловима града и да у том смислу оријентација улица или распоред високог растиња заједно са објектима могу бити озбиљан модификаторски чинилац (Vajšanski et al. 2015; Milošević et al. 2017).

Са друге стране, утицај урбанизације на термалне карактеристике, па самим тим и спољашњи термални комфор, има другачији карактер у односу на период обданице. На Граф. 1.4б. види се да је број тропских ноћи (ноћи када минимална температура не пада испод 20 °C) знатно већи у најурбанизованијим дијеловима града, у односу на природну средину. Та разлика је вишеструко већа и посљедица је разлика у температурном балансу, односно због вертикалне структуре објеката интензитет радијације топлоте (одавање топлоте од површине ка атмосфери) знатно је спорији (Milošević et al. 2016, 2020).

Истраживање термалног комфора и температурних карактеристика у односу на тип урбанизације и састав материјала који представљају вјештачку површину у приобалним градовима вршили су Panariti et al. (2015) анализирајући приобално шеталиште у граду Дуреш (Албанија) и представљајући термалне разлике у односу на гранитну, бетонску и друге површине.



Граф. 1.4. а) Број дана са  $PET_{max} \geq 41$  °C и број сати са  $PET_{av} \geq 41$  °C у LCZs у Новом Саду (период јун–август 2015. године); б) број тропских ноћи ( $T_{min} > 20$  °C) у LCZs у Новом Саду (период јун–август 2015. године) (Milošević et al. 2020)

*Graph. 1.4. a) Number of days with  $PET_{max} \geq 41$  °C and number of hours with  $PET_{av} \geq 41$  °C in LCZs of Novi Sad (June–August 2015); b) number of tropical nights ( $T_{min} > 20$  °C) in LCZs of Novi Sad (June–August 2015) (Milošević et al. 2020)*



### **1.3.4. Утицаји термалних ризика на становништво у градовима**

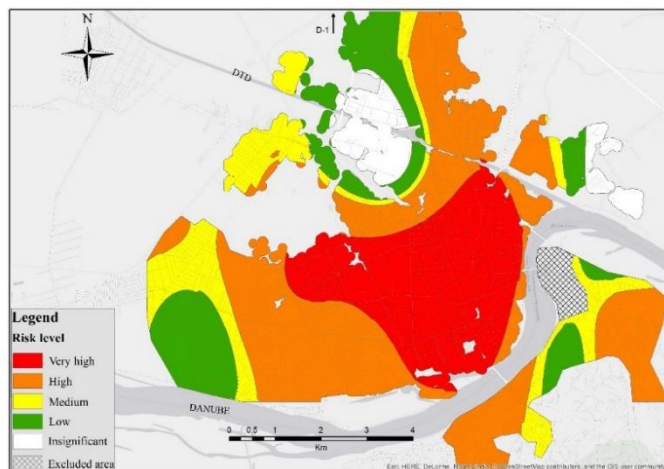
Истраживања међусобног утицаја температуре ваздуха и морталитета (смртности) становништва у урбаним срединама показују очигледну повезаност, нарочито током периода са екстремним температурним догађајима.

Резултати истраживања за Београд и Нови Сад показују да је стопа смртности већа током хладнијег периода године (нарочито за вријеме хладног таласа) у односу на топлији дио (током љета). Међутим, анализа података од краја XIX вијека па до данас показује да је та разлика у стопи смртности (стопи морталитета), изазвана прије свега температурним ризицима, између хладнијег и топлијег периода године све мања, и интензитет у зимском периоду полако опада, а у љетњем периоду тај интензитет додатних случајева смрти константно расте, анализирајући податке од краја XIX вијека па до данас (Đurđev et al. 2012; Arsenović et al. 2019б). Повећана стопа морталитета, односно додатних случајева смрти, усљед интензивних топлих таласа током љета, нарочито је изражена код популације старије од 65 година (Arsenović et al. 2019б). То су периоди када узастопно више дана максималне дневне температуре ваздуха прелазе 30–35 °C и праћене су истовремено тропским ноћима. Свакако, овакви периоди изазивају негативан термални комфор становништва, па је такође изражена и повећана потрошња електричне енергије за расхлађивање просторија, и резултати показују значајну повезаност повећане потрошње електричне енергије у данима са максималним температурама изнад 30 °C (Savić et al. 2014).

Због очигледног значаја процјене термалног ризика у урбаним срединама, Савић је са сарадницима (Savić et al. 2018б), користећи Директиву Европске комисије о процјени и мапирању ризика (ЕС 2010), креирао матрицу термалног ризика и извршио мапирање ризика за урбану зону Новог Сада (Сл. 1.10). Нова методологија дефинисања термалног ризика састоји се из: а) анализе дневних температурних разлика између различитих типова урбанизације (различитих LCZ) и природне средине, и б) дневног броја смртних случајева. На основу тога добијају се нивои ризика, који иду до веома високог ризика у најурбанизованијим дијеловима града током периода високих температура (примјер за јул 2015. године, Сл. 1.10), а то су дијелови града који представљају LCZ 2, 3 и 5. Са друге стране, нижи нивои ризика јављају се у LCZ 6, 9 и 8.

Истраживања Kendrovski et al. (2011, 2014) и Martinez et al. (2016) указују на тренд раста екстремних климатских догађаја (као што су топли таласи) у наредним деценијама XXI вијека, како на територији читаве Републике Сјеверне Македоније, тако и у урбаној зони Скопља. Резултати показују да ће се у урбаној зони Скопља смртност становништва у односу на период 1986–

2005. године, удвостручити у периоду 2026–2045. године, а четворостручити у периоду 2081–2100. године.



Сл. 1.10. Мапа ризика током топлог таласа за урбано подручје Новог Сада (у јулу 2015. године) (Savić et al. 20186)

*Fig. 1.10. Heat wave risk mapping for the urban area of Novi Sad (in July 2015) (Savić et al. 20186)*

#### 1.4. Закључак

У овој студији представљени су трендови климатских процеса изнад Европе и Западног Балкана, па самим тим и Босне и Херцеговине, током XX вијека, усљед утицаја глобалних климатских промјена. Видљива је тенденција пораста екстремних температурних и падавинских догађаја кроз појаву интензивнијих и дужих топлих и хладних таласа, као и кроз екстремне падавине, или пак са друге стране дуготрајних суша у појединим периодима године. Овакви климатски догађаји додатно врше термални притисак у урбаним срединама, гдје живи већи дио становништва у државама Западног Балкана, а тај додатни термални стрес изазван је усљед већ модификованих климатских карактеристика у градовима због геометрије урбане површине.

Процјене за наредне деценије XXI вијека предвиђају растући тренд екстремних догађаја, са још већим интензитетом, па се самим тим поставља потреба за свеобухватнијим и детаљнијим истраживањима урбане климе и температурних карактеристика, да би се могли предвидјети даљи микроклиматски процеси

и припремити адекватне мјере ублажавања и прилагођавања привреде и становништва у градовима усљед надолазећих климатских промјена.

До сада је веома мало урађено у истраживањима урбане климе у државама Западног Балкана. Нешто интензивнија истраживања у посљедњих десетак година рађена су за поједине урбане средине у Републици Србији (на примјер, Нови Сад), али и даље изостају конкретна истраживања и мониторинг за највеће и најзначајније урбане средине. Даљи развој истраживања урбане климе на нашим просторима веома је неопходан из разлога што такви резултати помажу локалним заједницама и државним институцијама да донесу адекватне стратегије и мјере које ће помоћи друштву да се прилагоди новим климатским условима.

## Литература

- Alcantara-Ayala I, Altan O, Baker D, Briceno S, Cutter S, Gupta H, Holloway A, Ismail-Zadeh A, Jimenez Diaz V, Johnston D, McBean G, Ogawa Y, Paton D, Porio E, Silbereisen R, Takeuchi K, Valsecchi G, Vogel C, Wu G, Zhai P (2015) Disaster Risk Research and Assessment to Promote Risk Reduction and Management. ICSU-ISSC, Paris, pp 47
- Arsenović D (2019) Climate and Population in Central Europe: Results for Temperature-Related Mortality in Novi Sad. In: Fisher J, Mazouch P, Hulikova Tesarkova K, Kurtinova O (eds) *New Generations in Demography: New Challenging Adventures in the Population Science*, pp 27–35. University of Economics, Faculty of Informatics and Statistics, Prague, Oeconomica Publishing House
- Arsenović D, Lehnert M, Fiedor D, Šimáček P, Středová H, Středa T, Savić S (2019a) Heatwaves and Mortality in Czech Cities: A Case Study for the Summers of 2015 and 2016. *Geographica Pannonica* 23(3):162–172. doi.10.5937/gp23-22853
- Arsenović D, Savić S, Lužanin Z, Radić I, Milošević D, Arsić M (2019b) Heat-Related Mortality as an Indicator of Population Vulnerability in a Mid-Sized Central European City (Novi Sad, Serbia, Summer 2015). *Geographica Pannonica* 23(4):204–215. doi.10.5937/gp23-22680
- Bajčinovci B (2017) Achieving Thermal Comfort and Sustainable Urban Development in Accordance with the Principles of Bioclimatic Architecture: A Case Study of Ulcinj (Montenegro). *Quaestiones Geographicae* 36(4):131–140. doi.10.1515/quageo-2017-0041
- Bajšanski I, Milošević D, Savić S (2015) Evaluation and Improvement of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas on Extreme Temperature Days: Applications

- of Automatic Algorithms. *Building and Environment* 94:632–643. doi.10.1016/j.buildenv.2015.10.019
- Basarin B, Lukić T, Matzarakis A (2016) Quantification and Assessment of Heat and Cold Waves in Novi Sad, Northern Serbia. *International Journal of Biometeorology* 60(1):139–150. doi.10.1007/s00484-015-1012-z
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007) Future Extreme Events in European Climate: An Exploration of Regional Climate Model Projections. *Climatic Change* 81(Suppl 1):71–95. doi.10.1007/s10584-006-9226-z
- Blazejczyk K, Matzarakis A (2007) Assessment of Bioclimatic Differentiation of Poland Based on the Human Heat Balance. *Geographia Polonica* 80(1):63–82
- Burić D, Luković J, Ducić V, Dragojlović J, Doderović M (2014). Recent Trends in Daily Temperature Extremes over Southern Montenegro (1951–2010). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(1):67–72. doi.10.5194/nhess-14-67-2014
- Burić D, Ducić V, Mihajlović J, Luković J, Dragojlović J (2015). Recent Extreme Air Temperature Changes in Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 95(4):53–66. doi.10.2298/GSGD140626002B
- Burić D, Milenković M, Ducić V (2019) The Specificities of the Climate of Danilovgrad (Montenegro). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 99(1):19–28. doi.10.2298/GSGD1901019B
- Burić D, Doderović M (2019) Precipitation, Humidity and Cloudiness in Podgorica (Montenegro) During the Period 1951–2018. *Geographica Pannonica* 23(4):233–244. doi.10.5937/gp23-23582
- Burić D, Doderović M (2020) Projected Temperature Changes in Kolašin (Montenegro) up to 2100 According to EBU-POM and ALADIN Regional Climate Models. *Idojaras* 124(4):427–445. doi.10.28974/idojaras.2020.4.1
- van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, van der Schrier G (2010) Influence of Circulation Types on Temperature Extremes in Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 99:431–439. doi.10.1007/s00704-009-0153-6
- Vuković A, Vujadinović Mandić M (2018) Study on Climate Change in the Western Balkans Region. *Regional Cooperation Council, Sarajevo*, pp 76
- Gál T, Skarbit N, Unger J (2016) Urban Heat Island Patterns and Their Dynamics Based on an Urban Climate Measurement Network. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2):105–116. doi.10.1520 1/hungeobull.65.2.2
- Geletič J, Lehnert M, Savić S, Milošević D (2019) Inter-/Intra-Zonal Seasonal Variability of the Surface Urban Heat Island Based on Local Climate Zones in Three Central European Cities. *Building and Environment* 156:21–32. doi.10.1016/j.buildenv.2019.04.011
- Depietri Y, Renaud FG, Kallis G (2011) Heat Waves and Floods in Urban Areas: A Policy-Oriented Review of Ecosystem Services. *Sustainability Science* 7(1):95–107. doi.10.1007/s116 25-011-0142-4

- Dervishi S, Lacaj E, Vathi R (2012) Urban Heat Islands (UHI) Mitigation in Densely Urban City of Tirana, Albania: Materials, Energy, Comfort. *International Journal of Business and Technology* 1(1):48–57. doi.10.33107/ijbte.2012.1.1.06
- Doborvolny P, Krahula L (2015) The Spatial Variability of the Temperature and Nocturnal Urban Heat Island Intensity in the City of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports* 23(3):8–16. doi.10.1515/mgr-2015 -0013
- Domonkos P (1998) Statistical Characteristics of Extreme Temperature Anomaly Groups in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 59:165–179
- Dugolli M (2013) Urban Heat Island and Passive Cooling. 15th Workshop on International Stability, Technology, and Culture, June 06 – 08, 2013, Prishtina, The International Federation of Automatic Control, IFAC Proceedings Volumes, pp 181–184
- Đurđev SB, Arsenović D, Savić S (2012) Temperature-Related Mortality in Belgrade in the Period 1888–2008. *Acta Geographica Slovenica* 52(2):385–401. doi.10.3986/AGS52205
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK (1997) Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science* 277(5324):364–367. doi.10.1126/science.277.5324.364
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO (2000) Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science* 289(5487): 2068–2074. doi.10.1126/science.289.5487.2068
- EEA (2020) Global and European Temperatures – Indicator Assessment. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-10/assessment>, Приступљено: 21. фебруар 2022
- Erlwein S, Pauleit S (2021) Trade-Offs Between Urban Green Space and Densification: Balancing Outdoor Thermal Comfort, Mobility, and Housing Demand. *Urban Planning* 6:5–19. doi.10.17645/up.v6i1.3481
- EC (2010) Commission Staff Working Paper—Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management [SEC(2010), 1626 final]. European Commission, Brussels, pp 42
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 996
- IPCC (2012) Managing the Risk of Extreme Events and Disaster to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field CB, Barros V, Stocker TF, Dahe Q, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp 582
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds)] Climate

- Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1–32. Cambridge University Press
- Jaagus J (2006) Climatic Changes in Estonia During the Second Half of the 20th Century in Relationship with Changes in Large-Scale Atmospheric Circulation. *Theoretical and Applied Climatology* 83:77–88. doi.10.1007/s00704-005-0161-0
- Jaagus J, Post P, Tomingas O (2008) Changes in Storminess on the Western Coast of Estonia in Relation to Large-Scale Atmospheric Circulation. *Climate Research* 36(1):29–40. doi.10.3354/cr00725
- Jackson TL, Feddema JJ, Oleson KW, Bonan GB, Bauer JT (2010) Parameterization of Urban Characteristics for Global Climate Modeling. *Annals of the Association of American Geographers* 100(4):848–865. doi.10.1080/00045608.2010.497328
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Bøssing Christensen O, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsman A, Martin E, van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana J-F, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P (2013) EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research. *Regional Environmental Change* 14(2):563–578. doi.10.1007/s10113-013-0499-2
- Jahić H, Mezetović A (2014) Statistical Identification and Qualitative Evaluation of Climate Tourism Potential by Using Tourism Climate Index – TCI on the Example of Herzegovina-Neretva Canton. *Acta Geographica Bosniae et Herzegovinae* 2:77–89
- Jovanović D, Govedarica M, Sabo F, Sladić D, Ristić A (2015) Spatial Analysis of High-Resolution Urban Thermal Patterns in Vojvodina, Serbia. *Geocarto International* 30(5):483–505. doi.org/10.1080/10106049.2014.985747
- Joksimović M, Gajić M, Golić R (2013) Tourism Climatic Index in the Valorisation of Climate in Tourist Centers of Montenegro. *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 93(1):15–34. doi.10.2298/GSGD1301015J
- Jones PD, Lister DH, Osborn TJ, Harpham C, Salmon M, Morice CP (2012) Hemispheric and Large-Scale Land Surface Air Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117:D05127. doi.10.1029/2011JD017139
- Kaplan G, Avdan U, Avdan ZY (2018) Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. *Proceedings* 2(7):358. doi.10.3390/ecrs-2-05171
- Kendrovski V, Donev D, Spasenovska M, Kisman Hristovska M (2011) Climate Change and Human Health in the Republic of Macedonia: Impacts, Vulnerability and Adaptation in Heat Wave Mortality. *The European Journal of Management and Public Policy* 11(1):71–84

- Kendrovski V, Hristovska M, Menne B (2014) The Public Health Impacts of Climate Change in the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(6):5975–5988. doi.10.3390/ijerph110605975
- Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, Georgopoulou E, Jacob D, Martin E, Rounsevell M, Soussana J-F (2014) Europe. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B: Regional Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp 1267–1326. Cambridge University Press
- Kozuchowski K, Marciniak K (1988) Variability of Mean Monthly Temperatures and Semi-Annual Precipitation Totals in Europe in Relation to Hemispheric Circulation Patterns. *International Journal of Climatology* 8:191–199
- Leichenko R (2011) Climate Change and Urban Resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(3):164–168. doi.10.1016/j.cosust.2010.12.014
- Lelovics E, Unger J, Gál T, Gál CV (2014) Design of an Urban Monitoring Network Based on Local Climate Zone Mapping and Temperature Pattern Modelling. *Climate Research* 60(1):51–62. doi.10.3354/cr01220
- Lelovics E, Unger J, Savić S, Gál T, Milošević D, Gulyás Á, Marković V, Arsenović D, Gál CV (2016) Intra-Urban Temperature Observations in Two Central European Cities: A Summer Study. *Idojaras* 120(3):283–300
- Lenderink G, Van Meijgaard E (2008) Increase in Hourly Precipitation Extremes Beyond Expectations from Temperature Changes. *Nature Geoscience* 1(8):511–514. doi.10.1038/ngeo262
- Lehnert M, Kubeček J, Geletič J, Jurek M, Frajer J (2018) Identifying Hot and Cool Spots in the City Centre Based on Bicycle Measurements: The Case of Olomouc, Czech Republic. *Geographica Pannonica* 22(4):230–240. doi.10.5937/gp22-19750
- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. *Science* 303(5663):1499–1503. doi.10.1126/science.1093877
- Malltezi J, Hanxhari R, Zela G, Sulçe S (2015) Climate Change Adaptation Actions in Tirana. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* 14(2):102
- Martinez GS, Baccini M, De Ridder K, Hooyberghs H, Lefebvre W, Kendrovski V, Scott K, Spasenovska M (2016) Projected Heat-Related Mortality Under Climate Change in the Metropolitan Area of Skopje. *BMC Public Health* 16:407. doi.10.1186/s12889-016-3077-y
- Memon RA, Leung DYC, Liu CH (2009) An Investigation of Urban Heat Island Intensity (UHII) as an Indicator of Urban Heating. *Atmospheric Research* 94:491–500. doi.10.1016/j.atmosres.2009.07.006

- Milošević D, Savić S, Stojanović V, Popov-Raljić J (2015a) Effects of Precipitation and Temperatures on Crop Yield Variability in Vojvodina (Serbia). *Italian Journal of Agrometeorology* 3(2015):35–44
- Milošević D, Savić S, Unger J, Gál T (2015b) Urban Climate Monitoring System Suitability for Intra-Urban Thermal Comfort Observations in Novi Sad (Serbia) – with 2014 Examples. ICUC9 – 9th International Conference on Urban Climate Jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, July 20 – 24, 2015, Toulouse, International Association for Urban Climate (IAUC), American Meteorological Society (AMS), Extended Abstracts, p 6
- Milošević D, Savić S, Marković V, Arsenović D, Šećerov I (2016) Outdoor Human Thermal Comfort in Local Climate Zones of Novi Sad (Serbia) During the Heat Wave Period. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2):129–137. doi.10.15201/hungeobull.65.2.4
- Milošević D, Bajšanski I, Savić S (2017) Influence of Changing Trees Locations on Thermal Comfort on Street Parking Lot and Footways. *Urban Forestry and Urban Greening* 23:113–124. doi.10.1016/j.ufug.2017.03.011
- Milošević D, Kresoja M, Savić S, Lužanin Z (2018) Intra-Urban Analysis of Relative Humidity and Its Cross-Correlation with Air Temperature in Central-European City. The 10th International Conference on Urban Climate (ICUC10) with the 14th Symposium on the Urban Environment (SUE), August 06 – 10, 2018, New York, NOAA CREST Institute of the City University of New York, International Association for Urban Climate (IAUC), AMS Board on the Urban Environment, Extended Abstracts, p 5
- Milošević D, Savić S, Arsenović D, Lužanin Z, Dunjić J (2020) Analysis of Human Thermal Comfort in Central European City During Summer of 2015: A Case of Novi Sad (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 100(1):31–39. doi.10.2298/GSGD2001031M
- Milošević D, Trbić G, Savić S, Popov T, Ivanišević M, Marković M, Ostojić M, Dunjić J, Fekete R, Garić B (2022). Biometeorological Conditions During Hot Summer Days in Diverse Urban Environments of Banja Luka (Bosnia and Herzegovina). *Geographica Pannonica* 26(1):29–45. doi.10.5937/gp26-35456
- Milošević D, Savić S, Kresoja M, Lužanin Z, Šećerov I, Arsenović D, Dunjić J, Matzarakis A (2022b) Analysis of Air Temperature Dynamics in the ‘Local Climate Zones’ of Novi Sad (Serbia) Based on Long-Term Database from an Urban Meteorological Network. *International Journal of Biometeorology* 66(2):371–384. doi.10.1007/s00484-020-02058-w
- Milovanović B, Radovanović M, Schneider C (2020) Seasonal Distribution of Urban Heat Island Intensity in Belgrade (Serbia). *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 70(2):163–170. doi.10.2298/IJGI2002163M
- Nicholls N, Alexander L (2007) Has the Climate Become More Variable or Extreme? Progress 1992–2006. *Progress in Physical Geography* 31:77–87. doi.10.1177/0309133307073885



- Oke TR (1995) The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In: Cermak JE, Davenport AG, Plate EJ, Viegas DX (eds) *Wind Climate in Cities*, NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), Volume 277, pp 81–107. Springer
- Ongoma V, Muange KP, Zablon WS (2016) Potential Effects of Urbanization on Urban Thermal Comfort, a Case Study of Nairobi City, Kenya: A Review. *Geographica Pannonica* 20(1):19–31
- Panariti AT, Maliqari A, Tashi P (2015) The Impact of Urban Texture in Outdoor Thermal Comfort. *International Journal of Science and Research* 4(12):1629–1633
- Papathoma-Köhle M, Promper C, Bojariu R, Cica R, Sik A, Perge K, László P, Balázs Czikora E, Dumitrescu A, Turcus C, Birsan MV, Velea L, Glade T (2016) A Common Methodology for Risk Assessment and Mapping for South-East Europe: An Application for Heat Wave Risk in Romania. *Natural Hazards* 82:S89–S109. doi.10.1007/s110 69-016-2291-3
- Pecelj M, Pecelj M, Cutovic M, Pavlovic M, Zivkovic D, Zivkovic L, Vujadinovic S, Pecelj J, Gajic M, Mandic D (2011) Bioclimate Weather Classification of Doboј for Helth Spa Tourism. The 10th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 20 – 22, 2011, Cambridge, WSEAS, Book of Proceedings, pp 292–296
- Pecelj M, Lukić M, Filipović D, Protić B, Bogdanović U (2020) Analysis of the Universal Thermal Climate Index During Heat Waves in Serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(7):2021–2036. doi.10.5194/nhess-20-2021-2020
- Perkins SE, Alexander LV, Nairn JR (2012) Increasing Frequency, Intensity and Duration of Observed Global Heatwaves and Warm Spells. *Geophysical Research Letters* 39:L20714. doi.10.1029/2012GL053361
- Popov T, Gnjato S, Trbić G, Ivanišević M (2018a) Recent Trends in Extreme Temperature Indices in Bosnia and Herzegovina. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 13(1):211–224. doi.10.26471/cjees/2018/013/ 019
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2018b) Changes in Temperature Extremes in Bosnia and Herzegovina: A Fixed Thresholds-based Index Analysis. *Journal of the Geographical Institute „Jovan Cvijić“ SASA* 68(1):17–33. doi.10.2298/IJGI1801017P
- Popov T, Gnjato S, Trbić G (2019) Effects of Changes in Extreme Climate Events on Key Sectors in Bosnia and Herzegovina and Adaptation Options. In Leal Filho W, Trbic G, Filipovic D (eds) *Climate Change Adaptation in Eastern Europe – Managing Risks and Building Resilience to Climate Change*, pp 213–228. Springer. doi.10.1007/978-3-030-03383-5\_15
- Porja T (2013) Heat Waves Affecting Weather and Climate over Albania. *Journal of Earth Science and Climatic Change* 4(4):149. doi.10.4172/2157-7617.1000149
- Revi A, Satterthwaite DE, Aragón-Durand F, Corfee-Morlot J, Kiunsi RBR, Pelling M, Roberts DC, Solecki W (2014) Urban areas. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A:*

- Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 535–612. Cambridge University Press
- Risk Management Solutions (2003) Central Europe Flooding, August 2002, Event Report. Доступно на: [http://www.rms.com/publications/central\\_europe\\_floods\\_whitepaper\\_final.pdf](http://www.rms.com/publications/central_europe_floods_whitepaper_final.pdf)., Приступљено: 16. новембар 2020
- Rosenzweig C, Solecki WD, Hammer SA, Mehrotra S (2011) Urban Climate Change in Context. In: Rosenzweig C, Solecki WD, Hammer SA, Mehrotra S (eds) Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, pp 3–11. Cambridge University Press
- Savić S, Milošević D, Lazić L, Marković V, Arsenović D, Pavić D (2013) Classifying Urban Meteorological Stations Sites by „Local Climate Zones“: Preliminary Results for the City of Novi Sad (Serbia). *Geographica Pannonica* 17(3):60–68
- Savić S, Selakov A, Milošević D (2014) Cold and Warm Air Temperature Spells During the Winter and Summer Seasons and Their Impact on Energy Consumption in Urban Areas. *Natural Hazards* 73(2):373–387. doi.10.1007/s11069-014-1074-y
- Savić S, Milovanović B, Lužanin Z, Lazić L, Dolinaj D (2015) The Variability of Extreme Temperatures and Their Relationship with Atmospheric Circulation: The Contribution of Applying Linear and Quadratic Models. *Theoretical and Applied Climatology* 121(3–4):591–604. doi.10.1007/s00704-014-1263-3
- Savić S, Lužanin Z, Milošević D, Kresoja M (2018a) Intra-Urban Analysis of Air Temperature in Central-European City. The 10th International Conference on Urban Climate (ICUC10) with the 14th Symposium on the Urban Environment (SUE), August 06 – 10, 2018, New York, NOAA CREST Institute of the City University of New York, International Association for Urban Climate (IAUC), AMS Board on the Urban Environment, Extended Abstracts, p 6
- Savić S, Marković V, Šećerov I, Pavić D, Arsenović D, Milošević D, Dolinaj D, Nagy I, Pantelić I (2018b) Heat Wave Risk Assessment and Mapping in Urban Areas: Case Study for a Midsized Central European City, Novi Sad (Serbia). *Natural Hazards* 91(3):891–911. doi.10.1007/s11069-017-3160-4
- Savić S, Geletić J, Milošević D, Lehnert M (2020a) Analysis of Land Surface Temperatures in the „Local Climate Zones“ of Novi Sad (Serbia). *Bulletin of the Serbian Geographical Society* 100(1):41–50. doi.10.2298/GSGD2001041S
- Savić S, Kalfayan M, Dolinaj D (2020b) Precipitation Spatial Patterns in Cities with Different Urbanisation Types: Case Study of Novi Sad (Serbia) as a Medium-Sized City. *Geographica Pannonica* 24(2):88–99. doi.10.5937/gp24-25202
- Savić S, Trbić G, Milošević D, Dunjic J, Ivanisevic M, Markovic M (2022) Importance of Assessing Outdoor Thermal Comfort and Its Use in Urban Adaptation Strategies: A Case Study of Banja Luka (Bosnia and Herzegovina). *Theoretical and Applied Climatology*. doi.10.1007/s00704-022-04237-8
- Sepp M, Jaagus J (2002) Frequency of Circulation Patterns and Air Temperature Variations in Europe. *Boreal Environment Research* 7:273–279

- Skarbit N, Gál T, Unger J (2015) Airborne Surface Temperature Differences of the Different Local Climate Zones in the Urban Area of a Medium Sized City. 2015 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), March 30 – April 01, 2015, Lausanne, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Book of Proceedings, pp 1–4
- Skarbit N, Stewart ID, Gál T, Unger J (2017) Employing an Urban Meteorological Network to Monitor Air Temperature Conditions in the ‘Local Climate Zones’ of Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology* 37(S1):582–596. doi.10.1002/joc.5023
- Stewart ID, Oke TR (2012) Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of American Meteorological Society* 93(12):1879–1900. doi.10.1175/BAMS-D-11-00019.1
- Schär C, Jendritzky G (2004) Climate Change: Hot News from Summer 2003. *Nature* 432(7017):559–560. doi.10.1038/432559a
- Tomozeiu R, Busuioc A, Stefan S (2002) Changes in Seasonal Mean Maximum Air Temperature in Romania and Their Connection with Large-Scale Circulation. *International Journal of Climatology* 22(10):1181–1196. doi.10.1002/joc.785
- Tomczyk A (2016) Impact of Atmospheric Circulation of the Occurrence of Heat Waves in Southeastern Europe. *Idojaras* 120(4):395–414
- Trbić G, Popov T, Gnjato S (2017) Analysis of Air Temperature Trends in Bosnia and Herzegovina. *Geographica Pannonica* 21(2):68–84. doi.10.18421/GP21.02-01
- Unger J, Savić S, Gál T (2011) Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network. *Advances in Meteorology* 2011:398613. doi.10.1155/2011/398613
- United Nations (2014) *World Urbanization Prospects—The 2014 Revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, pp 493
- Unkašević M, Vujović D, Tošić I (2005) Trends in Extreme Summer Temperatures at Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology* 82:199–205. doi.10.1007/s00704-005-0131-6
- Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) (2012) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation—Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 582
- Fintikakis N, Gaitani N, Santamouris M, Assimakopoulos M, Assimakopoulos DN, Fintikaki M, Albanis G, Papadimitriou K, Chrysoschoides E, Katopodi K, Doumas P (2011) Bioclimatic Design of Open Public Spaces in the Historic Centre of Tirana, Albania. *Sustainable Cities and Society* 1(1):54–62. doi.10.1016/j.scs.2010.12.001
- Fricke C, Pongrácz R, Gál T, Savić S, Unger J (2020) Using Local Climate Zones to Compare Remotely Sensed Surface Temperatures in Temperate Cities and Hot

- Desert Cities. *Moravian Geographical Reports* 28(1):48–60. doi.10.2478/mgr-2020-0004
- Hamdi R, Duchene F, Berckmans J, Delcloo A, Vanpoucke C, Termonia P (2016) Evolution of Urban Heat Wave Intensity for the Brussels Capital Region in the ARPEGE-Climat A1B Scenario. *Urban Climate* 17:176–195. doi.10.1016 /j.uclim.2016 .08.001
- Hawkins E (2022) Warming Stripes. Доступно на: <https://showyourstripes.info/>, Приступљено: 28. фебруар 2022
- Haylock MR, Hofstra N, Klein Tank AMG, Klok EJ, Jones PD, New M (2008) A European Daily High-Resolution Gridded Data Set of Surface Temperature and Precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113(D20):D20119. doi.10.1029/2008JD010201
- C3S (2020) European State of the Climate 2019, Climate Bulletin, Copernicus Climate Change Service. Доступно на: <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019>, Приступљено: 7. септембар 2020
- Clark RT, Brown SJ, Murphy JM (2006) Modeling Northern Hemisphere Summer Heat Extreme Changes and Their Uncertainties Using a Physics Ensemble of Climate Sensitivity Experiments. *Journal of Climate* 19(17):4418–4435. doi.10.1175/JCLI 3877.1
- Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Beltrano C, Perini L (2005) Epidemiologic Study of Mortality During the Summer 2003 Heat Wave in Italy. *Environmental Research* 98:390–399. doi.10.1016/j.envres.2004.10.009
- Šećerov I, Savić S, Milošević D, Marković V, Bajšanski I (2015) Development of an Automated Urban Climate Monitoring System in Novi Sad (Serbia). *Geographica Pannonica* 19(4):174–183
- Šećerov I, Savić S, Milošević D, Arsenović D, Dolinaj D, Popov S (2019) Progressing Urban Climate Research Using a High-Density Monitoring Network System. *Environmental Monitoring and Assessment* 191:89. doi.10.1007/s10661-019-7210-0
- Šećerov I, Popov S, Sladojević S, Milin D, Lazić L, Milošević D, Arsenović D, Savić S (2021) Achieving High Reliability in Data Acquisition. *Remote Sensing* 13(3):345. doi.10.3390/rs13030345
- Wilbanks TJ, Kates RW (2010) Beyond Adapting to Climate Change: Embedding Adaptation in Responses to Multiple Threats and Stresses. *Annals of the Association of American Geographers* 100(4):719–728. doi.10.1080/00045608.2010.500200
- Wilhelmi OV, Hayden MH (2010) Connecting People and Place: A New Framework for Reducing Urban Vulnerability to Extreme Heat. *Environmental Research Letters* 5:1–7. doi.10.1088 /1748 -9326 /5/1/014021

## **Climate Change and Urban Climate in the Western Balkans**

Stevan Savić, Goran Trbić, Dragan Milošević, Tatjana Popov

### **Summary**

Global climate change is a process that inevitably affects the European continent, and thus the countries of the Western Balkans, i.e. Bosnia and Herzegovina, which is located in Southeast Europe. Increasingly intense and long-lasting heat waves (especially during the summer period), the occurrence of intense cold waves in winter, intense short-term precipitation periods, as well as long-term dry periods are the consequences of climate change characteristic of the Western Balkans, and thus Bosnia and Herzegovina. Such temperature and precipitation extremes have become more frequent in the last twenty–thirty years, as evidenced by the annual air temperatures in all Western Balkan countries, i.e. it is clear that most of the last few years are the warmest years since the beginning of the 20<sup>th</sup> century.

Due to such extreme weather events, it is clear that urban areas in the Western Balkans are under stronger, primarily thermal pressure, due to the already modified micro and local climate due to the characteristics of surface geometry.

As a result, even higher temperatures and a significantly higher number of tropical nights occur during the heat waves, and have a direct threat to the health of the population and the economy in urban areas.

This study analyzed 49 publications that directly or indirectly analyze, primarily thermal values and indices, in urban areas in the Western Balkans, in Banja Luka, Novi Sad, Belgrade, Tirana and Skopje. The results clearly show higher thermal pressure in urban areas, when it comes to temperatures and indices of thermal comfort, and maximum differences in relation to the natural environment occur in the most urbanized and industrial parts of the city. Also, analyzes of thermal risk on the quality and mortality of the population in urban areas show that increased mortality is in the category of residents over 65 years of age.

*Keywords:* Climate change, extreme weather events, urban climate, air temperature, urban heat island, thermal comfort, Western Balkans

