

АНАЛИЗА УРБАНОГ ОСТРВА ТОПЛОТЕ ПОМОЋУ ПРОДУКАТА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ - СТУДИЈА СЛУЧАЈА ГРАД БАЊА ЛУКА

Марко Иванишевић¹, Стеван Савић², Горан Трбић³, Дијана Гвозден Слишко⁴

Апстракт: Термалне карактеристике урбаних подручја разликују се од термалних карактеристика окружења. Феномен урбаног острва топлоте постоји како у великим урбаним подручјима тако и у мањим подручјима средње величине. У истраживању урбаних острва топлоте постоје два основна приступа – директна мерења температуре ваздуха на терену и читавање температура са продуката даљинске детекције. У овом раду анализирани су продукти даљинске детекције са Ландсат 8 и Ландсат 9 мисије у циљу утврђивања разлика у термалним карактеристикама одређених намена површина на територији града Бања Лука. Укупно је прикупљено 23 сателитска снимка из различитих месеци 2023. године а за анализу термалних карактеристика кориштен је снимак из јула месеца. С обзиром на рашчлањеност рељефа на посматраном подручју, у анализу је придружен и аспект надморских висина. Резултати истраживања указују да изграђене површине у просеку имају вишу температуру од других класа намена површина за минимално 2°C. Најниже просечне температуре забележене су на класи шума и шумског земљишта те водених површина. Гледајући висинске зоне, највише просечне температуре евидентирани су у првој висинској зони до 200 метара надморске висине, а њихова вредност износила је 30,4°C. Све анализе рађене су у софтверским пакетима отвореног кода. Наведено истраживање може користити различитим секторима као што су просторно/урбанистичко планирање, здравство, енергетика, водопривреда, шумарство и слично. Такође, резултати истраживања могу бити од користи за будућа детаљнија истраживања чији је фокус дефинисање локалних климатских зона и термалних разлика унутар њих.

Кључне речи: Урбано острво топлоте, температура површине, Ландсат, Бања Лука.

УВОД

Урбанизација и климатске промене су два веома значајна феномена, који су међусобно повезани и који ће значајно утицати на људску популацију у 21. веку (Seto & Shepherd, 2009; Zhang, 2015). Тренутно, нешто више од четири милијарде људи (55% светске популације) живи у урбаним срединама. Урбане средине ће и даље наставити да демографски расту углавном на рачун миграција из руралних подручја или мањих насеља. Очекује се да ће 6,3 милијарди људи (око 68% светске популације) живети у урбаним срединама до 2050. године (UNDESA, 2018). Треба нагласити да се изграђене површине урбаних насеља повећавају брже него што расте популација у урбаним срединама, што значајно утиче на начине кориштења земљишта, животну средину, биодиверзитет, хидролошки циклус те климу на локалном, регионалном па чак и глобалном нивоу (McDonald et al., 2008; Seto et al., 2010). Хопкинс са сарадницима наводи да урбане средине емитују до 70% глобалних гасова стаклене баште антропогеног порекла (Hopkins et al., 2016). Ефекти климатских промена, у већој или мањој мери, евидентни су у

¹ Универзитет у Бањој Луци - Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, marko.ivanisevic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0001-6441-1907

² Универзитет у Новом Саду - Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, Србија, stevan.savic@dgt.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4297-129X

³ Универзитет у Бањој Луци - Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, goran.trbic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0001-6254-2495

⁴ Републички завод за заштиту културно-историјског и природног наслеђа, Вука Караџића 4, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, gvozdendijana4@gmail.com, ORCID: 0009-0004-4984-4965

свим урбаним срединама без обзира на њихову величину (Puspita & Hadiyanti, 2022). Урбане средине, односно изграђене површине својим карактеристикама утичу на локални енергетски биланс те стварају урбана острва топлоте (Оке, 1982). Иако велики број фактора утиче на стварање урбаних острва топлоте, може се рећи да највећи утицај имају различите намене површина, урбана морфологија и материјали од којих је изграђена супра и инфраструктура (Tzavali et al, 2015). Наведени фактори стварају специфичне термалне карактеристике урбаних подручја, које се разликују од термалних карактеристика руралних подручја у окружењу (Paramita & Fukuda, 2014; Akbari & Kolokotsa, 2016; Paramita & Matzarakis, 2019). Такође, смањена евапотранспирација у комбинацији са великим учешћем изграђених површина утиче на акумулацију топлоте те на топлотну радијацију што у коначници резултује повећаном температуром ваздуха (Harman & Belcher, 2006; Pearlmutter et al., 2009). Урбана острва топлоте утичу негативно на потрошњу енергије, термални комфор, јавно здравље и поједине активности на отвореном простору (Varquez & Kanda, 2018; Savić et al., 2018; Chao et al., 2020; Savić et al., 2023).

За истраживање урбаних острва топлоте најчешће се користе два приступа. Први приступ односи се на директна мерења температуре ваздуха, док се други приступ односи на кориштење продуката даљинске детекције, тачније термалних снимака са којих се читава термални отисак подлоге (Streutker, 2003; Huang et al., 2013; Ward et al., 2016). Кориштење продуката даљинске детекције има одређених предности, првенствено ако се у обзир узме просторна покривеност одређеним снимцима, чијом се анализом могу утврдити обрасци урбаних острва топлоте (Voogt & Oke, 2003). Ранија истраживања су показала да постоји висок степен корелације између температура ваздуха мерених директним путем и температура подлоге које су мерене методама даљинске детекције, али са извесним разликама у зависности од начина кориштења земљишта, односно подлоге (Schwarz et al., 2012; Naserikia et al., 2023). За истраживање термалних карактеристика подлоге, користе се различити сензори постављени на сателитске платформе. Најпознатији сензори за наведене намене су спекторрадиометар средње резолуције МОДИС (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS), Ландсат (Landsat TM, ETM+, OLI/TIRS) и АСТЕР (Chen et al., 2006; Liu & Zhang, 2011; Schwarz et al., 2011).

Феномен урбаних острва топлоте, у већим урбаним подручјима на територији Републике Српске, односно Босне и Херцеговине, није истражен у довољној мери. Истраживања биоклиматских услова и термалних карактеристика урбаног дела града Бања Лука рађена су методама директних мерења температуре ваздуха мобилним и стационарним сензорима у дневним и ноћним условима (Milošević et al., 2022; Savić et al., 2022; Đurđević et al., 2023). Резултати истраживања указују на различите термалне карактеристике унутар самог урбаног подручја током лета, где су евидентирани различити нивои температуре ваздуха од 5-6°C између густо изграђеног градског центра и главног градског парка. Феномен урбаног острва топлоте анализиран је методама даљинске детекције за град Мостар (Duplančić Leder & Leder, 2018) и град Сарајево (Mulahusic et al., 2018; Drešković et al., 2024). У оба случаја анализирана је разлика у температурама подлоге за изграђено урбано подручје и руралну околину. Током лета евидентирани су значајно веће температуре подлоге у урбаним срединама у односу на окружење, а већа амплитуда температура забележена је у Мостару (Duplančić Leder & Leder, 2018).

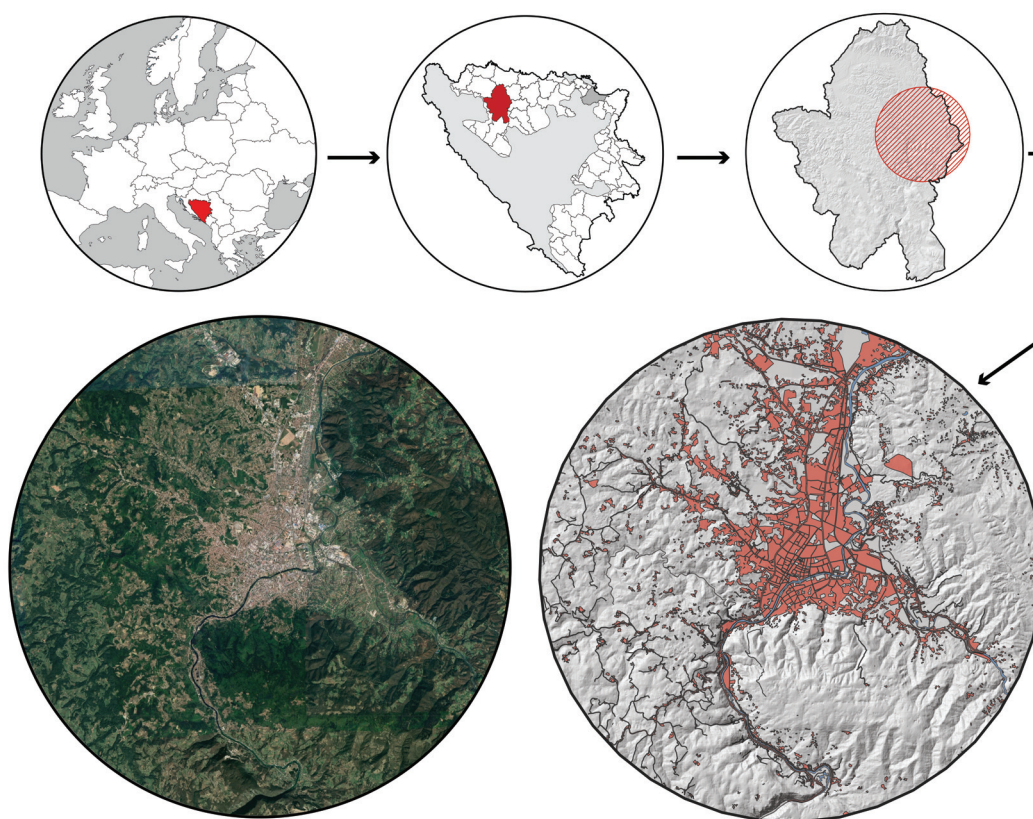
Овај рад има за циљ да пружи увид у термалне карактеристике различитих намена кориштења земљишта на територији града Бања Лука, користећи производе даљинске детекције. За потребе рада, прикупљено је и анализирано укупно 23 снимка са Ландсат платформе у 2023. години. Резултати истраживања могу бити од користи у процесу просторног и урбанистичког планирања, те дефинисања мера митигације и адаптације у секторима јавног здравства, енергетике, цивилне заштите, пољопривреде, водопривреде и шумарства. Такође, резултати истраживања могу послужити као допуна претходним истраживањима која су се базирала на термалне карактеристике одређених зона унутар урбаног подручја града Бања Лука.

ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

Град Бања Лука налази се у северозападном делу Републике Српске, односно Босне и Херцеговине. Градско насеље смештено је у Бањалучкој котлини, на прелазу из брдско-планинског подручја у равничарско подручје. Најзначајнији водоток у урбаном подручју је река Врбас, која се протеже у правцу југ-север и припада сливу реке Саве. Поред реке Врбас, кроз део урбаног подручја протиче и река Врбања која се улива у реку Врбас на локалитету Чесма.

Подручје града карактерише умерено-континентална клима, а према Кепеновој класификацији климе припада Cfb типу. Просечна годишња температура ваздуха износи 11,2°C. Најхладнији месец јануар има просечну температуру 0,2°C, док најтоплији месец јули има просечну температуру 21,4°C (Попов, 2020). Највиша апсолутна температура ваздуха измерена је у августу 2017. године (41,8°C), а најнижа апсолутна температура је измерена током хладног таласа у јануару 1963. године (-26,4°C). Просечна годишња количина падавина износи 1040 mm. Највише падавина се излучи у касно пролеће и на почетку лета, док је најмање падавина у зимским месецима (Роров, 2023).

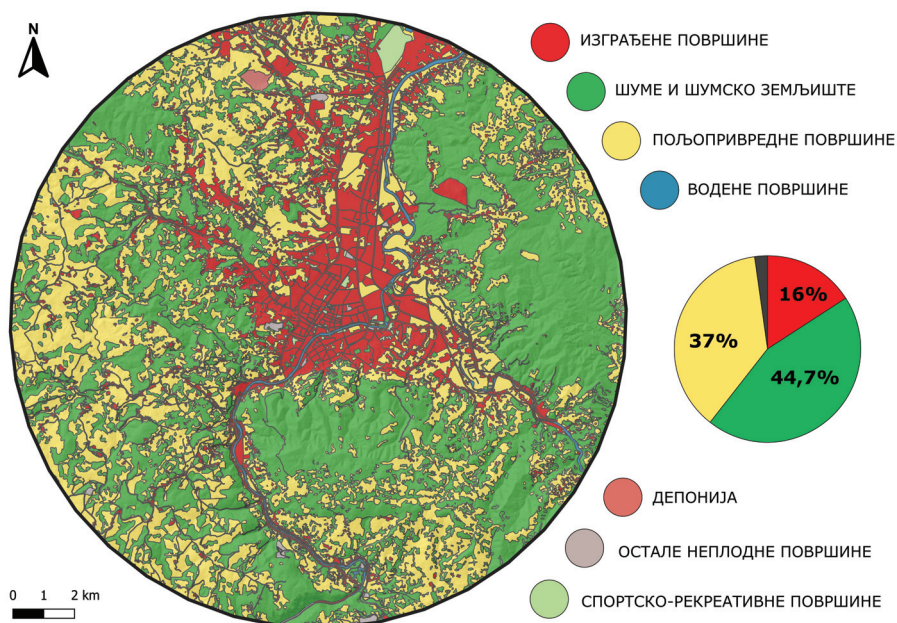
Простор који је анализиран у овом раду омеђен је изотелом од 10 километара чији је центар у урбаном средишту Бања Луке, тачније на Тргу Крајине. Укупна површина анализираниг простора износи 312 km². Просечна висина анализираниг простора износи 310 метара надморске висине.



Слика 1 – Положај и окружење истраживаног простора

МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

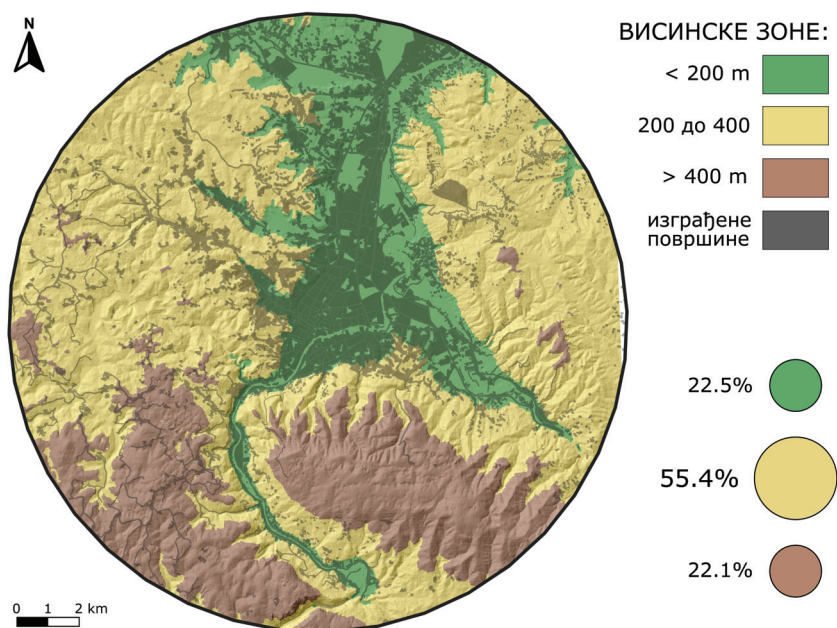
За потребе истраживања урађена је детаљна карта намене површина у анализираном простору. Као подлога за намене површина кориштен је дигитални ортофото снимак из 2021. године. Површине су дигитализоване у софтверском пакету отвореног кода QGIS 3.28.14. Због великог броја различитих намена површина, урађена је генерализација и издвојено је укупно 7 класа: изграђене површине, депонија, пољопривредно земљиште, шуме и шумско земљиште, спортско-рекреативне површине, остале неплодне површине и водене површине.



Слика 2 – Структура намена површина у истраживаном простору

Обзиром на просторну величину истраживаног подручја, утврђено је да су морфолошке карактеристике терена разноврсне и да се у анализи термалних карактеристика одређених класа намена површина треба укључити и варијабла надморских висина. Као што је познато, променом надморске висине, мења се температура ваздуха и подлоге.

Подаци о надморским висинама добијени су анализом дигиталног модела терена резолуције 5 метара. Наведени дигитални модел терена продукт је Републичке управе за геодетске и имовинско-правне послове Републике Српске. Целокупно подручје издвојено је у три висинске, односно хипсометријске, зоне рекласификацијом растера у софтверском пакету GRASS GIS, помоћу опције „r.reclass“. Најнижа тачка на посматраном подручју налази се на 138 метара надморске висине док је највиша тачка на висини од 723 метра. Прва висинска зона односи се на просторе до 200 метара надморске висине и заузима 70,33 km². Висинска зона која обухвата просторе на висинама између 200 и 400 метара територијално је највећа и простира се на 172,79 km². Трећа зона, која се односи на просторе изнад 400 метара обухвата 69,11 km².



Слика 3 – Висинске зоне у истраживаном простору

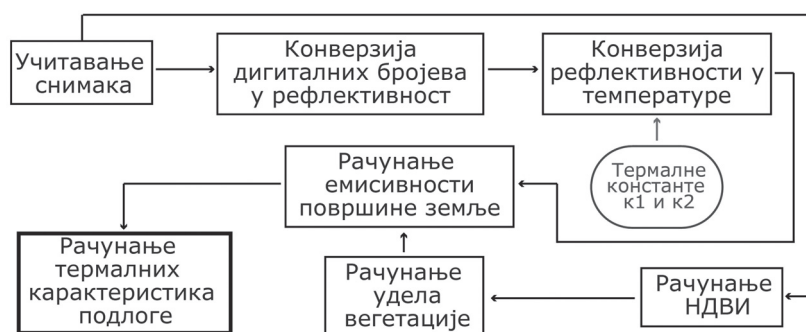
За рачунање термалних карактеристика подлоге, кориштени су производи Ландсат 8 и Ландсат 9 мисије. Производи, односно снимци, преузети су са геопортала „Earth Explorer” Геолошко топографског института САД (earthexplorer.usgs.gov). Укупно је преузето 23 снимка, Л1 нивоа обраде, из 2023. године. Критеријум за селекцију снимака је био да се изабере барем један снимак сваког месеца и да изнад посматраног подручја нема облака. Снимци су преузети за све месеце осим месеца новембра, када је била висока облачност.

Табела 1 – Основне информације о снимцима који су предмет анализе

Датум	Пућања/ред	Идентификатор снимка
06.01.2023.	189/29	LC09_L1TP_189029_20230106_20230314_02_T1
07.01.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20230107_20230111_02_T1
15.01.2023.	188/29	LC09_L1TP_188029_20230115_20230313_02_T1
30.01.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230130_20230208_02_T1
15.02.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230215_20230223_02_T1
12.03.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20230312_20230321_02_T1
28.04.2023.	189/29	LC09_L1TP_189029_20230428_20230428_02_T1
06.05.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230506_20230516_02_T1
22.05.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230522_20230602_02_T1
07.06.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230607_20230614_02_T1
09.07.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230709_20230718_02_T1
10.07.2023.	188/29	LC09_L1TP_188029_20230710_20230710_02_T1
17.07.2023.	189/29	LC09_L1TP_189029_20230717_20230717_02_T1
18.07.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20230718_20230725_02_T1
26.08.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230826_20230905_02_T1
11.09.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20230911_20230918_02_T1
20.09.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20230920_20230926_02_T1
28.09.2023.	188/29	LC09_L1TP_188029_20230928_20230928_02_T1
06.10.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20231006_20231011_02_T1
29.10.2023.	189/29	LC08_L1TP_189029_20231029_20231109_02_T1
08.12.2023.	189/29	LC09_L1TP_189029_20231208_20231208_02_T1
17.12.2023.	188/29	LC09_L1TP_188029_20231217_20231217_02_T1
25.12.2023.	188/29	LC08_L1TP_188029_20231225_20240104_02_T1

Ландсат 8 има један панхроматски канал просторне резолуције 15 метара и осам мултиспектралних канала просторне резолуције 30 метара. Сем тога, Ландсат 8 има и сва термална канала просторне резолуције 100 метара чији се подаци спуштају на резолуцију од 30 метара (Almeida et al., 2021). Сличне карактеристике има и Ландсат 9, тако да је за израчунавање термалних карактеристика подлоге могуће користити комбинацију производа са ова два сателита. Временска резолуција Ландсата 8 и 9 је 16 дана.

Термалне карактеристике подлоге израчунате су на основу НДВИ индекса (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) и коефицијента емисивности подлоге (LSE – Land Surface Emissivity) (Puspita & Hadiyanti, 2022). За рачунање термалних карактеристика подлоге кориштен је софтверски пакет QGIS 3.28.14. У оквиру наведеног софтверског пакета кориштен је и плагин Полу-аутоматске класификације (SCP – Semi Automatic Classification) првенствено за прелиминарно процесирање изворних снимака, односно за атмосферске корекције снимака.



Слика 4 – Поједностављени приказ процеса рачунања термалних карактеристика подлоге. Подаци о часовним вредностима температура ваздуха за метеоролошку станицу Бања Лука, добијени су од Хидро-метеоролошког завода Републике Српске.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Валидација резултата сателитским мерења температура површине вршена је на основу измерених температура ваздуха на метеоролошкој станици Бања Лука. Издвојен је пиксел (30x30 метара) на којем се налази метеоролошка станица и урађена је компарација вредности. Анализом података утврђена је максимална разлика од 6°C између температуре ваздуха и подлоге у месецима јануар и децембар. Велика вредност разлика у температурама последица је споријег загревања подлоге у зимским месецима. Нешто мање просечне разлике у температурама (између 2 и 3°C) евидентирани су у месецима април, мај и октобар. Разлике између 1 и 2°C евидентирани су у месецима јун, јул и август док су разлике до 1°C евидентирани у фебруару, марту и септембру. Слични резултати забележени су и у другим истраживањима (Naserikia et al., 2023; Sagris & Sepp, 2017).

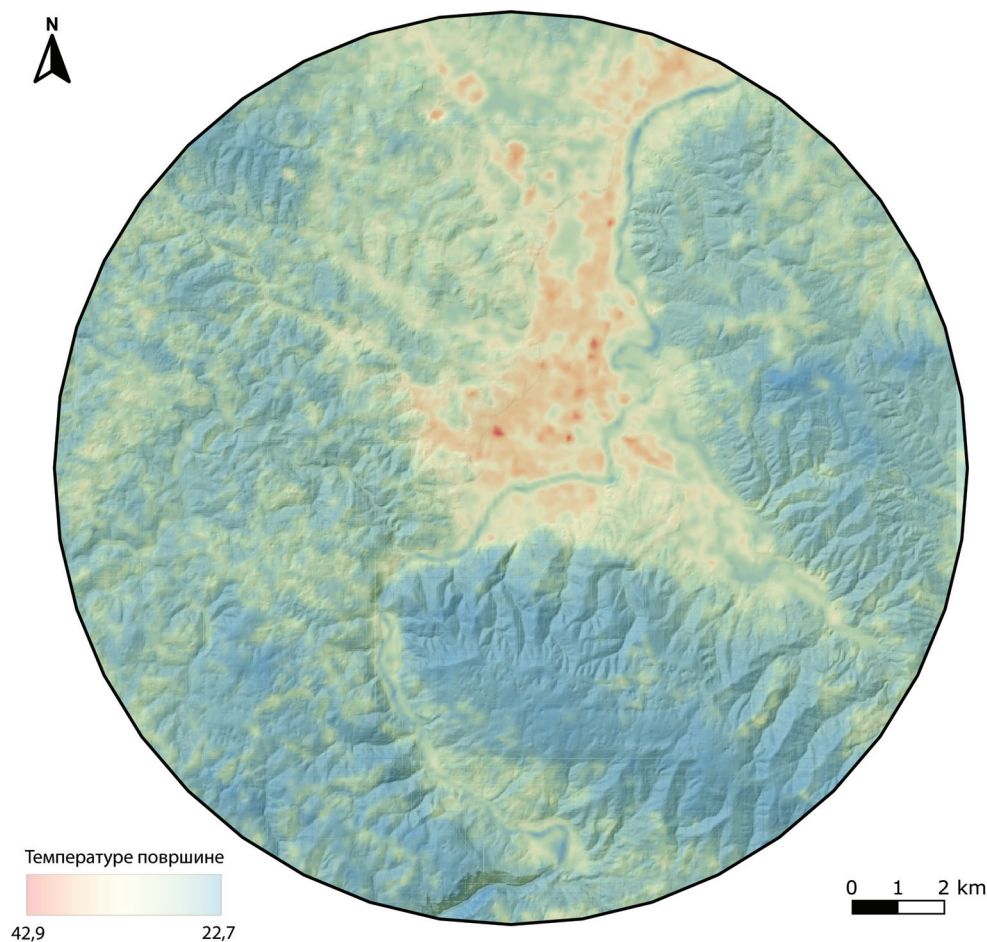
Табела 2 – Приказ измерених температура ваздуха на метеоролошкој станици и температура подлоге добијених анализом сателитских снимка

Датум	Метеоролошка станица		Ландсат 8 и 9	
	Темп. ваздуха	Време	Темп. подлоге	Време
06.01.2023.	12.6	12:00	6.37	11:40
07.01.2023.	11.8	12:00	4.35	11:34
15.01.2023.	9.8	12:00	2.89	11:34
30.01.2023.	4.8	12:00	0.91	11:40
15.02.2023.	9.8	12:00	9.29	11:40
12.03.2023.	9.4	12:00	9.52	11:34
28.04.2023.	21.8	12:00	18.55	11:40
06.05.2023.	24.3	12:00	26.96	11:39
22.05.2023.	24.6	12:00	26.5	11:39
07.06.2023.	23.6	12:00	25.22	11:39
09.07.2023.	29.9	12:00	30.81	11:40
10.07.2023.	30.9	12:00	34.62	11:33
17.07.2023.	36.4	12:00	38.8	11:39
18.07.2023.	33	12:00	32.29	11:33
26.08.2023.	35.3	12:00	33.35	11:40
11.09.2023.	29.2	12:00	30.31	11:40
20.09.2023.	26.4	12:00	25.96	11:34
28.09.2023.	24	12:00	23.52	11:34
06.10.2023.	22	12:00	21.51	11:34
29.10.2023.	24.8	12:00	19.6	11:40
08.12.2023.	5.2	12:00	1.08	11:40
17.12.2023.	6	12:00	1.3	11:34
25.12.2023.	19.8	12:00	9.94	11:34

Наведене вредности (просечних) разлика треба узети са резервом из разлога што је број мерења током одређених месеци недовољан. Једино у месецима јануар и јул постоји по 4 снимка, па се донекле може извући закључак о разликама у температурама. Треба нагласити да су температуре подлоге биле у просеку више од температура ваздуха у летњим месецима.

Сходно томе, даља анализа термалних карактеристика одређених намена површина фокусира се на месец јул, тачније сателитски снимак који је настао 10.07.2023. године. Приликом израчунавања дескриптивне статистике за сваки полигон који се односи на намену површине, кориштен је алат за зоналну статистику у QGIS-у. Просечне, максималне и минималне вредности су издвојене за сваку класу намене површина у односу на висинску зону.

У првој висинској зони (од 173 до 200 метара) налази се уже урбано подручје града и већина изграђених површина. У наведене изграђене површине спадају зоне вишепородичног и индивидуалног становања различите спратности, зоне пословања и становања, зоне пословања и производње те централна градска зона. У просеку, температуре подлоге 10. јуна 2023. године, у 11 часова, за изграђене површине износиле су 32,74°C. Нешто нижа просечна вредност забележена је на полигонима урбаног зеленила (31,79°C). Разлог мале разлике у температурама подлоге између изграђених зона и урбаног зеленила је у високом учешћу зеленила на парцелама где се налази индивидуално становање и значајним површинама зеленила уз саобраћајнице које су због нивоа детаљности придружене изграђеним површинама. Остале неплодне површине (гробља, стоваришта расутих грађевинских материјала и слично) у просеку су имале температуру од 29,79°C. Пољопривредне површине у првој висинској зони у просеку су емитовале 29,68°C, док су шуме и шумско земљиште у просеку имале температуру од 28,49°C. Најнижу температуру у првој висинској зони имале су водене површине (27,94°C). Као додатак анализи термалних карактеристика прве висинске зоне, посебно је обрађена регионална депонија отпада у Рамићима. У просеку, термални отисак депоније износио је 32°C. Битно је нагласити да је највиша температура у првој висинској зони износила 42,98°C, и евидентирана је на пикселу који одговара изграђеним површинама. Најнижа вредност температуре у првој висинској зони евидентирана је на шумској површини и износила је 23,43°C. Релативно велики распон између минималних и максималних температура подлоге евидентиран је и у истраживањима која су рађена за Мостар и Сарајево (Duplančić Leder & Leder, 2018; Drešković et al., 2023).



Слика 5 – Температуре подлоге (у °C) на посматраном подручју, 10. јул 2023. године

У другој висинској зони (од 200 до 400 метара надморске висине) забележене су сличне вредности. Изграђене површине су у просеку емитовале температуру од 30,1°C, док је урбано зеленило у просеку имало 29°C. На осталим неплодним површинама евидентирана је просечна температура од 28,03°C док су пољопривредне површине у просеку имале температуру подлоге 27,16°C. Ниже просечне температуре евидентирани су на шумама и шумском земљишту (26,98°C) и воденим површинама (26,7°C). Највиша температура у другој висинској зони забележена је у оквиру изграђених површина и износила је 36,1°C, док је најнижа температура евидентирана на воденој површини (24,56°C).

Трећа висинска зона има мање изражене разлике између термалних отисака различитих намена. Исто као и у претходне две висинске зоне, највиша просечна температура забележена је на изграђеним површинама и износила је 27,02°C. Остале неплодне површине у овој зони имају нешто више просечне вредности температура (27,36°C). На полигонима урбаног зеленила забележена је просечна температура од 25,89°C, на пољопривредном земљишту 25,78°C и на полигонима шума и шумског земљишта просечна температура од 25,77°C. Класа водених површина у овој висинској зони није присутна. Интересантно је да је у трећој висинској зони класа осталих неплодних површина имала највишу температуру (31,5°C), док је најнижа температура евидентирана на полигону шума и шумског земљишта (23,71°C).

Посматрајући сумарно, просечна температура прве висинске зоне износила је 30,4°C, друге висинске зоне 28,0°C док је у трећој висинској зони просечна температура била 26,4°C. Амплитуда температура између различитих намена површина у првој висинској зони износила је 19,55°C, у другој зони 11,68°C док је у трећој висинској зони амплитуда била свега 7,79°C. Из наведеног се може закључити да свака класа намене површина има свој јединствени термални отисак и да он има више вредности уколико вештачке површине, односно објекти инфраструктуре и супраструктуре значајније заступљени. Такође, евидентан је и утицај висина на термалне карактеристике свих анализираних класа намена површина.

ЗАКЉУЧАК

Урбана острва топлоте су феномен који је присутан како у великим градовима тако и у градовима средње величине. Изучавање наведеног феномена је од великог значаја за различите секторе. Уопштено говорећи, постоје два приступа у изучавању термалних карактеристика урбаних средина. Први приступ односи се на директна мерења температура ваздуха, док други приступ користи продукте даљинске детекције за читавање температура подлоге. У овом раду коришћени су продукти Ландат 8 и Ландсат 9 мисије како би се утврдиле термалне карактеристике одређених намена површина. Анализом снимка из јула 2023. године утврђено је да постоје јасне разлике у термалном отиску различитих намена површина на ширем урбаном подручју Бања Луке. Највише просечне температуре забележене су на изграђеним површинама (32,74°C), урбаном зеленилу (31,79°C) и осталим неплодним површинама (29,79°C). Нешто ниже температуре забележене су на пољопривредном земљишту (29,68°C) и шумама и шумском земљишту (28,49°C). Поред термалних карактеристика одређених намена површина, анализиран је и утицај надморске висине на температуре. Утврђено је да су температуре у просеку имале нижу вредност за 1°C на сваких 100 метара надморске висине. Ово истраживање може бити полазна основа за даља детаљнија истраживања која се фокусирају на делимитацију локалних климатских зона и која детаљније истражују температурне разлике унутар одређених класа намена површина.

ЗАХВАЛНИЦА

Ово истраживање урађено је у оквиру пројекта "Картирање локалних климатских зона и анализа вањског термалног комфора у функцији дефинисања мјера адаптације на простору града Бања Лука" који је финансиран од стране Министарства за научнотехнолошки развој и високо образовање Републике Српске (број пројекта 1259095).

ЛИТЕРАТУРА:

- Akbari, H., Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834-842.
- Almeida, C., Teodoro, A., Goncalves, A. (2021). Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/ techniques: A systematic review. *Environments*, 8, 105.
- Chao, Z., Wang, L., Che, M., Hou, S. (2020). Effects of Different Urbanization Levels on Land Surface Temperature Change: Taking Tokyo and Shanghai for Example. *Remote Sensing*, 12(12).

- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133-146.
- Drešković, N., Đug, S., Osmanović, M. (2024). NDVI and NDBI indexes as indicators of the creation of urban heat islands in the Sarajevo basin. *Geographica Pannonica*, 28(1), 34-43.
- Duplančić Leder, T., Leder, N. (2018). Land surface temperature determination in the town of Mostar area. *Technical gazette*, 25(4), 1219-1226.
- Đurđević, D., Vasić, M., Ogrin, M., Savić, S., Milošević, D., Dunjić, J., Šećerov, I., Žgela, M., Boras, M., Herceg Bulić, I., Pecelj, M., Šušnjar, S., Lukić, M., Ivanišević, M., Trbić, G., Čulafić, G., Mitrović, L. (2023). Long-term assessment of bioclimatic conditions at micro and local scales in the cities of the western part of the Balkan peninsula during the 21st century. *Sustainability*, 15(21), 15286.
- Harman, I. N., Belcher, S.E. (2006). The surface energy balance and boundary layer over urban street canyon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132(621), 2749-2768.
- Hopkins, F. M., Ehleringer, J. R., Bush, S. E., Duren, R. M., Miller, C., Hsu, Y., Carranza, V., Randerson, J. (2016). Mitigation of methane emissions in cities: How new measurements and partnerships can contribute to emissions reduction strategies. *Earth's Future*, 4, 408-425.
- Huang, B., Wang, J., Song, H., Fu, D., Wong, K. (2013). Generating high spatiotemporal resolution land surface temperature for urban heat island monitoring. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(5), 1011-1015.
- Liu, L., Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(12), 1535-1552.
- McDonald, R. I., Kareiva, P., Forman, R. T. (2008) The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 141(6), 1695-1703.
- 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.
- Mulaspačić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Kolic, T., Kogoj, D. (2018). Satellite thermography of Sarajevo. *Geodetski vestnik*, 62(2), 173-187.
- Naserikia, M., Hart, M., Nazarian, N., Bechtel, B., Lipson, M., Nice, K. (2023). Land surface and air temperature dynamics: The role of urban form and seasonality. *Science of the Total Environment*, 905, 167306.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Paramita, B., Fukuda, H. (2014). Heat intensity of urban built environment in hot humid climate region. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(3), 210-218.
- Paramita, B., & Matzarakis, A. (2019). Urban morphology aspects on microclimate in a hot and humid climate. *Geographica Pannonica*, 23(4), 398-410.
- Pearlmutter, D., Kruger, E. L., Berliner, P. (2009). The role of evaporation in the energy balance of an open-air scaled urban surface. *International Journal of Climatology*, 29, 911 – 920.
- Попов, Т. (2020). Утицај савремених климатских промена на фитогеографска обиљежја Републике Српске. Бања Лука: Географско друштво Републике Српске.
- Popov, T., Gnjato, S., Trbić, G., Ivanišević, M. (2023). Changes in air temperature and precipitation in Banja Luka in 1961-2022. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 103(2), 231-254.
- Puspita, B. D., Hadiyanti, A. (2022). Measuring urban heat islands using Landsat 8 TIRS and investigating the variety of landuse proportion in Yogyakarta City. In A. Al-Sayed et al. (Eds.). *International conference on religion, science & education 2022, Proceeding of International conference on religion, science & education 2022* (pp. 595-603), Yogyakarta, Indonesia.
- Sagris, V., Sepp, M. (2017). Landsat-8 TIRS data for assessing urban heat island effect and its impact on human health. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(12), 2385-2389
- Savić, S., Arsenović, D., Lužanin, Z., Milošević, D., Dunjić, J., Šećerov, I., Kojić, M., Radić, I., Harhaji, S., Arsić, M. (2023). Hospital admission tendencies caused by day-to-day temperature changes during summer: a case study for the city of Novi Sad (Serbia). *International Journal of Biometeorology*, 67, 695-704.
- Savić, S., Marković, V., Šećerov, I., Pavić, D., Arsenović, D., Milošević, D., Dolinaj, D., Nagy, I., Pantelić, I. (2018). Heat wave risk assessment and mapping in urban areas: case study for a mid-sized Central European city, Novi Sad (Serbia). *Natural Hazards*, 91(3), 891-911.
- Savić, S., Trbić, G., Milošević, D., Dunjić, J., Ivanišević, M., Marković, M. (2022). Importance of assessing outdoor thermal comfort and its use in urban adaptation strategies: a case study of Banja Luka. *Theoretical and applied climatology*, 150(1), 1-20.
- Schwartz, D., Lautenbach, S., Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186.
- Schwartz, N., Schlink, U., Franck, U., Großmann, K. (2012). Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators – An application for the city of Leipzig (Germany). *Ecological indicators*, 18, 693-704.
- Seto, K. C., Sánchez-Rodríguez, R., Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 167-194.
- Seto, K. C., Shepherd, M. (2009). Global urban land-use trends and climate impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95.
- Streutker, R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 282-289.

- Tzavali, A., Paravantis, J., Mihalakakou, G., Fotiadis, A., Stigka, E. (2015). Urban heat island intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 4537-4554.
- United Nations Department of economic and social affairs [UNDESA] (2018). World urbanisation prospects 2018. pp. 9.
- Varquez, A.C.G., & Kanda, M. (2018). Global urban climatology: a meta-analysis of air temperature trends (1960–2009). *npj Climate and Atmospheric Science*, 1(32), 1-8.
- Voogt, J. A. & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370-384.
- Ward, K., Lauf, B., Kleinschmit, B., Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569-570, 527-539.
- Zhang, X. Q. (2015). The trends, promises and challenges of urbanisation in the world. *Habitat international* xxx, 1-12.

ANALYSIS OF URBAN HEAT ISLAND USING REMOTE SENSING PRODUCTS - A CASE STUDY OF THE CITY OF BANJA LUKA

Marko Ivanišević⁵, Stevan Savić⁶, Goran Trbić⁷, Dijana Gvozden Sliško⁸

Abstract: The thermal characteristics of urban areas differ from the thermal characteristics of the surroundings. The phenomenon of urban heat islands exists both in large urban areas and in smaller medium-sized areas. In the research of urban heat islands, there are two main approaches – direct measurements of air temperature in the field and reading temperatures from remote sensing products. In this study, remote sensing products from Landsat 8 and Landsat 9 missions were analyzed to determine differences in thermal characteristics of specific land use types within the territory of the city of Banja Luka. A total of 23 satellite images from various months of 2023 were collected, and the thermal characteristics were analyzed using an image from July. Considering the terrain's relief complexity in the observed area, the analysis also included the aspect of elevation levels. The research results indicate that built-up areas generally have higher temperatures compared to other land use classes by at least 2°C. The lowest average temperatures were observed in forest and water surface classes. Looking at elevation zones, the highest average temperatures were recorded in the first elevation zone up to 200 meters above sea level, reaching 30.4°C. All analyses were conducted using open-source software packages. The findings of this research can be beneficial for various sectors such as spatial/urban planning, health, energy, water management, forestry, and similar fields. Additionally, the research results can contribute to future detailed studies focusing on defining local climate zones and thermal variations within them.

Keywords: Urban heat island, surface surface temperature, Landsat, Banja Luka.

⁵ University of Banja Luka - Faculty of natural sciences and mathematics, Mladena Stojanovića 2, Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina, marko.ivanisevic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0001-6441-1907

⁶ University of Novi Sad - Faculty of Science, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, Serbia, stevan.savic@dgt.uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4297-129X

⁷ University of Banja Luka - Faculty of natural sciences and mathematics, Mladena Stojanovića 2, Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina, goran.trbic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0001-6254-2495

⁸ Republic Institute for the protection of cultural, historical and natural heritage, Vuka Karadžića 4, Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina, gvozdenbijana4@gmail.com, ORCID: 0009-0004-4984-4965