



## Određivanje površinske temperature tla grada Mostara satelitskim metodama

*Stručni rad/ Professional paper  
Primljen/Received: 14. 5. 2018.;  
Prihvaćen/Accepted: 15. 6. 2018.*

**Tea Duplančić Leder**

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, redoviti profesor

**Nenad Leder**

Pomorski fakultet, Sveučilište u Splitu, docent

**Sažetak:** U članku su ukratko prikazani najkritičniji faktori koji utječu na temperaturu tla. Većina se tih čimbenika može naći na području grada Mostara. Najjednostavniji i najčešće korištena metoda određivanja površinske temperature tla je obrada termalnih kanala satelitskih scena. Landsat je najduža i najraširenija satelitska misija s slobodnim podacima. Za potrebe ovog istraživanja su korišteni Landsat 5, 7 i 8 satelitske scene i slobodni meteorološki podaci iz kojih su izračunate atmosferske korekcije, a zatim površinska temperatura tla (PTT) za područje Mostara. Korištene su četiri zimske scene (uzete u hladnijem dijelu godine), i četiri ljetne scene (uzete u najtoplijem dijelu godine). Iz obrađenih se podataka može zaključiti da se Mostar može smatrati jednim od najtoplijih gradova u Bosni i Hercegovini i šire.

**Ključne riječi:** površinska temperatura tla, Landsat misije, daljinska detekcija, urbani toplinski otoci

## Mostar area land surface temperature determination with satellite methods

**Abstract:** The article briefly presents the most critical factors that affect the soil temperature. Most of these factors can be found in city of Mostar area. The simplest and the most widely used method of land surface temperature determination is processing of thermal bands of satellite scenes. Landsat is the longest and most widely used satellite mission with open data. For the purposes of this study Landsat 5, 7 and 8 satellite scenes and open meteorological data were used, from which the atmospheric correction, and then land surface temperature (LST), were calculated for Mostar area. Four winter scenes (taken in the colder part of the year) and four summer scenes (taken in the warmest part of the year) were used. From all processed data, it can be concluded that Mostar can be considered as one of the warmest cities in Bosnia and Herzegovina and wider.

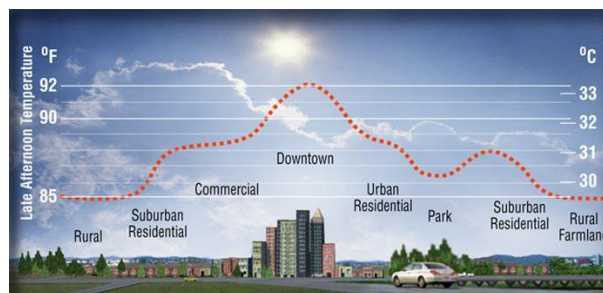
**Key words:** Land surface temperature, Landsat mission, remote sensing, urban heat islands



## 1. UVOD

Danas 54 % ukupne globalne populacije živi u urbanim sredinama, a do sredine stoljeća se očekuje da će ih biti 66%, te da će se ukupna površina urbanih područja značajno povećati. Rastuća urbanizacija uzrokuje promjene temperaturne ravnoteže u gusto izgrađenim urbanim područjima uslijed antropogenih utjecaja. Površinske temperature zraka i tla su važan čimbenik u studijama urbane klimatologije [1, 2, 3]. Termalna daljinska detekcija se koristi u urbanim područjima za opažanje efekata urbanih toplinskih otoka (UTO), za određivanje i klasifikaciju zemljišnog pokrova te kao ulazni podatak za modele promjene površinske atmosfere iznad urbanih prostora [3, 4, 5].

UTO su dijelovi urbanih područja, čija je temperatura zraka i tla veća od okolnog područja (Slika 1). Oni nastaju kao posljedica činjenice da se prevladavajući urbani materijali beton, asfalt ili cigla zagrijavaju drugačije od prirodnih materijala tla, vode ili vegetacije, te mogu povećati temperaturu urbanih područja za nekoliko stupnjeva u odnosu na ruralno područje [6]. Maksimumi temperature zraka se najčešće u ljetnom razdoblju pojavljuju oko 16 sati [6, 7]. Najveće se temperaturne razlike opažaju ljeti u gradovima, koji se nalaze u nizinskim predjelima ili u kotlinama te imaju preko 100 000 stanovnika [8]. Temperaturne razlike na takvim mjestima mogu iznositi 12°C i više [6, 7].



Slika 1 Urbani toplinski otoci; [8]

Utjecaji urbanih toplinskih otoka su veći i lokalno imaju bolnije i značajnije posljedice od stakleničkog efekta. UTO-e općenito uzrokuju [9]:

- Gubitak prirodne vegetacije i njihova zamjena paronepropusnim materijalima koji uzrokuju smanjene evapotranspiracije, smanjenje vlažnosti i suhoću gradskih područja;
- Antropogeni utjecaji (ispušni plinovi, industrija, rashladni uređaji) [10, 11].
- Dominantni urbani građevni materijali koji imaju visoku emisiju termalne energije, visoku termalnu inerciju [12, 13];
- Dijelovi urbane geometrije, npr. urbani kanjoni, naročito u centru grada koji povećavaju zagrijavanje površina i apsorbiraju toplinske energije te blokiraju strujanje zračnih masa, koja hlade prostor;
- Albedo ili koeficijent refleksije sunčeve energije je različit za različite materijale, a prikazan je u tablici 1 [12, 13].

U ruralnim područjima, naprotiv, uglavnom nema pojave UTO-a radi visoke evapotranspiracije, velikih područja hladovine koju stvara vegetacija i vodenih površina.

U posljednjih nekoliko godina bilježi se veliki broj toplinskih udara, koji postaju sve učestaliji i značajnije utječu na kvalitetu života i zdravlje ljudi (kardiovaskularne, alergijske i zarazne bolesti). Ranjive skupine su siromašnija i starija populacija s ograničenom sposobnošću prilagodbe te populacija ovisna o poslovima na otvorenom.

Cilj rada je metodama daljinske detekcije istražiti mikroklimatske promjene na površinskoj temperaturi tla području grada Mostara, postojanje UTO-a te njihovu možebitnu vremensku i sezonsku promjenjivost. Rezultati istraživanja bi trebali ukazati odgovornim osobama

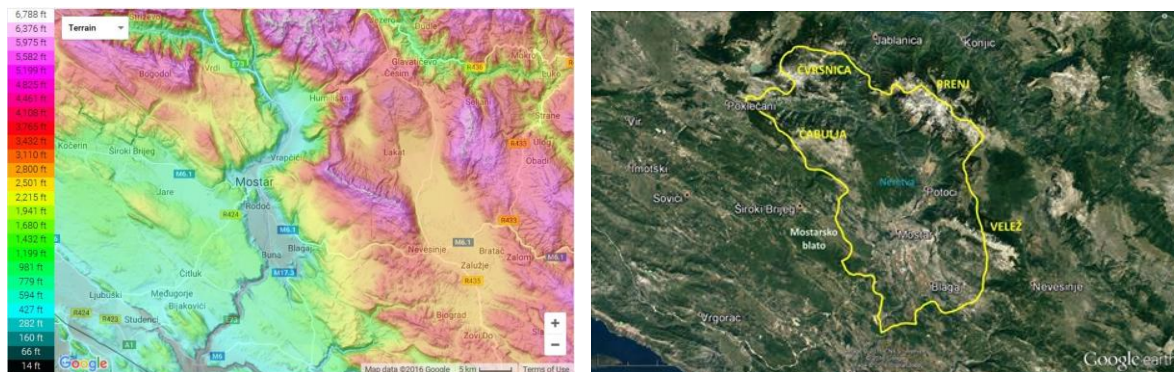


zaduženim za planiranje na ugrožena i kritična toplinska područja te ih uputiti na mjere za smanjivanje površinske temperature zraka i tla.

## 1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Bosna i Hercegovina (BiH) je smještena na jugoistoku Europe, a Hercegovačko-Neretvanski kanton se nalazi na južnom dijelu države, zauzima 4.401 km<sup>2</sup> ili 16.9 % njene površine [14], te je drugi po veličini kanton u BiH. Kanton se uglavnom proteže dolinom rijeke Neretve i obuhvaća dijelove Hercegovine zapadno od grada Mostara, upravnog centra kantona (Slika 2).

Bosna i Hercegovina je planinski prostor i spada u zapadni dio Mediteranske zone. Područje Hercegovine ima brdovit i planinski reljef, s brojnim depresijama i bazenima [15, 16] (Slika 2).



Slika 2 Elevacijska karta šireg područja grada Mostara (lijevo) Lokacija administrativnog područja grada Mostara (desno)

Mostar je administrativno središte južnog dijela BiH sa ukupno 113,169 stanovnika [14] i predstavlja najvažniji grad Hercegovačke regije, te kulturno središte i center Hercegovačko-Neretvanskog kantona. Naselje na rijeci Neretvi, između planina Čabulje i Veleža, postoji još od pretpovijesnih vremena (Slika 2).

### 2.1 Klima grada Mostara

Klimatske karakteristike Mostara su značajno pod utjecajem blizine Jadranskog mora, s kojim su spojeni kanjonom rijeke Neretve. U ljetnim mjesecima, događanje temperatura preko 40°C nisu rijetkost. Najhladniji mjesec je januar s prosječnom temperaturom od 5°C, a najtopliji mjesec je julij s prosječnom temperaturom od 26°C. Mostar ima relativno suhu sezonu od juna do septembra, a ostatak godine je vlažan s blagom klimom [16]. Podtip Köppen klimatske klasifikacije za ovu klimu je Cfa, što znači "oceansku klimu s vrućim ljetima i Mediteranskom tendencijom" (blizu Csa podtipa klime) [17]. Mostar je najsunčaniji grad u državi s prosječno 2291 sunčanih sati godišnje [18]. Najviša temperatura u Mostaru je izmjerena 31. jula 1901. godine i iznosila je 46.2°C [18], čime je i grad svrstan u najtopliji grad bivše Jugoslavije, danas BiH. Općenito se može zaključiti da je grad imao suhu klimu koja je danas sve vlažnija, što čini ljetne vrućine teško podnošljivim za ljude [16].

## 3 Materijali i metode

### 3.1 Termalna daljinska detekcija

Platforme koje se najčešće koriste za određivanje površinske toplote tla su sateliti (GEOS, AVHRR, MODIS, LANDSAT, ASTER) s širokim prostornim obuhvatom snimanja [19] i



ograničenim vremenskim intervalima; zrakoplovi s visokom prostornom razlučivošću ali visokom cijenom podatka te terestrički senzori s dobrom vremenskom razlučivošću i ne trebaju korekcije zbog atmosferskih utjecaja [20];

Prvo opažanje površinskih termalnih otoka (satelitskim sensorima) publicirano je 1972. godine [21] i otada se različiti satelitski senzori koriste za opažanje temperature urbanih površina. Danas autori najčešće koriste Landsat termalne podatke za računanje površinske temperature jer imaju dobru prostornu razlučivost i dostupni su za korištenje bez naknade. Sve ostale satelitske misije imaju bolju vremensku, ali lošiju prostornu rezoluciju, pa je njihovo korištenje manje prikladno za realizaciju osnovnog cilja ovog rada.

Landsat satelitska misija se nađe iznad područja istraživanja svakih osam dana u 9:42 sati (UTC). Razdoblje dana s maksimalnom površinskom temperaturom je od 14 do 18 sati [7, 17]. U radu su korištene Landsat 5, 7 i 8 satelitske snimke [28]. Sateliti koji se koriste za opažanje dijelova zemljine površine direktno mjere zračenje gornjeg dijela atmosfere (top of the atmosphere – TOA) [4]. Postupak računanja površinske temperature tla opisan je u poglavlju 4.

### 3.2 Meteorološki podaci

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci temperature i tlaka zraka te relativne vlage izmjereni na meteorološkoj stanici Mostar aerodrom ( $\varphi=43,283^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda=17,846^{\circ}\text{E}$ ;  $h=125\text{m}$ ) za odabrane meteorološke situacije (Tablica 1). Navedeni su podaci korišteni za određivanje parametara atmosferske korekcije zadatih Landsat 5, 7 i 8 scena. Prema mjerenjima temperature zraka pokazalo se da su ljeta 2015-2017. godine bila najtoplija otkad postoje mjerenja. Za očekivati je nastavak ovako ekstremnih temperaturnih vrijednosti [22].

### 3.3 Odabir primjerenih Landsat satelitskih snimaka

Standardne Landsat proizvode distribuira US Geological Survey's Earth Resources Observation and Science Center (USGS EROS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), a sadrže grubo obrađene i kalibrirane (geokodirane) multispektralne snimke. Za potrebe ovog rada odabrane su Landsat 7 i 8 scene tako da predstavljaju po jednu karakterističnu zimsku i ljetnu meteorološku epizodu na početku novog tisućljeća i posljednje tri godine, koje je Svjetska meteorološka organizacija [22] proglasila najtoplijom godinama otkad postoje meteorološka mjerenja.

Svi postupci predobrade i obrade Landsat scena obavljani su u računalnom programu ArcGIS 10.6. Završna dorada dobivenih rasterskih karata i podataka je obavljena u Adobe Photoshop CS6 programu.

### 3.4 Atmosferska korekcija

Prije obrade satelitskih snimaka napravljena je predobrada, koja podrazumijeva eliminaciju atmosferskih raspršenja na snimci. Za računanje parametara atmosferske korekcije, atmosferska transmisija te uzlazne i silazna radijanca trebaju biti poznate ili modelirane za određeni prostor.

U radu je korištena metoda određivanja atmosferskih parametara na osnovu zadane temperature, tlaka i vlage u zraku. Atmosferska korekcija za lokaciju grada Mostara, odabrani datum i vrijeme, izračunata je pomoću modela koji koristi globalne atmosferske profile, modeliranom u National Centers for Environmental Prediction (NCEP) [23]. Ovom je metodom grubo određen parametar atmosferske korekcije. Nakon modeliranja globalnih atmosferskih profila, kao i površinske temperature, uz poznavanje tlaka i relativne vlage, moguće je konvertirati prostorno dolaznu u prostorno odlaznu radijancu:

$$L_{TOA} = \tau \varepsilon L_T + L_u(1 - \varepsilon)L_d \quad (1)$$

$\tau$  atmosferska transmisija,



$\varepsilon$  je emisivnost površine,

$L_T$  je radijanca kinetičke temperature crnog objekta T,

$L_u$  je uzlazni ili atmosferski put radijance,

$L_d$  je silazna ili nebeska radijanca,

$L_{TOA}$  je prostorni doseg ili TOA radijanca mjerena instrumentom. Radijanca se iskazuje  $W/m^2 \cdot ster \cdot \mu m$ , a prijenos i emisivnost su bez jedinica.

Radijanca je pretvorena u temperaturu pomoću Planckove jednadžbe. Detalji računanja atmosferske korekcije prikazani su u [24, 25]. Zanimarivanje atmosferske korekcije može rezultirati sustavnim pogreškama u predviđanju površinske temperature tla. Treba napomenuti da je izračunata površinska temperatura bez primjene NCEP modela atmosferskih profila za računanje atmosferske korekcije, temperatura 5-10 °C niža.

Površinski meteorološki parametri meteorološke postaje u Mostaru, kao i atmosferski korekcijski parametri (atmosferska transmisija te uzlazne i silazna radijance) za odabrane datume i vrijeme prikazani su u tablici 1. U tablici 1 prikazane su temperature zraka mjerene na meteorološkoj stanici Mostar aerodrom. Visoke temperature zraka i tla, a posebno one iznad 36°C negativno utječu na ljudsko zdravlje, jer je pri takvim temperaturama tijelu onemogućeno hlađenje.

**Tablica 1** Zadani meteorološki parametri i izračunata atmosferska korekcija za područje Mostara (43.82°N, 18.33°E, visina 511m) za odabrane datume u 9:42 UTC

Mostar datum	Meteorološki parametri			Atmosferska korekcija		
	Temp. zraka (°C)	Vlaga (%)	Tlak (mb)	Atm. transmisija	Uzlazna radija.	Silazna radija.
02.08.2017.	31.0	40	1016	0.70	2.59	4.16
25.01.2018	05.0	65	1029	0.94	0.35	0.60
13.08.2015.	30.1	43	1012	0.69	2.57	4.14
03.12.2015.	05.0	71	1031	0.94	0.39	0.67
18.08.2011.	28.8	42	1015	0.76	1.95	3.15
05.12.2010.	08.0	57	1020	0.94	0.35	0.61
09.08.1999.	30.1	43	1012	0.73	2.17	3.51
16.01.2000.	03.0	40	1023	0.93	0.36	0.62

### 3.5 Pretvaranje digitalnih brojeva u temperaturu

#### 3.5.1. Konverzija digitalnog broja u radijancu vrha atmosfere

Podaci OLI i TIRS kanala mogu se pretvoriti u spektralnu radijancu vrha atmosfere pomoću faktora skaliranja radijance navedenog u datoteci metapodataka [26, 27]:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

$L_\lambda$  je spektralna radijanca vrha atmosfere ( $Watts/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$ );

$M_L$  je specifična multiplikacijska konstanta kanala iz datoteke metapodataka;

$A_L$  je specifična adicijska konstanta kanala iz datoteke metapodataka;

$Q_{cal}$  je cjelobrojna i kalibrirana standardna vrijednost slikovnog elementa (digital number DN).

#### 3.5.2 Konverzija radijance u refleksiju vrha atmosfere

Podaci OLI kanala mogu biti konvertirani u planetarnu refleksiju vrha atmosfere pomoću koeficijenta refleksije koji se nalazi u datoteci metapodataka (MTL file). Slijedeća se jednadžba koristi za konverziju DN vrijednosti u refleksiju vrha atmosfere za OLI podatke:

$$\rho'_\lambda = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (3)$$

$\rho'_\lambda$  planetarna refleksija vrha atmosfere, bez korekcije za solarni kut;

$M_\rho$  multiplikacijska konstanta refleksije za pojedini kanal dostupna u datoteci metapodataka;



$A_p$  je specifična adicijska konstanta za pojedini kanal iz datoteke metapodataka;  
 $Q_{cal}$  je ugrubo predobrađena i kalibrirana standardna vrijednost slikovnog elementa (digital number DN).

### 3.5.3 Refleksija vrha atmosfere s korekcijom za solarni kut

Refleksija vrha atmosfere s korekcijom za solarni kut iznosi:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SE})} \quad (4)$$

$\rho_{\lambda}$  je planetarna refleksija vrha atmosfere;

$\theta_{SE}$  je lokalni kut visine sunca. Kut visine sunca (sun elevation) središta scene u stupnjevima nalazimo ga u metapodacima;

$\theta_{SZ}$  je lokalni solarni zenitni kut;

$$\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$$

Za točnije računanje refleksije potrebno je poznavati solarnog kuta za svaki pixel, koji se može zamijeniti sa solarnim kutom sredine scene. Solarni zenitni kut piksela sredine scene se može dobiti u metapodacima Landsat snimke.

### 3.5.4 Konverzija satelitskog odsjaja temperature

Radianca temperaturne pretvorbe može biti obavljena uz pomoć Planckove jednadžbe [28]. Podaci TIRS kanala mogu biti konvertirani od spektralni odsjaj (radiancu) na odsjaj temperature pomoću termalne konstante koju nalazimo u datoteci metapodataka:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (5)$$

T je satelitski odsjaj temperature (K);

$L_{\lambda}$  je TOA spektralna radianca (Watts/( $m_2$ \*srad\* $\mu m$ )),

$K_1$  i  $K_2$  su specifične termalne konstante konverzije kanala i iznose  $K_1=666.09$  i  $K_2=1282.71$  za Landsat 7 podatke, dok za kanal 10 Landsat 8 one iznose  $K_1=774.88$  i  $K_2=1321.08$ .

Za prikazivanje temperaturnog raspona je korištena nenadzirana klasifikacija, koja se pokazala čitljivijom za različite temperaturne raspone zimi i ljeti.

## 4 Rezultati

Uspoređene su četiri ljetne i četiri zimske scene; snimljene u vremenskim intervalima od 5 do 10 godina. Posljednje dvije scene razmaka su dvije godine i predstavljaju početak vidljivijih klimatskih promjena. Scene su odabrane tako da prikazuju najhladnije (decembar i januar) i najtoplije (august) dijelove godine na promatranom području. Nažalost, uočene scene nisu bile podjednako raspoređene u vremenskim intervalima, zbog slobodno dostupnih meteoroloških informacija, slabe dostupnosti starijih scena te pogrešaka na Landsat 7 sensorima, koja smanjuje kvalitetu podataka (to je osobito povezano s toplinskim podacima koji su vrlo nestabilni za interpolaciju i nesigurni za upotrebu).

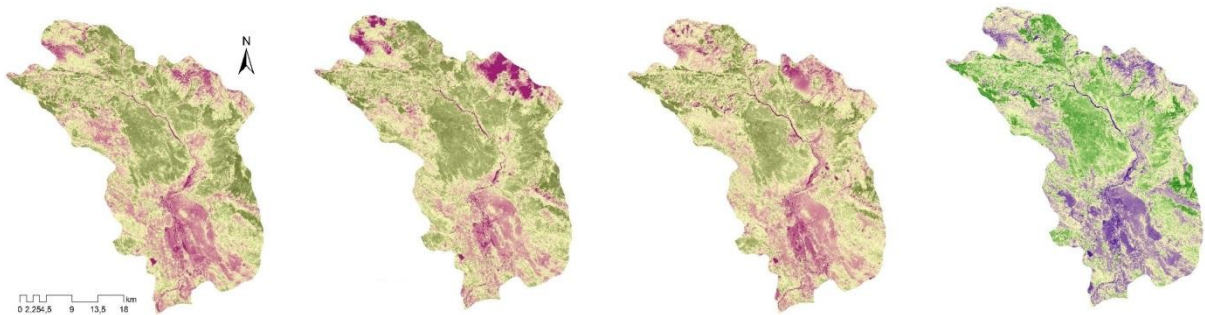
Međutim, usporedbom ovih scena, uočljive su značajne razlike u količini vegetacije i temperaturnim rasponima na promatranom području. Na slici 3 je prikazan normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) za odabrane ljetne scene. Na slici se može uočiti da je na širem području grada Mostara (južni dio područja) i na području planine Prenj (sjeveroistočni dio područja) NDVI nizak, što ukazuje na stanje vegetacije. Ta činjenica ima značajan utjecaj na refleksiju u termalnom dijelu spektra (Slika 4), tako se u gradskom području mogu očitati visoke



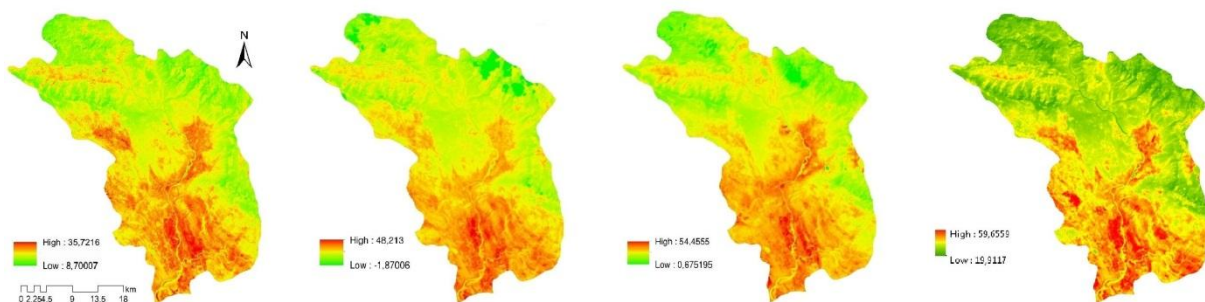
površinske temperature tla. U planinskom području visoke temperature nisu evidentne zbog velikih visina područja, opadanja temperature s visinom te mogućnosti magle, rose i niske naoblake u donjim slojevima.

Slika 4 prikazuje ljetne površinske temperature tla (PTT) dobivene iz refleksije na termalnom kanalu 10, kalibriranom za atmosfersku korekciju izračunatu prema meteorološkim podacima (Tablica 1). Na desnoj strani slike 4 (13. 08. 2015.) može se uočiti najveći temperaturni raspon (0,7–54,5°C), kao rezultat klimatskih promjena posljednjih godina. Landsat satelit preko ovog područja prolazi nekoliko minuta prije 10 sati ujutro, a temperaturni maksimum se može očekivati od 12 do 16 sati. To bi značilo da na određene temperature treba dodati najmanje 2 do 3°C, da bi se dobila maksimalna dnevna temperatura tla, što u slučaju 2017. godine znači i do 60°C.

Na kraju milenija u ljetnom dijelu godine (09. 08. 1999.), temperature iznose od 8,7 do 35,7°C. Dana 18. 08. 2011., planina Prenj je najvjerojatnije bila pod maglom ili niskim oblacima jer je izmjerena temperatura oko 10 sati ujutro bila -1,9°C, dok je temperatura u urbanom području dosegla 48°C. Velika se temperaturna razlika može pripisati i velikoj razlici u visini između točke kalibracije (nadmorska visina 50m) i točke određivanja temperature (Slika 4). U 2015, koja je proglašena za jednu od triju najtopliju godinu otkada postoje mjerenja, najniža određena temperatura je bila 0,7°C, dok je maksimalna temperatura dosegla 54,5°C. Još veći temperaturni maksimum zabilježen je 02. 08. 2017. kada je najniža temperatura bila 19,9°C, dok je najviša zabilježena temperatura iznosila impresivnih 59,6°C (Slika 4).



Slika 3 NDVI ljetnih scena 09. 08. 1999. (lijevo), 18. 08. 2011. (sredina lijevo), 13. 08. 2015. (sredina desno), i 02. 08. 2017. (desno), područja grada Mostara



Slika 4 LST ljetnih scena 09. 08. 1999. (lijevo), 18. 08. 2011. (sredina lijevo), 13. 08. 2015. (sredina desno) i 02. 08. 2017. (desno), područja grada Mostara

NDVI zimskih scena su značajno različite od ljetnih. Na scenama snimljenim 16. 01. 2000. te 5. 12. 2010., možemo uočiti nizak vegetacijski indeks na jugozapadnom dijelu područja, koje predstavlja poplavljeno područje Mostarskog blata. Nasuprot tome, na planini Čabulja u sjeverozapadnom području scene iz 2000., postoji područje koje je kasnije pokriveno

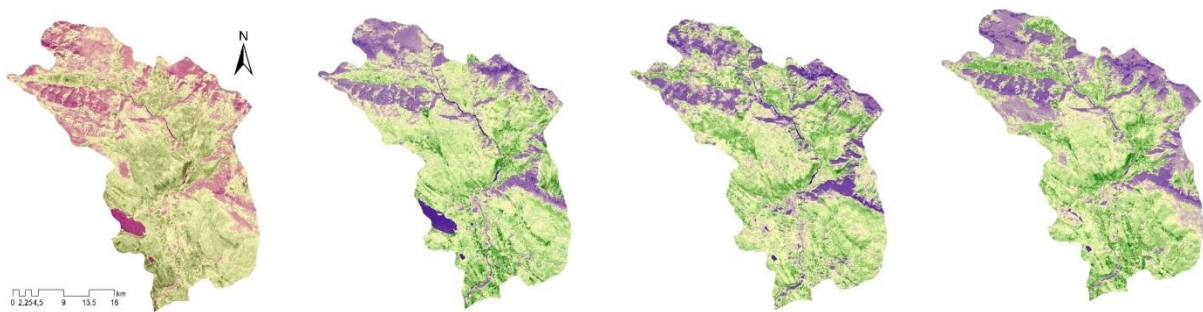


vegetacijom te se može zaključiti da je to područje opožareno ili je na neki drugi način izgubilo vegetacijski pokrov (na primjer prekriveno snijegom) (Slika 5).

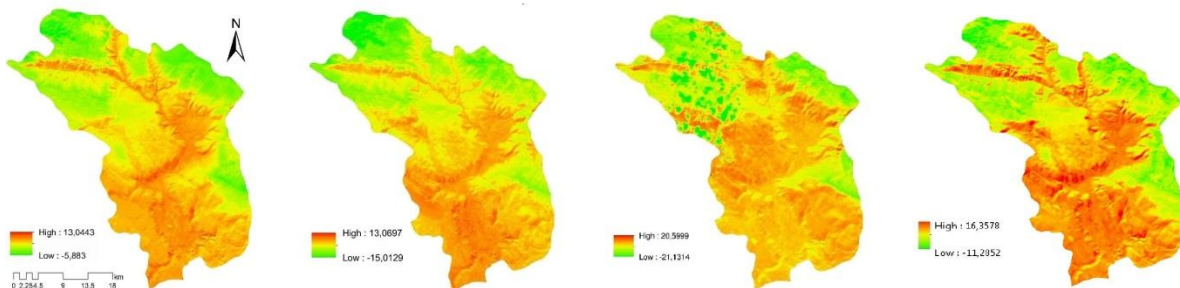
Također se može vidjeti da su temperaturni rasponi značajno drugačije distribuirani u zimskoj sezoni negoli u ljetnoj (Slike 4 i 6). Na početku milenija 2000. godine minimalna temperatura je bila  $-5,9^{\circ}\text{C}$  a maksimalna je dosegala  $13,0^{\circ}\text{C}$ . Deset godina kasnije, također u najhladnijem periodu godine, minimalno zabilježena temperatura je bila  $-15,0^{\circ}\text{C}$  a maksimalna  $13,1^{\circ}\text{C}$ . Najveći raspon temperatura zabilježen je dana 3. 12. 2015., i minimalno iznosi  $-21,1^{\circ}\text{C}$  (vrijednost se odnosi na najnižu temperaturu tla nemaskiranih oblaka na sjeverozapadnom dijelu područja proučavanja, koji se proteže preko planinskog područja Čabulje i Čvrsnice), dok je maksimum znosio  $20,1^{\circ}\text{C}$  (Slika 6).

Najviša temperatura tla u ljetnom razdoblju je očekivano zabilježena na urbaniziranom području gradskog bazena u Mostaru, dok je na vrhu planine Prenj zabilježena najniža temperatura.

Konačno, može se istaknuti da se tok rijeke Neretve može raspoznati na svim prikazanim NDVI i PTT scenama. U zimskom dijelu godine rijeka je toplija, a ljeti hladnija od okoline.



Slika 5 NDVI zimskih scena 16. 01. 2000. (lijevo), 05. 12. 2010. (sredina lijevo) i 03. 12. 2015. (sredina desno) i 25. 01. 2018. (desno) područja grada Mostara



Slika 6 PTT zimskih scena 16. 01. 2000. (lijevo), 05.12. 2010. (sredina lijevo) i 03. 12. 2015. (sredina desno) i 25. 01. 2018. (desno) područja grada Mostara

## 5 Diskusija

U radu su se pokušalo istražiti mikroklimatske promjene na površinskoj temperaturi tla, te postojanje UTO-a i njihovu vremensku i sezonsku promjenjivost na području grada Mostara. Iz niza termalnih satelitskih snimaka vidljivo je značajno povećanje površinske temperature tla. Maksimalne temperature se događaju od 14-16 sati, pa se prikazane temperature trebaju dodatno povećati za nekoliko stupanja te mogu doseći preko  $60^{\circ}\text{C}$ .

Posljednjih desetak godina postoji veliki broj znanstvenih radova i studija koje prate klimatske promjene, a rezultiraju izradom karata nepogoda te izradom podloga za studije rizika i zaštite okoliša od toplinskih nepogoda.





Studije toplinskih karakteristika urbanih područja i smanjivanje efekta toplinskih otoka [7] uglavnom se baziraju na progušćavanju urbane vegetacije, primjeni reflektirajućih krovnih materijala s posebnim naglaskom na zelene krovove te primjenu hladnih reflektirajućih kolnika. Na smanjivanje PTT-a i UTO-a utječe povećanje vegetacija i vodenih površina, pa se stoga predlaže gradskim komunalnim službama povećavanje takvih površina.

U posljednje se vrijeme i na ovim prostorima različiti autori počinju baviti mikroklimatskim karakteristikama određenih gradova, a time i unapređivanjem klimatskih karakteristika i poboljšanju kvalitete života na određenom području [7, 29, 30].

## 6 Zaključak

Metoda korištenja satelitskih senzora s termalnim kanalima za utvrđivanje temperatura površine tla često se koristi za znanstvena istraživanja kao i za planiranje i upravljanje zemljištem. U ovom je radu dokazano da se Mostar, grad u kojem su izmjerene maksimalne temperature, to je ujedno i grad u kojem se može očekivati i maksimalna temperatura tla. Grad Mostar je vjerojatno najtopliji u BiH i šire jer je smješten u kotlini ili kanjonu u sub-Mediterranskom području, koje pojačano akumulira toplinsku energiju. Izvan grada Mostara je signifikantan dio planinskog terena jako nagnut s malom količinom vegetacije, što također povećava emisiju infracrvenog toplinskog zračenja.

Konačno, može se zaključiti da ova studija može pomoći urbanim i prostornim planerima da se tijekom procesa prostornog planiranja pobrinu da se smanji toplinski učinak primjenom odgovarajućih "zelenih" građevinskih materijala te pošumljavanjem urbanih i ruralnih područja.

## LITERATURA

1. Aniello, C.: *Mapping Micro-urban Heat Islands Using LANDSAT TM and a GIS*, Computers & Geosciences, 21 (1995) 8, pp. 965-967.
2. Emery J.; Oke T.; Roth, M.: *Satellite-Derived Urban Heat Islands from Three Coastal Cities and the Utilization of Such Data in Urban Climatology*, International Journal of Remote Sensing (1989) 10, pp. 1699-1720.
3. Oke, T.R.: *Boundary layer climates*, 2nd. Methuen, 1987.
4. Voogt, J.A., Oke, T.R.: *Thermal remote sensing of urban climates*, Remote Sensing Environmental (2003) 86, pp. 370–384.
5. Jimenez-Munoz, J.C.; Sobrino, J.: *A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data*, Journal of Geophysical Research, 108 (2004) 22, pp. 4688.
6. Oke, T.R.: *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. World Meteorological Organization, *Instruments and Observing Methods*, IOM Report No. 81, WMO/TD-No. 1250, 2006.
7. Babić, S., Deluka-Tibljaš, A., Cuculić, M., Šurdonja, S.: *Analysis of pavement surface heating in urban areas*, Građevinar 64 (2012) 2, pp. 127-134.
8. Berkeley Lab, Heat island group, <https://heatisland.lbl.gov>. (10.06.2016.).
9. Voogt, J. A.: *Urban Heat Island (Chapter)*, Encyclopedia of Global Environmental Change (Munn, T., ed.), 3, 660-666 Chichester, Wiley, 2002.
10. De Munck, C.; Pigeon, G.; Masson, V.; Meunier, F.; Bousquet, P.; Tremeac, B.; Merchat, M.; Poef, P.; Marchadier, C.: *How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France?*, International Journal of Climatology, 33 (2013) 1, pp. 210 – 227.
11. Oke, T.R.: *Urban Environments - The Surface Climates of Canada*, McGill-Queen's University Press, Montreal, 1997.
12. Environmental Fluid Dynamics - LUMPS Project, <http://mech.utah.edu/~pardyjak>. (10.06.2016.).
13. The URBANFLUXES idea, <http://urbanfluxes.eu>. (10.06.2016.).



14. Šiljković, Ž.; Čuljak, M.: *Transformation of Rural Settlements of the City of Mostar in the Second Half of the Twentieth Century*, Geoadria 20/1 (2015) 41-52.
15. Radusin, S.; Oprašić, S.; Cero, M.; Abdurahmanović, I.; Vukmir, G.: *Drugi nacionalni izvještaj Bosne i Hercegovine u skladu s okvirnom konvencijom ujedinjenih nacija*, 2003.
16. "Bosnia and Herzegovina" in Geo-Data: The World Geographical Encyclopedia, Gale, 2003.
17. Climate Summary for Mostar, Meteorological Institute of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, 2015.
18. Federalni zavod za statistiku <http://www.fzs.ba>
19. Tomlinson, J.C., Chapman, L., Thornes, J.E., Baker, C: Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review, *Meteorological Applications*, 18 (2011) 3, pp.
20. Rao, P. K.: Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite, *Bulletin of the American Meteorological Society*, (1972) 53, 647– 648.
21. Tomlinson, J.C., Chapman, L., Thornes, J.E., Baker, C: Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review, *Meteorological Applications*, 18 (2011) 3, pp. 296–306.
22. Praćenje i ocjena klime u 2015. godini - Climate monitoring and Assessment for 2015, Državni hidrometeorološki zavod (Pandžić, K., Lisko, T. ed.), Zagreb, 2016.
23. Barsi, J.A.; Schott, J.R.; Palluconi, F.D.; Hook, S.J.: Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments, *Earth Observing Systems X*, ed. Butler, J.J.; Proceedings of SPIE Vol. 5882. 2005. <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>. (10.06.2016.).
24. Schott, J.R.; Brown, S.D.; Barsi, J.A.: Calibration of Thermal Infrared (TIR) Sensors, In J. Luvall & D. Quattrochi (Eds.). *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*. United Kingdom, Taylor & Francis. 2004.
25. Barsi, J.A.; Schott, J.R.; Palluconi, F.D.; Helder, D.L.; Hook, S.J.; Markham, B.L.; Chander, G.; O'Donnell, E.M.: Landsat TM and ETM+ Thermal Band Calibration, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28 (2003) 2, pp. 141-153.
26. USGS: *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*, Department of the Interior U.S. Geological Survey, EROS, Sioux Falls, South Dakota, (2015) <http://landsat.usgs.gov>. (10.06.2016.).
27. Lin, B.: *Earth Radiation Budget*, Top of Atmosphere Radiation in Encyclopedia of remote sensing (E.G. Njoku ed.), Springer. 2014. pp 145-146.
28. Uysal, M.; Polat, N.: *An investigation of the relationship between land surface temperatures and biophysical indices retrieved from Landsat TM in Afyonkarahisar (Turkey)*, *Technical Gazette* 22, 1(2015), 177-181.
29. Duplančić Leder, T., Leder, N., Hećimović, Ž.: *Split Metropolitan area surface temperature assessment with remote sensing method*, *GRAĐEVINAR*, 68 (2016) 11, pp. 895-905, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.1661>.
30. Duplančić Leder, T., Leder, N.: Land Surface Temperature Determination in the Town of Mostar Area, *Technical Gazette* 25, (2018), prihvaćen za tisak - accepted for publishing.