

Geoprostorni proizvodi i usluge na temelju obrade Landsat 8 podataka

Filip Kovačić¹, Željko Hećimović²

¹ Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, fikovacic@geof.hr

² Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Ulica Matice hrvatske 15, 21000 Split, zeljko.hecimovic@gradst.hr

Sažetak: Landsat 8 satelit koristi najnoviji dvokanalni termalni infracrveni senzor (TIRS). Primjenom podataka Landsat 8 OLI i TIRS senzora te podataka količine vodene pare na osnovu MODIS senzora Terra satelita mogu se modelirati geotemperaturni prostorni odnosi koji omogućuju izradu geoprostornih proizvoda i usluga širokog spektra primjene. Moguće je izraditi kartu temperaturnih otoka u urbanim područjima (objekti i područja čija je temperatura znatno viša od okolne temperature), a koji su redovito uzrokovani industrijskim objektima i halama. U radu su prikazani temperaturni otoci u urbanim područjima Zagreba, Splita i Osijeka. Na osnovu Landsat 8 podataka moguće je vršiti analizu različitih klimatskih područja, vrsta tla, pokrova tla vegetacijom, odnosa morskog, obalnog i kontinentalnog dijela, detektiranje odnosa temperature površine mora (*Sea Surface Temperature*, SST), detektiranje mikro toplinskih otoka koje najčešće uzrokuju industrijska postrojenja i druge analize. Geotemperaturna analiza površine tla daje jedinstven pogled na prostorne odnose i na osnovu nje se mogu napraviti proizvodi i usluge u nizu područja kao što su urbanizam, prostorno planiranje, ekologija, meteorologija, zdravstvo, hidrologija, poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo i druga. U svijetu se proizvodi i usluge na temelju obrade podataka Landsat 8 satelita još uvijek razvijaju.

Ključne riječi: geotemperaturna analiza, Landsat 8, LST, SST, TIRS

1. Uvod

Landsat satelitski program kontinuirano vrši satelitska mjerenja od svojih početaka do danas, a od 1978. godine omogućuje određivanje temperature površine tla, što je jedan od osnovnih parametara zemljine površine u razmjeni energije (Zhang i He 2013). Ovaj proces ima važnu ulogu u globalnim klimatskim promjenama, meteorologiji, hidrologiji, ekologiji i cijelom nizu geoznanosti.

Nedostatak prvih pet Landsat misija, koje su imale termalni infracrveni senzor, je što su koristile jednokanalni termalni senzor. Termalni infracrveni (*engl. Thermal Infrared*, TIR) senzor većinu energije detektira u spektralnom području u kojemu je emitirana s površine (Jimenez-Munoz i Sobrino 2008), a to omogućuje prikupljanje informacija o temperaturi zemljine površine (*engl. Land Surface Temperature*, LST) na lokalnoj, regionalnoj ili globalnoj razini.

Satelitske misije od Landsat 3 do Landsat 7 omogućavale su računanje LST-a samo na temelju jednokanalne (*engl. Single-Channel*, SC) metode, a ona za točno određivanje LST-a treba visoko kvalitetne podatke o atmosferskoj propusnosti i odsjaju (Li i dr. 2013). Za razliku od dosadašnjih Landsat TIR senzora, Landsat 8 sadrži dvokanalni infracrveni (*engl. Thermal Infrared Sensor*, TIRS) senzor. TIRS kanali registriraju međusobno susjedne dijelove spektra od 10 do 12 μm i na njihovim podacima moguće je provesti algoritam za dvokanalne senzore (*engl. Split-Window*, SW) koji omogućava precizno računanje LST-a pomoću podataka o atmosferskoj propusnosti i odsjaju koje također prikupljaju sateliti, a nisu visoko kvalitetni. Zbog navedenog Landsat 8 pruža jednostavnije računanje LST-a, a time i urbanih toplinskih otoka (*engl. Urban Heat*

Islands, UHI), indeksa kritičnosti okoliša (*engl. Environmental Critical Index, ECI*), kao i ostalih vrijednosti vezanih uz LST, u odnosu na svoje prethodnike.

Temperaturni odnosi na površini zemlje su od velike važnosti za temeljne životne cikluse na Zemlji. Međutim, isto tako su važni za ribarstvo (npr. o temperaturnim odnosima ovisi kretanje, razmnožavanje i ponašanje planktona i ribljih vrsta), za uzgoj poljoprivrednih kultura, za razvoj šuma i šumarstvo i cijeli niz drugih područja. Osim na životinjski i biljni svijet, temperaturni odnosi imaju utjecaj i na čovjeka, pogotovo kada je riječ o urbanim područjima koja su sve toplija.

2. Metodologija

Izračunata je lokalna temperatura površine tla (LST) za Grad Zagreb na temelju Landsat 8 podataka pomoću pojednostavljenog SW algoritma, koji ne obuhvaća atmosfersku korekciju (Kovačić, 2014), te za Osječko-baranjsku i Splitsko-dalmatinsku županiju na temelju Landsat 8 podataka uz primjenu SW algoritma prilagođenog za Landsat 8 TIRS senzor (Kovačić, 2015).

Na temelju izračunatog LST-a provedena je geoprostorna analiza s obzirom na temperaturne geoprostorne odnose na navedenim područjima dvaju županija, a na području Grada Zagreba na temelju vrijednosti LST-a izrađena je raspodjela UHI-a i ECI-a. Analiza temperaturnih odnosa omogućuje analizu prostornih objekata. Od njihovih geometrijskih obilježja do energetske svojstava apsorpcije, akumulacije i emisije toplinske energije te međusobni temperaturni odnos prostornih objekata.

U narednim poglavljima opisani su korišteni podaci, područja koja obuhvaćaju, te metodologija obrade podataka.

2.1 Područja istraživanja

Temperatura zemljine površine je modelirana za područje Grada Zagreba 20. i 29. srpnja 2013. godine, te za područje Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije za dane 6. i 22. svibnja te 13. listopada 2014. godine. Navedena područja su odabrana zbog smještaja u različitim klimatskim predjelima. Osječko-baranjska i Splitsko-dalmatinska županija nalaze se duž istog luka putanje Landsat 8 satelita, zbog čega je vremenska razlika između snimke Osijeka i snimke Splita manja od minute, tj. podaci za Splitsko-dalmatinsku županiju su snimljeni manje od minute kasnije od snimke za Osječko-baranjsku županiju (tablica 1). Lokalno vrijeme je UTC+2h za sve prikupljene snimke, jer se radi o ljetnom računanju vremena (*engl. Daylight saving time*) koje je 2014. godine bilo primijenjeno u razdoblju od 30. travnja do 26. listopada (URL 1).

Tablica 1: Vremena snimanja korištenih snimaka Landsat 8 satelita

Datum	Osječko-baranjska županija		Splitsko-dalmatinska županija	
	UTC [hh:mm:ss]	Lokalno vrijeme [hh:mm:ss]	UTC [hh:mm:ss]	Lokalno vrijeme [hh:mm:ss]
6. svibnja 2014.	09:33:16	11:33:16	09:34:04	11:34:04
22. svibnja 2014.	09:33:08	11:33:08	09:33:56	11:33:56
13. listopada 2014.	09:33:51	11:33:51	09:34:39	11:34:39

Navedene županije odabrane su također zbog najveće bliskosti po kopnenoj površini županije i broju stanovnika koji nastanjuju istu. Splitsko-dalmatinska ima veću gustoću

naseljenosti i veći broj gradova, što je bitno prilikom analize urbanog utjecaja na LST. Kopnena površina čini jednu trećinu ukupne površine Splitsko-dalmatinske županije, dok ostale dvije trećine površine, točnije 8669 km², čini morska površina (na temelju grafičke baze podataka službene evidencije prostornih jedinica Državne geodetske uprave). Navedene činjenice pružaju nam mogućnost direktne usporedbe LST-a u ove dvije županije, te analizu utjecaja na urbane cjeline i klimatološki utjecaj.

Što se Grada Zagreba tiče, odabran je zbog najveće gustoće naseljenosti u Hrvatskoj, što omogućuje analizu urbanog utjecaja na formiranje UHI-a. Landsat 8 20. srpnja 2013. godine s područja Zagreba prikupio je podatke u 11:47, a 29. srpnja u 11:41 po lokalnom vremenu, čime je omogućen uvid u raspodjelu LST-a tijekom sunčanih ljetnih dana kad se očekuje najznačajniji utjecaj LST-a na formiranje UHI-a i pojavu najkritičnijih vrijednosti ECI-a.

2.2 Podaci

Landsat 8 obiđe Zemlju za 98,9 minuta, a vrijeme prelaska preko ekvatora je u 10:00 UTC +/-15 minuta. Navedene karakteristike orbite omogućuju Landsat 8 satelitu prekrivanje cijele Zemljine kugle (osim manjih polarnih predjela) svakih 16 dana (URL 2: <http://landsat7.usgs.gov/landsat8.php>

URL 3). Satelit ima dva senzora za prikupljanje podataka, odnosno snimanje satelitskih snimaka (tablica 2). Prvi senzor je OLI (*engl. Operational Land Imager*), ima 9 spektralnih kanala, koji obuhvaćaju vidljivi, NIR i kratkovalni infracrveni (*engl. Short Wavelength Infrared*, SWIR) dio spektra. Jedan od navedenih devet kanala je pankromatski. Drugi senzor je TIRS i ima 2 spektralna kanala koji obuhvaćaju dugovalni infracrveni (termalni) dio spektra (*engl. Long Wavelength Infrared*, LWIR). U svrhu postizanja prostorne kompatibilnosti podataka dvaju navedenih senzora, TIRS kanali 10 i 11 prestrukturirani su kubičnom konvolucijom sa rezolucije 100 m na rezoluciju 30 m, te su kao takvi dostupni za preuzimanje (URL 2).

Tablica 2: Karakteristike OLI i TIRS senzora (URL 3)

Senzor	Kanal [broj]	Valna duljina [μm]	Prostorna rezolucija [m]	Opis
OLI	1	0,43 – 0,45	30	Vidljivi
	2	0,45 – 0,51	30	Vidljivi
	3	0,53 – 0,59	30	Vidljivi
	4	0,64 – 0,67	30	Crveni
	5	0,85 – 0,88	30	NIR
	6	1,57 – 1,65	30	SWIR
	7	2,11 – 2,29	30	SWIR
	8	0,50 – 0,68	15	Pankromatski
	9	1,36 – 1,38	30	Cirrus
TIRS	10	10,60 – 11,19	100	LWIR
	11	11,50 – 12,51	100	LWIR

Landsat 8 podaci preuzeti su sa službenog USGS preglednika (URL 4). Odabrani snimci i datumi snimanja imaju relativno malo oblaka na sva tri područja. Preuzeti podaci su u *GeoTiff* formatu, te se uz njih nalazi i datoteka s meta podacima.

Osim podataka Landsat 8 satelita, za dobivanje kvalitetnog LST-a, odnosno za provođenje SW algoritma, nužno je korištenje podataka o količini vodene pare (*engl.*

Water vapor content). Za odabrane datume u 2014. godini, za računanje LST-a na području Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije preuzeti su podaci MODIS senzora Terra satelita. MODIS senzor ima 36 kanala, koji obuhvaćaju vrlo široku primjenu u geoznanostima. Od navedenih 36 kanala, kanali 17, 18 i 19 prikupljaju podatke o vodenoj pari u atmosferi (*engl. Atmospheric water vapor*), s rezolucijom od 1000 m. Navedeni podaci o količini vodene pare u atmosferi prestrukturirani su na prostornu rezoluciju od 30 m kako bi bili kompatibilni s Landsat 8 podacima. Kalibracija Landsat 8 snimaka izvršena je prema uputama sa službenih USGS internet stranica (URL 5) za OLI i TIRS, čime je ostvaren preduvjet za provedbu SW algoritma.

2.3 Split-Window algoritam

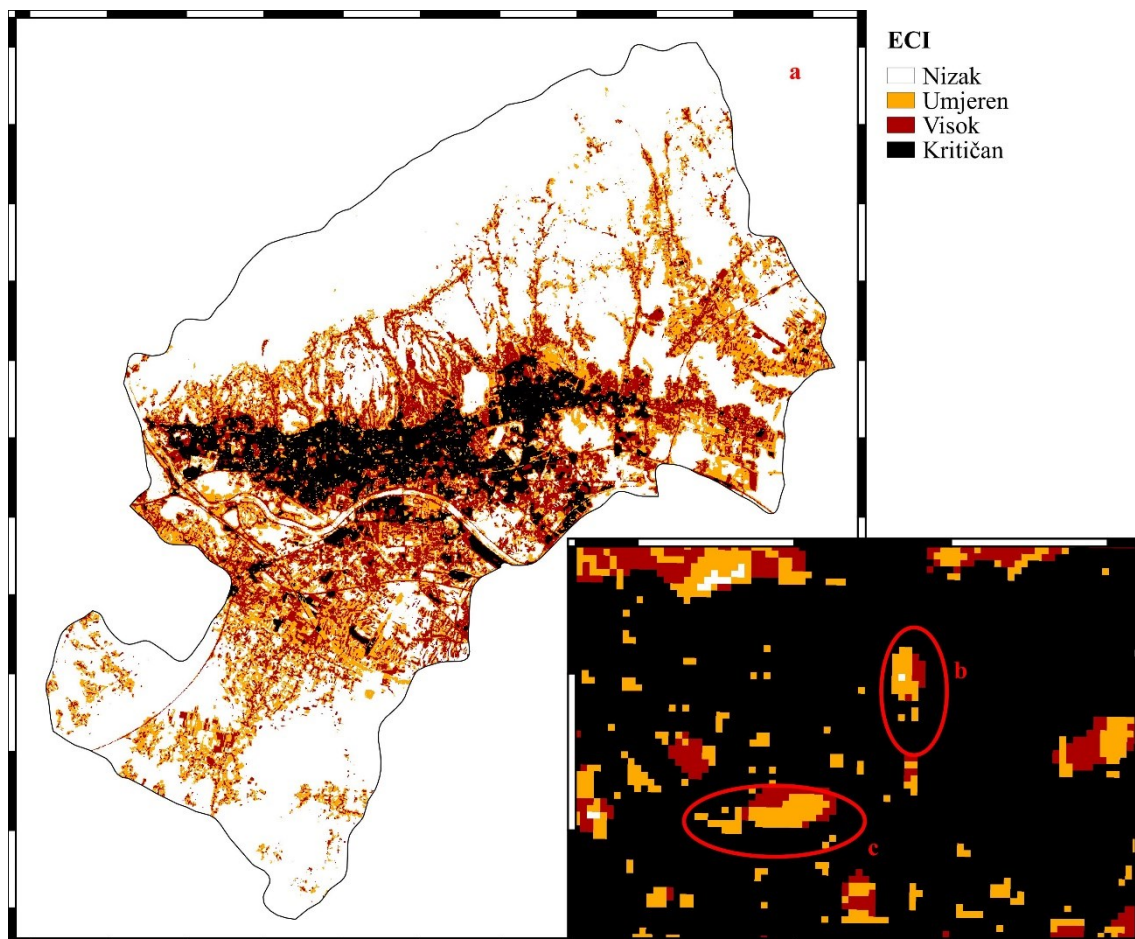
Osnovni princip Split-Window (SW) algoritma je proporcionalnost slabljenja odsjaja za atmosfersku apsorpciju i razlike odsjaja simultanih mjerenja na dvije različite valne duljine, od kojih je svaka podvrgnuta različitim iznosima atmosferske apsorpcije (Jimenez-Munoz i Sobrino 2008), a to omogućuje uklanjanje glavnog iznosa atmosferskog utjecaja iz snimaka. SW algoritam je zasnovan na jednadžbi prijenosa zračenja. On uzima u obzir količinu vodene pare i emisiju površine tla (*engl. Land Surface Emissivity*, LSE) i primjenjiv je za dobivanje LST-a i temperature morske površine (*engl. Sea Surface Temperature*, SST). Zbog navedenog, ali i zbog jednostavnosti i robusnosti SW algoritma (Yu i dr. 2014) uloženi su veliki naponi u njegov razvoj i jedan je od najraširenijih algoritama za računanje LST-a. Međutim, i dalje se razvija algoritam kojim će se LST dobiti sa točnošću boljom od 1 K, a to je preduvjet za razumijevanje Zemljina sustava na regionalnoj razini i računanje evapotranspiracije s točnošću boljom od 10% (Li i dr. 2013). SW algoritam za računanje LST-a s TIR-a, razvili su Mao i dr. (2005a i 2005b). SW algoritam računa LST primjenom MODIS-a i ovisi samo o atmosferskoj propusnosti i LSE-u. LST je izračunat na temelju Landsat 8 podataka, pomoću SW algoritma prilagođenog spektralnom odzivu TIRS-a, prema Yu i dr. (2014), a njegov RMSE (*engl. Root-Mean-Square Error*) iznosi 1,025 K. Za razliku od temperature površine oceana temperatura površine tla znatno varira i ovisi o vegetaciji, vlažnosti površine, hrapavosti te kutu snimanja (Salisbury i D'Aria 1992). LSE je izračunata NBEM (*engl. NDVI based emissivity method*) procedurom, koja koristi NDVI (*engl. Normalized Difference Vegetation Index*) i karakteristične vrijednosti prilagođene za kanal 10 i 11 TIRS-a. Atmosferska propusnost je izračunata na temelju količine vodene pare koja je prikupljena MODIS senzorom Terra satelita. Podaci s izračunatom LST sadrže oblake i njihove sjene u trenutku prikupljanja podataka Landsat 8 satelitom, koji su uklonjeni pomoću *Fmask* softvera (Zhu i Woodcock 2015, URL 6).

3. Rezultati

Izračunata raspodjela LST-a na području Grada Zagreba omogućila je stvaranje uvida u raspodjelu UHI-a i računanje ECI-a iz LST-a i NDVI-a. Najviši iznosi LST-a detektirani su u najgušće izgrađenim dijelovima Grada, u industrijskim područjima, duž najprometnijih prometnica i na izgrađenim područjima bez vegetacije. Navedena područja su također područja s najgorim vrijednostima ECI-a. Iz slike 1 (detalj a) vidljivo je kako vegetacija značajno utječe na smanjenje ECI-a, koji je u izgrađenom centru Grada kritičan, dok je na području Medvednice nizak. Značajnost vegetacije u umanjenju

kritičnosti ECI-a moguće je uočiti na području užeg centra Grada gdje gusta izgrađenost rezultira kritičnim vrijednostima ECI-a, dok područja pod vegetacijom, Zrinjevac (detalj b) i Botanički vrt (detalj c), umanjuju vrijednosti ECI-a na umjerene i niske.

Na formiranje raspodjele UHI-a i ECI-a značajno utječe topografija i morfologija grada, gustoća izgrađenosti urbanih objekata, promet i vjetar koji je ovisno o morfologiji grada u mogućnosti rashladiti pojedina područja grada.



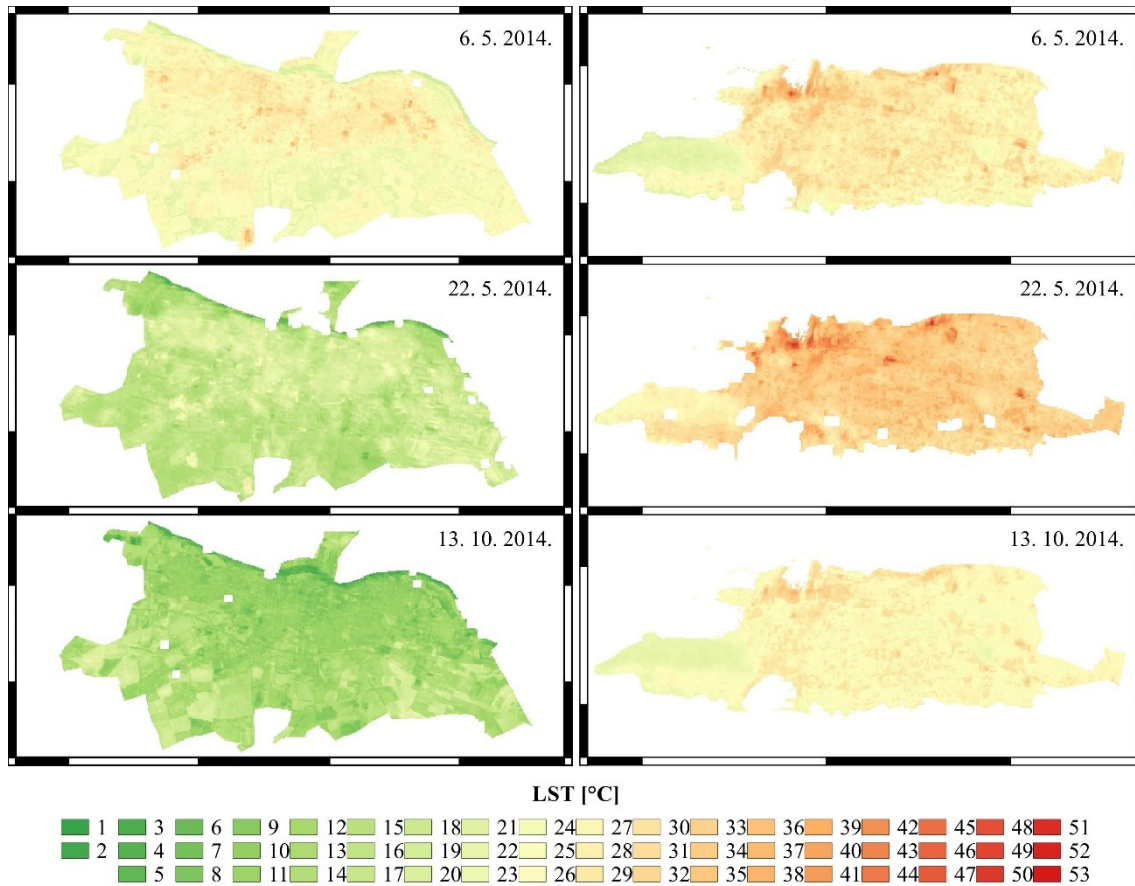
Slika 1: Raspodjela ECI-a na području Grada Zagreba (a) i na manjoj slici prikaz utjecaja zelenila Zrinjevca (b) i Botaničkog vrta (c) na umanjene kritičnosti ECI-a.

Analizom urbanog utjecaja na području Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije detektirane su veće prosječne vrijednosti LST-a na području Osijeka i Splita od ostatka županije i to na području Splita veće i od 5°C, a na području Osijeka veće i od 3°C.

Detektirani su objekti s maksimalnim iznosima LST-a, koji su raspoznatljivi u mjerilu 1:25 000. U urbanim sredinama to su uglavnom veći industrijski objekti, hale i gusto izgrađena područja s malo vegetacije, a izvan urbanih sredina to su također industrijski objekti, ali i prirodni objekti bez vegetacije poput preoranih polja i sl. LST na području Osijeka i Splita za navedene dane prikazan je na slici 2. Na slici je vidljivo da industrijski objekti i trgovački centri uglavnom imaju maksimalne iznose LST-a ili iznose koji su blizu maksimalnih, na oba prikazana područja, a isto vrijedi za čitave županije.

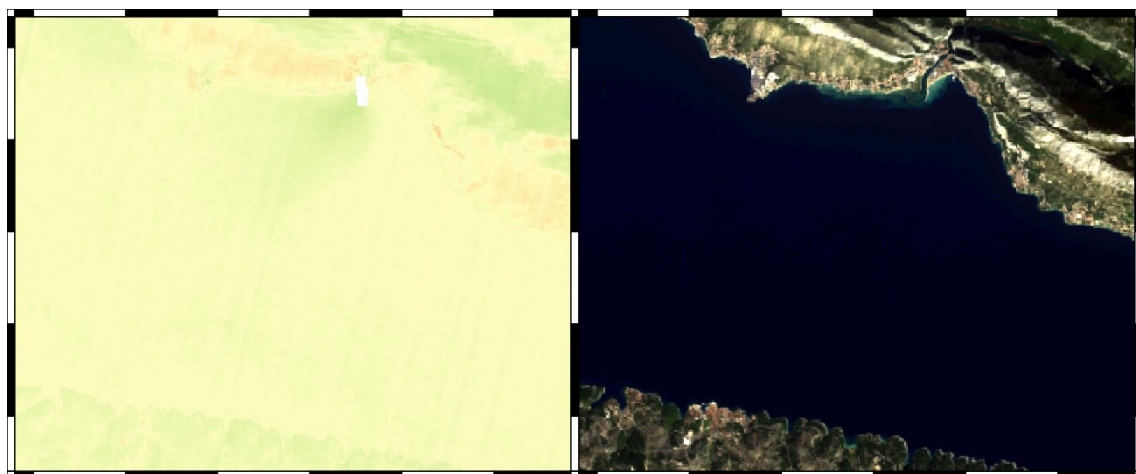
Utjecaj vegetacije ublažuje urbani utjecaj na LST, što je vidljivo iz usporedbe urbanih dijelova Osijeka i Splita, gdje Osijek s više vegetacije ublažuje temperaturni utjecaj urbanih objekata. Navedeno je vidljivo i usporedbom prirodnih objekata pod vegetacijom

s okolnim urbanim objektima. Tako npr. Marjan na zapadnom dijelu Splitskog poluotoka, sva tri odabrana dana ima niže vrijednosti LST-a za 5°C i više od urbanog dijela Splita (slika 2).



Slika 2: Raspodjela LST-a na području Osijeka (lijevo) i Splita (desno) za tri odabrana dana

Osim uvida u raspodjelu LST-a, omogućen je i uvid u raspodjelu SST-a, iz kojega se mogu razlučiti temperaturni odnosi na morskoj površini koji su, između ostalog, pod utjecajem površinskih morskih struja, te površinskih i podzemnih slatkovodnih pritoka Jadranskog mora. Tako je npr. iznos SST-a niži na ušću Cetine u Jadransko more od SST-a u ostatku Bračkog kanala (slika 3).



Slika 3: SST-a na ušću Cetine u Jadransko more (lijevo) i RGB prikaz (desno).

Usporedbom vrijednosti LST-a na području Osječko-baranjske županije i vrijednosti LST-a i SST-a na području Splitsko-dalmatinske županije uočeno je kako duža apsorpcija SST-a pogoduje nižim prosječnim vrijednostima površinske temperature na području navedene županije u svibnju, dok duža akumulacija SST-a pogoduje višim prosječnim vrijednostima površinske temperature na području navedene županije u listopadu.

4. Zaključak

Zahvaljujući vremenskoj bliskosti, mogli bismo čak reći istovjetnosti, omogućena je direktna usporedba temperaturnih odnosa na većim područjima, na temelju LST-a izračunatog na temelju podataka Landsat 8 satelita, čime se ostvaruje precizna nadopuna diskretnih meteoroloških podataka.

Na temelju LST-a na području Grada Zagreba otkrivena su visoko kritična područja okoliša koja ugrožavaju održivi razvoj Grada i imaju potencijalan negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Vegetacija u urbanim sredinama znatno smanjuje ECI vrijednosti, što upućuje na važnost održavanja zelenih površina i parkova u već urbaniziranim dijelovima grada, kao i ekološki i za život prihvatljivog urbanog planiranja i razvoja gradskih predgrađa.

Detektirana područja s ekstremnim vrijednostima LST-a van urbanih sredina mogu biti od pomoći pri detektiranju potencijalnih požarnih područja, te mogu biti od velikog značaja za razvoj šumarstva i zaštitu šuma. U svrhu prevencije raspodjela LST-a pruža mogućnost učinkovitog ekološkog upravljanja resursima. Također uvid u raspodjelu LST-a može koristiti prilikom odabira pogodnog područja za nasad pojedinih poljoprivrednih kultura, kao i za praćenje i upravljanje postojećim nasadima. SST izračunat na temelju Landsat 8 podataka stvara uvid u temperaturne odnose na morskoj površini, te kao takav može biti od koristi u ribarstvu i hidrologiji.

Iz svega navedenog vidljivo je kako Landsat 8 pruža velike mogućnosti u izradi geotemperaturnih proizvoda koji su u mogućnosti pružiti usluge brojnim djelatnostima.

Literatura:

Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A. (2008): Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2008, 5, 806–809.

Kovačić, F. (2015): Obrada i analiza temperature površine tla na temelju Landsat 8 podataka, *Nagrada Rektora Sveučilišta u Zagrebu* 2014/2015.

Kovačić, F. (2014): Urbani toplinski otoci Grada Zagreba, *Nagrada Dekana Geodetskog fakulteta* 2013/2014.

Li, Z. -L., Tang, B. -H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., Sobrino, J. A. (2013): Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives, *Remote Sensing of Environment* 2013, 131, 14–37.

Mao, K., Qin, Z., Shi, J., Gong, P. (2005a): A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data, *International Journal of Remote Sensing* 2005, 26, 3181–3204.

Mao K., Qin, Z., Shi, J., Gong, P. (2005b): The research of split-window algorithm on the MODIS, Geomatics and Information Science of Wuhan University 2005, 30, 703–707.

Salisbury, J. W., D’Aria, D. M. (1992): Emissivity of terrestrial materials in the 8–14 μm atmospheric window, Remote Sensing of Environment 1992, 42, 83–106.

Yu, X., Guo, X., Wu, Z. (2014): Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method, Remote Sensing 2014, 6, 9829–9852.

Zhang, Z., He, G. (2013): Generation of Landsat surface temperature product for China, 2000–2010, International Journal of Remote Sensing 2013, 34, 7369–7375.

Zhu, Z., Woodcock, C. E., (2015): Improvement and Expansion of the Fmask Algorithm: Cloud, Cloud Shadow, and Snow Detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 Images, Remote Sensing of Environment, (u tisku).

URL 1: <http://www.timeanddate.com/time/dst/2014.html>

URL 2: <http://landsat7.usgs.gov/landsat8.php>

URL 3: http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php

URL 4: <http://earthexplorer.usgs.gov>

URL 5: https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

URL 6: <https://code.google.com/p/fmask/>

Geospatial products and services based on processing of Landsat 8 data

Abstract: Landsat 8 satellite is using new dual-channel thermal infrared sensor (TIRS). Applying Landsat 8 OLI and TIRS sensor data and water vapor content data from MODIS sensor on Terra satellite, it is possible to model geothermal spatial distribution. It is possible to create map of thermal islands in urban areas (object and areas which temperature is significantly larger than surrounding temperature). Higher temperatures are usually caused by industrial objects and halls. This paper shows temperature islands in urban areas of Zagreb, Split and Osijek. Based on Landsat 8 data, it is possible to conduct analysis of different climate regions, land type, vegetation cover, as well relation between sea, coast and continental area, detection of sea surface temperature relations, detection of micro heat islands mostly caused by industrial objects, and other. Geo-temperature analysis of land surface gives unique view on spatial relations. It is possible to create products and services in many branches like urbanism and spatial planning, ecology, meteorology, health, hydrology, agriculture, forestry, fishing, and others. Products and services based on processing of Landsat 8 satellite data are still under development.

Keywords: geothermal analysis, Landsat 8, LST, SST, TIRS