

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Filip Kovačić

OBRADA I ANALIZA TEMPERATURE POVRŠINE TLA NA
TEMELJU LANDSAT 8 PODATAKA

Zagreb, 2015.

Ovaj rad izrađen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u Zavodu za geomatiku pod vodstvom dr. sc. Željka Hećimovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2014./2015.

Popis akronima i kratica

LSE - Land Surface Emissivity

LST - Land Surface Temperature

LWIR - Long Wavelength Infrared

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NBEM - NDVI-Based Emissivity Method

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

OLI - Operational Land Imager

RMSE - Root-Mean-Square Error

SC - Single-Channel

SST - Sea Surface Temperature

SURFRAD - Surface Radiation

SW - Split-Window

SWIR - Short Wavelength Infrared

TIR - Thermal Infrared

TIRS - Thermal Infrared Sensor

TOA - Top of Atmosphere

TOAR - Top of Atmosphere Reflectance

USGS - United States Geological Survey

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Opći i specifični ciljevi rada..... | 3 |
| 3. Podaci i metode obrade | 4 |
| 3.1. Područje istraživanja | 4 |
| 3.2. Landsat 8 podaci..... | 5 |
| 3.3. Terra/MODIS podaci..... | 7 |
| 3.4. Priprema podataka za obradu | 8 |
| 3.5. Kalibracija Landsat 8 snimaka | 9 |
| 3.6. Split-Window algoritam..... | 10 |
| 3.6.1. Emisija površine tla..... | 11 |
| 3.6.2. Atmosferska propusnost..... | 13 |
| 3.6.3. Temperaturni faktor..... | 13 |
| 3.6.4. Temperatura površine tla..... | 14 |
| 3.7. Uklanjanje oblaka..... | 15 |
| 3.8. Priprema podataka za analizu..... | 15 |
| 4. Rezultati | 16 |
| 4.1. Analiza i usporedba LST-a u Osječko-baranjskoj i Splitsko-dalmatinskoj županiji | 34 |
| 4.2. Analiza urbanog utjecaja na LST | 38 |
| 4.3. Detektiranje objekata s ekstremnim vrijednostima LST-a..... | 44 |
| 4.4. Analiza specifičnih područja | 54 |
| 5. Rasprava | 59 |
| 6. Zaključci..... | 62 |
| Zahvale | 64 |
| Popis literature..... | 65 |
| Sažetak | 67 |
| Summary | 68 |
| Životopis..... | 69 |

1. Uvod

Landsat satelitski program od 1978. godine omogućuje određivanje temperature površine tla, a to je jedan od osnovnih parametara zemljine površine u razmjeni energije (Zang i He 2013). Ovaj proces ima važnu ulogu u globalnim klimatskim promjenama, meteorologiji, hidrologiji, ekologiji i cijelom nizu geoznanosti.

Landsat program kontinuirano vrši satelitska mjerenja od svojih početaka do danas (URL 1) i kontinuirano omogućava pristup prikupljenim podacima. Nedostatak prvih pet Landsat misija koje su imale termalni infracrveni senzor je ta što je on bio jedno kanalni. Termalni infracrveni (*engl. Thermal Infrared*, TIR) senzor većinu energije detektira u spektralnom području u kojemu je emitirana s površine (Jimenez-Munoz i Sobrino 2008), čime omogućuje prikupljanje informacija o temperaturi zemljine površine (*engl. Land Surface Temperature*, LST) na lokalnoj, regionalnoj ili globalnoj razini.

Misije od Landsat 3 do Landsat 7 satelita omogućavale su računanje LST samo na temelju jedno kanalne (*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*, TIRS¹) 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).

Osnovni princip 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 atmosferskog utjecaja iz snimaka. SW algoritam je zasnovan na jednadžbi prijenosa zračenja, uzima u obzir količinu vodene pare i emisiju površine tla (*engl. Land Surface Emissivity*, LSE), primjenjiv je za LST i temperaturu 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).

U ovom radu je izračunata lokalna temperatura površine tla (Land Surface Temperature, LST) za Osječko-baranjsku i Splitsko-dalmatinsku županiju, na temelju Landsat 8 podataka uz

¹ TIRS je naziv koji se koristi isključivo za TIR na Landsat 8 satelitu.

primjenu SW algoritma prilagođenog za Landsat 8 TIRS senzor. SW algoritam primijenjen u ovom radu potvrđen je na četiri LSE postaje (*engl. Surface Radiation, SURFRAD*) (Yu i dr. 2014). SURFRAD je mreža postaja koje su pod ingerencijom nacionalne uprave za oceane i atmosferu SAD-a (*engl. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA*). Od 1995. godine kontinuirano prikupljaju vrlo kvalitetne podatke o LSE na područja SAD-a, a koji su nužni za klimatska istraživanja (Augustine i dr. 2005). Primarna mjerenja SURFRAD postaja su komponente širokopojasnog solarnog i termalnog infracrvenog zračenja. Postaje ne kojima je potvrđen SW algoritam korišten u ovom radu su: Bondville (Illinois), Fort Peck (Montana), Goodwin Creek (Mississippi), Sioux Falls (South Dakota).

U ovom radu je na temelju izračunatog LST-a provedena geoprostorna analiza s obzirom na temperaturne geoprostorne odnose za područja Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije. 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.

Temperaturni odnosi na površini Zemlje su prvenstveno pod utjecajem Sunčevog zračenja te se oni generalno mijenjaju sa dnevnim (dan/noć) i godišnjim sezonskim (godišnja doba) ciklusima. Međutim, i cijeli niz drugih odnosa znatno utječe na iznos energije koja će se reflektirati od fizičke površine Zemlje i biti registrirana u satelitskom snimku. To su uvjeti oblačnosti, razine podzemnih i površinskih voda, vrste tla i objekata (zgrade, prometnice, stijene, vodotoci, jezera, mora i dr.), količine vodene pare u atmosferi i drugi utjecaji.

Termalni snimak ujutro, u tijeku dana i navečer nije isti. Navečer treba računati sa količinom akumulirane toplinske energije u objektima. Količina akumulirane topline će ovisiti o vrsti tla i materijala, koliko je dugo i pod kojim intenzitetom bio izložen Sunčevom zagrijavanju, a također će utjecati i drugi atmosferski, ljudski te vremenski utjecaji koji se javljaju na određenom području. Pri tome naročito treba voditi računa o ljudskim aktivnostima koje narušavaju prirodne temperaturne odnose i stvaraju temperaturno zagađenje.

Temperaturni odnosi na površini zemlje su od velike važnosti za temeljne životne cikluse na Zemlji. Međutim, isto tako su važni za gospodarstvo (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 odnosim imaju utjecaj i na čovjeka, pogotovo kada je riječ o urbanim područjima koja su sve toplija.

2. Opći i specifični ciljevi rada

Opći cilj ovoga rada je stvoriti uvid u LST za dvije klimatološki različite županije u Republici Hrvatskoj: Osječko-baranjsku i Splitsko-dalmatinsku županiju. U navedenim županijama, kao i u ostatku Republike Hrvatske, dosada je temperaturne odnose bilo moguće interpretirati na temelju diskretnih podataka o temperaturi koji se prikupljaju na meteorološkim postajama. LST dobiven na temelju satelitskih Landsat 8 snimaka omogućuje analizu površinskih temperaturnih odnosa, koja daje mogućnost puno šireg spektra izračunavanja ove problematike.

Specifični ciljevi ovoga rada su:

1. Usporedba LST za Osječko-baranjsku i Splitsko-dalmatinsku županiju i utvrđivanje u kojoj od županija su prosječne i apsolutne temperature veće za odabrane dane, te povezivanje rezultata s klimatskim utjecajima.
2. Određivanje i analiza urbanog utjecaja na LST u navedenim županijama za odabrane dane, usporedbom LST-a na području cijele županije i u urbanom području.
3. Detektiranje i analiza prostornih objekata, područja na kojima LST dostiže ekstremne vrijednosti.
4. Analiza specifičnih područja u obje županije na temelju LST (npr. geoprostorna analiza grada Splita i Osijeka, ušće rijeke Cetine i dr.)

3. Podaci i metode obrade

Ovo poglavlje daje uvid u podatke koji su korišteni u ovom radu. Najprije su opisani područje obuhvata korištenih podataka i istraživanja. Korištene su satelitske snimke Landsat 8 satelita za određivanje LST-a i LSE-a. Za računanje korekcije utjecaja vodene pare u atmosferi korišteni su podaci o količini vodene pare na osnovu satelitskih snimaka prikupljenih *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) senzorom Terra satelita. Nastavno su opisane metode, odnosno algoritmi obrade prikupljenih podataka. Obrada satelitskih snimaka provedena je pomoću softvera *GRASS GIS* 6.4.4, a priprema podataka za obradu je izvršena u softveru *QuantumGIS* 2.2.0.

3.1. Područje istraživanja

Temperatura zemljine površine je modelirana 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, i zato što se nalaze duž istog luka putanje Landsat 8 satelita. Zahvaljujući navedenom, vremenska razlika između snimke Osijeka i snimke Splita je manja od minute, tj. podaci za Splitsko-dalmatinsku županiju su snimljeni manje od minute kasnije od snimke za Osječko-baranjsku županiju (tablica 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 ² [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 (tablica 2), što je bitno prilikom analize urbanog utjecaja na LST.

Tablica 2. Statistički podaci Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije (URL 3)

| Županija | Površina ³ [km ²] | Stanovništvo [broj] | Naseljenost [stan./km ²] | Gradovi [broj] | Naselja [broj] |
|-------------------|---|------------------------|---|-------------------|-------------------|
| Osječko-baranjska | 4.155 | 305.032 | 73,41 | 7 | 263 |

² 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 2).

³ Podaci Državne geodetske uprave (izračunani iz grafičke baze podataka službene evidencije prostornih jedinica), stanje 31. ožujka 2011., odnose se na površinu kopna.

| | | | | | |
|----------------------|-------|---------|--------|----|-----|
| Splitsko-dalmatinska | 4.540 | 454.798 | 100,18 | 16 | 368 |
|----------------------|-------|---------|--------|----|-----|

Kopnena površina čini jednu trećinu ukupne površine Splitsko-dalmatinske županije, dok ostale dvije trećine površine, točnije 8669 km², čini morska površina⁴. Navedene činjenice pružaju nam mogućnost direktne usporedbe LST-a u ove dvije županije, te analizu utjecaja na urbane cjeline i klimatološki utjecaj.

3.2. Landsat 8 podaci

U suradnji NASA-e (*engl. National Aeronautics and Space Administration*), Ministarstva unutarnjih poslova SAD-a, USGS-a (*engl. United States Geological Survey*), korporacija *Orbital Science* i *Ball Aerospace & Technologies*, te NASA-inog *Goddard* centra za let svemirom je 11. veljače 2013. u zračnoj bazi *Vandenberg* uspješno lansiran Landsat 8 satelit (URL 4). Prvotni naziv misije (satelita) je LDCM (*engl. Landsat Data Continuity Mission*), a promijenjen je u Landsat 8 nakon što je NASA 30. svibnja 2013. godine sprovedla ispitivanja i verifikaciju satelita i izvršila predaju upravljanja operacijama USGS-u.

Orbita Landsat-a 8 je definirana u odnosu na *Worldwide Reference System*⁵ (WRS-2), sinkronizirana je sa Suncem i nalazi se na visini od 705⁶ km. Inklinacija orbite je 98,2°. Satelit 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 4).

Landsat 8 satelit (slika 1) ima dva senzora za prikupljanje podataka, odnosno snimanje satelitskih snimaka. 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*). Tablica 3 prikazuje karakteristike navedenih senzora.

Tablica 3. Karakteristike OLI i TIRS senzora (URL 4)

| 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 Površina izračunata na temelju podataka Državne geodetske uprave (iz grafičke baze podataka službene evidencije prostornih jedinica), iz razlike površina cjelokupne županije i njenog kopnenog dijela.

⁵ WRS-2 ima 233 putanje iznad Zemljine površine, za razliku od WRS-1 koji ih je imao 251. U oba sustava putanje nominalno rastu od istoka prema zapadu (URL 5).

⁶ Spada u LEO (*engl. Low earth orbit*) satelite, koji se nalaze na visini od 180 do 2000 km iznad Zemlje (URL 6).

| | | | | |
|-------------------|----|---------------|-----|--------------|
| | 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 ⁷ | 10 | 10,60 – 11,19 | 100 | LWIR |
| | 11 | 11,50 – 12,51 | 100 | LWIR |

Landsat 8 podaci preuzeti su sa službenog USGS preglednika (URL 8). Odabrani su putanja i red za željeno područje, te vremenski interval snimanja. Putanja i red za Osječko-baranjsku županiju su 188 i 28, a za Splitsko-dalmatinsku su 188 i 30. Korišten je vremenski interval od 3. veljače 2014.⁸ do 28. listopada 2014., unutar kojega su odabrana prethodno navedena tri dana. Odabrani snimci i datumi snimanja imaju relativno malo oblaka na području obje županije. Preuzeti podaci su u *GeoTiff* formatu, te se uz njih nalazi i datoteka s meta podacima.



Slika 1. Landsat 8 satelit u orbiti (URL 4).

Od lansiranja 11. veljače 2013. do 3. veljače 2014. TIRS podaci su bili opterećeni sustavnom pogreškom, koja je na kanalu 11 TIRS-a iznosila i preko 6 K (URL 9). Međutim nakon 3. veljače svi podaci su korigirani i ponovno su dostupni za preuzimanje i korištenje. U periodu od 14. do 23. siječnja 2014. TIRS senzor je bio izložen pogrešnom naponu (URL 9). To je također uzrokovalo netočnost u podacima. Ova pogreška je također ispravljena. U oba slučaja su TIRS podaci su bili dostupni za preuzimanje, s napomenama i iznosima za korekcije. Dana 19. prosinca 2014. elektronika TIRS senzora je bila oštećena. Zbog toga TIRS podaci nisu bili dostupni do 3. ožujka 2015. godine (URL 10). Uslijed navedenih poteškoća, USGS održava

⁷ 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 7).

⁸ Potpuna Landsat 8 arhiva prije 3. veljače 2014. podvrgnuta je ponovnom procesiranju zbog unaprjeđenja kalibracije snimaka, izvršenog na temelju snimaka prikupljenih u prvoj godini Landsat 8 misije (URL 9).

kontinuiranost misije, ali s nejednakom vremenskom dostupnošću podataka. Zbog navedenog, oslanjanje nekog istraživanja ili sustava na TIRS podatke može biti rizično.

3.3. Terra/MODIS podaci

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 preuzeti su podaci MODIS senzora Terra satelita.

Terra satelit lansirala je NASA 18. prosinca 1999. iz zračne baze *Vandenberg* (URL 11), te od tada kontinuirano prikuplja podatke Zemlje pomoću pet senzora, a od kojih je jedan senzor MODIS. Orbita Terra satelita je LEO sinkronizirana sa Suncem, na visini 705 km iznad Zemlje. Inklinacija orbite je 98,5°. Satelit obiđe Zemlju svakih 99 minuta, a vrijeme prelaska ekvatora u silaznoj putanji je 10:30 UTC (URL 11). MODIS senzor ima 36 kanala, koji obuhvaćaju vrlo široku primjenu u geoznanostima. Od navedenih 36 kanala, kanali 17, 18 i 19 (tablica 4) prikupljaju podatke o vodenoj pari u atmosferi (*engl. Atmospheric water vapor*).

Tablica 4. Karakteristike kanala (17-19) MODIS senzora (URL 12)

| Senzor | Kanal [broj] | Valna duljina [nm] | Prostorna rezolucija [m] | Namjena |
|--------|--------------|--------------------|--------------------------|---|
| MODIS | 17 | 890 - 920 | 1000 | Opažanje količine vodene pare u atmosferi |
| | 18 | 931 - 941 | 1000 | |
| | 19 | 915 - 965 | 1000 | |

MODIS podaci preuzeti su sa LAADS (*engl. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System*) stranica NASA-inog *Goddard* centra za let svemirom (URL 13). Odabrana je grupa podataka MOD07_L2⁹, koja predstavlja objedinjene podatke atmosferskih profila, koji sadrže informacije o aerosolu, vodenoj pari i oblacima te za sat i minutu preleta satelita preko određenog područja. Podaci su preuzeti za područje koje obuhvaća odabrane županije za sva tri dana. Prilikom preuzimanja odabran je MODIS skup 5¹⁰ unutar kojega su prethodno odabrani produkti za atmosferu. Osim direktnih vrijednosti moguće je preuzeti i dnevne, osmerodnevne i mjesečne vrijednosti atmosferskih podataka. Prilikom preuzimanja podataka uz odabir produkta MOD07_L2, odabrani su parametri za količinu vodene pare. Podaci su u WGS 84 referentnom sustavu u *GeoTiff* formatu.

⁹ MODIS dnevni atmosferski produkti razine 2 (*engl. Level 2 Product*) sadrži direktno prikupljene atmosferske parametre u trenutku prolaska satelita putanjom preko određenog područja (URL 14).

¹⁰ Statistički podaci za atmosferu i tlo prvotno su bili dostupni u skupu 5, ali se sada nalaze u skupu podataka 5.1 (URL 13).

Zbog korištenja podataka s različitih satelita, u ovom slučaju to su sateliti Landsat 8 i Terra, preuzeti podaci nisu prikupljeni istodobno. Odabrane županije obuhvaćene su silaznim putanjama 188 i 189 Terra satelita, duž kojih MODIS prikuplja podatke u 9:00 UTC i 10:40 UTC. Stoga su atmosferski podaci za odabrane županije prikupljeni u 11:00 h i 12:40 h po lokalnom vremenu, odnosno oko pola sata prije i sat vremena poslije prikupljanja podataka Landsat 8 satelitom.

Podaci navedenih profila su osrednjeni, pa se vrijednosti za količinu vodene pare, korištene u obradi podataka, odnose na srednje vrijeme prikupljanja podataka u navedenim putanjama, tj. odnose se na 11:50 h po lokalnom vremenu. Iako podaci o količini vodene pare nisu prikupljeni istodobno kao i Landsat 8 podaci, njihove srednje vrijednosti vremenski su oko 15 minuta u zakašnjenju u odnosu na Landsat 8 podatke.

Rasteri s podacima o količini vodene pare nisu kontinuirani, odnosno imaju *NULL* vrijednosti na područjima gdje se u danom trenutku nalaze oblaci, prije usrednjavanja podataka dvaju atmosferskih profila, provedeno je popunjavanje navedenih područja interpolacijom podataka. Interpolacija je izvršena naredbom *fill nodata* u *QuantumGIS*-u, koristeći predefinirane vrijednosti. Interpolacija je provedena prije usrednjavanja jer bi prilikom usrednjavanja dvaju rastera, od kojih na određenom području jedan ima mjerene vrijednosti, a drugi *NULL* vrijednosti, rezultat bio *NULL* vrijednosti, odnosno izgubio bi se dio mjerenih podataka i naknadna interpolacija polučila bi lošije rezultate.

3.4. Priprema podataka za obradu

Prije obrade preuzeti podaci su pripremljeni za obradu u *QuantumGIS* softveru, svođenjem na zajedničku kartografsku projekciju i odstranjivanjem podataka izvan odabranih županija. Landsat 8 podatci su u WGS84 i UTM (*engl. Universal Transverse Mercator*) projekciji. Podaci na području Osječko-baranjske županije nalaze se u UTM 34N¹¹, a na području Splitsko-dalmatinske u UTM 33N zoni.

MODIS podaci su u WGS84 referentnom sustavu, bez dodijeljene kartografske projekcije, stoga su im dodijeljene kartografske projekcije identične kao i Landsat 8 podacima primjenom *On the Fly* (OTF) transformacije. Odstranjivanje podataka izvan odabranih županija izvršeno je pomoću grafičke baze podataka evidencije prostornih jedinica Hrvatske. Navedeni podaci grafičke baze su u SHP¹² formatu (*engl. ESRI shapefile*). Datum navedenih podataka je WGS84

¹¹ UTM zone podijeljene su na sjevernu i južnu Zemljinu polutku. Tako N iza broja zone označava sjevernu, a S južnu polutku.

¹² SHP je pod ingerencijom ESRI-a (*engl. Environmental Systems Research Institute*) i standard je u uporabi prostornih podataka.

i nije im dodijeljena kartografska projekcija, zbog čeka su im u obradi dodijeljene kartografske projekcije identične kao i Landsat 8 podacima, također primjenom OTF transformacije. Odstranjivanje podataka izvan odabranih županija izvršeno je operacijom *clipper* u *QuantumGIS* softveru, pri čemu su podaci s vrijednosti rastera 0 postavljene na NULL¹³. U suprotnom, prilikom izvršavanja navedene operacije područja van županija bi imala dodijeljenu vrijednost, na kojima bi bila provedena obrada kao i nad podacima koji spadaju pod odabrane županije.

Podaci van županija su također odstranjeni zbog bržeg izvođenja obrade podataka. Podaci Landsat 8 satelita i MODIS senzora su ograničeni na područja odabranih županija i korišteni su u daljnjoj obradi.

3.5. Kalibracija Landsat 8 snimaka

Obrada podataka u programu *GRASS GIS* je započela kalibracijom Landsat 8 snimaka, prema uputama danim na službenim USGS stranicama (URL 15). OLI kalibracija u izrazima (1) i (2) je neophodna za računanje LSE-a, a TIRS kalibracija u izrazima (3) i (4) je neophodna za računanje LST-a.

$$\rho'_i = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (1)$$

gdje je:

ρ'_i – planetarni odsjaj vrha atmosfere (*engl. Top of Atmosphere*, TOA), bez korekcije za solarni kut,

M_ρ – multiplikativni faktor specifičan za svaki kanal, dostupan iz meta podataka snimaka,

A_ρ – aditivni faktor specifičan za svaki kanal, dostupan iz meta podataka snimaka,

Q_{cal} – kvantificirane i kalibrirane vrijednosti standardnog Landsat 8 produkta (DN)¹⁴.

Planetarni odsjaj vrha atmosfere (*engl. Top of Atmosphere Reflectance*, TOAR) se dobije na osnovu izraza

$$\rho_i = \frac{\rho'_i}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

gdje je:

ρ_i – TOAR,

θ_{SE} – kut lokalne elevacije sunca.

¹³ NULL, za razliku od 0 koja predstavlja specifičnu vrijednost rastera, predstavlja područje rastera bez podataka.

¹⁴ DN (*engl. Digital Number*) označava vrijednosti rastera preuzetog kao podatak razine 1T, što u slučaju Landsat 8 podataka predstavlja uključenu sustavnu radiometrijsku i geometrijsku korekciju podataka s obzirom na digitalni model terena, tj. topografiju (URL 16).

Spektralna emisija TOA se dobije primjenom izraza

$$L_i = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

gdje je:

L_i – TOA spektralna emisija,

M_L – multiplikativni faktor specifičan za svaki kanal, dostupan iz meta podataka snimaka,

A_L – aditivni faktor specifičan za svaki kanal, dostupan iz meta podataka snimaka,

Q_{cal} – kvantizirane i kalibrirane vrijedosti standardnog Landsat 8 produkta.

Temperatura odsjaja na satelitu se dobije primjenom izraza

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_i} + 1\right)} \quad (4)$$

gdje je:

T – temperatura odsjaja na satelitu [K],

L_i – TOA spektralna emisija,

K_1 – konstanta termalne konverzije specifična za svaki kanal, dostupna iz meta podataka snimaka,

K_2 – konstanta termalne konverzije specifična za svaki kanal, dostupna iz meta podataka snimaka.

Nakon kalibracije Landsat 8 snimaka uslijedilo je računanje LST-a, pomoću SW algoritma.

3.6. Split-Window algoritam

Najnovije istraživanje računanja LST-a na temelju Landsat 8 podataka, u sklopu kojega je SW algoritam prilagođen spektralnom odzivu TIRS-a, proveli su Yu i dr. (2014). Oni su proveli računanja LST-a na temelju Landsat 8 podataka metodom baziranoj na jednadžbi prijenosa zračenja, SW algoritmom i SC metodom.

Metoda bazirana na jednadžbi prijenosa zračenja koristi atmosferske profile NCEP (*engl. National Centers for Environmental Prediction*) skupa podataka, koji su korišteni za simulaciju atmosferske propusnosti, dok je kontinuirana zračenja prema dolje i prema gore računata iz MODTRAN (*engl. Moderate resolution atmospheric Transmission*) modela (Yu i dr. 2014). MODTRAN model je komercijalan, te iz tog razloga ova metoda nije korištena u ovom radu. 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.

Atmosferska propusnost i LSE prvotno su se primjenjivali za računanje LST-a iz Landsat TIR senzora pomoću SC metode (Qin, Karnieli i Berliner 2001). Navedeni princip računanja LST-

a kasnije je prilagođen njegovom računanju iz MODIS-a i ASTER-a¹⁵ (Mao i dr. 2005a, Qin i dr. 2001). SC metoda, koja je korištena u ovom radu, koristi novi algoritam koji su razvili Jimenez-Munoz i Sobrino (2008).

Od navedena tri načina računanja, metoda bazirana na jednadžbi prijenosa zračenja rezultira najpreciznijom LST-om. Nakon njega, prema kriteriju točnosti, slijedi SW algoritam, a najmanje precizna je SC metoda. Na stranicama USGS-a predlažu zaobilaženje korištenja kanala 11 TIRS-a, a samim time i SW algoritma (URL 16). Lošiju točnost kanala 11 TIRS-a su potvrdili i Yu i dr. (2014). Primjenom SW algoritma je ovaj utjecaj ublažen i rezultira s RMSE (*engl. Root-Mean-Square Error*) nešto većom od 1 K. Tablica 5 prikazuje točnost dobivenog LST-a prethodno navedenim metodama, za kanale 10 i 11 TIRS-a.

Tablica 5. Točnost LST-a dobivenog metodom baziranom na jednadžbi prijenosa zračenja, SW algoritmom i SC metodom, za kanale 10 i 11 TIRS-a (Yu i dr. 2014)

| Metoda / Kanal | Prijenosa zračenja RMSE [K] | SW algoritam RMSE [K] | SC RMSE [K] |
|----------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|
| Kanal 10 | 0,903 | 1,025 | 1,390 |
| Kanal 11 | 1,153 | | 1,670 |

SW algoritam je odabran zbog točnosti LST-a koja se njime dobije, ali i zbog besplatno dostupnih podataka koji su potrebni za njegovo provođenje. Zbog složenosti algoritma, u nastavku je prikazan njegov tijek u četiri glavne cjeline.

3.6.1. Emisija površine tla

LSE (ϵ) je neophodna za računanje LST-a, jer za razliku od oceana, znatno varira za tlo ovisno o vegetaciji, vlažnosti površine, hrapavosti i kutu snimanja (Salisbury i D’Aria 1992). Tri osnovne metode za određivanje LSE-a u svrhu računanja LST-a su: CBEM¹⁶ (Peres i DaCamara 2005), NBEM (*engl. NDVI-Based Emissivity Method*) (Momeni i Saradijan 2007) i TISI¹⁷ (Wan i Li 1997). CBEM nije dobra za širu operativnu primjenu, jer zahtjeva prethodna saznanja o području na kojem se primjenjuje i mjerenja emisije reprezentativnih pokrova u vrijeme kada satelit prikuplja podatke na tom području. TISI metoda zahtijeva opažanje površine tla pod istim kutom, s preciznom koregistracijom snimaka tokom dana i noći, a kako orbita Landsat 8 satelita nije geostacionarna, navedena metoda u slučaju TIRS-a nije primjenjiva (Yu i dr. 2014).

¹⁵ ASTER (*engl. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) jedan je od pet senzora Terra satelita.

¹⁶ CBEM (*engl. Classification-Based Emissivity Method*) koristi statične klasifikacije pokrova tla i podatke o LSE iz baze spektralnih zapisa (*engl. spectral libraries*).

¹⁷ TISI (*engl. day/night Temperature-Independent Spectral-Indices*) koristi osrednjene simultano prikupljene parove dnevnih i noćnih snimaka koje sadrže podatke o emisiji i temperaturi.

Zbog navedenog LST je u ovom radu računat iz LSE-a dobivenog NBEM procedurom, koja koristi NDVI (*engl. Normalized Difference Vegetation Index*) i karakteristične vrijednosti koje se dobiju pomoću izraza (6) i (7).

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (5)$$

gdje je:

ρ_4 – TOAR kanala 4 OLI-a,

ρ_5 – TOAR kanala 5 OLI-a.

LSE je računata odvojeno za kanale 10 i 11 TIRS-a prema sljedećim izrazima

$$-0.047 \rho_4 + 0.973 \quad NDVI \leq 0.2 \quad (6a)$$

$$\varepsilon_{10} = \varepsilon_{v,10} P_v + \varepsilon_{s,10} (1 - P_v) + C_{10} \quad 0.2 < NDVI \leq 0.5 \quad (6b)$$

$$\varepsilon_{v,10} + C_{10} \quad NDVI > 0.5 \quad (6c)$$

$$-0.026 \rho_4 + 0.984 \quad NDVI \leq 0.2 \quad (7a)$$

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_{v,11} P_v + \varepsilon_{s,11} (1 - P_v) + C_{11} \quad 0.2 < NDVI \leq 0.5 \quad (7b)$$

$$\varepsilon_{v,11} + C_{11} \quad NDVI > 0.5 \quad (7c)$$

gdje je:

ε_{10} – LSE za kanal 10 TIRS-a,

ε_{11} – LSE za kanal 11 TIRS-a,

$\varepsilon_{v,10}$ – emisija vegetacije za kanal 10 TIRS-a = 0,9863,

$\varepsilon_{v,11}$ – emisija vegetacije za kanal 11 TIRS-a = 0,9896,

$\varepsilon_{s,10}$ – emisija zemlje za kanal 10 TIRS-a = 0,9668,

$\varepsilon_{s,11}$ – emisija zemlje za kanal 11 TIRS-a = 0,9747,

P_v – frakcija vegetacije,

C_i – hrapavost površine,

ρ_4 – TOAR kanala 4 OLI-a.

Frakcija vegetacije P_v se računa na temelju NDVI-a prema sljedećem izrazu

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (8)$$

gdje je:

$NDVI_{min} = 0,2$,

$NDVI_{max} = 0,5$.

Hrapavost površine C_i je izračunata prema izrazima

$$C_{10} = (1 - \varepsilon_{s,10}) \varepsilon_{v,10} (1 - P_v) F' \quad (9a)$$

$$C_{11} = (1 - \varepsilon_{s,11}) \varepsilon_{v,11} (1 - P_v) F' \quad (9b)$$

gdje je:

C_{10} – utjecaj hrapavosti površine za kanal 10 TIRS-a,

C_{11} – utjecaj hrapavosti površine za kanal 11 TIRS-a,

F' – geometrijski faktor u rasponu od 0 do 1, a korišten je najčešći iznos 0,55.

3.6.2. Atmosferska propusnost

Atmosferska propusnost (τ) izračunata je na temelju količine vodene pare (w) koja je prikupljena MODIS senzorom *Terra* satelita. Prije računanja same atmosferske propusnosti snimke koje sadrže podatke o količini vodene pare prestrukturirane su na prostornu rezoluciju od 30 m i interpolirane bi-kubičnom interpolacijom. Navedeni postupak je analogan kubičnoj konvoluciji kojom su prestrukturirane TIRS snimke sa 100 na 30 m, a što je omogućilo međusobnu prostornu kompatibilnost podataka prikupljenih različitim senzorima.

U sljedećem koraku provedeno je računanje atmosferske propusnosti, koja ovisi o količini vodene pare i različito se računa za kanale 10 i 11 TIRS-a primjenom izraza

$$w = 0,2 - 3,0 \text{ g/cm}^2 \quad \tau_{10} = -0,0164w^2 - 0,04203w + 0,9715 \quad (10a)$$

$$\tau_{11} = -0,01218w^2 - 0,07735w + 0,9603 \quad (10b)$$

$$w = 3,0 - 6,0 \text{ g/cm}^2 \quad \tau_{10} = -0,0168w^2 - 0,1329w + 1,127 \quad (11a)$$

$$\tau_{11} = -0,09186w^2 - 0,2137w + 1,181 \quad (11b)$$

Veza atmosferske propusnosti i količine vodene pare koja je definirana formula (10) i (11), rezultat je simulacije *Mid-latitude Summer* profila u MODTRAN-u (Yu i dr. 2014), uspostavljena je kvadratnom regresijom za raspone količine vodene pare od 0,2 do 3,0 g/cm² i od 3,0 do 6,0 g/cm². U svrhu postizanja veće točnosti Qin i dr. (2001) su predložili podjelu raspona količine vodene pare u nekoliko razina i odvojeno računanje atmosferske propusnosti. Navedene formule omogućuju vrlo točno i precizno računanje atmosferske propusnosti iz količine vodene pare s obzirom na visoki koeficijent determinacije ($r^2=0,999$) i malo srednje standardno odstupanje (RMSE=0,002).

3.6.3. Temperaturni faktor

Prema Plankovom zakonu spektralni odsjaj, koji emitiraju objekti, nelinearna je funkcija. Yu i dr. (2014) linearizirali su navedenu funkciju razvojem u Taylorov red. Odsjaj prikupljen

kanalima 10 i 11 TIRS-a simuliran krivuljama spektralnog odziva, gotovo je linearna funkcija u rasponu od -10°C do 50°C . Temperaturni faktor L_i se dobiva na osnovu izraza (12) i (13) za raspone od -10°C do 20°C i od 20°C do 50°C ¹⁸, kako su predložili Rozenstein i dr. (2014) te Qin i dr. (2001).

$$T = -10 - 20^{\circ}\text{C} \quad L_{10} = 0.4087 T_{10} - 55.58 \quad (12a)$$

$$L_{11} = 0.4442 T_{11} - 59.85 \quad (12b)$$

$$T = 20 - 50^{\circ}\text{C} \quad L_{10} = 0.4464 T_{10} - 66.61 \quad (13a)$$

$$L_{11} = 0.4831 T_{11} - 71.23 \quad (13b)$$

gdje je:

T_{10} – temperatura odsjaja na satelitu za kanal 10 TIRS-a,

T_{11} – temperatura odsjaja na satelitu za kanal 11 TIRS-a,

T_{10} – temperaturni faktor kanala 10 TIRS-a,

T_{11} – temperaturni faktor kanala 11 TIRS-a.

Kao što je pokazano u (Yu i dr. 2014) visoki koeficijent determinacije ($r^2=0,999$) i malo srednje standardno odstupanje (RMSE=0,04) opravdavaju linearizaciju L_i iz T u navedenom rasponu temperature.

3.6.4. Temperatura površine tla

Na temelju izraza (4), (10), (11), (12) i (13) te pomoću SW algoritma danog izrazom (14), a koji je predložen u Yu i dr. (2014), izračunat je LST pomoću izraza (14g). Iz izraza (14g) je vidljivo kako veći doprinos LST-u ima kanal 10 TIRS-a, a razlog tome je njegoa već spomenuta bolja točnost u odnosu na kanal 11.

$$A_{10} = \varepsilon_{10} \tau_{10} \quad (14a)$$

$$A_{11} = \varepsilon_{11} \tau_{11} \quad (14b)$$

$$D_{10} = (1 - \tau_{10})(1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau_{10}) \quad (14c)$$

$$D_{11} = (1 - \tau_{11})(1 + (1 - \varepsilon_{11})\tau_{11}) \quad (14d)$$

$$B_0 = \frac{D_{11}(1 - A_{10} - D_{10})L_{10} - D_{10}(1 - A_{11} - D_{11})L_{11}}{D_{11}A_{10} - D_{10}A_{11}} \quad (14e)$$

¹⁸ Za snimku Splitsko dalmatinske županije 22. svibnja 2014. temperature preko 50°C nisu isključene iz računanja LST-a, kako se ne bi izgubili podaci o najtoplijim područjima neophodni za analizu LST-a. Na svim ostalim snimkama temperature su u rasponu od -10°C do 50°C .

$$B_1 = \frac{D_{10}}{D_{11}A_{10} - D_{10}A_{11}} \quad (14f)$$

$$T_s = T_{10} + B_1(T_{10} - T_{11}) + B_0 \quad (14g)$$

Izračunati LST ima prostornu rezoluciju od 30 m, a prema Yu i dr. (2014) njegova točnost trebala bi biti $\pm 1,025^\circ\text{C}^{19}$. To je osnovni rezultat analitičke obrade koji je korišten za geoprostornu analizu za područje odabranih županija.

3.7. Uklanjanje oblaka

Podaci s izračunatom LST sadrže oblake i njihove sjene u trenutku prikupljanja podataka Landsat 8 satelitom. Temperaturni odnosi oblaka nisu predmet ovog rada²⁰ te su uklonjeni sa snimaka. Zbog utjecaja sjene oblaka na LST, za precizniju analizu LST-a bilo je nužno ukloniti ih. Uklanjanje oblaka i njihovih sjena izvršeno je pomoću *Fmask* softvera (Zhu i Woodcock 2015), koji je dostupan za korištenje u obliku kompiliranog *Matlab* koda (URL 17). Tablica 6 prikazuje slojeve dobivene iz svih 11 kanala Landsat-a 8 u *Fmask* softveru. Navedeni sloj ima naziv isti kao i u Landsat-u 8 uz dodatak *Fmask*-a.

Tablica 6. Opis *Fmask* slojeva.

| <i>Fmask</i> sloj | Opis |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | tlo bez oblaka |
| 1 | vodene površine bez oblaka |
| 2 | sjene oblaka |
| 3 | snježni pokrov |
| 4 | oblaci |
| 255 | bez podataka |

Postavljanjem slojeva 2 i 4 na NULL vrijednosti, oblaci i njihove sjene uklonjene su iz LST rastera u programu *GRASS GIS*.

3.8. Priprema podataka za analizu

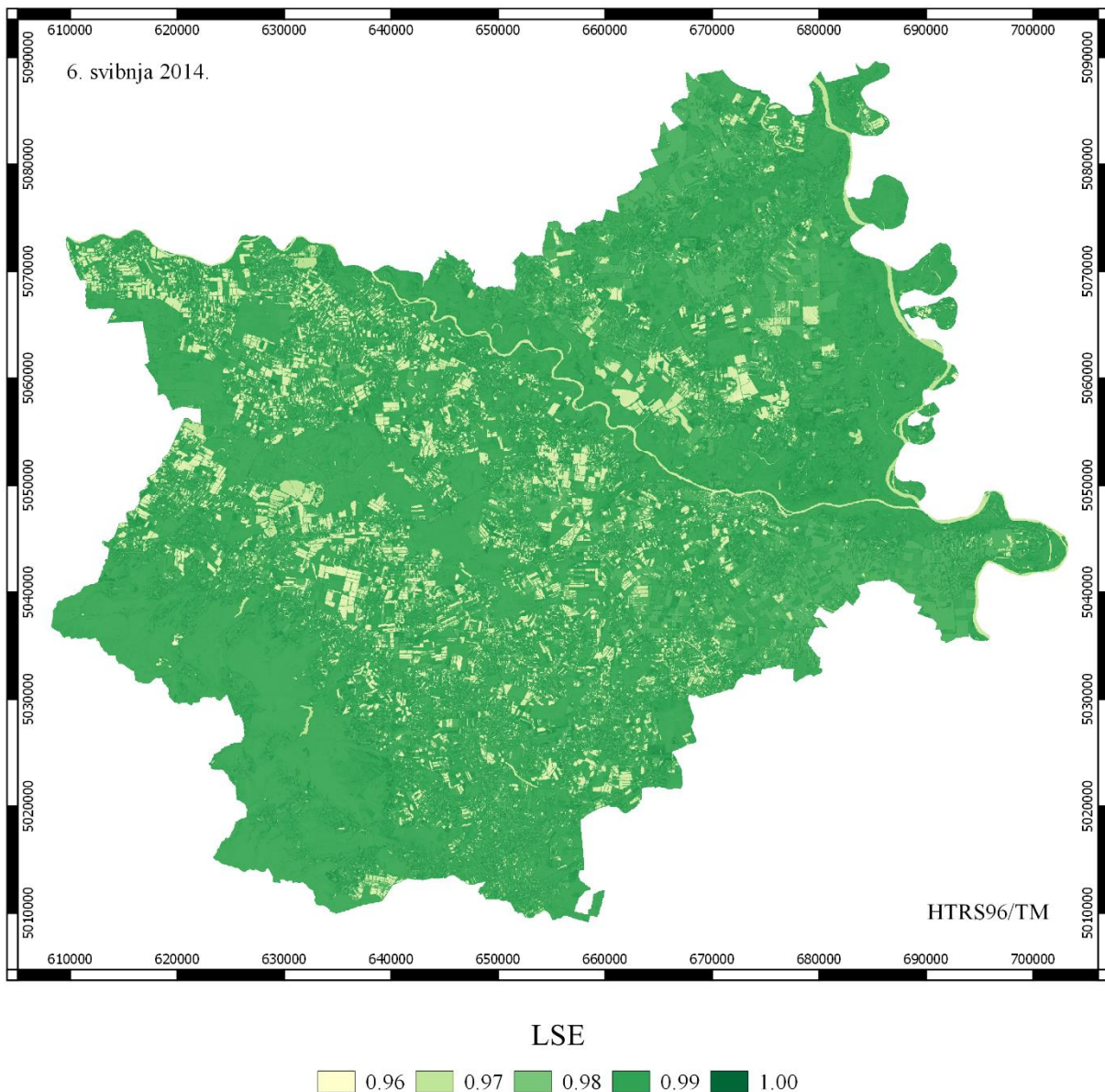
Rezultati su zbog unificiranog prikaza, primjenom OTF transformacije u *QuantumGIS*-u, transformirani u Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Merkatorove projekcije (HTRS96/TM). Navedenim su izbjegnute dvije zone u kojima su smještene odabrane županije u UTM projekciji, te je omogućena jednostavnija zajednička analiza podataka.

¹⁹ Točnost LST-a od $\pm 1,025^\circ\text{C}$ u Yu i dr. (2014) odnosi se isključivo na LST, ne i na SST.

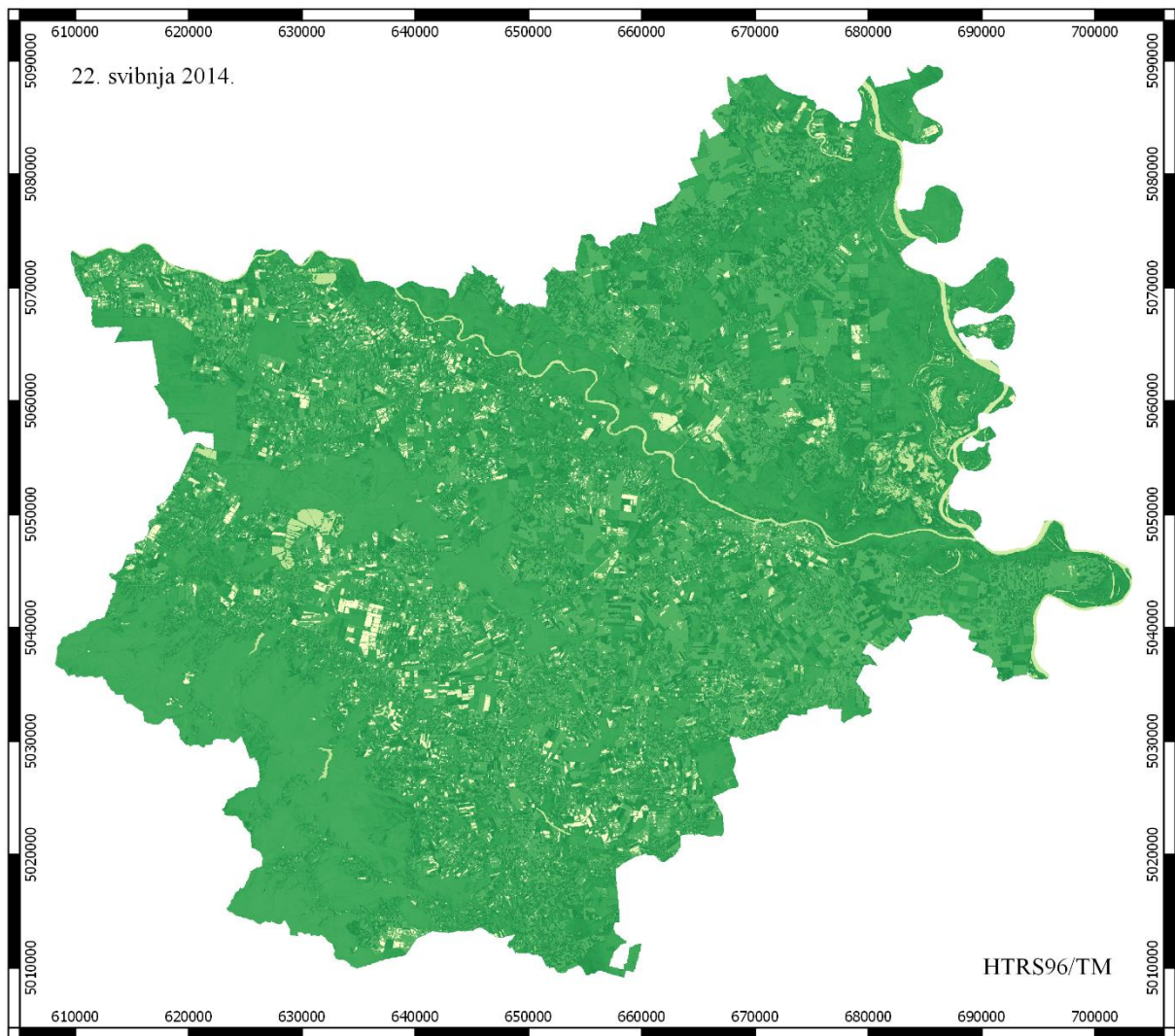
²⁰ Iako oblaci nisu od značaja za ovaj rad, na temelju temperaturnih odnosa dobivenih iz Landsat 8 podataka otvara se mogućnost uvida u temperature oblaka, što je prema dosadašnjim saznanjima moguće samo u relativnim odnosima.

4. Rezultati

Primjenom NBEM postupka na podacima Landsat 8 satelita dobiven je LSE za odabrane dane na područjima odabranih županija (slika 2, slika 3, slika 4, slika 5, slika 6 i slika 7). Na prikazanim slikama vidljivo je kako je LSE bezdimenzionalna veličina, koja služi za skaliranje LST-a. Pri tom se tamniji objekti, poput zemlje, skaliraju prema manjim vrijednostima u većem iznosu, zato što akumuliraju veću količinu zračenja u toplinskom spektru. Međutim, dok objekti koji apsorbiraju navedeno zračenje, poput vegetacije, imaju LSE faktor oko 1 i njihovo LST skaliranje je vrlo malo ili zanemarivo.



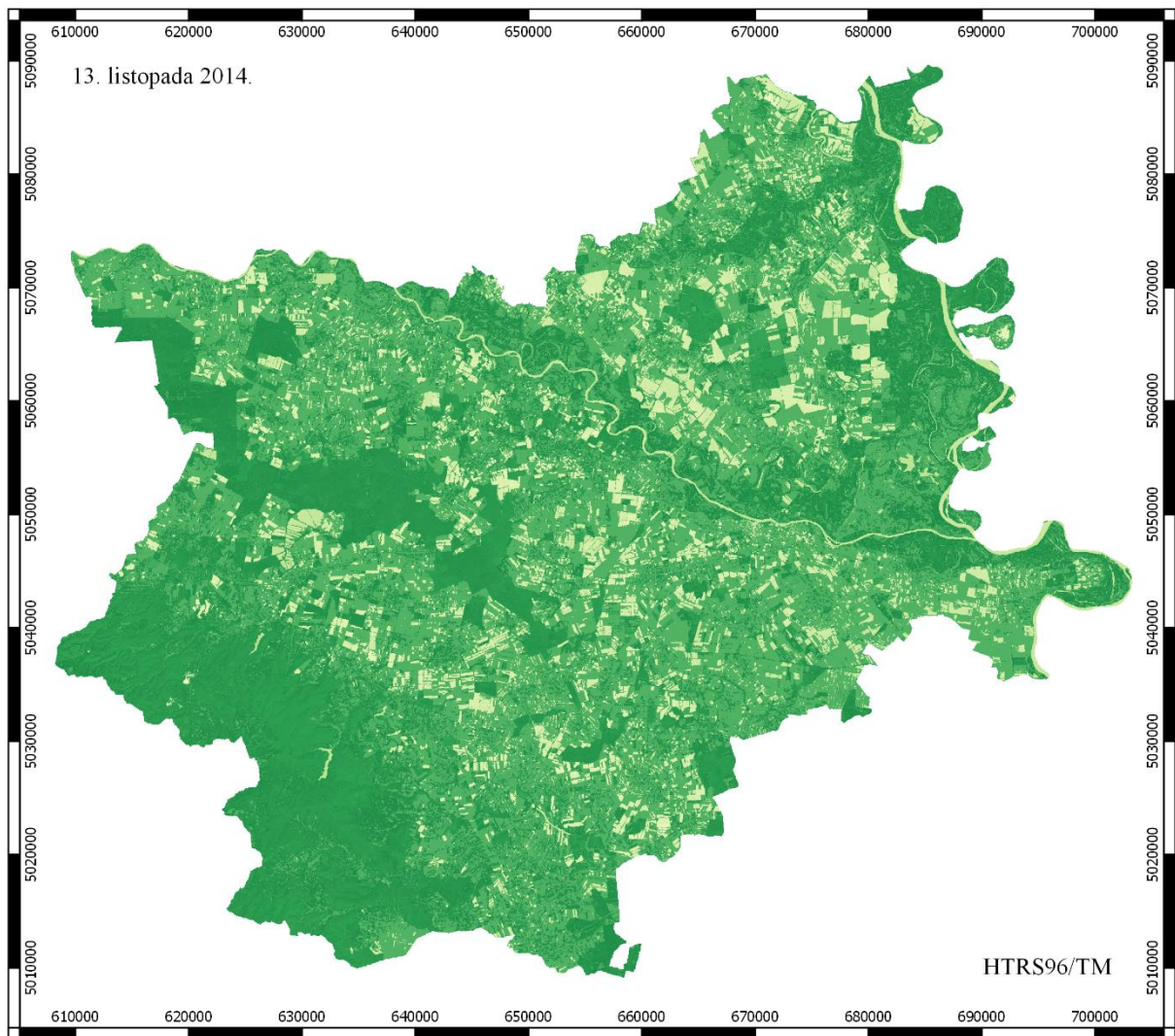
Slika 2. LSE za područje Osječko-baranjske županije dana 6. svibnja 2014.



LSE

0.96 0.97 0.98 0.99 1.00

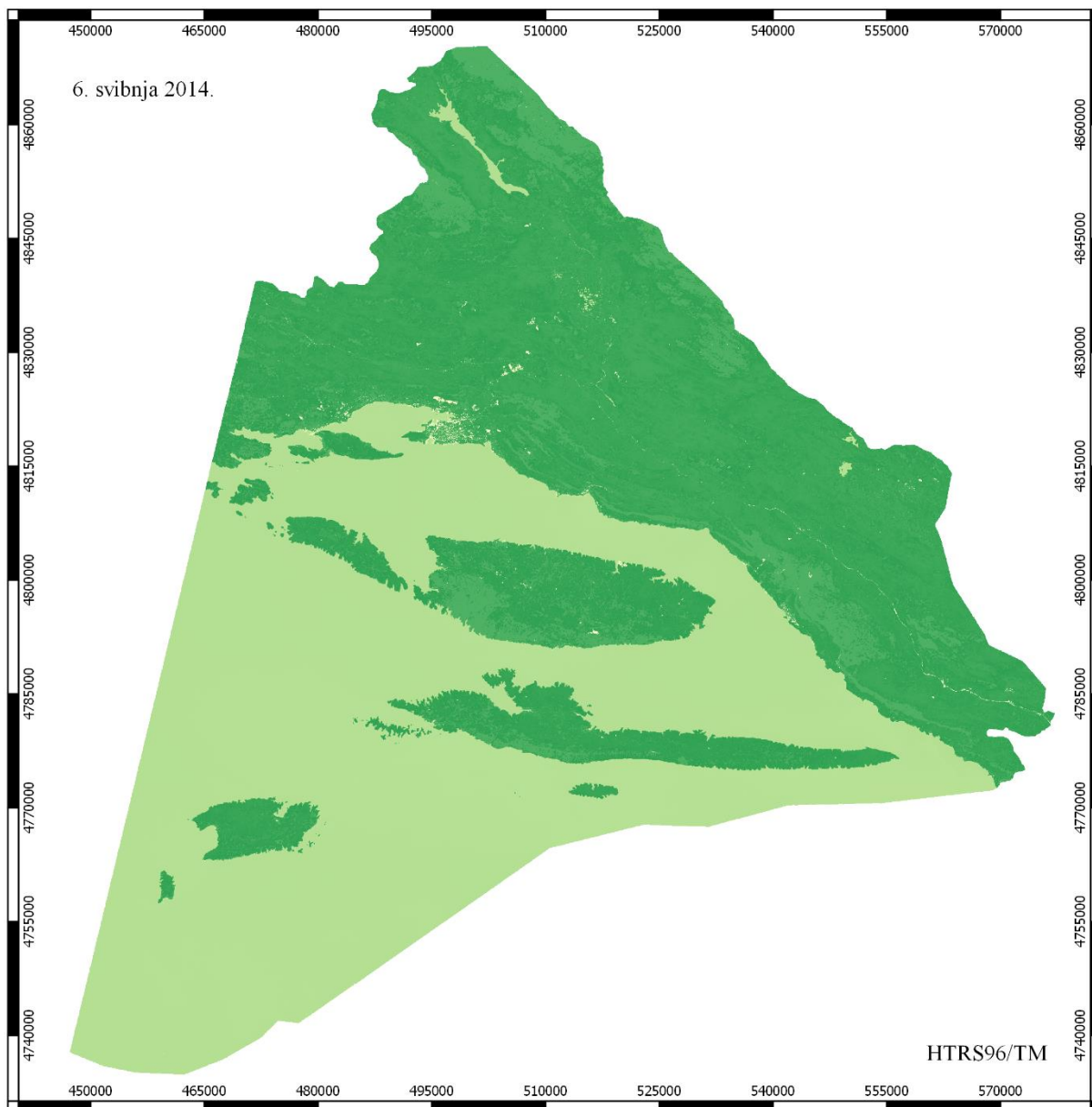
Slika 3. LSE za područje Osječko-baranjske županije dana 22. svibnja 2014.



LSE



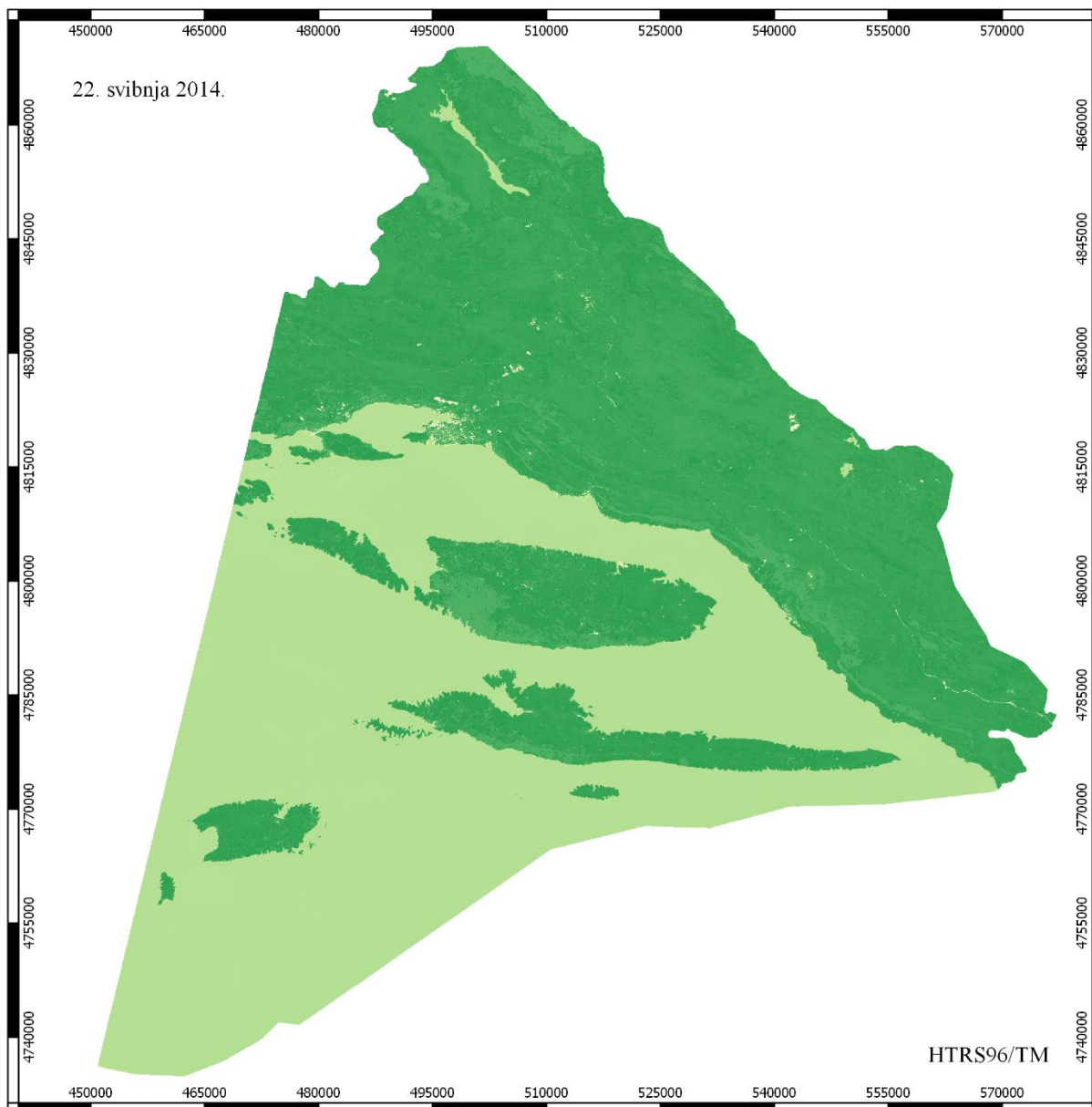
Slika 4. LSE za područje Osječko-baranjske županije dana 13. listopada 2014.



LSE



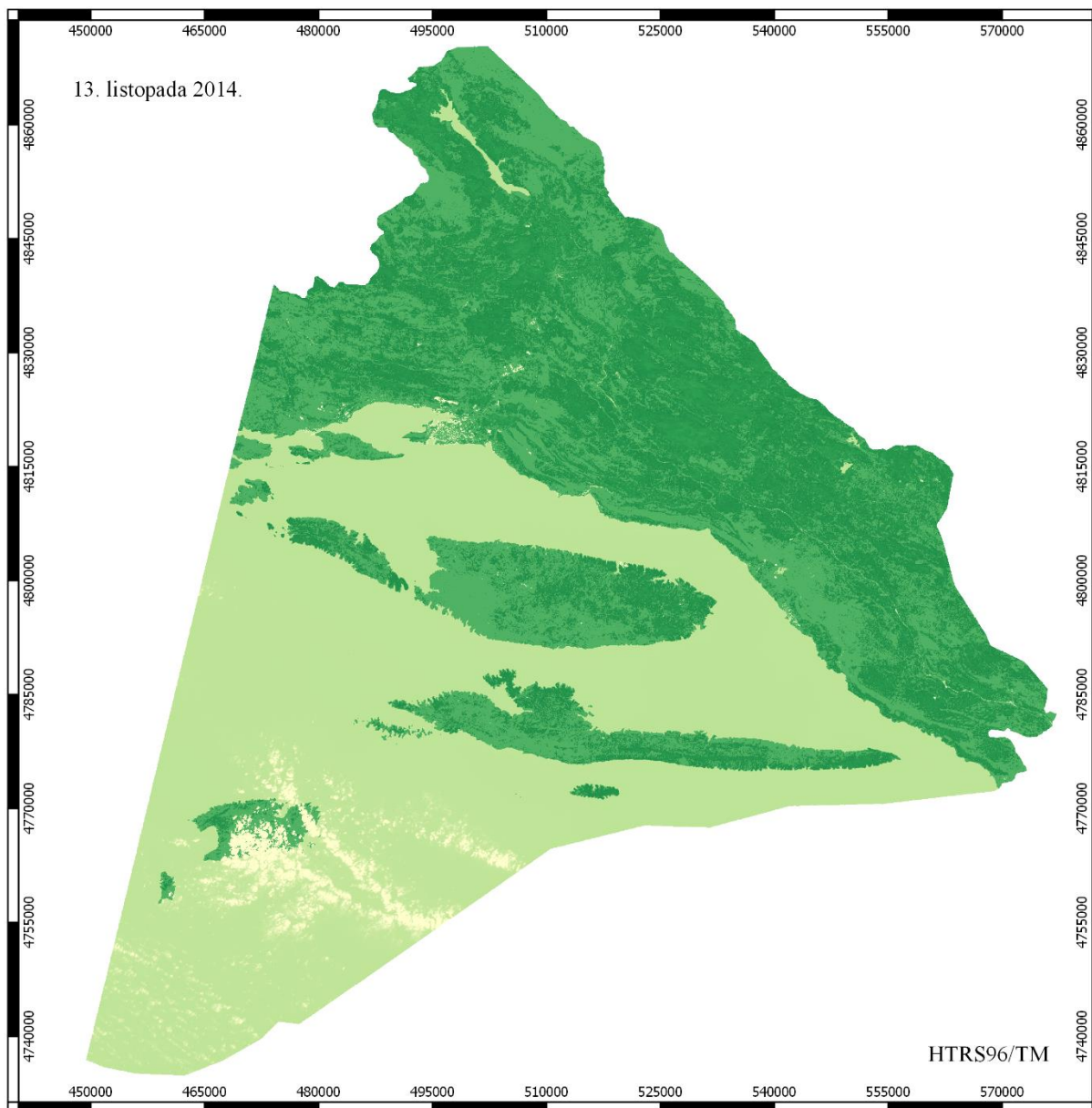
Slika 5. LSE za područje Splitsko-dalmatinske županije dana 6. svibnja 2014.



LSE



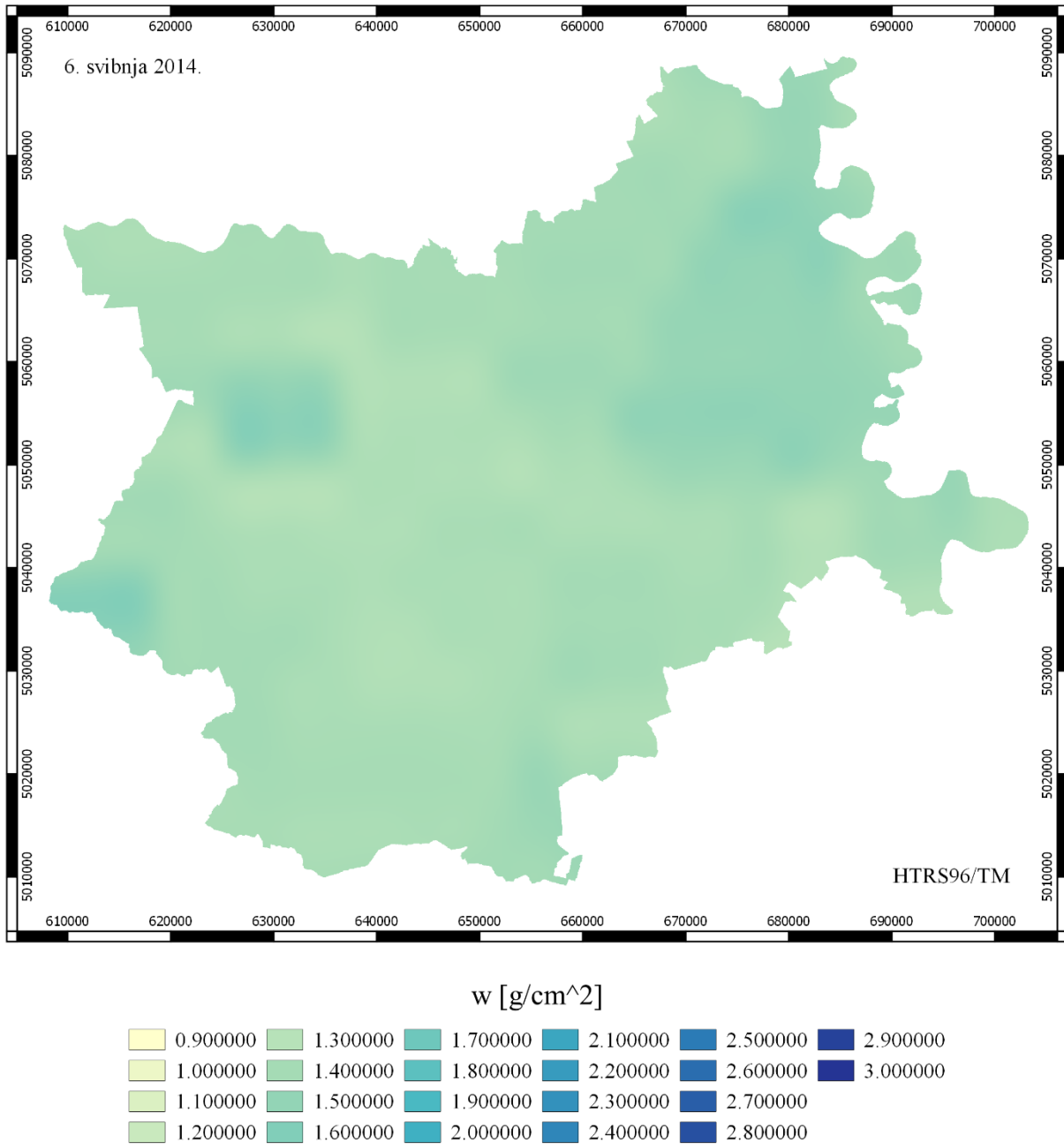
Slika 6. LSE za područje Splitsko-dalmatinske županije dana 22. svibnja 2014.



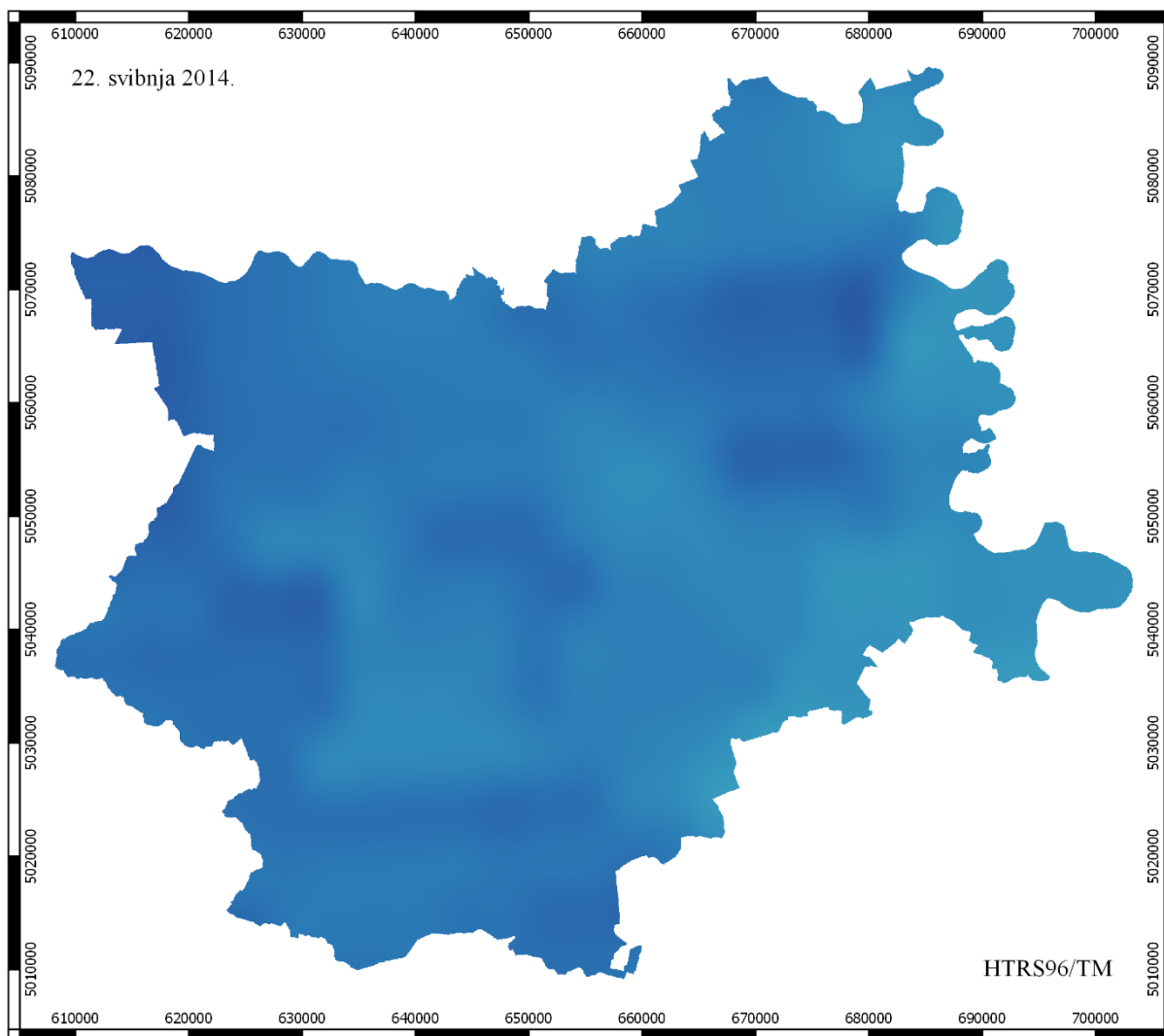
Slika 7. LSE za područje Splitsko-dalmatinske županije dana 13. listopada 2014.

Iz prikazanog LSE-a vidljivo je kako je na području Osječko-baranjske županije najveća količina vegetacije 22. svibnja, a najmanja 13. listopada, a tada je već većina bjelogorice bez lišća. Na području Splitsko-dalmatinske županije vegetacija je najintenzivnija 13. listopada 2014. godine, jer je na navedenom području veća količina crnogorice nego na prostoru Osječko-baranjske županije. Najmanja količina vegetacije na području Splitsko-dalmatinske županije je bila 6. svibnja 2014.

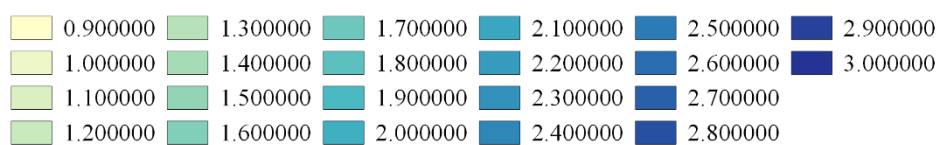
Atmosferska propusnost računata je iz prestrukturiranih i interpoliranih podataka količine vodene pare MODIS senzora (slika 8, slika 9, slika 10, slika 11, slika 12 i slika 13).



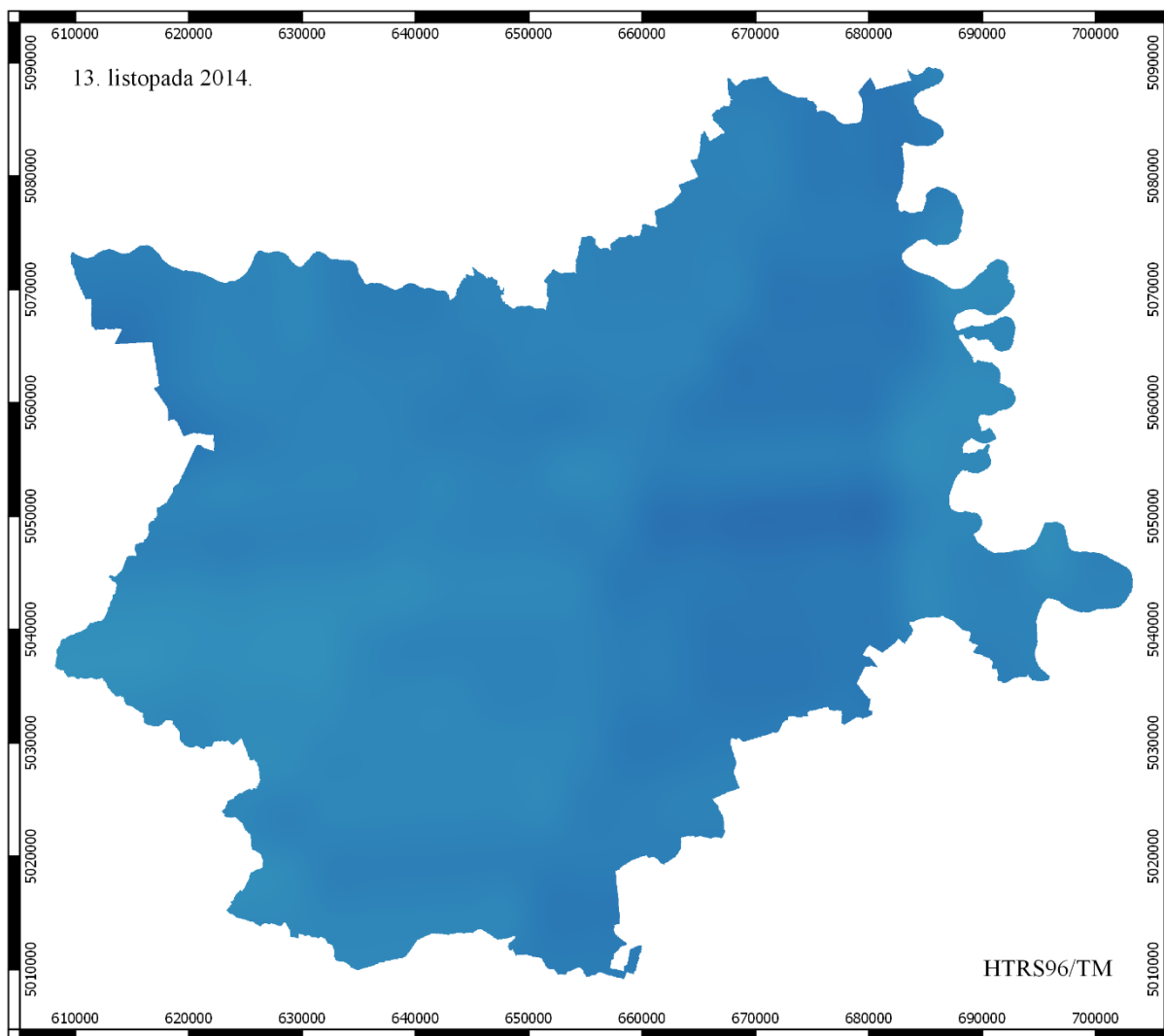
Slika 8. Količina vodene pare na području Osječko-baranjske županije dana 6. svibnja 2014.



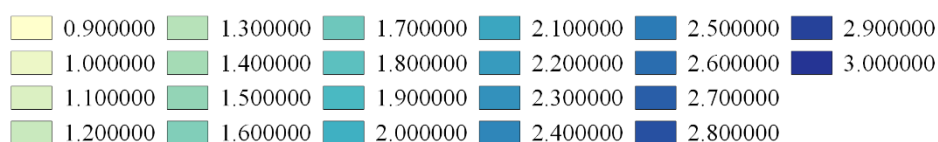
w [g/cm²]



Slika 9. Količina vodene pare na području Osječko-baranjske županije dana 22. svibnja 2014.

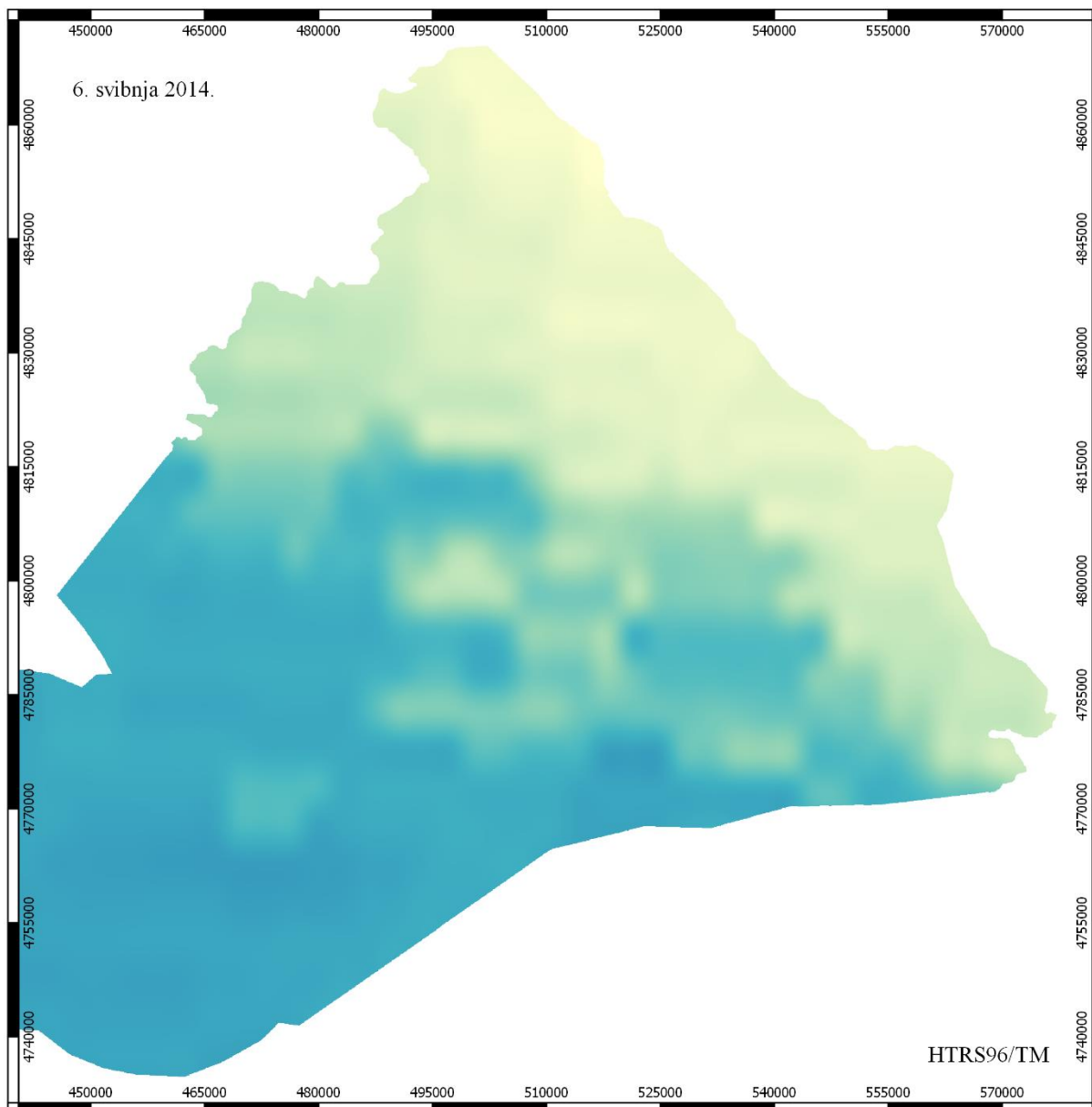


w [g/cm²]

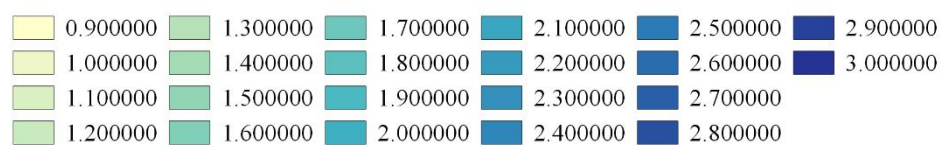


Slika 10. Količina vodene pare na području Osječko-baranjske županije dana 13. listopada 2014.

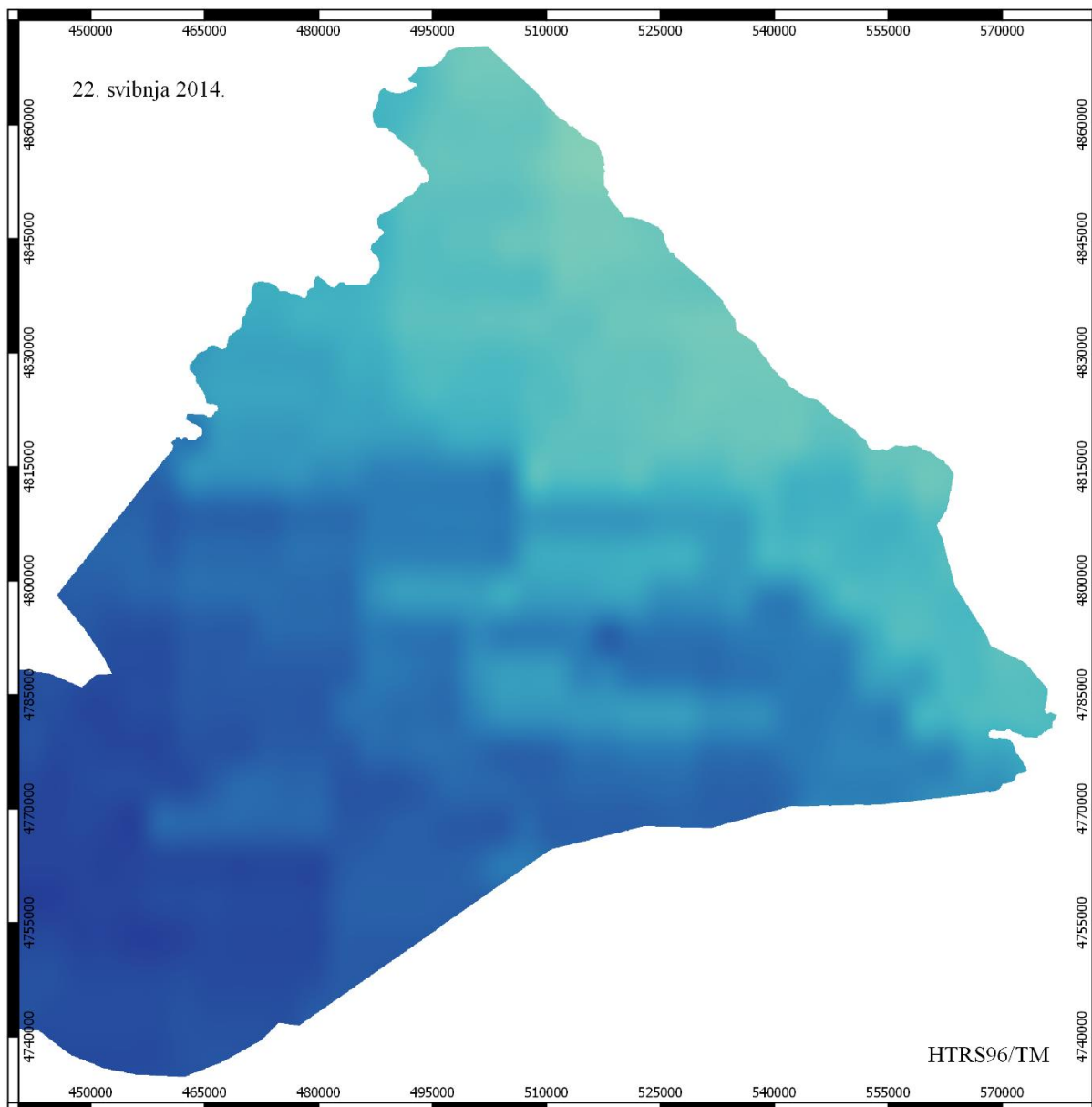
Iz kartografskih prikaza količine vodene pare vidljivo je kako njena raspodjela na području Osječko-baranjske županije ima vrlo ujednačene vrijednosti, što je posljedica reljefne i klimatološke istovrsnosti.



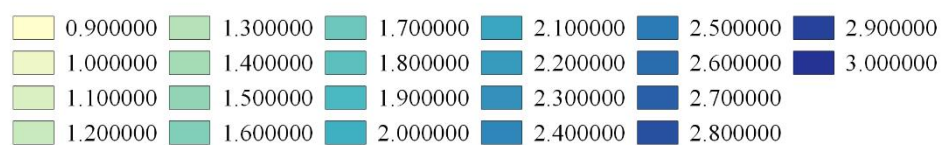
w [g/cm^2]



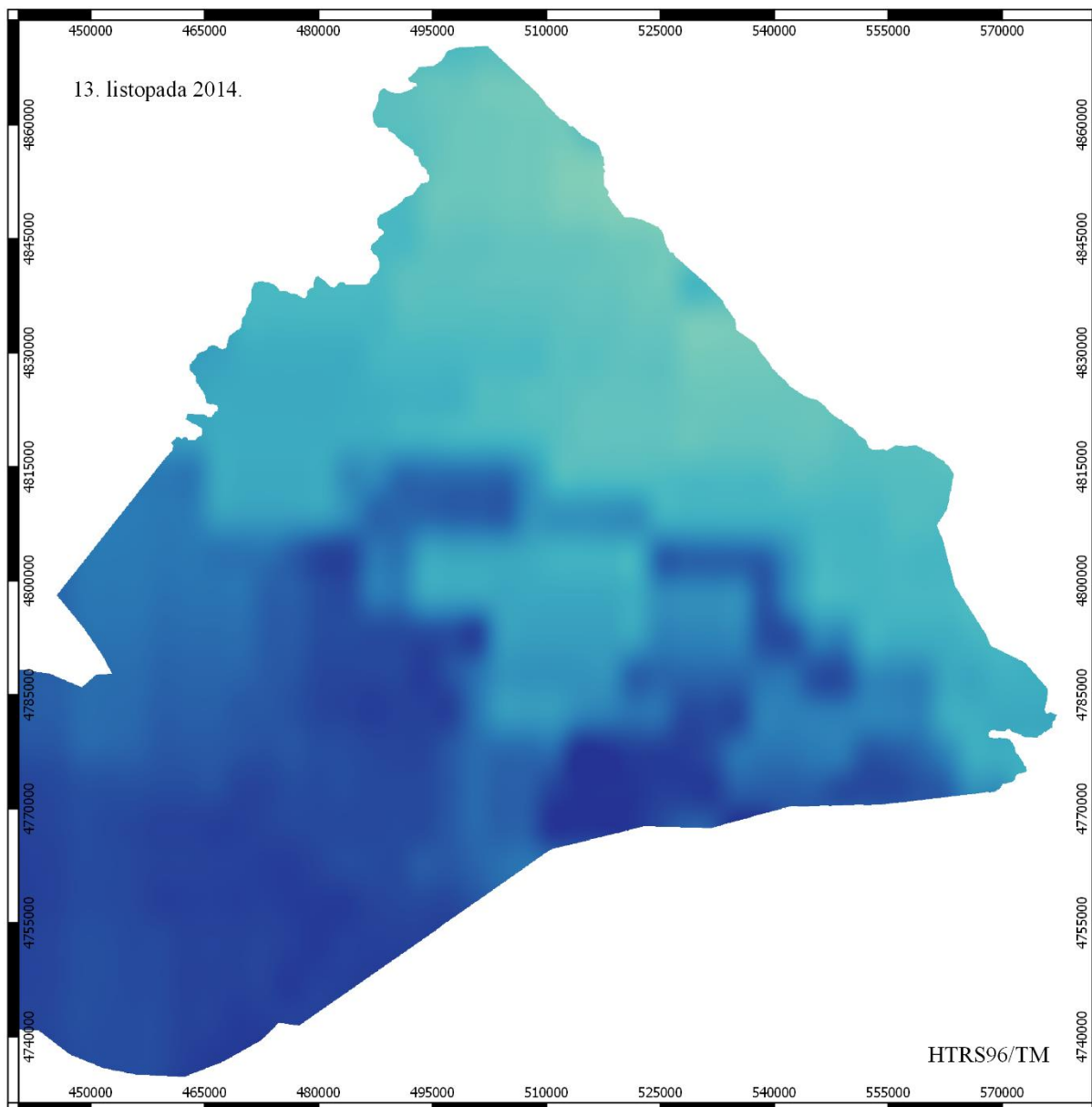
Slika 11. Količina vodene pare na području Splitsko-dalmatinske županije dana 6. svibnja 2014.



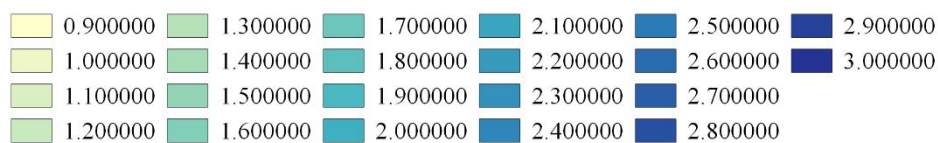
w [g/cm^2]



Slika 12. Količina vodene pare na području Splitsko-dalmatinske županije dana 22. svibnja 2014.



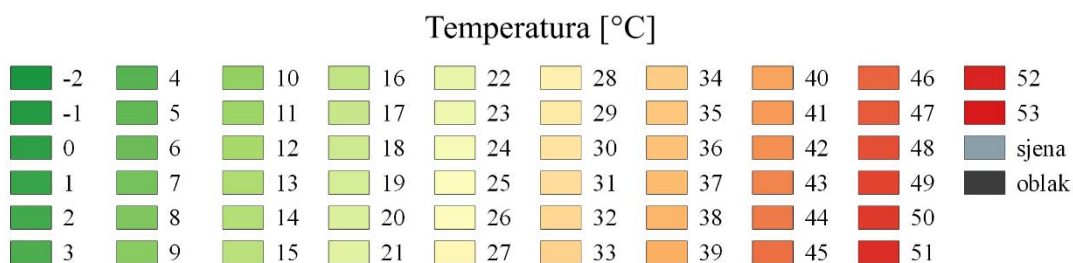
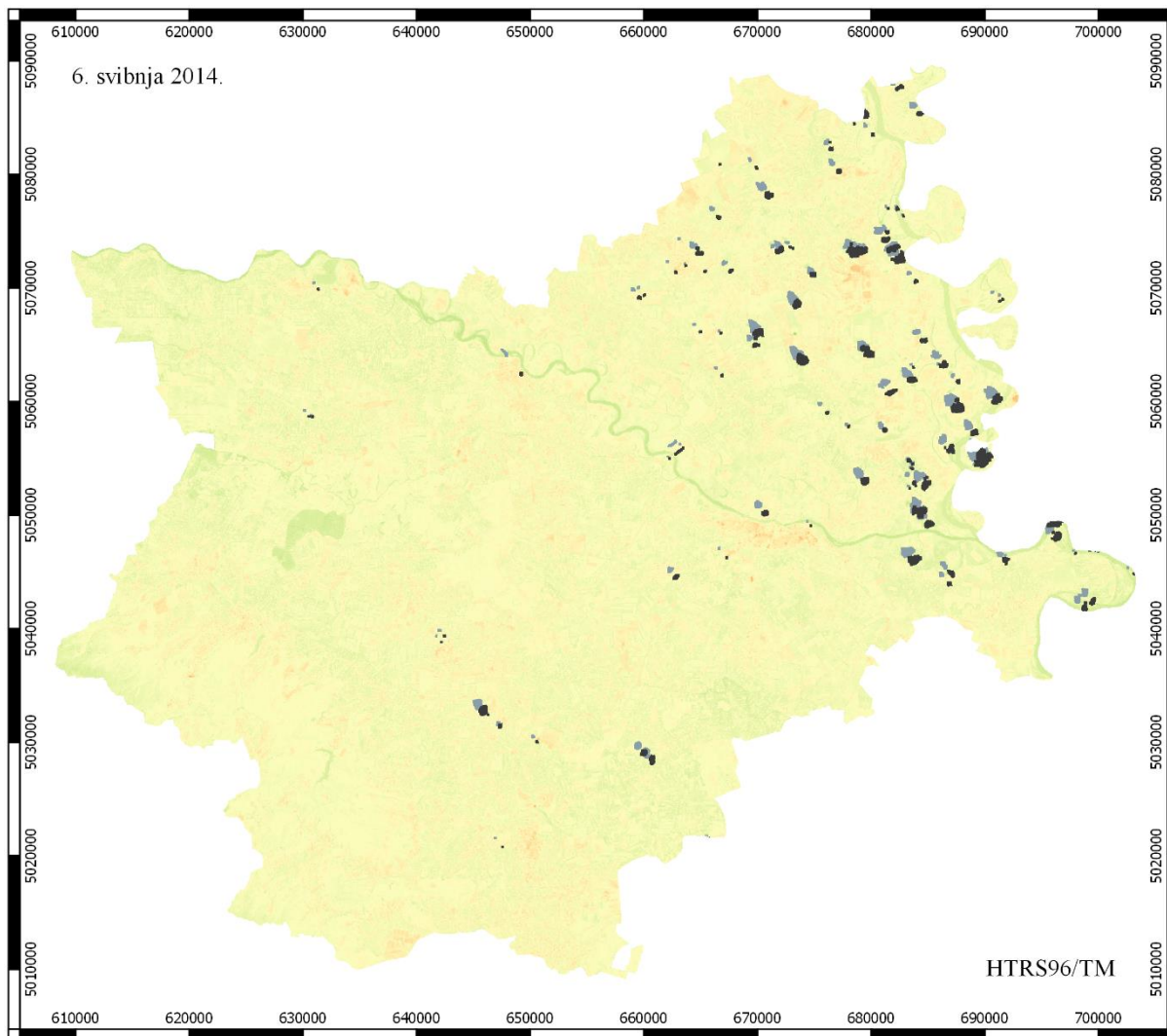
w [g/cm^2]



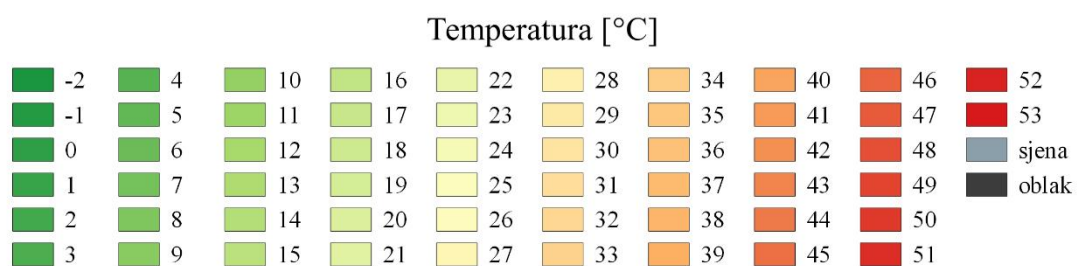
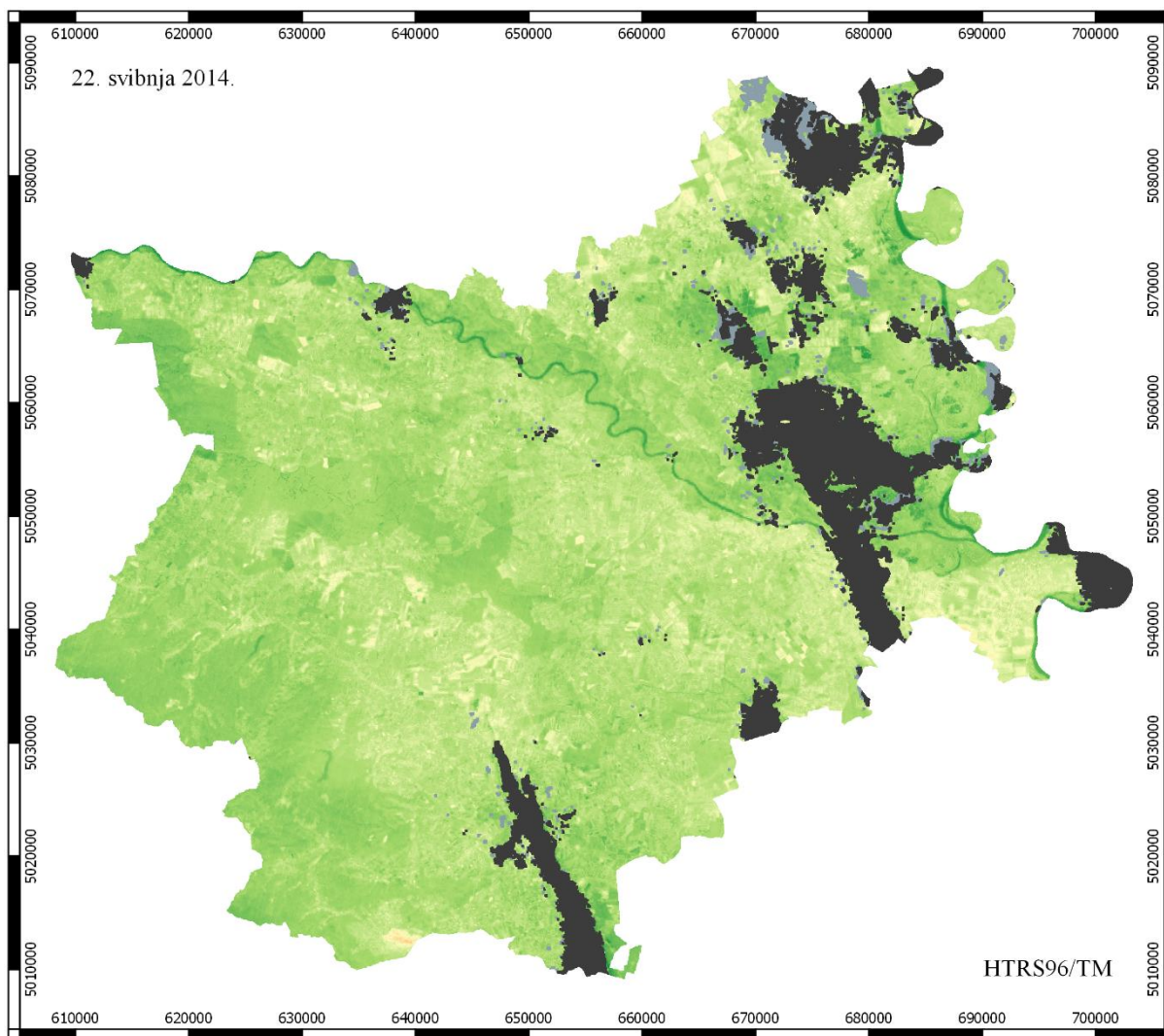
Slika 13. Količina vodene pare na području Splitsko-dalmatinske županije dana 13. listopada 2014.

Za razliku od Osječko-baranjskog područja raznovrsnost reljefa, morske površine i klime u Splitsko-dalmatinskoj županiji utječu na znatno veće raspone u raspodjeli količine vodene pare. U Splitsko-dalmatinskoj županiji najznačajnije promjene u količini vodene pare su na granici mora i kopna. Na tom području se iznad morskih površina javljaju maksimalne količine vodene pare ($>2,90 \text{ g}/\text{cm}^2$), a u Dalmatinskoj Zagori su najniže vrijednosti ($<1,00 \text{ g}/\text{cm}^2$).

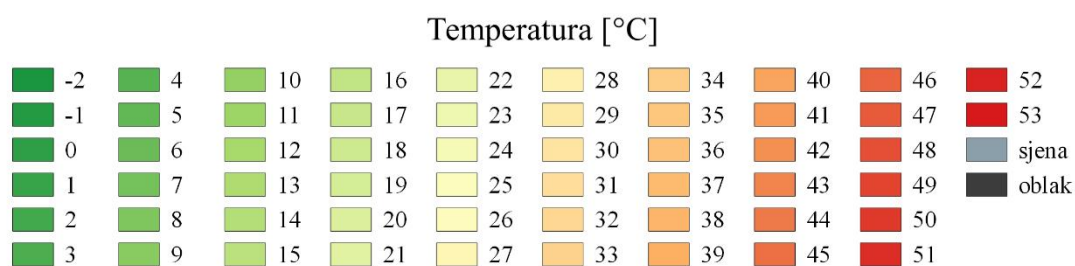
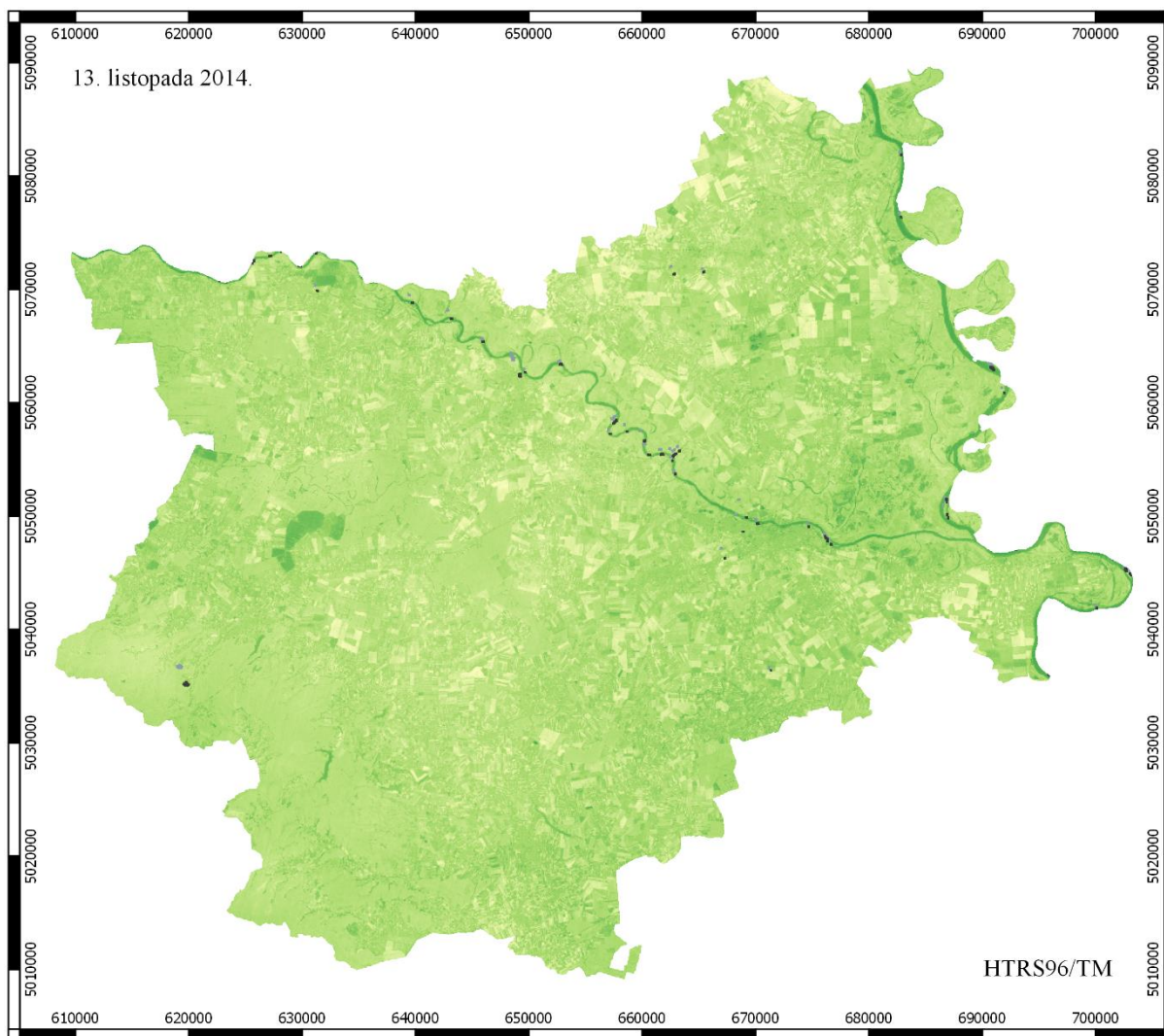
Temeljem provedbe opisanog SW algoritma iz podataka Landsat-a 8 i Terra/MODIS-a dobiven je konačni rezultat obrade navedenih podataka, LST za odabrane dane na području Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije (slika 14, slika 15, slika 16, slika 17, slika 18 i slika 19). Područja na slikama obojana sivo označuju oblake i njihove sjene.



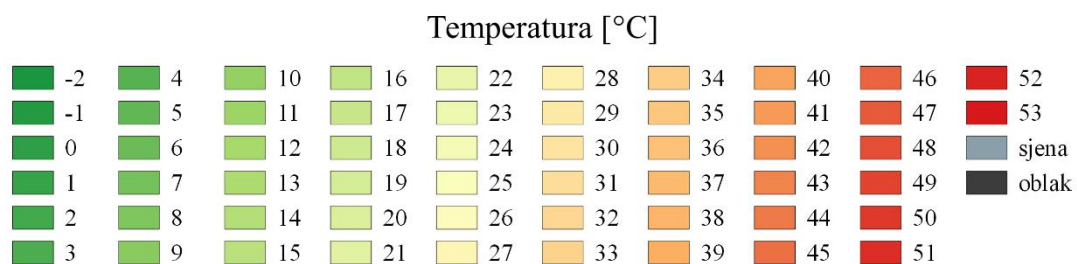
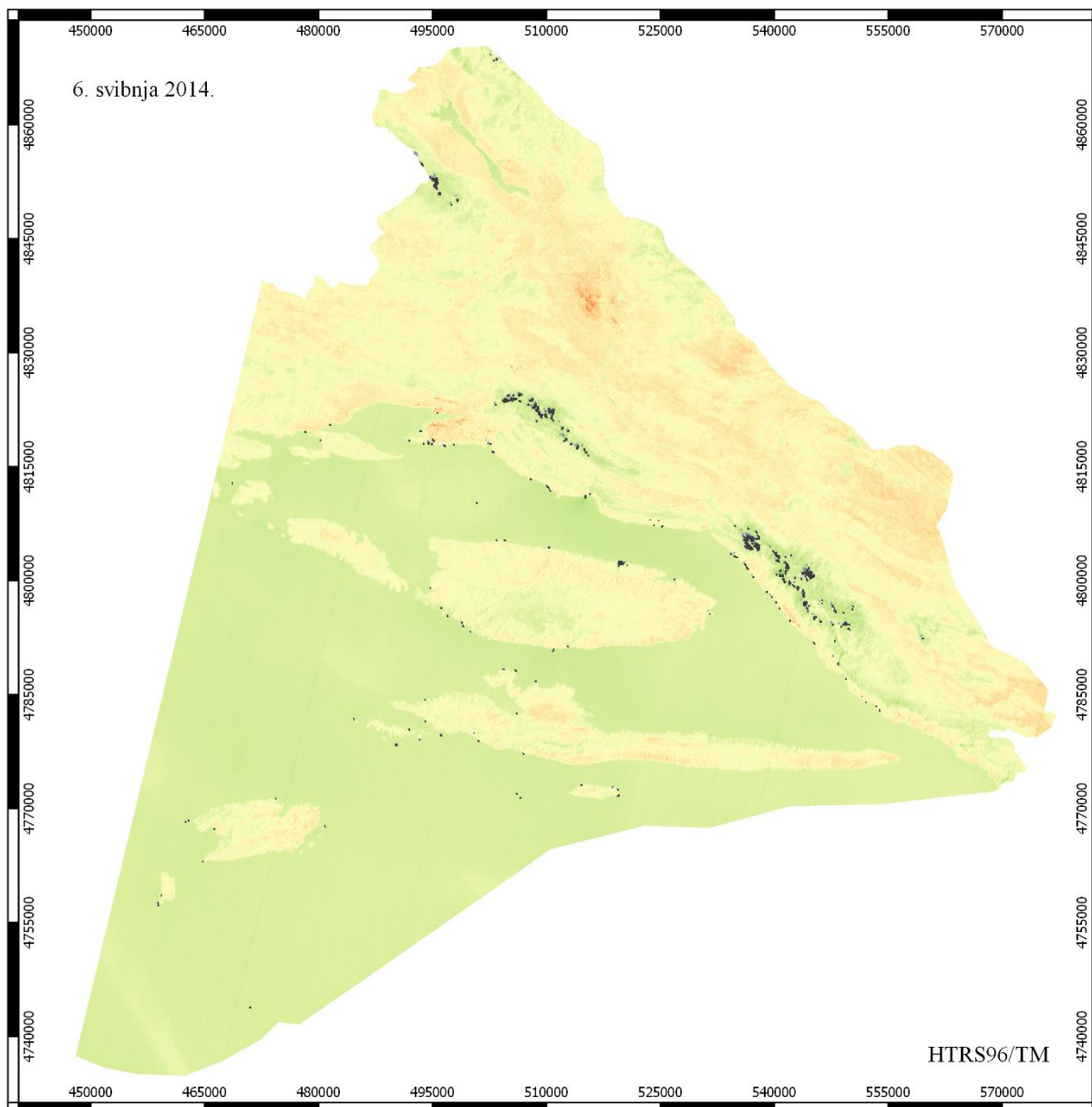
Slika 14. LST za područje Osječko-baranjske županije dana 6. svibnja 2014.



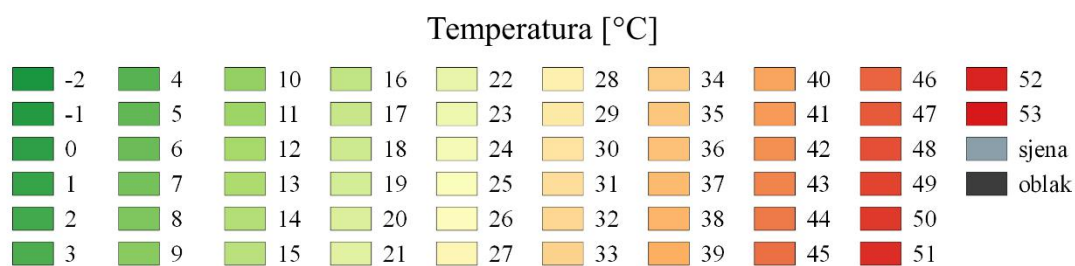
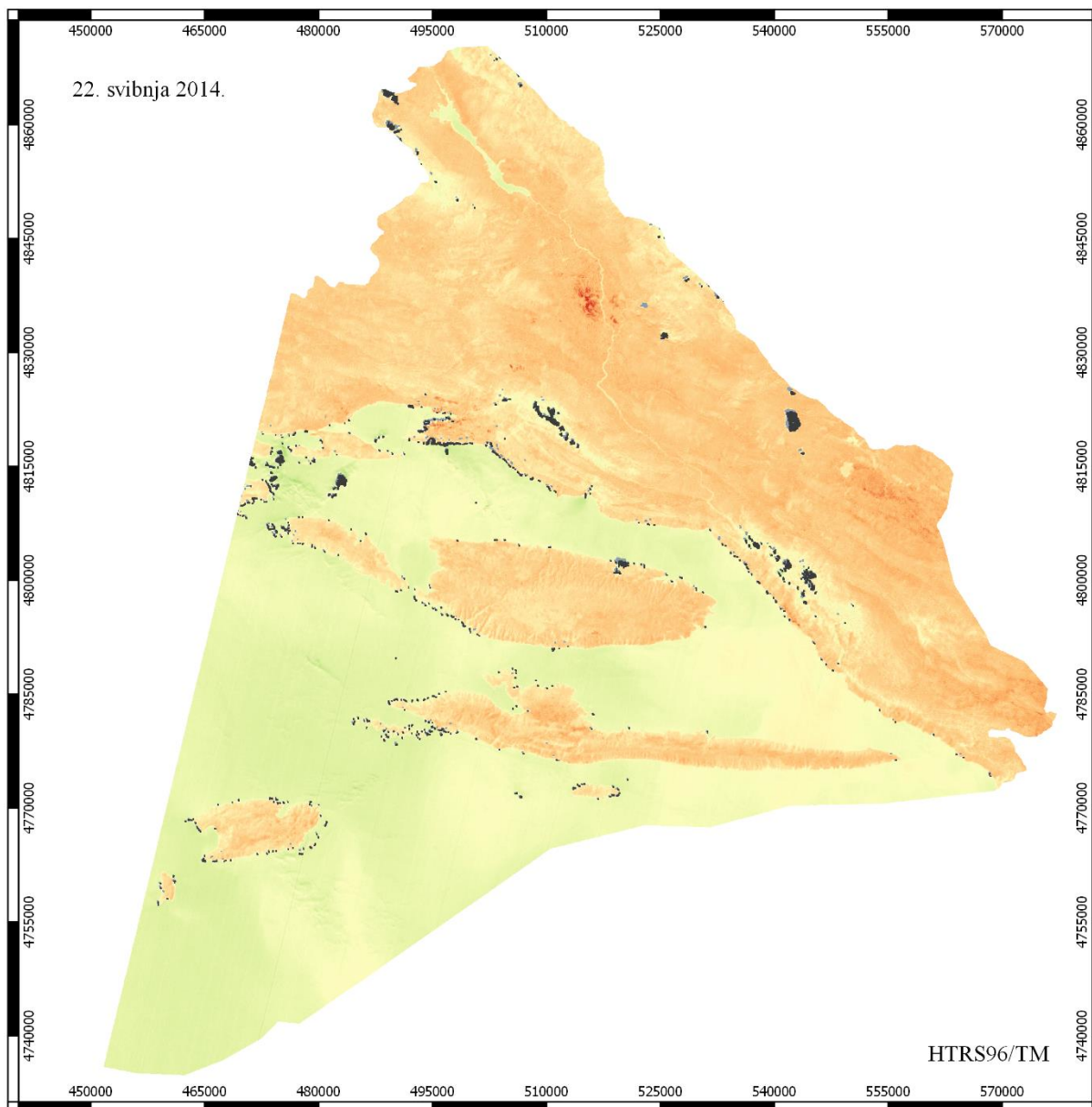
Slika 15. LST za područje Osječko-baranjske županije dana 22. svibnja 2014.



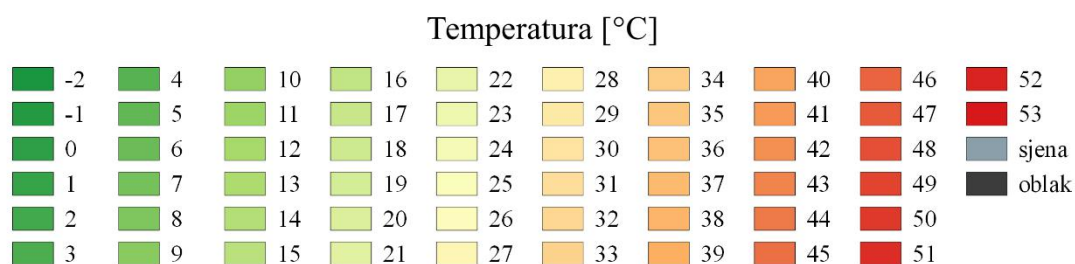
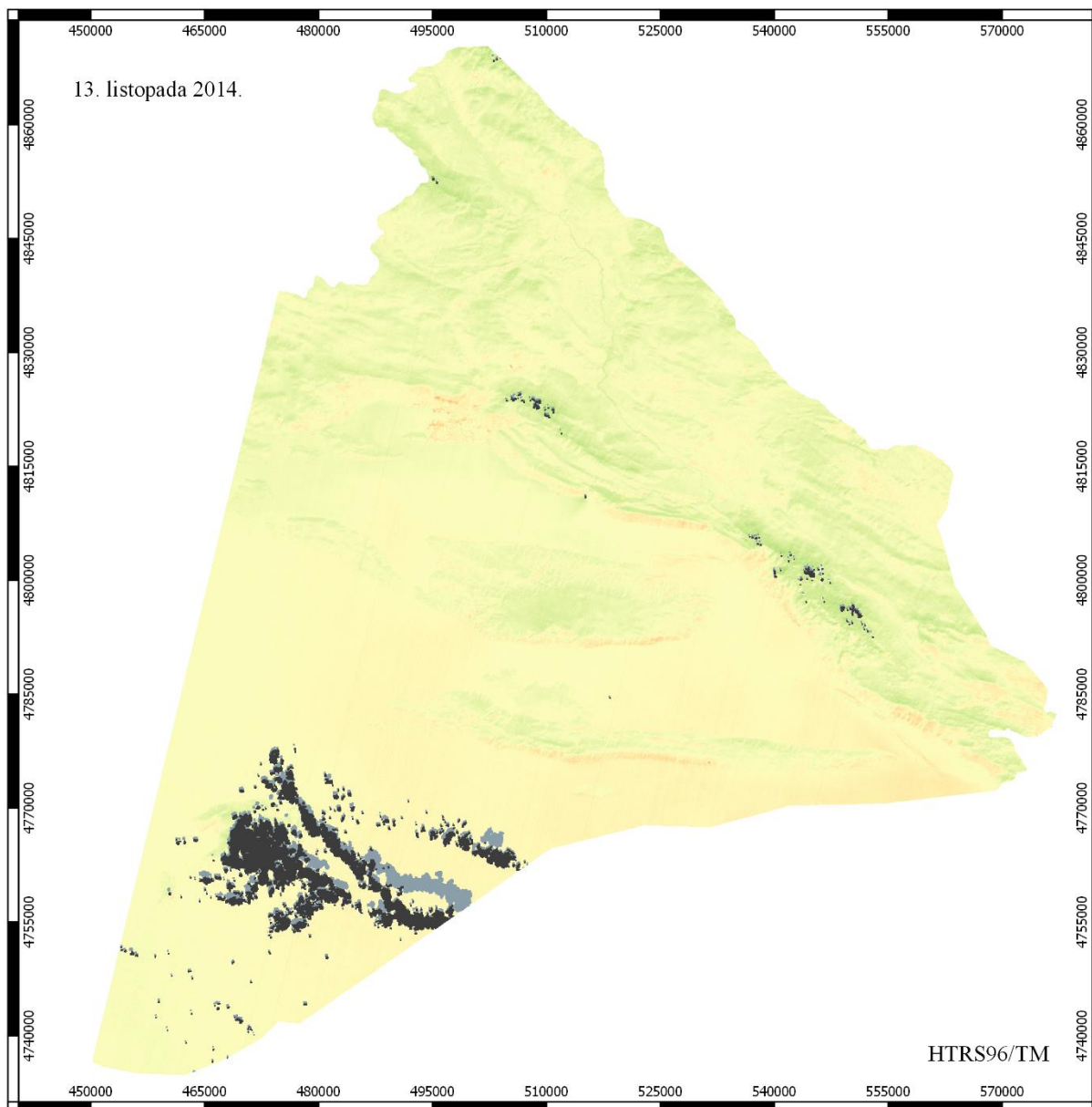
Slika 16. LST za području Osječko-baranjske županije dana 13. listopada 2014.



Slika 17. LST i SST za područje Splitsko-dalmatinske županije dana 6. svibnja 2014.



Slika 18. LST i SST za području Splitsko-dalmatinske županije dana 22. svibnja 2014.



Slika 19. LST i SST za područje Splitsko-dalmatinske županije dana 13. listopada 2014.

Na prikazanim slikama, iz kojih se omogućuje općeniti uvid u temperaturne odnose na području dviju županija, vidljivo je kako Landsat 8 područje Splitsko dalmatinske županije u odabranoj putanji ne obuhvaća u potpunosti.

4.1. Analiza i usporedba LST-a u Osječko-baranjskoj i Splitsko-dalmatinskoj županiji

Područje Osječko-baranjske županije ima kontinentalnu klimu s toplim ljetima²¹ (Peel i dr. 2007). Ova županija je uglavnom je prekrivena zemljom, za koju je karakteristično brzo zagrijavanje prilikom izloženosti Suncu, te bujna vegetacija. Od vodenih površina, na području navedene županije, nalaze se pored rijeka uglavnom plitke površinske vode koje su tijekom sunčanih dana sposobne akumulirati veliku količinu topline.

Splitsko-dalmatinska županija nalazi se većim dijelom u mediteranskoj klimi s vrućim ljetima²², a dio se Dalmatinske Zagore nalazi u mediteranskoj klimi s toplim ljetima²³ (Peel i dr. 2007). Vrste pokrova tla na području Splitsko-dalmatinske županije su od crnogoričnih šuma, makije, niskog mediteranskog raslinja do kamenjara. Dvije trećine županije obuhvaća Jadransko more. Kako morske površine sporije akumuliraju toplinu i sporo se hlade, za očekivati je pojavljivanje distinkcije LST-a i SST-a tijekom toplih proljetnih dana i ujednačenosti tijekom toplih jesenjih dana. Raspodjela LST-a u odabranim županijama prikazana je na slika 20, slika 21 i slika 22.

Analizom histograma LST-a i SST-a za 6. svibnja 2014. (slika 20), vidljivo je kako raspodjela LST-a na području Osječko-baranjske županije homogena, s većinom vrijednosti LST-a između 20°C i 30°C. Srednja vrijednost LST-a iznosi 24,94°C, a homogenost LST-a potvrđuje i najniže standardno odstupanje od sva tri dana za obje županije u iznosu 1,86°C (tablica 7).

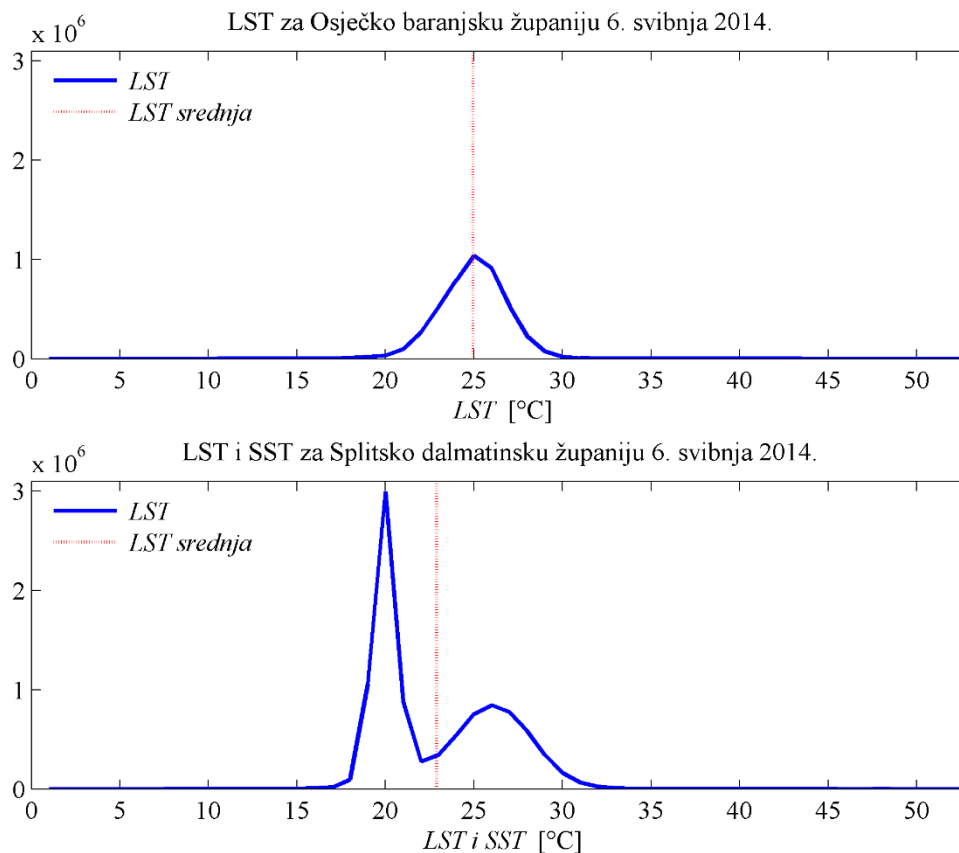
Raspodjela LST-a na području Splitsko-dalmatinske županije nehomogena je i grupirana u dvije skupine. Skupina s većinom vrijednosti u rasponu od 17°C do 31°C odnosi se na LST, a skupina s naglim skokom na vrijednostima oko 20°C odnosi se na SST. Zbog obuhvata LST-a i SST-a na području Splitsko-dalmatinske županije srednja vrijednost iznosi 22,88°C (tablica 7), a što je oko 2°C niže od istog parametra na području Osječko-baranjske županije. Navedena nehomogenost javlja se na području Splitsko-dalmatinske županije zbog različite mogućnosti akumulacije topline kod morskih i kopnenih površina. Morske površine tokom dana osciliraju u temperaturi svega nekoliko °C, a kopnene površine su hladnije od morskih u jutarnjim satima. Međutim, u tijeku dana se mogu pod utjecajem Sunca, zagrijati na temperature i duplo veće od morskih, a što ovisi o materijalu od kojega su izgrađene. Srednja vrijednost skupine koja obuhvaća samo LST na području Splitsko-dalmatinske županije iznosi oko 26°C, a to upućuje na veći LST na području Splitsko-dalmatinske županije od iste na području Osječko-baranjske županije. Navedeno potvrđuju i maksimalne vrijednosti LST-a na području dviju županija

²¹ Prema Köppen-Geiger klasifikaciji kontinentalna klima s toplim ljetima označava se oznakom Dfb.

²² Prema Köppen-Geiger klasifikaciji mediteranska klima s vrućim ljetima označava se oznakom Csa.

²³ Prema Köppen-Geiger klasifikaciji mediteranska klima s toplim ljetima označava se oznakom Csb.

(tablica 7). Veću nehomogenost LST-a u Splitsko-dalmatinskoj županiji potvrđuje za 9°C veći raspon LST-a nego u Osječko-baranjskoj županiji, te standardno odstupanje od 3,47°C.



Slika 20. Histogrami LST-a i SST-a za odabrane županije dane 6. svibnja 2014.

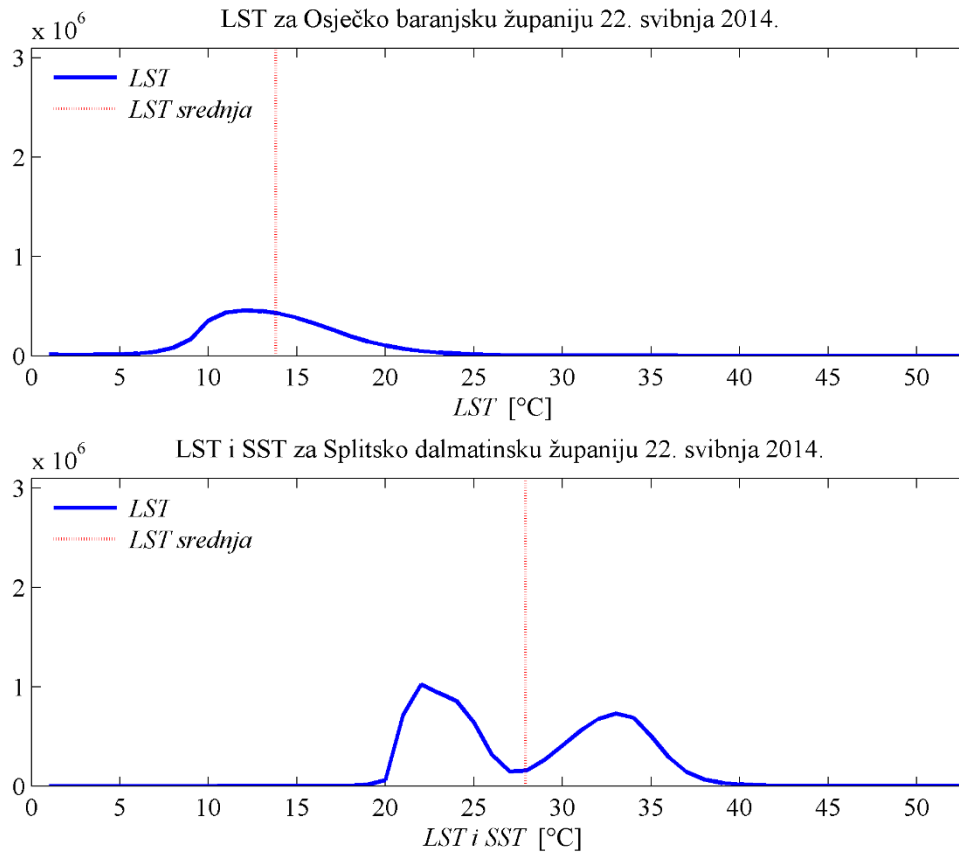
Analiza histograma LST-a i SST-a za 22. svibnja 2014. godine (slika 21) pokazuje manju homogenost LST-a u odnosu na LST od 6. svibnja, na području obje županije. Na području Osječko-baranjske županije većina vrijednosti LST-a je u rasponu od 7°C do 22°C. Srednja vrijednost LST-a iznosi 13,81°C, a standardno odstupanje i raspon LST-a je navedenog dana najveće u odnosu na odabrana tri dana s iznosima redom 3,77°C i 42,91°C (tablica 7). Niske vrijednosti LST-a na području Osječko-baranjske županije, moguća su posljedica kišom natopljenog tla i mjestimične visoke naoblake (cirusa), zbog čega Sunce nije tokom čitavog jutra zagrijavalo navedeno područje.

Natopljenost područja vodom povezana je s velikim poplavama koje su pogodile područje Slavonije 19. i 20. svibnja 2014., tj. dva dana prije prikupljanja ovih podataka.

Na području Splitsko-dalmatinske županije većina vrijednosti LST-a kreće se u rasponu od 26°C do 37°C, dok su vrijednosti SST-a svrstane oko 22°C. Srednja vrijednost LST-a i SST-a je 27,92°C, a ako se uzme u obzir samo LST onda je srednja vrijednost oko 33°C, a što je oko 20°C veće nego za područje Osječko-baranjske županije. Dana 22. svibnja na području

Splitsko-dalmatinske županije LST ima najveći raspon i standardno odstupanje, redom $44,73^{\circ}\text{C}$ i $5,23^{\circ}\text{C}$, za sve odabrane dane i obje županije. Također za navedeni datum u Splitsko-dalmatinskoj županiji LST doseže maksimum od $54,94^{\circ}\text{C}$.

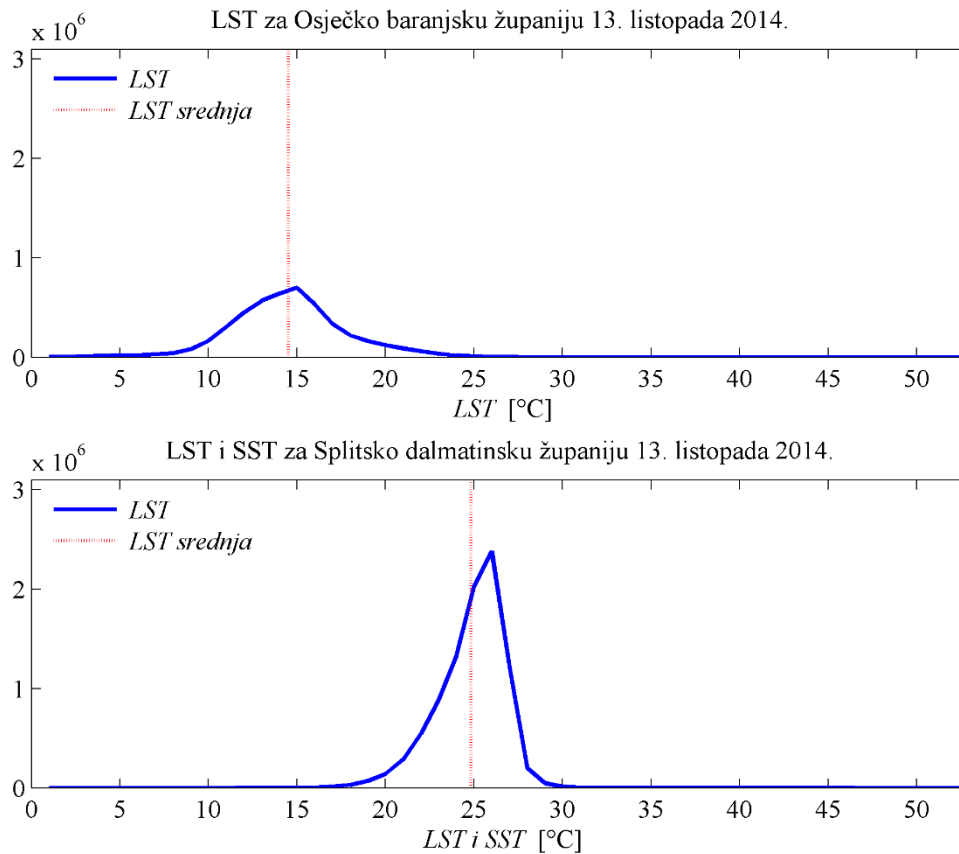
Maksimalne i minimalne vrijednosti LST-a biti će analizirane zajedno sa specifičnim područjima i objektima u nastavku ovoga rada.



Slika 21. Histogrami LST-a i SST-a za odabrane županije 22. svibnja 2014.

Analiza histograma LST-a i SST-a 13. listopada 2014. (slika 22) pokazuje veliku homogenost LST-a. Raspon LST-a na području Osječko-baranjske županije, najmanji je i iznosi $28,33^{\circ}\text{C}$, srednja vrijednost LST-a iznosi $14,52^{\circ}\text{C}$, a standardno odstupanje veće je od standardnog odstupanja za 6. svibnja i iznosi $3,20^{\circ}\text{C}$. LST i SST 13. listopada na području Splitsko-dalmatinske županije postižu najveću homogenost u tri odabrana dana, s rasponom LST-a od $33,98^{\circ}\text{C}$ i standardnim odstupanjem $1,89^{\circ}\text{C}$. Srednja vrijednost LST-a, uključujući i SST, iznosi $24,82^{\circ}\text{C}$ (tablica 7), a bez SST-a iznosi oko 24°C . Navedeno pokazuje kako morska površina tijekom jeseni ima veliku ulogu u formiranju temperaturnih odnosa, jer duže akumulira toplinu i toplija je od kopna koje se u to doba godine slabije zagrijava.

Sa obzirom na oblačnost i poplave u Slavoniji, ova tri odabrana dana nisu najreprezentativnija za ukazivanje pravilnosti u ponašanju LST-a u različitim klimatskim područjima, ali ukazuju na široku mogućnost praćenja temperaturnih odnosa na njihovoj površini.



Slika 22. Histogrami LST-a i SST-a za odabrane županije dana 13. listopada 2014.

Analiza LST-a za 6. svibnja 2014. pokazuje ujednačenost iznosa LST-a na području obaju županija, gdje je kod Splitsko-dalmatinske iznos LST-a oko 1°C veći, što uzrokuje južniji smještaj navedene županije u odnosu na Osječko-baranjsku. Zbog južnijeg smještaja klima je toplija, ali također i zrake Sunca padaju na površinu pod većim kutom, jače zagrijavajući površinu. Ipak veći iznos LST-a u to doba godine, na području Splitsko-dalmatinske županije, ublažuje SST koji još nije dostigao iznose LST-a. Temperature zraka u Osijeku i Splitu za navedeni dan također se razlikuju 1°C u 11:30 h po lokalnom vremenu (tablica 8).

Analiza LST-a za 22. svibnja 2014. pokazuje neujednačenost LST-a na području odabranih županija, s razlikom srednjih vrijednosti LST-a između županija od 14°C. Uzrok navedene razlike je poplavljenost područja Osječko-baranjske županije i povremena naoblaka toga dana, a zbog toga je tlo znatno manje zagrijano, a temperatura zraka u Osijeku je manja za 2°C nego u Splitu (tablica 8). Razlika LST-a i SST-a za navedeni dan također je uočljiva kao i za 6. svibnja, iako SST manje odstupa od LST-a, u odnosu na 6. svibnja 2014.

Tablica 7. Statistički pokazatelji za LST na području odabranih županija

| Županija | | Osječko-baranjska | | | Splitsko-dalmatinska | | |
|----------|------|-------------------|--------|---------|----------------------|--------|---------|
| Datum | | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. |
| Minimum | [°C] | 11,48 | -6,70 | -1,06 | 7,79 | 10,57 | 12,40 |
| Maksimum | | 42,98 | 36,21 | 27,27 | 48,38 | 54,94 | 46,38 |
| Sredina | | 24,94 | 13,81 | 14,52 | 22,88 | 27,92 | 24,82 |
| St. Dev. | | 1,86 | 3,77 | 3,20 | 3,47 | 5,23 | 1,89 |
| Raspon | | 31,50 | 42,91 | 28,33 | 40,59 | 44,73 | 33,98 |

Tablica 8. Temperature zraka i padaline u Osijeku i Splitu (URL 18)

| Grad | | Osijek | | | Split | | |
|-------------------|------|--------|--------|---------|-------|--------|---------|
| Datum | | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. |
| Temperatura zraka | [°C] | 16 | 21 | 19 | 17 | 23 | 21 |
| Padaline | [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

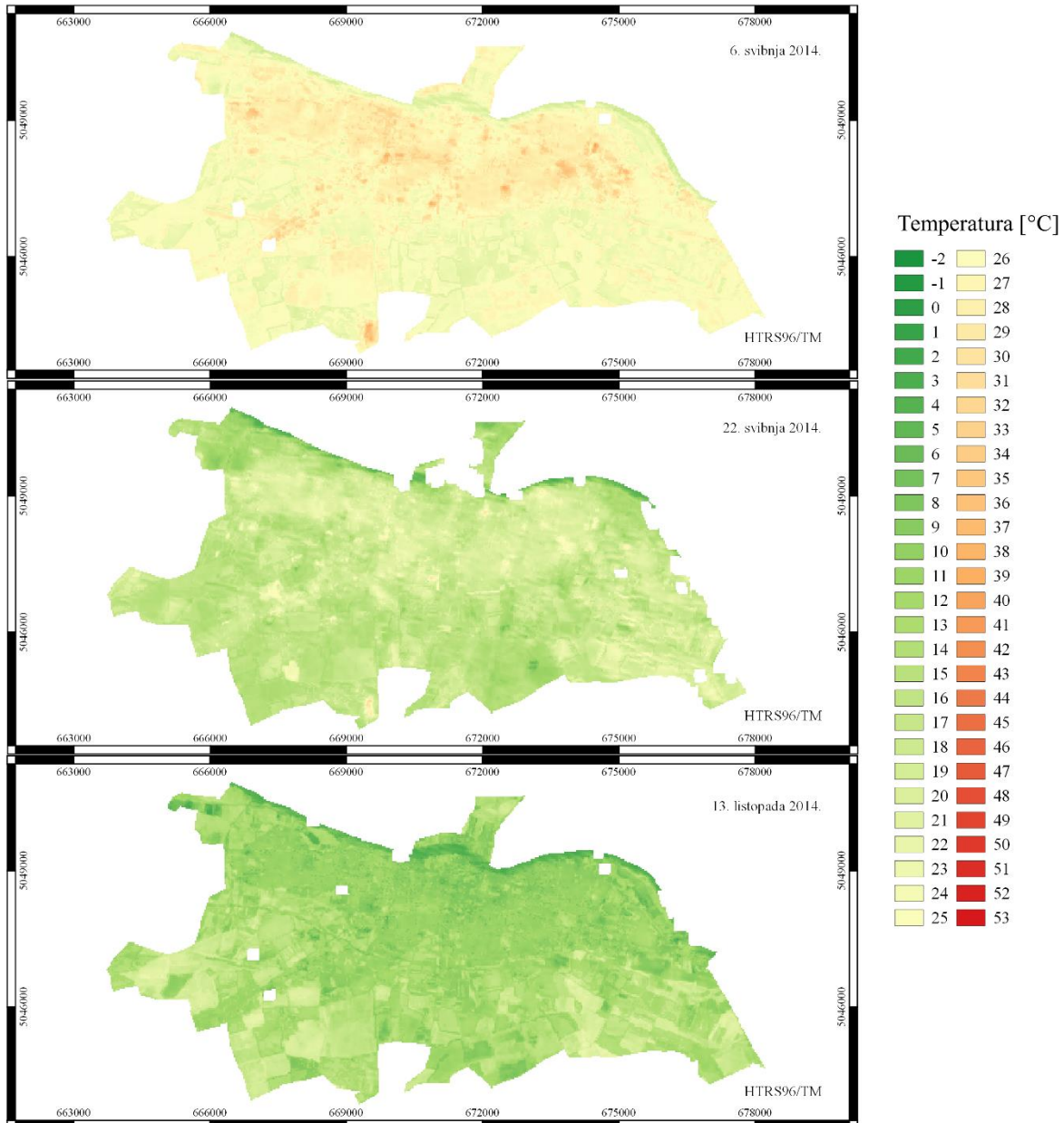
Analiza LST-a za 13. listopada 2014. pokazuje razliku srednje vrijednosti u dvije županije za 10°C. Navedena razlika ima uzrok u tome što je jesen blaža u mediteranskoj klimi u odnosu na kontinentalnu, te u boljoj akumulaciji topline morske površine u odnosu na kopno.

4.2. Analiza urbanog utjecaja na LST

U svrhu provedbe analize urbanog utjecaja na LST u obje županije, gradovi Osijek i Split izdvojeni su iz podataka ostatka županije pomoću grafičke baze podataka evidencije naselja (slika 23 i slika 24).

Iz navedenih prikaza za Osijek za oba dana u svibnju vidljivo je kako urbani objekti imaju veći iznos LST-a od okolnih prirodnih objekata. Razlog je što urbani objekti akumuliraju veću količinu topline, ovisno o materijalu od kojega su izgrađeni. Na satelitskim snimkama iz listopada urbani objekti nisu najtopliji. Od njih su toplija polja na južnom rubu grada, koja su u to doba godine bez vegetacije i kao takva su sposobna brzo akumulirati toplinu, prvenstveno zbog tamne boje tla (slika 23). Uvidom u histograme (slika 25, slika 26 i slika 27) i statističke podatke (tablica 7 i tablica 9), vidljivo je kako su vrijednosti LST-a na području grada Osijeka veće za oba dana u svibnju, u odnosu na vrijednosti LST-a na području cijele Osječko-baranjske županije. Urbani utjecaj lako se može uočiti usporedbom srednjih vrijednosti LST-a za područje Osječko-baranjske županije i područje Osijeka. Srednja vrijednost LST-a za 6. svibnja 2014. veća je 0,84°C za područje Osijeka od iste za područje cijele županije. Ista vrijednost 22. svibnja 2014. iznosi 3,44°C, a 13. listopada -1,75°C. Navedeno pokazuje kako urbani utjecaj tijekom dva odabrana proljetna dana doprinosi većem iznosu LST-a u odnosu na ostatak županije, dok se 13. listopada veće vrijednosti LST-a javljaju na prirodnim objektima, kako je već prethodno objašnjeno.

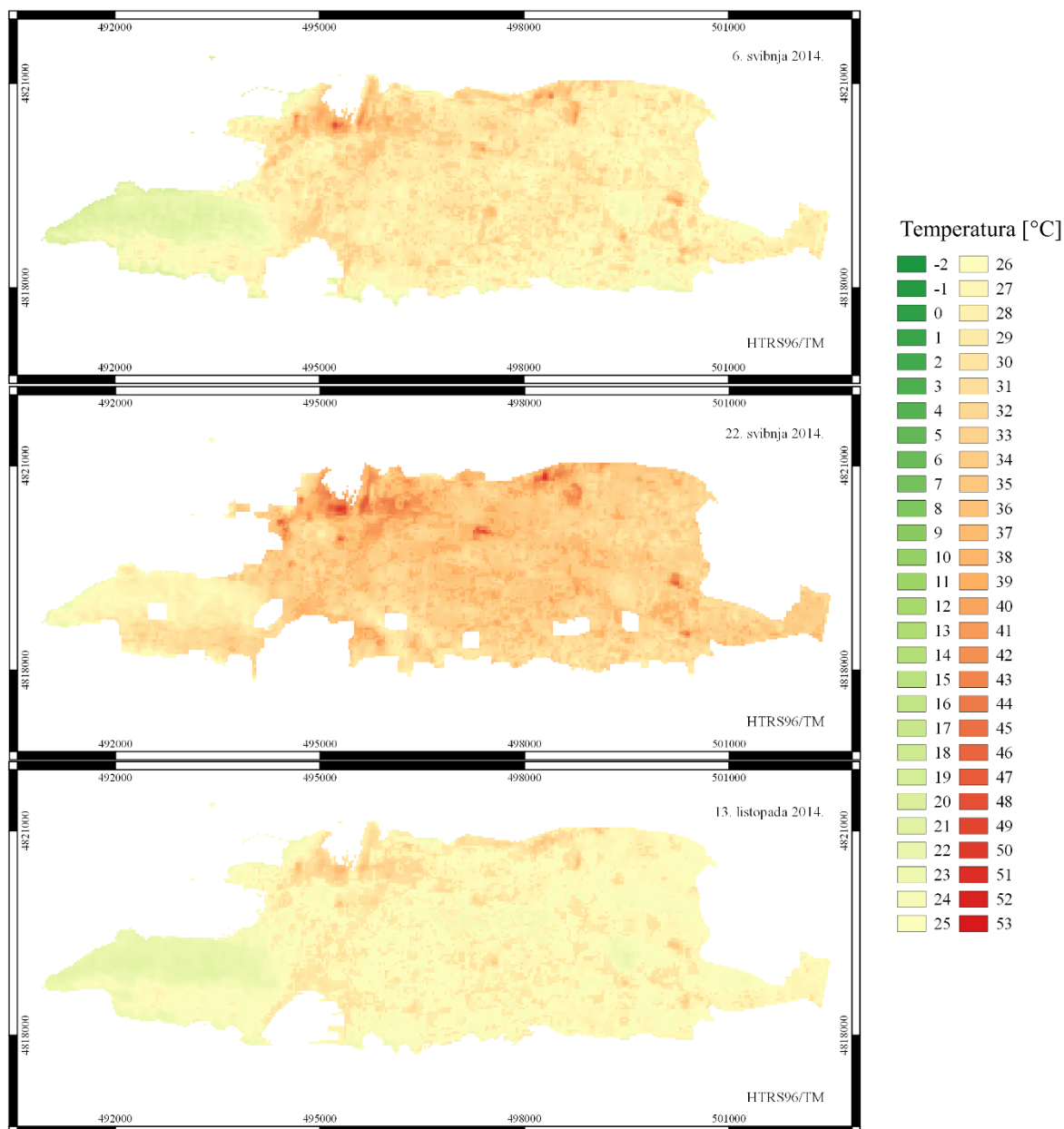
Prikazi za Split za sva tri odabrana dana pokazuju veći LST kod urbanih objekata, u odnosu na prirodne, na navedenom području (slika 24). Za sva tri dana najniži iznosi LST-a su na području brda Marjan, koje se nalazi na zapadnom dijelu Splita. Također je vidljivo kako sjeverna strana Marjana ima niže iznose LST-a u prosjeku oko 4°C od južne strane koja je pod izravnijim utjecajem Sunca.



Slika 23. Usporedba LST-a na području Osijeka za sva tri odabrana dana

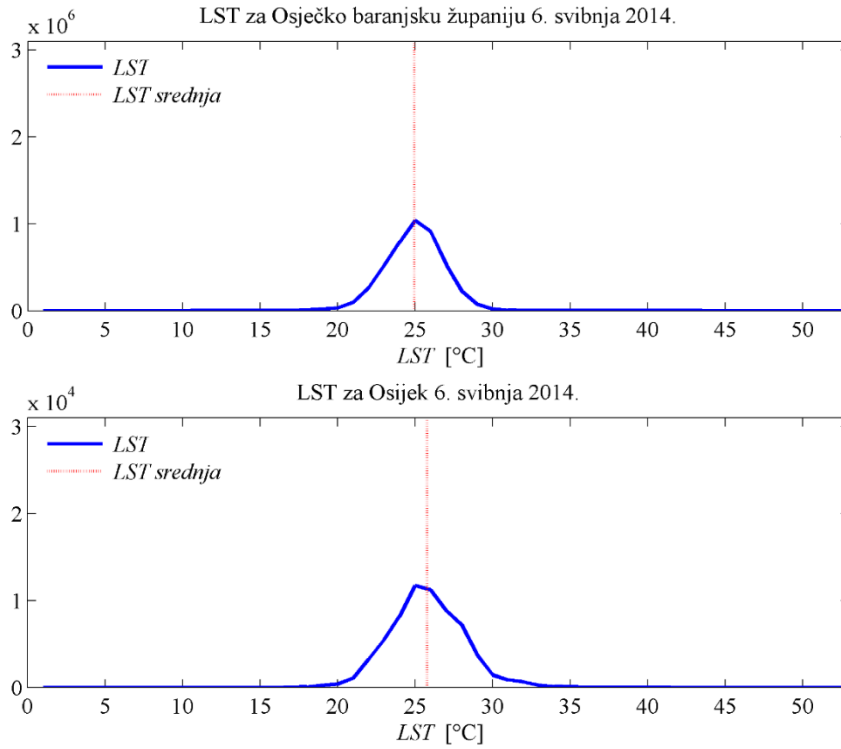
Urbani (gospodarski) objekti na sjeverozapadu Splitskog poluotoka sva tri odabrana dana imaju najveće iznose LST-a, što jasno pokazuje urbani utjecaj na LST na Splitskom području. Urbani utjecaj vidljiv je i iz histograma (slika 28, slika 29 i slika 30), te iz statističkih podataka (tablica 9) za područje Splita i Splitsko-dalmatinske županije. Kako podaci LST-a za Splitsko-dalmatinsku županiju sadrže i SST, nije moguća direkta usporedba LST-a za Splitsko područje

i područje županije, međutim iz histograma je vidljivo kako srednje vrijednosti imaju veće iznose za oko 2 °C od najzastupljenijih vrijednosti LST-a na području županije.

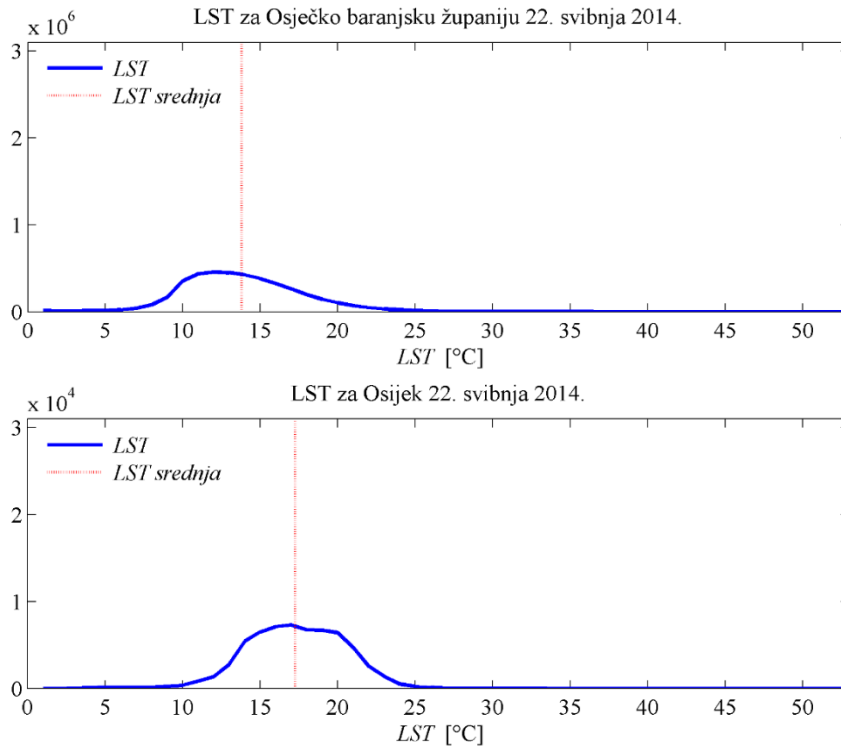


Slika 24. Usporedba LST-a na području Splita za sva tri odabrana dana

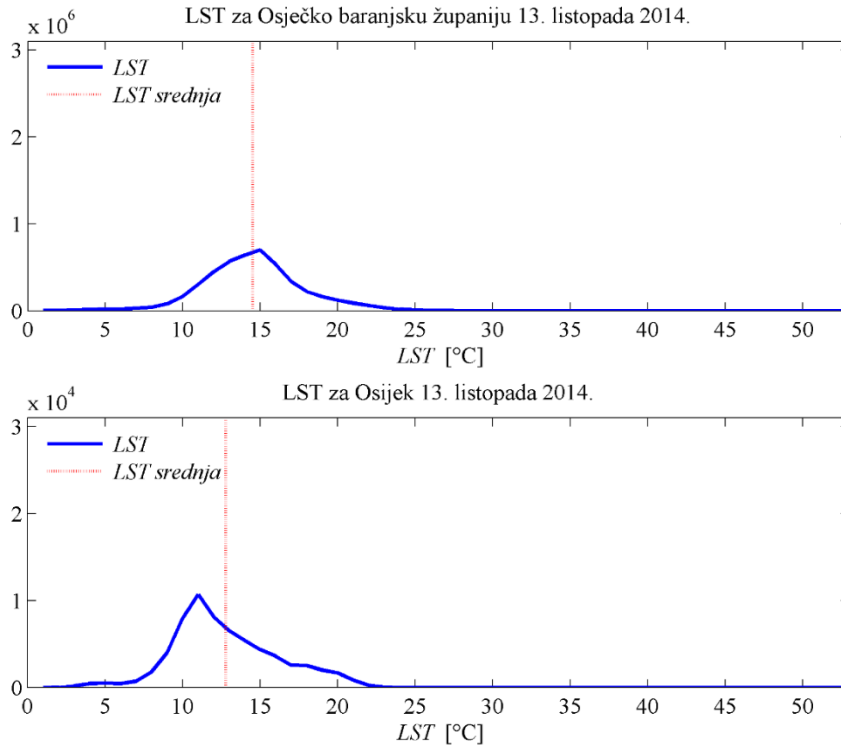
Usporedbom srednjih vrijednosti LST-a Splitskog područja i srednjih vrijednosti LST-a Splitsko-dalmatinske županije, koje sadrže i SST, vidljivo je kako su srednje vrijednosti LST-a Splitskog područja veće za 5,18°C dana 6. svibnja 2014. od istih za područje čitave županije. Navedena razlika 22. svibnja iznosi 5,27°C, a 13. listopada 1,56°C. Iz prikazanih razlika vidimo kako je i na Splitskom području, kao i na Osječkom području, urbani utjecaj na LST intenzivniji tijekom dva proljetna dana, nego na jesenjoj snimci. Kod Splita se ipak urbani utjecaj vidi i 13. listopada, dok kod Osijeka nije prisutan.



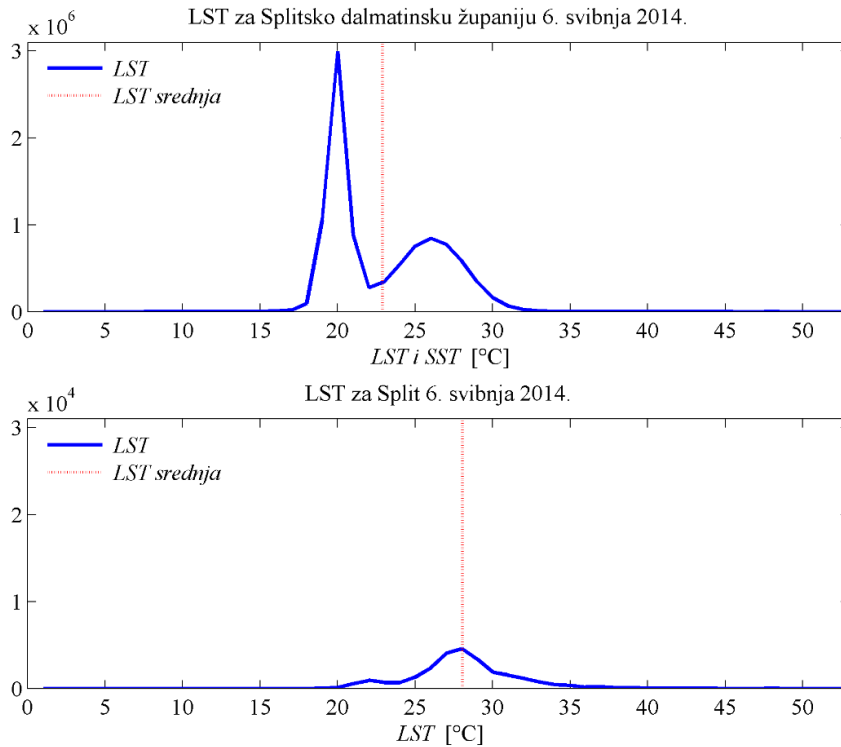
Slika 25. Histogrami LST-a za područje Osječko-baranjske županije i grada Osijeka dana 6. svibnja 2014.



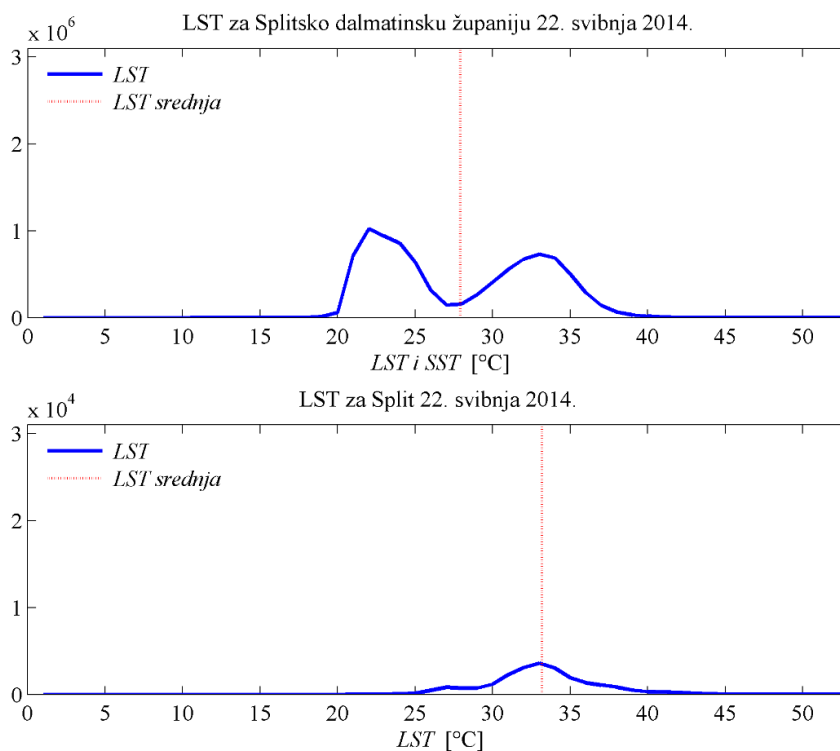
Slika 26. Histogrami LST-a za područje Osječko-baranjske županije i grada Osijeka dana 22. svibnja 2014.



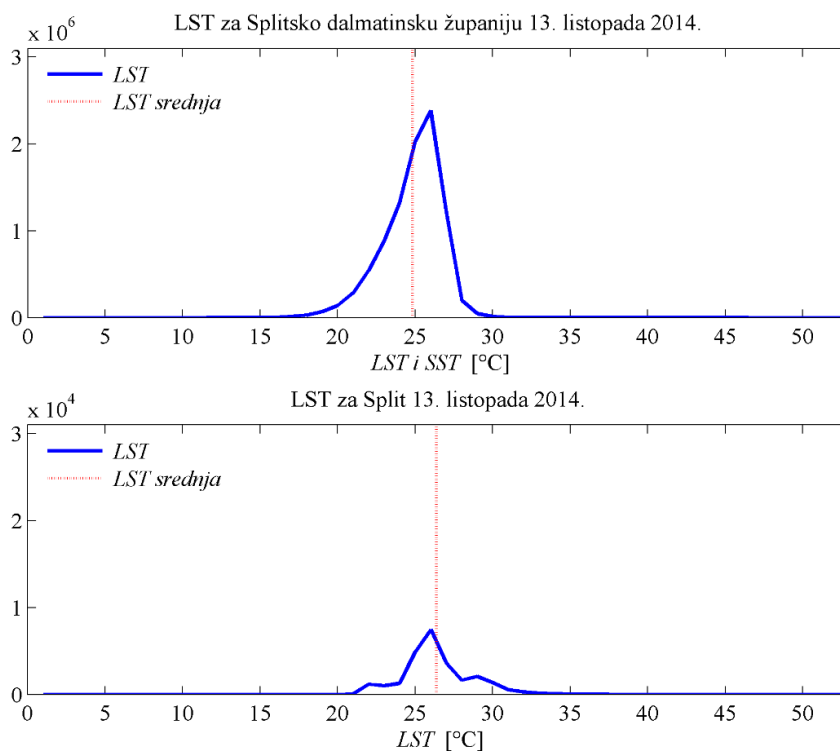
Slika 27. Histogrami LST-a za područje Osječko-baranjske županije i grada Osijeka dana 13. listopada 2014.



Slika 28. Histogrami LST-a za područje Splitsko-dalmatinske županije i grada Splita dana 6. svibnja 2014.



Slika 29. Histogrami LST-a za područje Splitsko-dalmatinske županije i grada Splita dana 22. svibnja 2014.



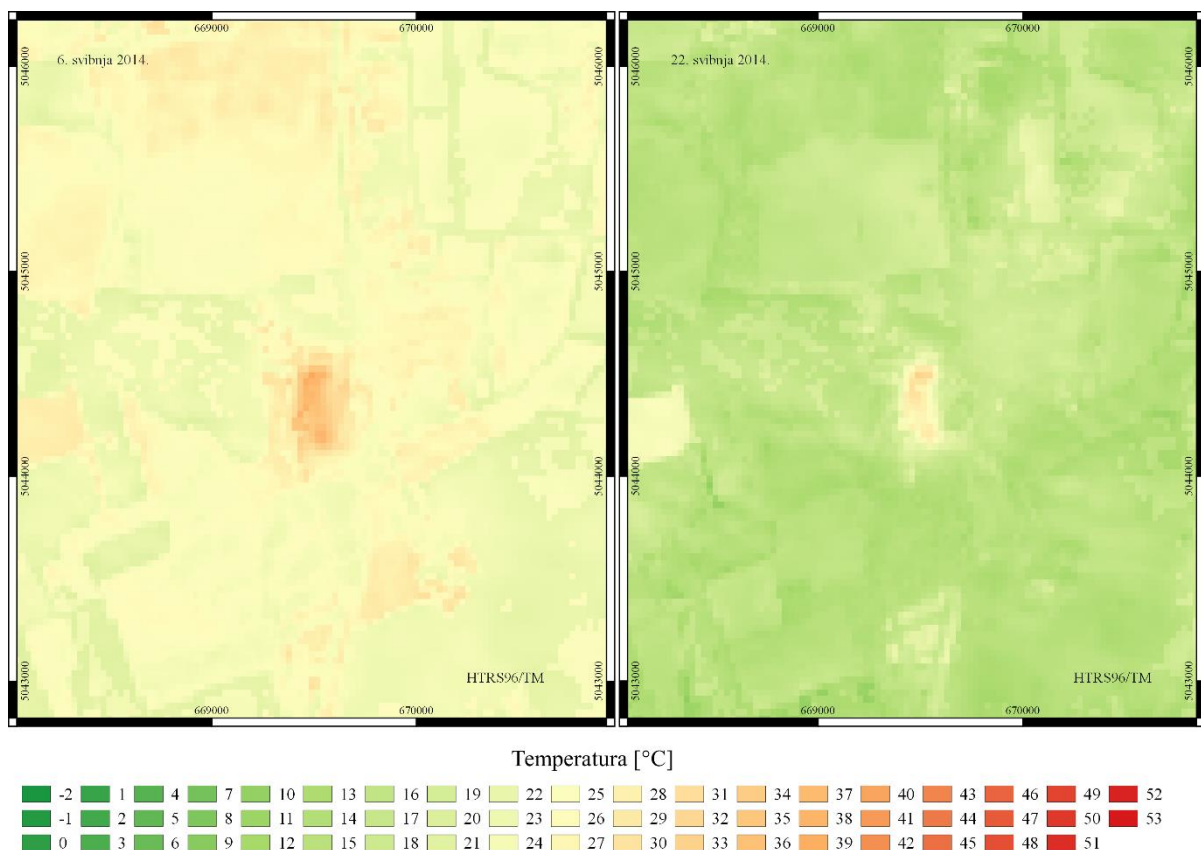
Slika 30. Histogrami LST-a za područje Splitsko-dalmatinske županije i grada Splita dana 13. listopada 2014.

Tablica 9. Statistički pokazatelji za LST na području Osijeka i Splita

| Grad | | Osijek | | | Split | | |
|----------|------|--------|--------|---------|-------|--------|---------|
| Datum | | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. | 6. 5. | 22. 5. | 13. 10. |
| Minimum | [°C] | 16,86 | 2,78 | 1,86 | 18,55 | 21,17 | 21,27 |
| Maksimum | | 40,69 | 32,94 | 23,26 | 47,79 | 51,67 | 37,39 |
| Sredina | | 25,78 | 17,25 | 12,77 | 28,06 | 33,19 | 26,38 |
| St. Dev. | | 2,40 | 3,19 | 3,40 | 3,27 | 3,55 | 1,89 |
| Raspon | | 23,83 | 30,16 | 21,40 | 29,24 | 30,50 | 33,98 |

4.3. Detektiranje objekata s ekstremnim vrijednostima LST-a

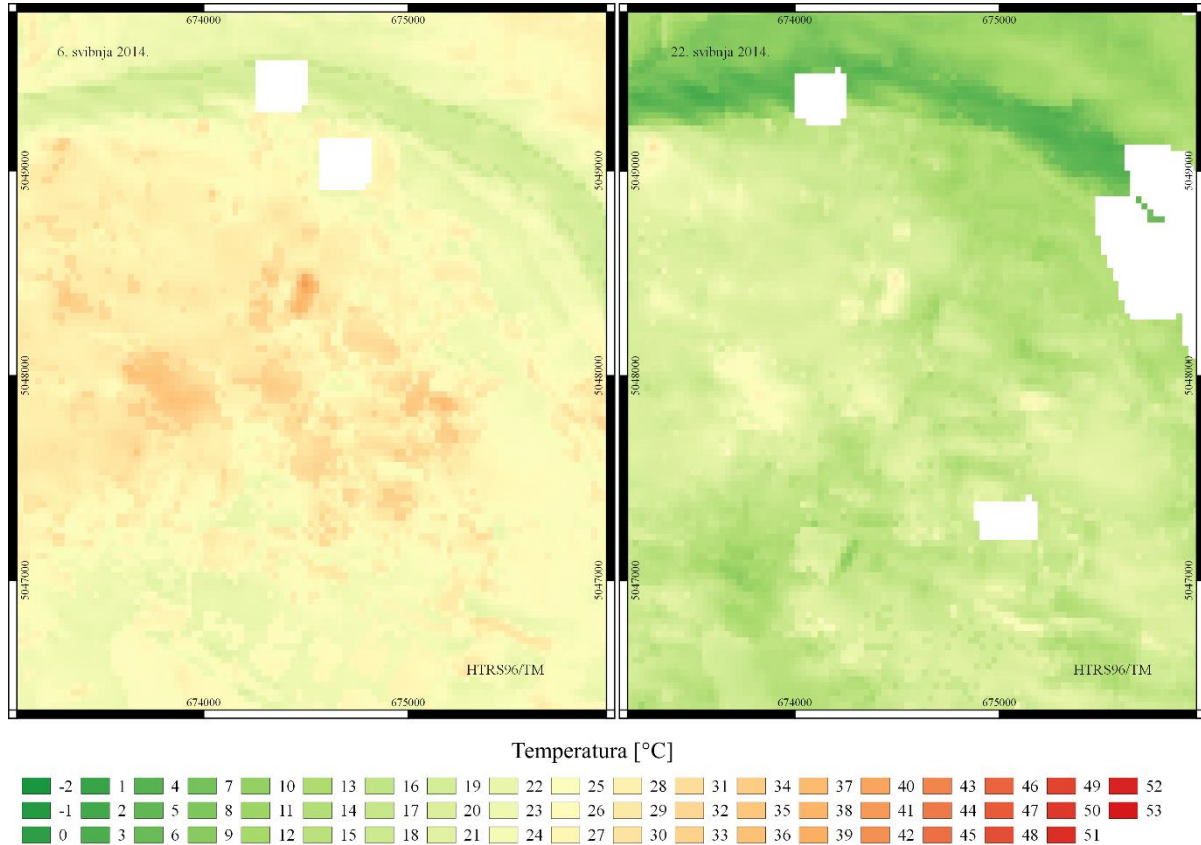
Za detektiranje objekata s ekstremnim vrijednostima LST-a osim izračunatog LST-a, korištene su i RGB (*engl. Red, Green, Blue*) kompozicije kanala 2, 3 i 4 OLI senzora Landsat 8 satelita. Na području Osječko-baranjske županije maksimalne vrijednosti LST-a za dane 6. i 22. svibnja 2014., kada se urbani utjecaji odražavaju na iznose LST-a, detektirane su na industrijskim objektima (slika 31, slika 32 i slika 33).



Slika 31. Objekt s visokim LST-om za dane 6. i 22. svibnja na jugu Osijeka

Objekt s maksimalnim iznosom LST-a na Osječkom području 22. svibnja prikazan je na slici 31. Radi se o postrojenju za reciklažu, koje se nalazi na jugu izvan urbanog dijela Osijeka. Navedeno postrojenje prekriveno je tamno plavim limenim krovom, koji 22. svibnja ima

temperature do 32°C. Dana 6. svibnja 2014. godine je također bilo među toplijim objektima na Osječkom području s vrijednostima LST-a do 39°C. Maksimalni iznos LST-a na Osječkom području dana 6. svibnja ima industrijsko postrojenje na čijoj površini vrijednost LST-a doseže 40°C (slika 32).



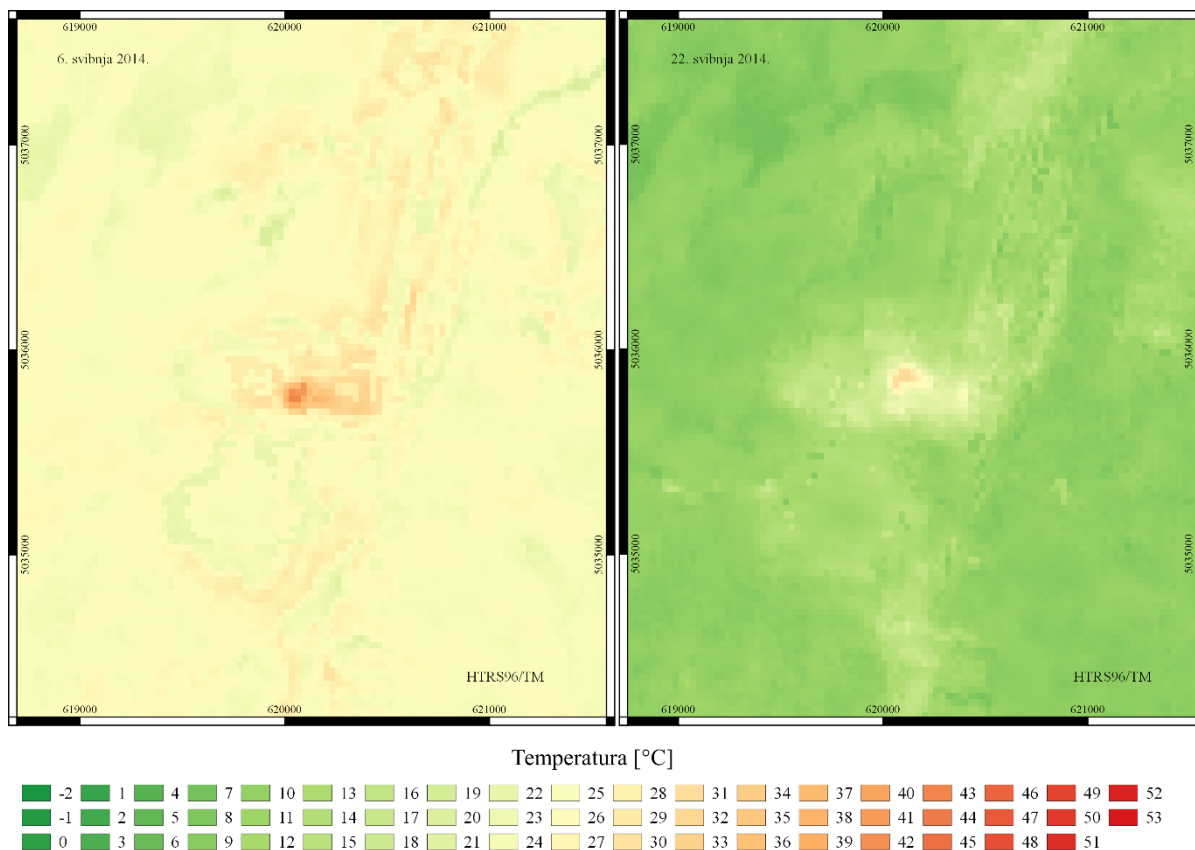
Slika 32. Objekt s visokim LST-om za dane 6. i 22. svibnja na istoku Osijeka

Navedeno industrijsko postrojenje ima i 22. svibnja 2014. vrijednosti LST-a koje su među maksimalnima na Osječkom području, i iznose do 29°C. Kao i postrojenje za reciklažu, ovo industrijsko postrojenje ima limeni pokrov, koji je sposoban akumulirati veću količinu toplinske energije.

Maksimalan iznos LST-a na području Osječko-baranjske županije dana 6. svibnja 2014. , detektiran je na cementari²⁴ na sjeveroistočnom dijelu Papuka i iznosi 42°C (slika 33). Navedena cementara i dana 22. svibnja ima velik iznos LST-a do 31°C.

Dana 13. listopada 2014. na području Osječko-baranjske županije nema velikog urbanog utjecaja na LST. Zbog toga su najtopliji objekti polja bez vegetacije. Objekt s maksimalnim iznosom LST-a je polje južno od Belog Manastira (slika 34). Na ovom, a i još nekoliko polja na području navedene županije, dana 13. listopada LST doseže vrijednosti do 27°C.

²⁴ Uvid u vrstu objekata ostvaren je pomoću internet preglednika *Geoportal DGU-a*, *Open street map-a* i *Google maps street view-a*.



Slika 33. Objekt s visokim LST-om za dane 6. i 22. svibnja na sjeveroistočnom dijelu Papuka.

Minimalni iznos LST-a na dan 6. svibnja 2014. godine na području Osječko-baranjske županije detektiran je na području Mitrovca (slika 35). Detektirani kompleks sastoji se od farme, solarne elektrane i bioplinske elektrane (URL 19). Dana 6. svibnja iznosi LST-a, na navedenom kompleksu padaju do 11°C, i to na istočnom području kompleksa, gdje se nalazi bioplinska elektrana. Na zapadnom području kompleksa nalazi se solarna elektrana i na njoj LST doseže iznose do 33°C. Dana 22. svibnja navedeni kompleks nije obuhvaćen podacima LST-a, jer se iznad njega u trenutku prikupljanja podataka nalazi oblak. Dana 13. listopada objekt bioplinske elektrane također ima niske vrijednosti, koje se spuštaju do 2°C, dok LST na solarnoj elektrani iznosi do 16°C.

Minimalne vrijednosti LST-a 22. na dane svibnja i 13. listopada 2014. na području Osječko-baranjske županije detektirane su uz rubove uklonjenih oblaka, gdje se spuštaju do -6°. Navedena najniža vrijednost LST-a detektirana je uz rub cirusa na samom jugu županije, što je i vidljivo iz usporedbe LST i RGB prikaza (slika 36), te s ne odnosi na LST, već na temperaturu dijela cirusa, koji nije u potpunosti obuhvaćen *Fmask* algoritmom.

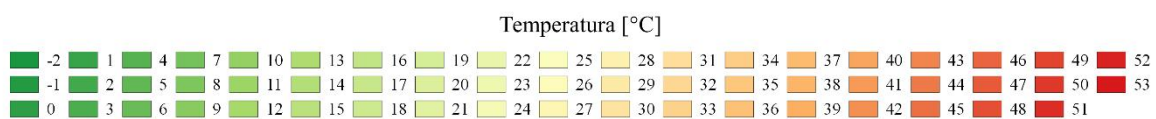
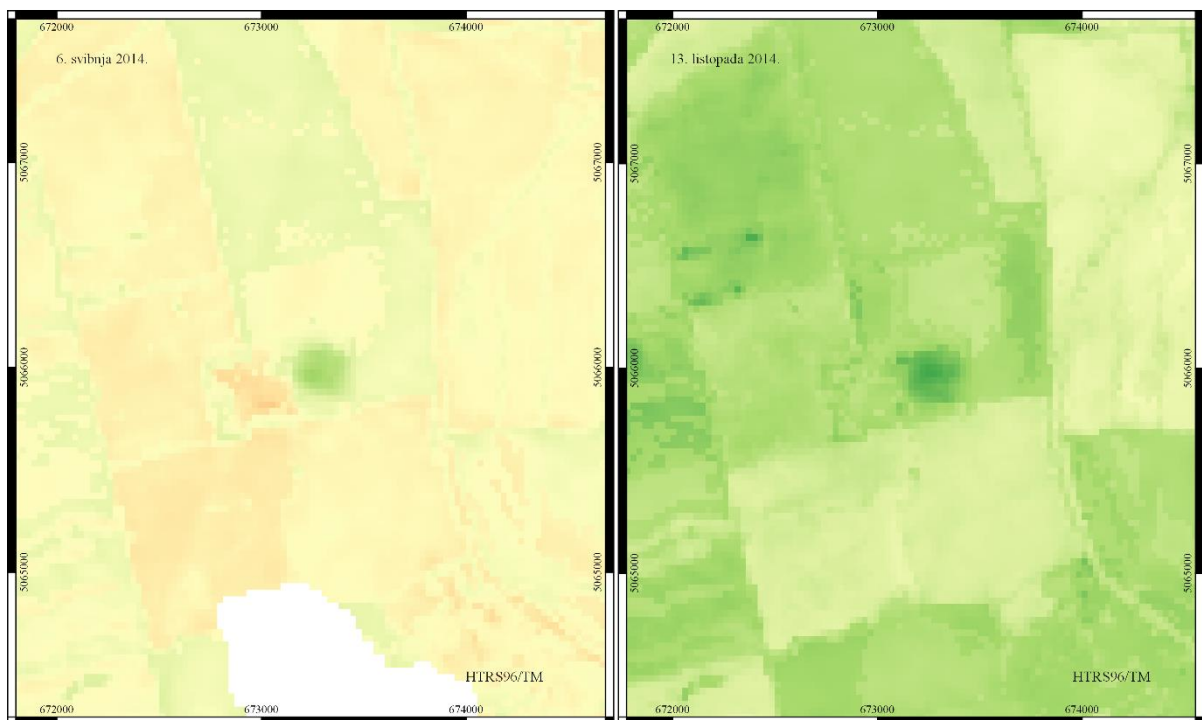
Minimalne vrijednosti LST-a na dane 22. svibnja i 13. listopada 2014., koje se ne odnose na vrijednosti oblaka preostalih nakon provedbe *Fmask* algoritma, detektirane su na površini Dunava i području Kopačkog rita (slika 37). U oba slučaja iznosi LST-a se kreću između 0°C i

1°C. Dana 22. svibnja navedeni iznosi LST-a detektirani su na površini Kopačkog jezera i na površini uz desnu obalu Dunava. Površina Kopačkog jezera na dan 13. listopada ima minimalni detektirani iznos LST-a od 5°C, dok površina Dunava istog dana ima detektirane minimalne iznose kao i 22. svibnja, također na površini uz desnu obalu. Usporedbe radi, površina Dunava uz lijevu obalu njegova toka dana 22. svibnja doseže iznose LST-a do 4°C, a 13. listopada do 6°C.

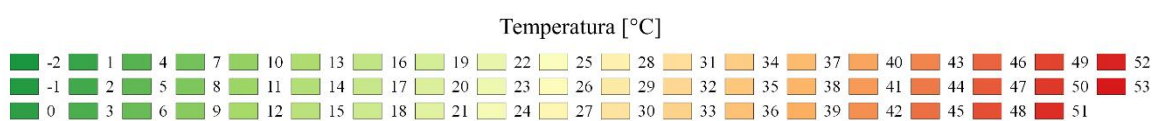
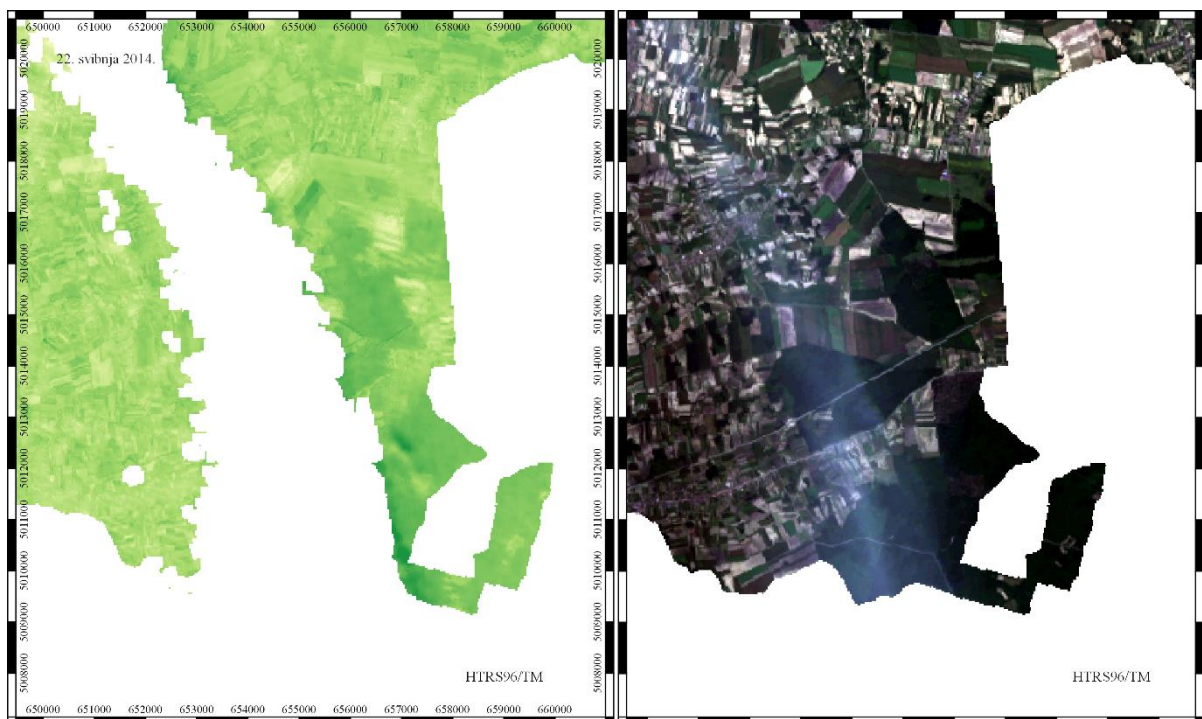
Objekti s maksimalnim iznosom LST-a na području Splitsko-dalmatinske županije sva tri dana vezani su uz urbana područja. Na Splitskom području maksimalni iznosi LST-a detektirani su na sjevernom dijelu Splitskog poluotoka, na području brodogradilišta (slika 38), s iznosima do 48°C za dan 6. svibnja i 51°C za dan 22. svibnja. Preko puta brodogradilišta uz sami rub obale Kaštelanskog zaljeva, zapadno od Kaštel Sućurca, nalazi se kompleks trgovačkih centara čiji iznos LST-a ne zaostaje puno za onim na području brodogradilišta, dosežući 42°C za dan 6. svibnja i 47°C za dan 22. svibnja. Zbog smještenosti na sjevernoj obali Kaštelanskog zaljeva navedeni kompleks trgovačkih centara 13. listopada doseže iznose LST-a do 41°C, što je za 4°C veće od iznosa LST-a na području brodogradilišta. Navedeno je izravna posljedica jačeg zagrijavanja objekata orijentiranih prema jugu, tj. prema zrakama Sunca, koje su u listopadu niže na horizontu nego što je to slučaj u svibnju.



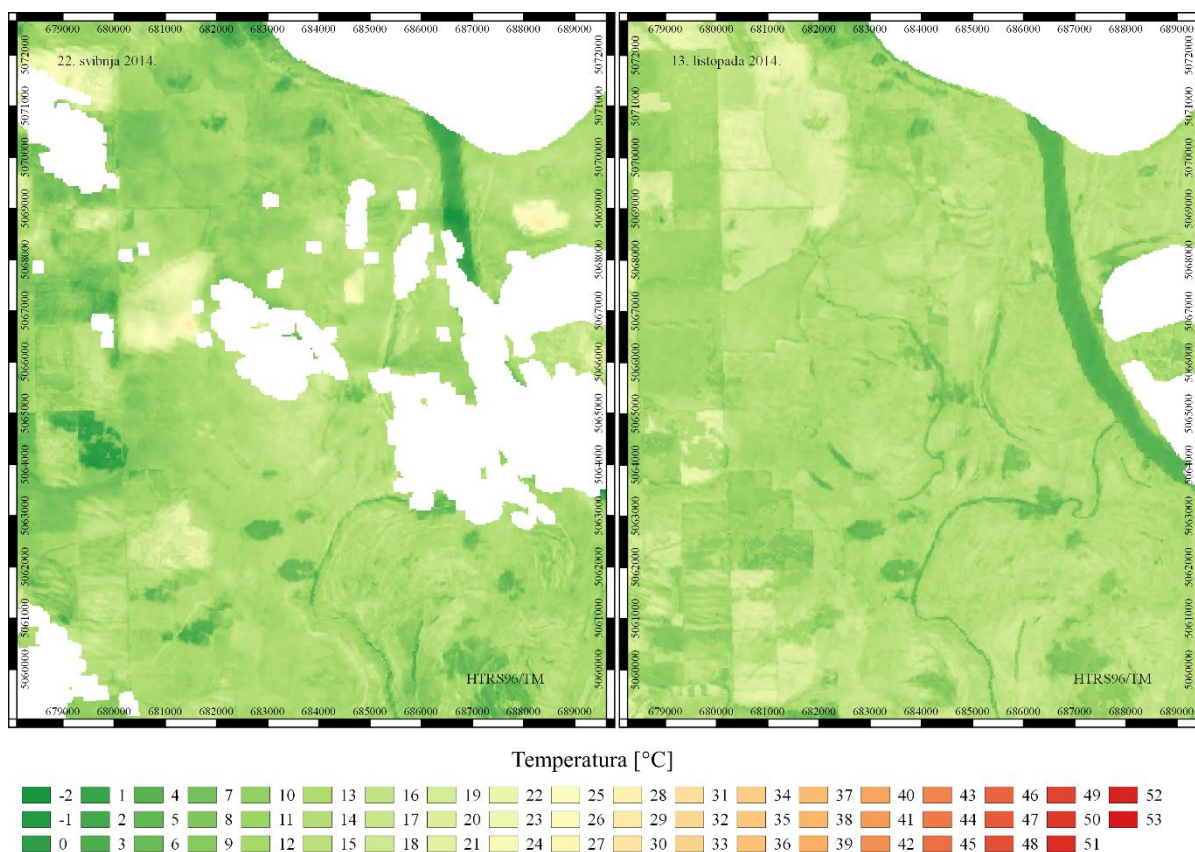
Slika 34. Prirodni objekti s visokim LST-om južno od Belog Manastira.



Slika 35. Objekt s niskim LST-om 6. svibnja i 13. listopada na području Mitrovca



Slika 36. Objekt s niskim LST-om 22. svibnja na jugu Osječko-baranjske županije



Slika 37. Objekti s niskim LST-om 22. svibnja i 13. listopada na području Kopačkog rita

Visoki iznosi LST-a sva tri odabrana dana detektirani su na zapadnom području Dugopolja (slika 39), gdje se nalazi gospodarska zona. Na tom području na dan 6. svibnja iznosi LST-a dosežu 43°C, dana 22. svibnja 52°C, a dana 13. listopada 40°C. Izrazit urbani utjecaj na iznose LST-a vidljiv je na području Makarske, sva tri odabrana dana (slika 40). Maksimalni iznosi LST-a javljaju se na južnom području Makarske, na površini trgovačkih centara, a dosežu iznose do 43°C na dan 6. svibnja, 51°C na dan 22. svibnja i 35°C na dan 13. listopada 2014.

Osim u urbanim područjima u kojima najveće iznose LST-a imaju industrijski, gospodarski i trgovački objekti, visoki iznosi LST-a detektirani su i na prirodnim objektima na području Splitsko-dalmatinske županije. Maksimalni iznos LST-a na području cijele Splitsko-dalmatinske županije dana 22. svibnja detektiran je na poljima uz desnu obalu Cetine, istočno od Sinja (slika 41), dosežući 54°C. Visoki iznosi LST-a na navedenom području detektirani su i dana 6. svibnja dosežući 45°C i dana 13. listopada dosežući 30°C.

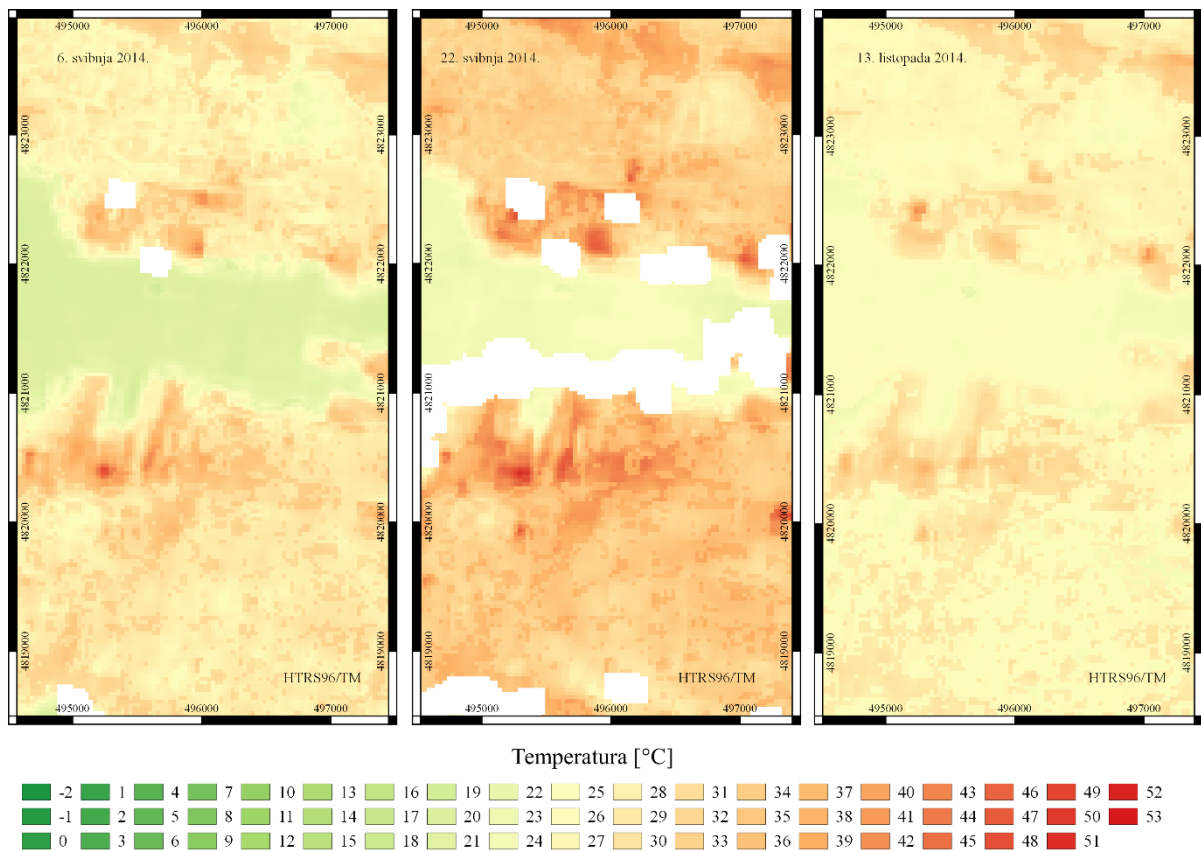
Maksimalni iznos LST-a dana 13. listopada 2014. detektiran je na južnom području otoka Hvara (slika 43). Na slici 43 dan je i RGB prikaz navedenog područja, iz kojeg je vidljivo kako se objekt s detektiranim visokim LST-om razlikuje po teksturi od okolnih objekata. Pretpostavlja

se kako je riječ o turističkom objektu, pošto na navedenom području nije dostupan *Google maps street view*. Detektirani maksimalni iznos LST-a iznosi 46°C.

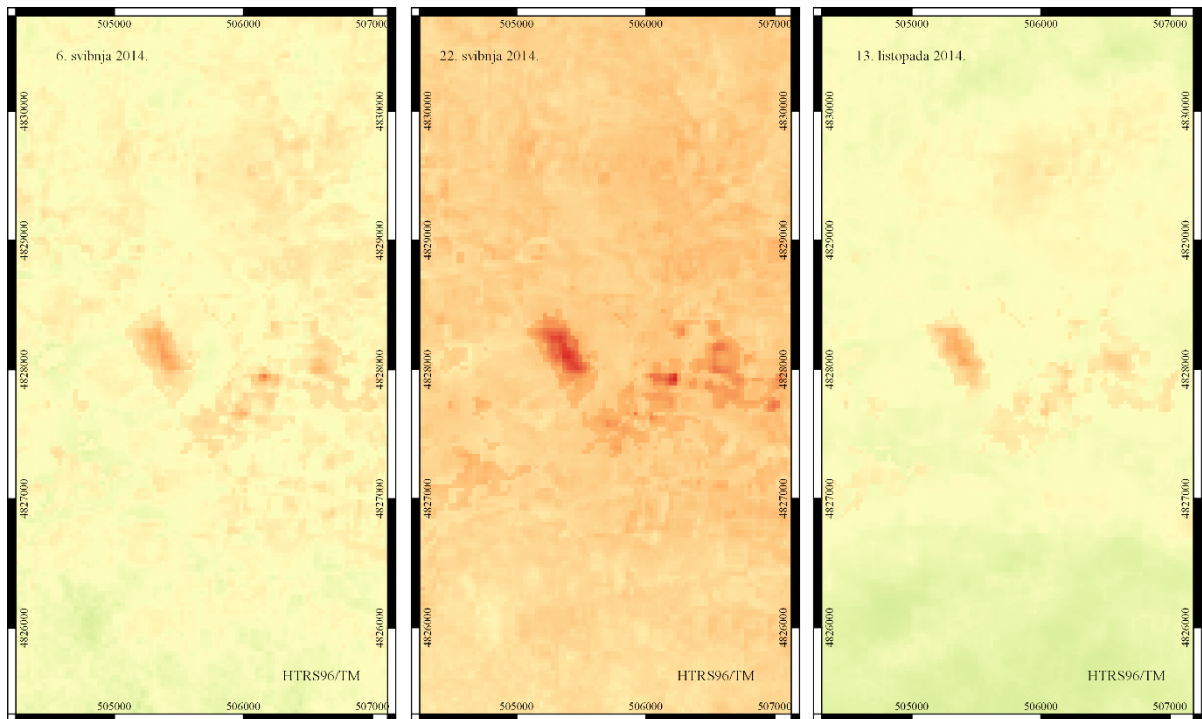
Minimalni iznosi LST-a u Splitsko-dalmatinskoj županiji dana 6. svibnja i 13. listopada detektirani su na području Biokova (slika 44). Oba dana su minimalni iznosi na području vrha sv. Ilija, koji se nalazi na nadmorskoj visini 1642 m. Iznos LST-a se 6. svibnja spušta do 7°C, a 13. listopada do 12°C. Niski iznos LST-a na navedenom području detektiran je i 22. svibnja, a spušta se do 16°C.

Minimalni iznos LST-a detektiran na području Splitsko-dalmatinske županije 22. svibnja, odnosi se na SST na ulazu u Trogirski zaljev (slika 45) i spušta se do 10°C. Na slici 45 vidljivo je kako je iznad navedenog područja cirus, koji ima temperature niže od mora. Tako se navedeni iznos LST-a, tj. SST-a, ne odnosi na površinu mora, već na temperaturu oblaka.

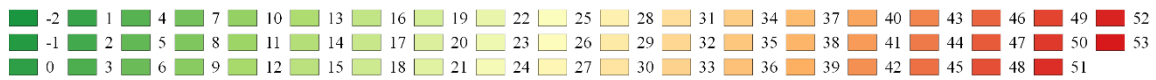
Iz ove analize vidljivo je kako su na području Splitsko-dalmatinske županije maksimalni iznosi LST-a vezani uglavnom za industrijske i trgovačke objekte, te za poljoprivredne prirodne objekte, tj. polja na kojima se uzgajaju određene kulture. Minimalni iznosi LST-a na području iste županije vezani su za prirodne objekte s većom nadmorskom visinom od kojih je na tom području najdominantnija planina Biokovo.



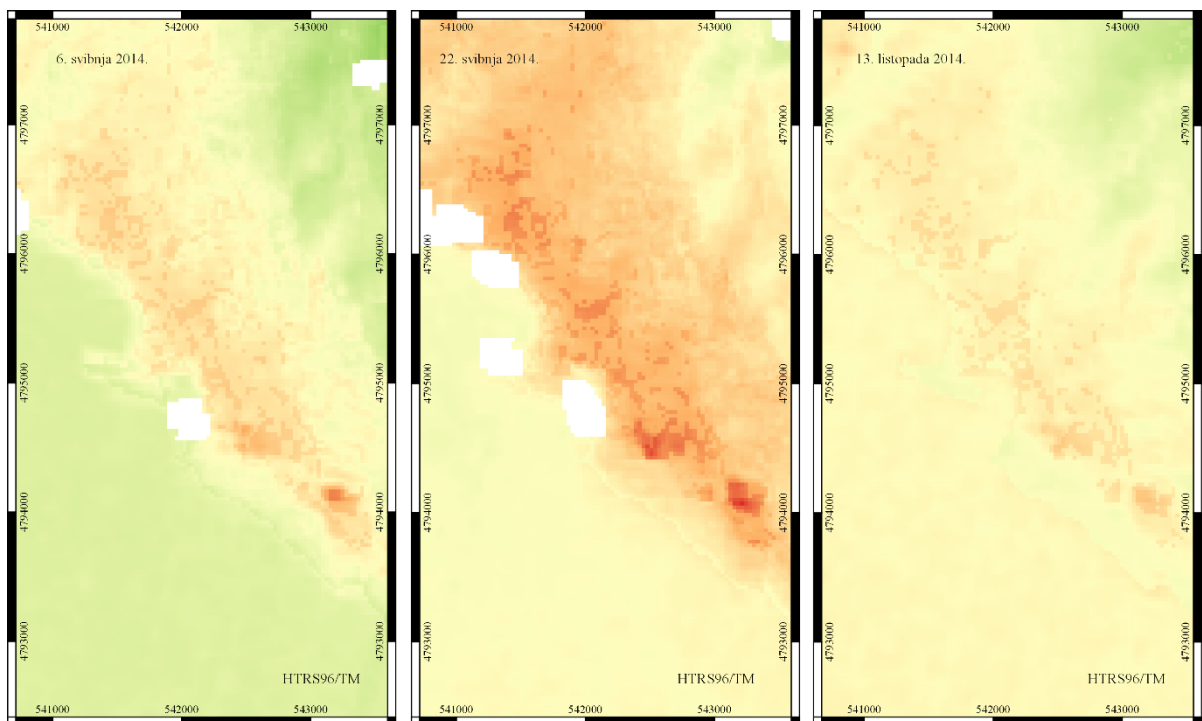
Slika 38. Objekti s visokim LST-om za sve odabrane dane uz Kaštelski zaljev



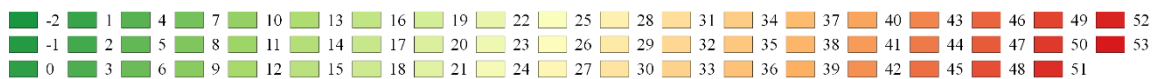
Temperatura [°C]



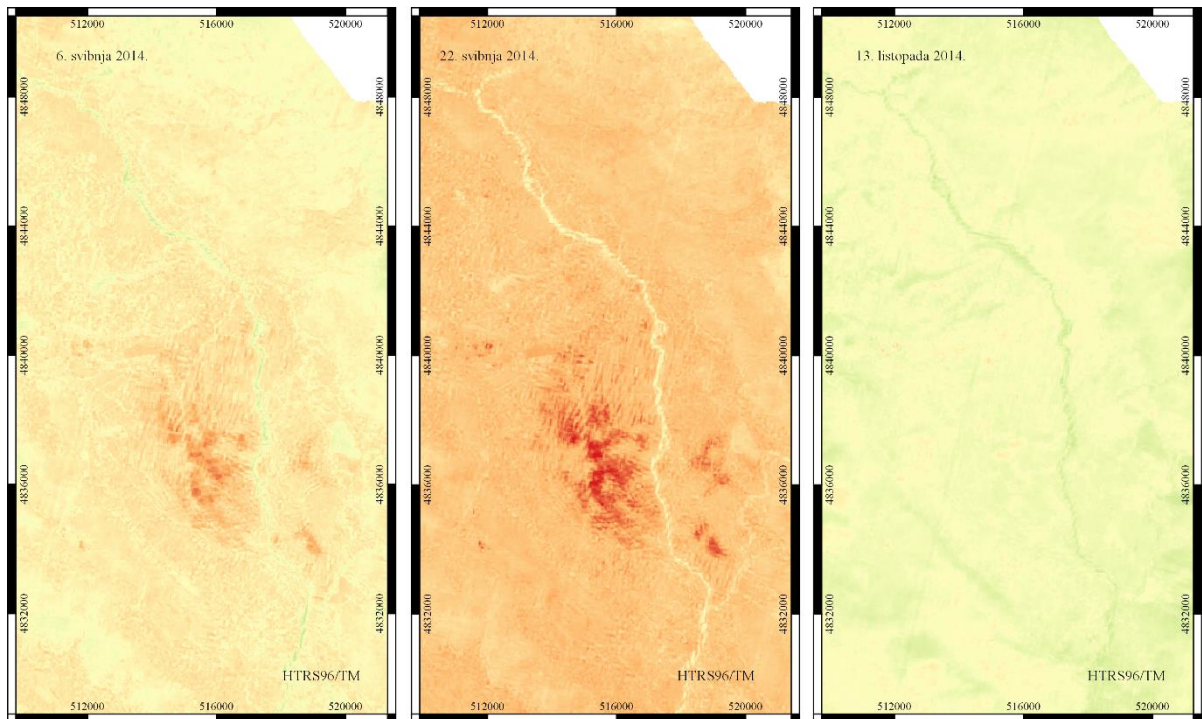
Slika 39. Objekti s visokim LST-om za sve odabrane dane na zapadnom području Dugopolja.



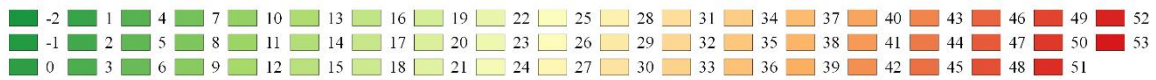
Temperatura [°C]



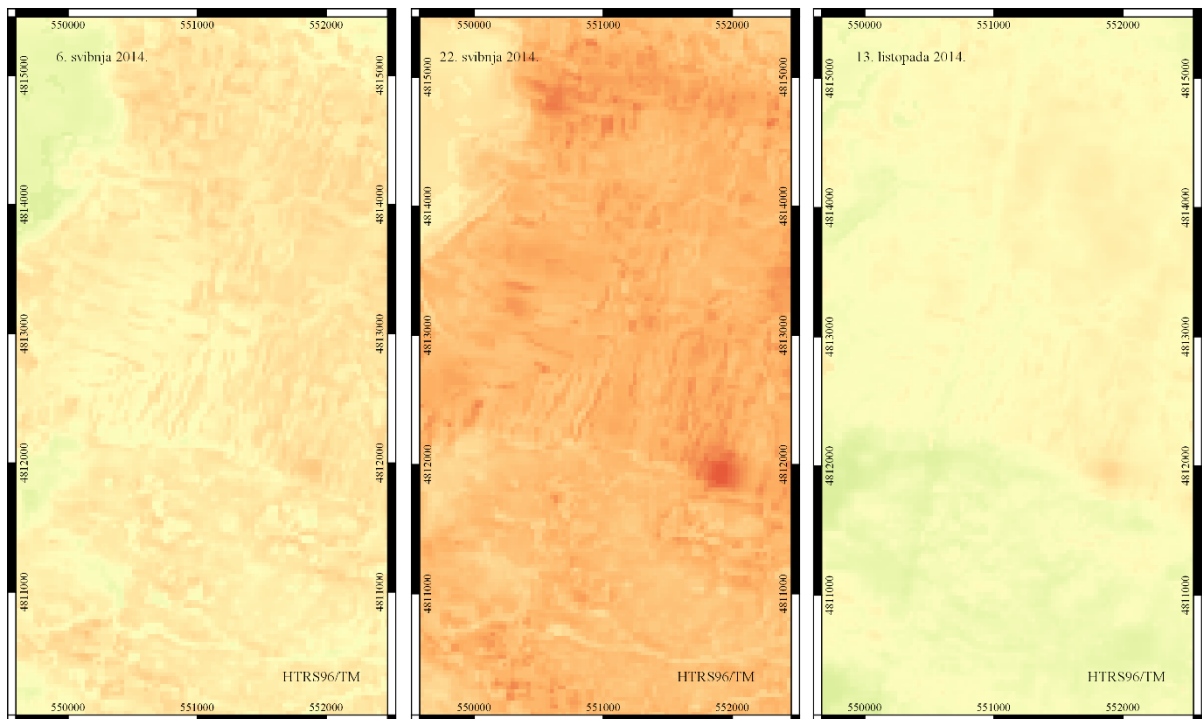
Slika 40. Objekti s visokim LST-om za sve odabrane dane na južnom području Makarske



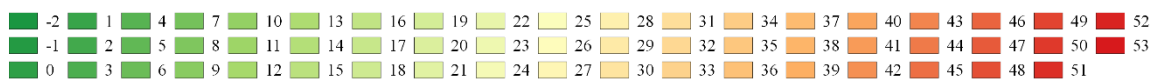
Temperatura [°C]



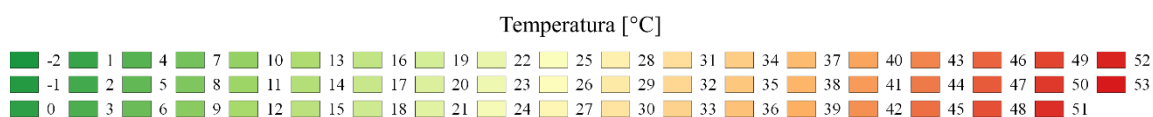
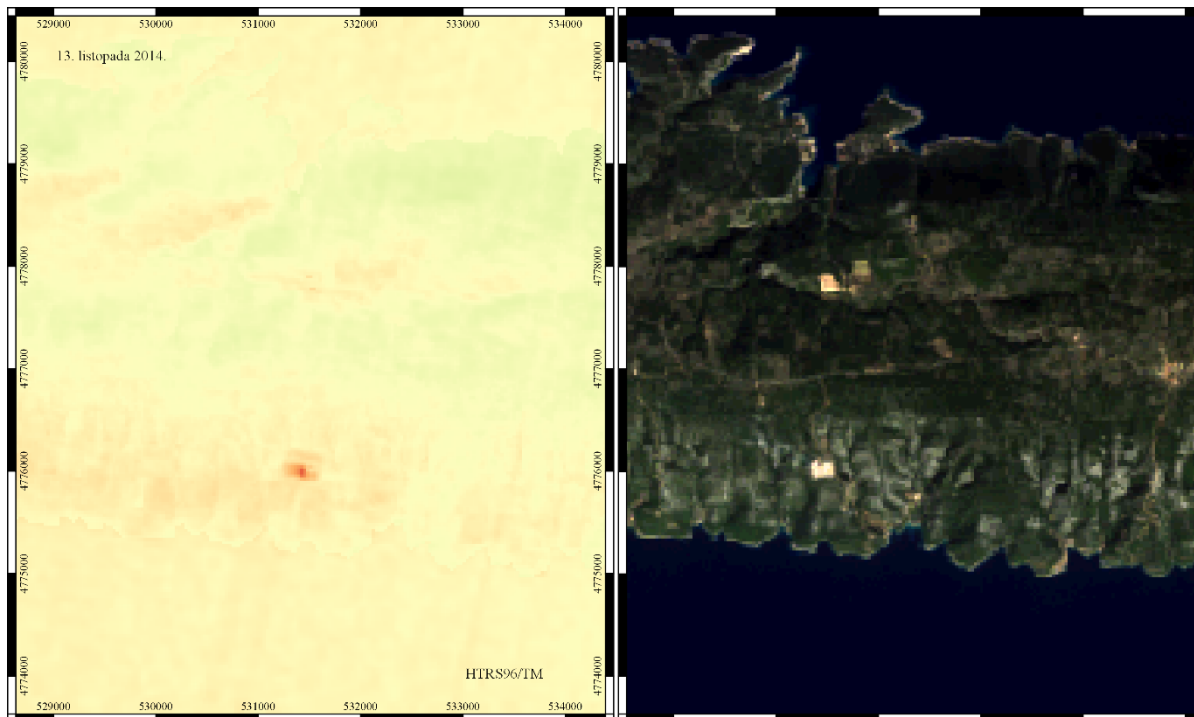
Slika 41. Prirodni objekti s visokim LST-om za sve odabrane dane u dolini Cetine kraj Sinja



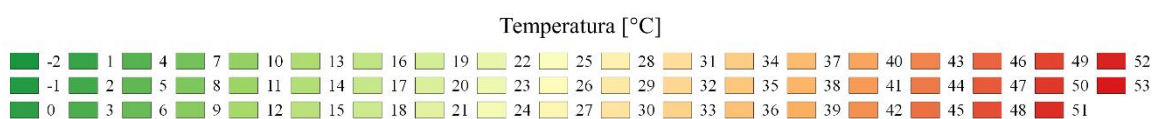
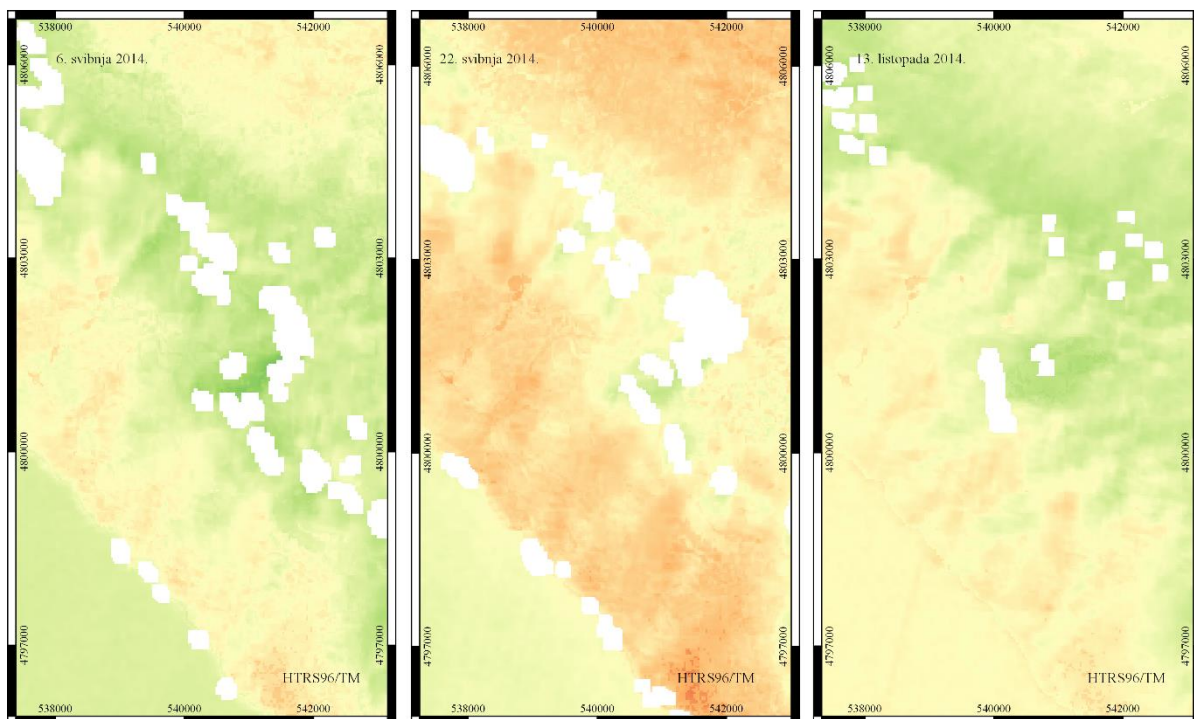
Temperatura [°C]



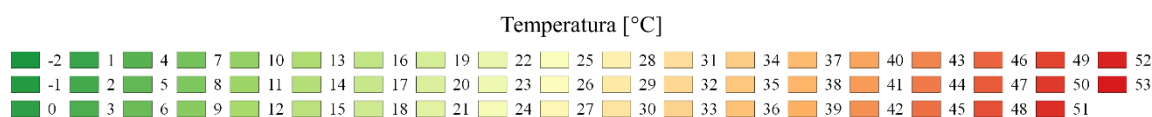
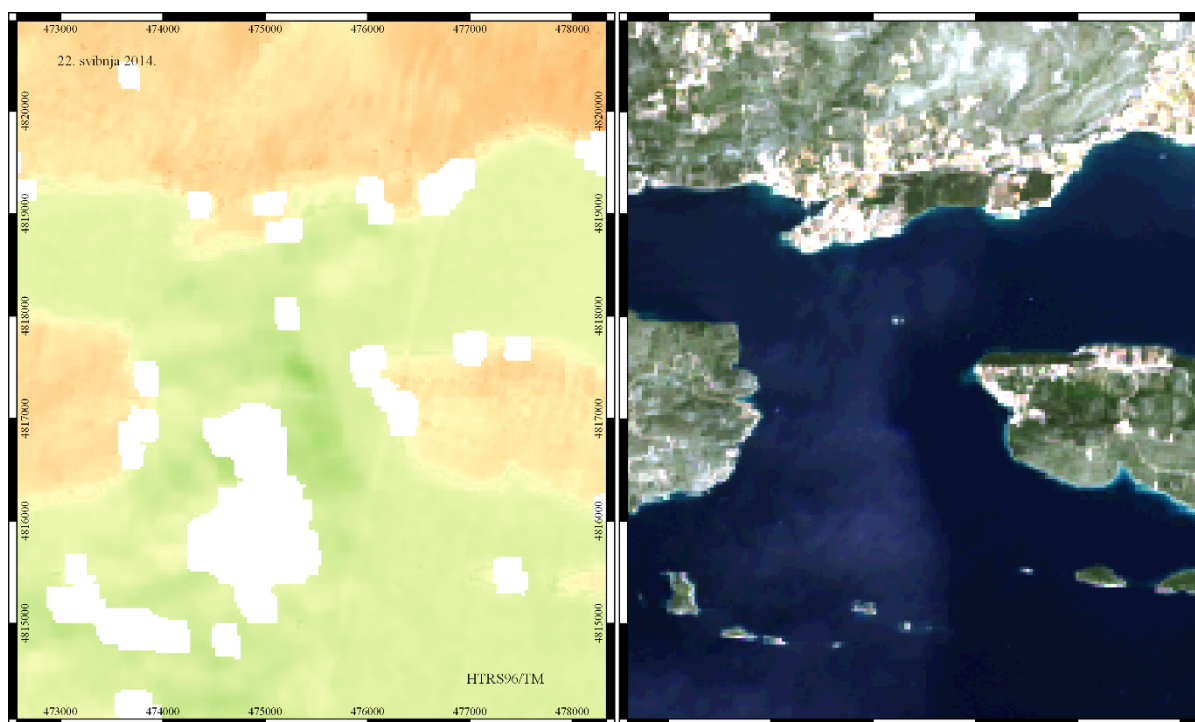
Slika 42. Prirodni objekti s visokim LST-om za sve odabrane dane zapadno od Imotskoga



Slika 43. Objekt s visokim LST-om 13. listopada na južnom dijelu otoka Hvara



Slika 44. Prirodni objekt s minimalnim LST-om 6. svibnja i 13. listopada na području Biokova



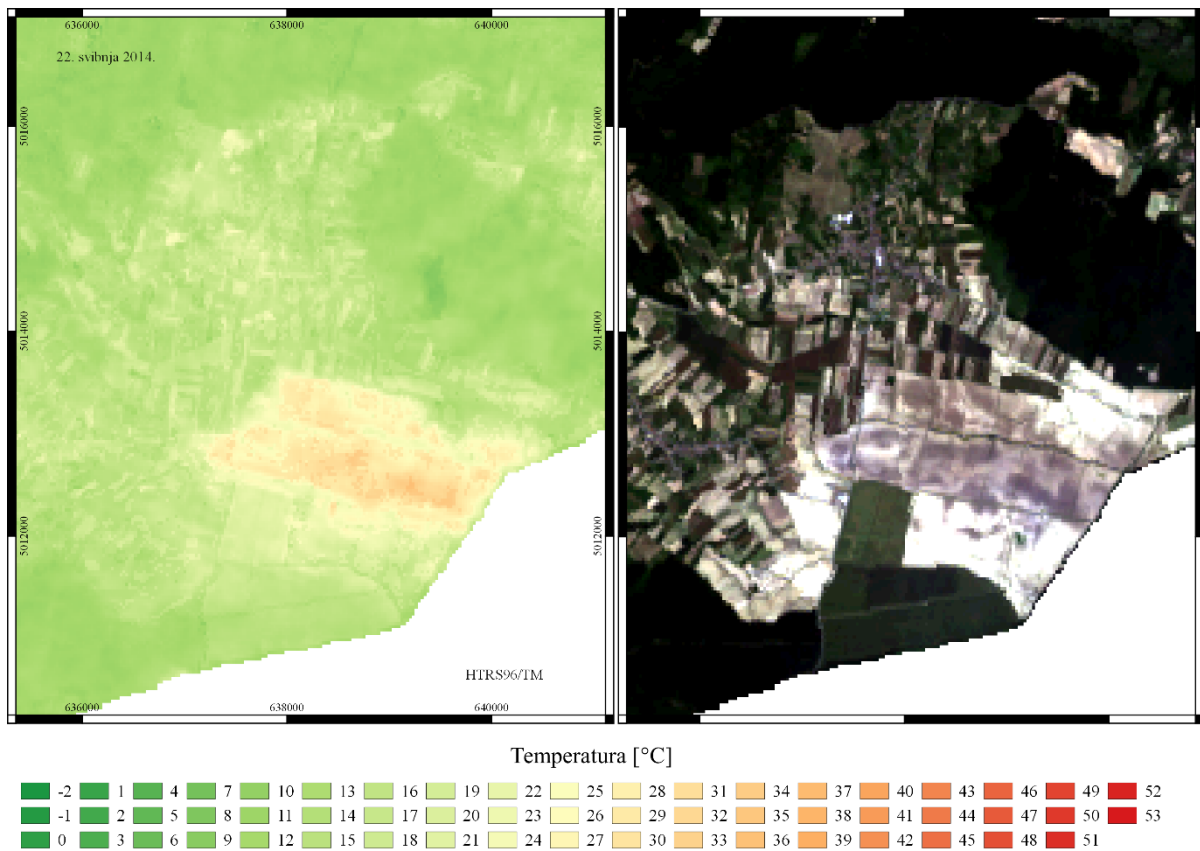
Slika 45. Prirodni objekt s minimalnim LST-om 22. svibnja na području Trogirskog zaljeva

Na području Osječko-baranjske županije maksimalni iznosi LST-a su bili vezani za industrijske i trgovačke objekte za dane 6. i 22. svibnja, te uz poljoprivredne prirodne objekte 13. listopada. Minimalni iznosi LST-a na području navedene županije vezani su uglavnom za prirodne objekte, koji su ovom slučaju tokovi rijeka Dunava i Drave i površina Kopačkog jezera. Uz prirodne objekte na području iste niski iznosi LST-a vezani su i uz bioplinsku elektranu, koja je dio poljoprivrednog kompleksa u Mitrovcu.

4.4. Analiza specifičnih područja

Iako spadaju u područja s maksimalnim detektiranim iznosom LST-a dana 22. svibnja na području Osječko-baranjske županije, poplavljena polja za poljoprivredni uzgoj analizirana su zajedno sa specifičnim područjima. Razlog tome su već navedene poplave koje su između ostalih pogodile i područje Osječko-baranjske županije. Na slici 46 prikazano je polje za poljoprivredni uzgoj istočno od naselja Lapovci, koje na području cijele županije ima maksimalni iznos LST-a, koji doseže 36°C. Navedeno je izravna posljedica visokog vodostaja u svim vodotocima na tom području, zbog čega se Duboki potok, koji teče između prikazanih polja za poljoprivredni uzgoj, izlio iz korita i poplavo polja. Na poplavljenim poljima voda nije duboka zbog čega se pod izloženošću Suncu brzo zagrijava. Slika 47 prikazuje slično područje,

koje se nalazi istočno od naselja Vera, gdje se zbog velikog vodostaja Dunava njegove pritoke izlijevaju na tom području, koje uslijed plavljenja i zagrijavanja Sunca doseže iznose LST-a do 32°C.

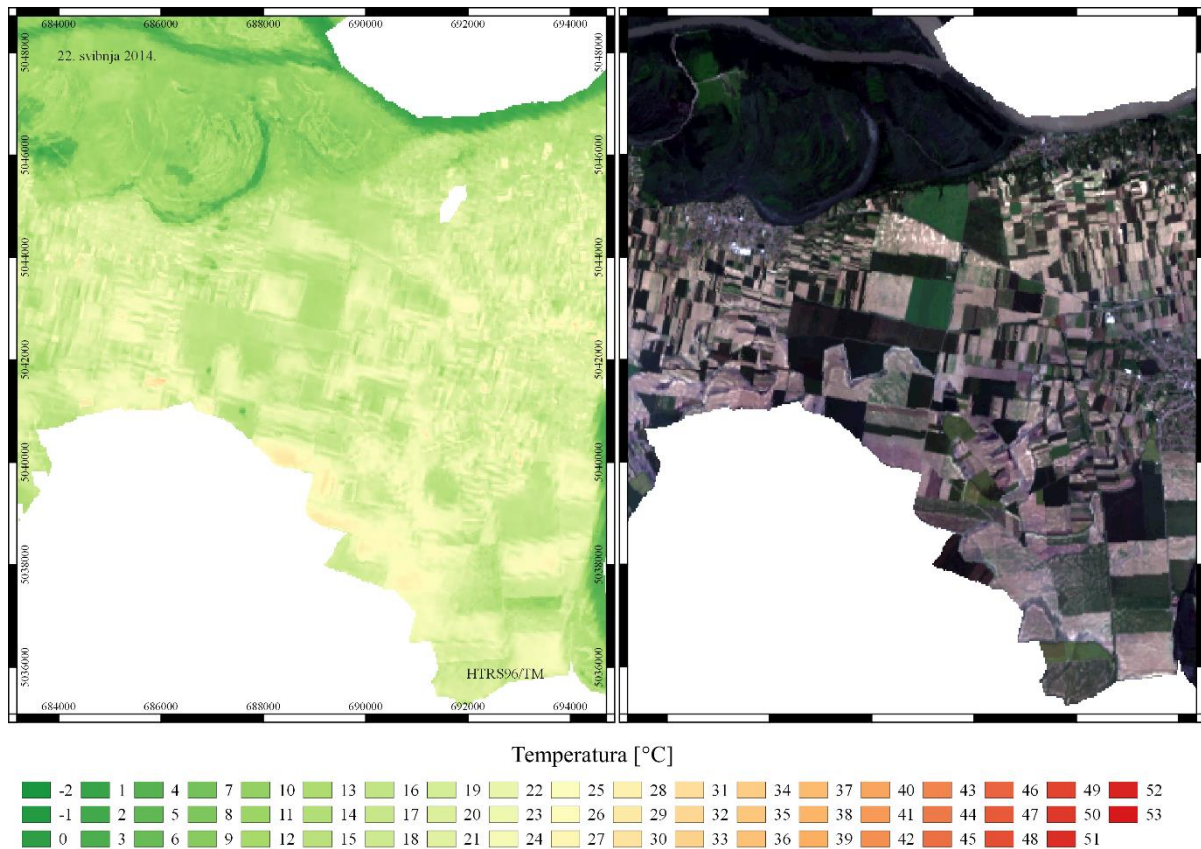


Slika 46. Prirodni objekt s maksimalnim LST-om 22. svibnja istočno od naselja Lapovci

Jedno od specifičnijih područja po raspodjeli LST-a na području Osječko-baranjske županije, nalazi se na istočnom dijelu Kopačeva, na samoj granici županije i Republike Hrvatske (slika 48). Navedeno područje prekriveno je pijeskom i doseže iznose LST-a do 36°C, što je za 8-10°C veće od okolnih područja. Na slici 48 vidljivo je još jedno specifično područje, a radi se o sprudu na Dunavu, koji doseže iznose LST-a do 30°C, a iznos LST-a na površini Dunava iznosi 19-21°C.

Na području Splitsko-dalmatinske županije, po raspodjeli SST-a, vrlo je specifično područje ušća rijeke Cetine u Jadransko more, kraj Omiša (slika 49). Na navedenom području hladnija rijeka Cetina utječe u toplije Jadransko more, što je vidljivo sva tri odabrana dana, a najizraženije je 13. listopada kada je more najtoplije. Dana 6. svibnja iznos SST-a na ušću iznosi 15°C, a miješajući se s morem prema pučini ta vrijednost raste do vrijednosti SST-a u Bračkom kanalu, koja za taj dan iznosi 18°C. Dana 22. svibnja iznos SST-a na ušću Cetine iznosi 17°C, a u Bračkom kanalu 22°C. Najizraženija razlika između navedenih vrijednosti SST-a je uočena 13. listopada 2014., kada je SST na ušću Cetine bio 18°C, a u Bračkom kanalu 24°C. Iz

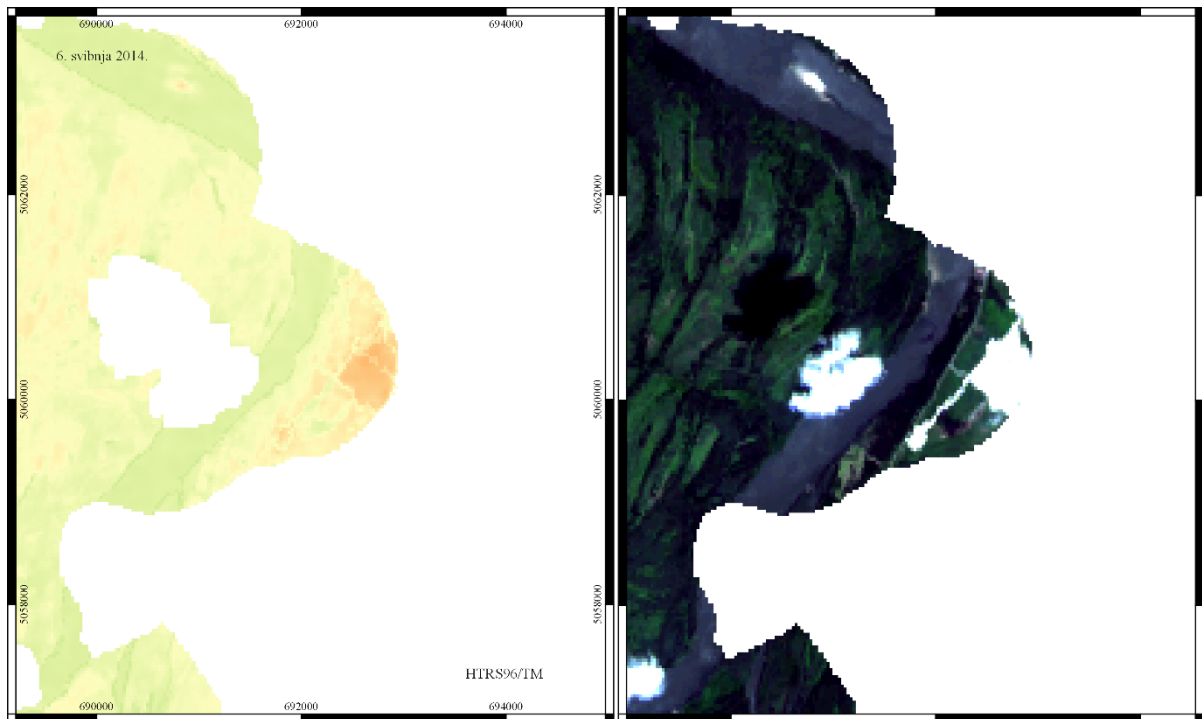
navedenog je vidljivo kako razlike u iznosu SST-a na ušću Cetine i u Bračkom kanalu rastu s porastom temperature mora.



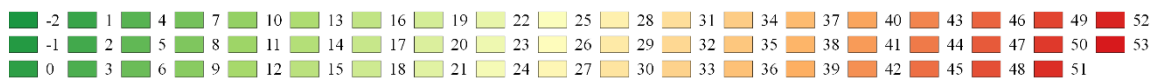
Slika 47. Prirodni objekt s visokim LST-om 22. svibnja istočno od naselja Vera

Osim na području Marjana na zapadnom dijelu Splitskog poluotoka, specifična raspodjela LST-a javlja se i na njegovu istočnom dijelu, koji je većim dijelom urban (slika 50). Na navedenom području nalazi se groblje Lovrinac, gdje su detektirani niži iznosi LST-a nego u okolici. Iznosi LST-a na području groblja se dana 6. svibnja spuštaju do 23°C, a okolni urbani objekti imaju iznose LST-a 28°C i veće. Dana 22. svibnja iznosi LST-a na području groblja iznose 28°C, a na urbanim objektima 35°C i veće. Dana 13. listopada te vrijednosti iznose 22°C za groblje i 28°C i veće za urbane objekte.

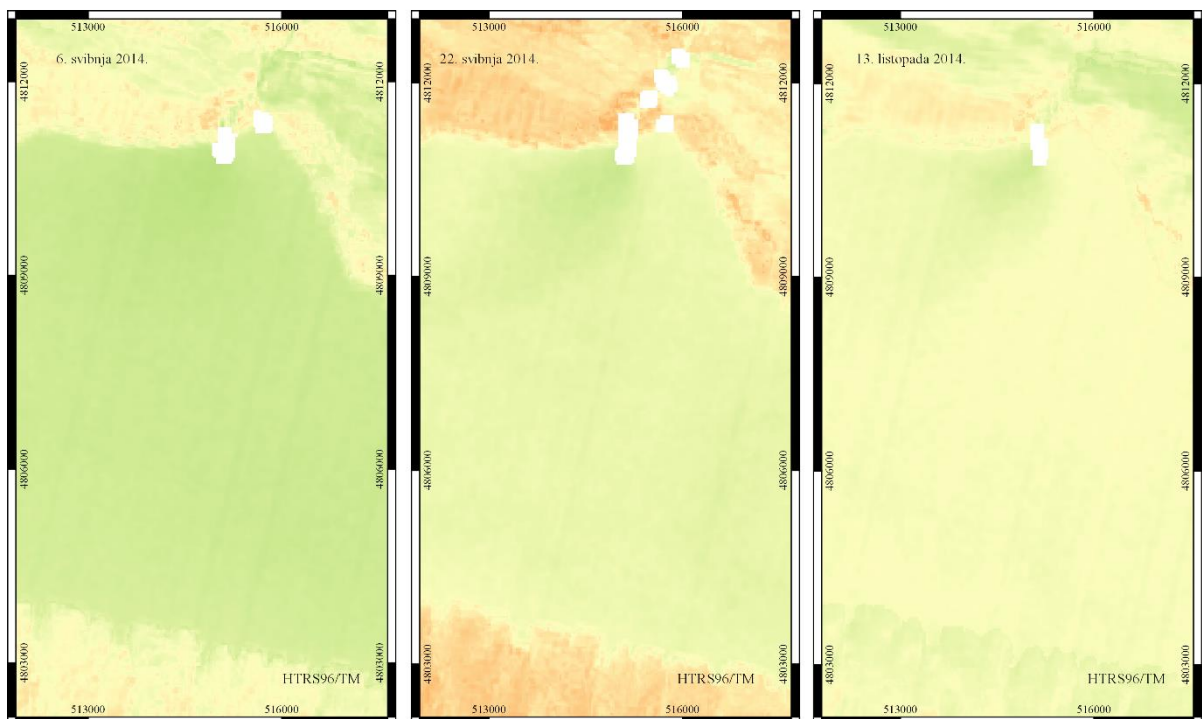
Već je prikazan utjecaj Sunca na objekte orijentirane prema jugu, koji je najizraženiji u Splitsko-dalmatinskoj županiji 13. listopada i posebno je uočljiv na južnim obalama otoka koji pripadaju toj županiji. Specifična raspodjela LST-a uočena je na području Nerežišća na jugoistoku otoka Brača (slika 51), gdje se nalaze brojni klanci od kojih je najveći onaj koji vodi prema naselju Smrka. Upravo se u navedenom klanca, koji je orijentiran u smjeru sjeveroistok jugozapad, javlja specifična raspodjela LST-a. Vrijednosti LST-a na sjevernim padinama tog klanca dosežu 31°C, dok se na južnim padinama, koje su u sjeni, spuštaju do 21°C.



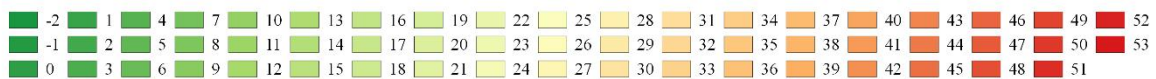
Temperatura [°C]



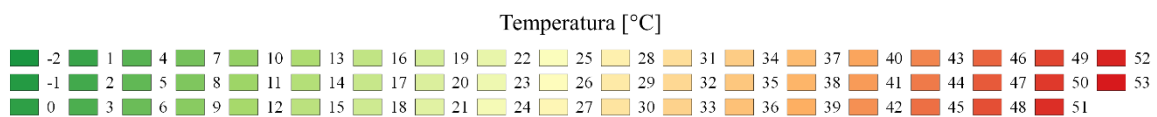
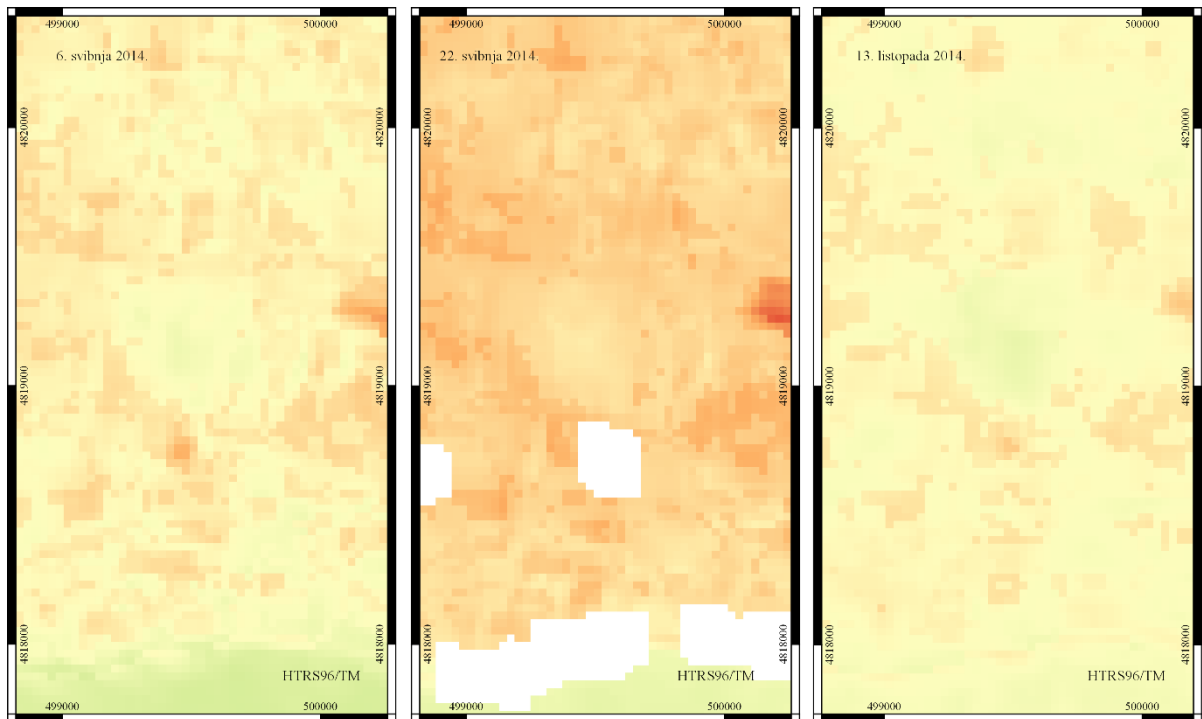
Slika 48. Specifična područja raspodjele LST-a na području Kopačeva za dan 6. svibnja 2014.



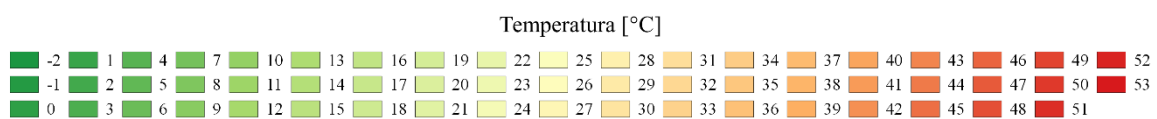
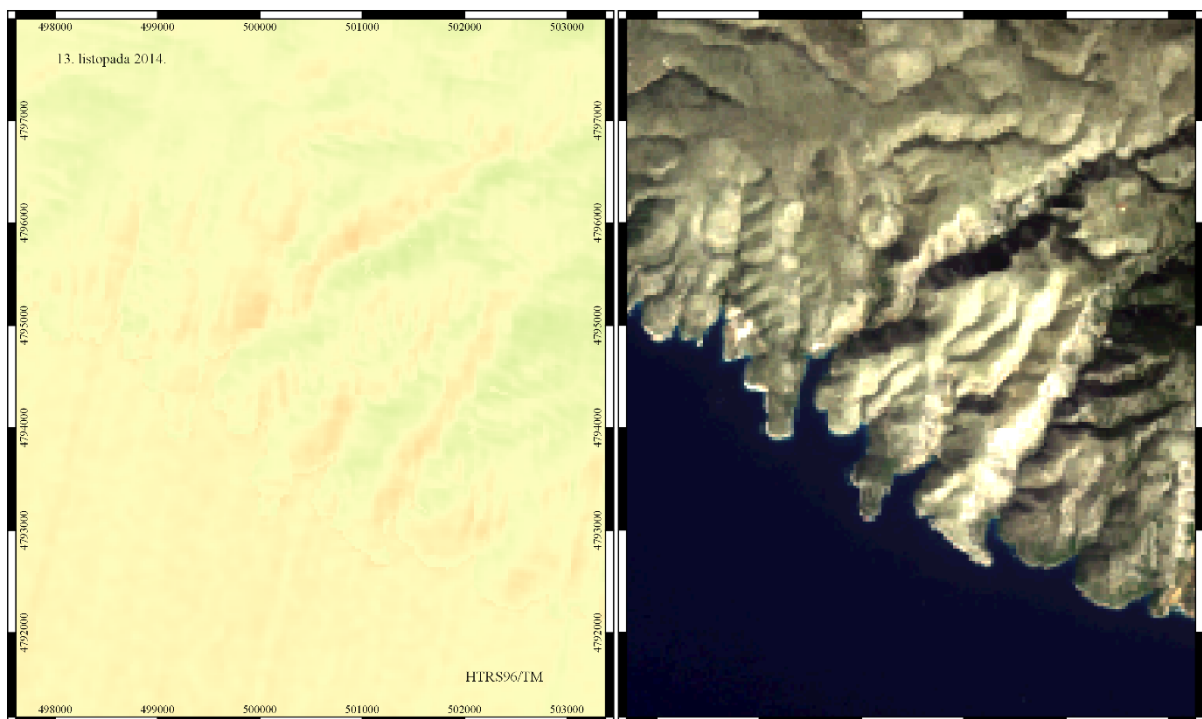
Temperatura [°C]



Slika 49. Specifična raspodjela SST-a na ušću Cetine u Jadransko more



Slika 50. Specifična raspodjela LST-a na zapadu Splitskog poluotoka



Slika 51. Specifična raspodjela LST-a na području Nerežišća na jugoistoku otoka Brača

5. Rasprava

Rezultati izračunati u ovom radu omogućuju jedinstveni pogled na temperaturne geoprostorne odnose koji svojom originalnošću nadopunjuju ostale prostorne podatke. Izračunate vrijednosti LST-a istovremeno pružaju uvid u temperaturne odnose na prostoru županija, pa čak i cijelih regija, a zbog sinkroniziranosti putanje Landsat 8 satelita sa Suncem omogućena je geoprostorna analiza velikih područja koja se nalaze duž iste putanje satelita. Osim obuhvaćanja velikih područja i provođenja geoprostorne analize na njima, također je omogućena i geoprostorna analiza morskih površina, zajedno s kopnenim.

Prema Yu i dr. (2014) točnost dobivenih vrijednosti LST-a pomoću SW algoritma iznosi $1,025^{\circ}\text{C}$. Jednini parametar koji u ovom radu nije u skladu s provedenim SW algoritmom je podatak o količini vodene pare, koji je dobiven u grubljoj rezoluciji od 100 m te prestrukturiran na rezoluciju 30 m. Razlog nemogućnosti korištenja komercijalnog MODTRAN modela, te je time vjerojatno smanjena točnost izračunatog LST-a. Nažalost na području odabranih županija, prema dosadašnjim saznanjima, ne postoje postaje koje mjere LST. DHMZ (*Državni hidrometeorološki zavod*) provodi mjerenja temperature tla na dubinama od 2, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 cm dubine, tri puta dnevno, u 7, 14 i 21 h (URL 20). Navedeni podaci nisu pogodni za određivanje točnosti LST-a izračunatog iz Landsat 8 podataka, najprije zbog vremenske razlike od otprilike 2 h i 30 min, ali i zbog neistovjetnosti LST-a i temperature tla na dubini 2 cm ili više. U navedenom slučaju može se koristiti vremenska i temperaturna interpolacija, ali njome se već smanjuje točnost izvornih podataka.

Pogodni podaci za analizu točnosti SST-a dobivenog iz Landsat 8 podataka bile bi temperature Jadranskog mora, zajedno s temperaturnim gradijentima, mjerene u što manjoj vremenskoj rezoluciji u odnosu na prikupljanje satelitske podataka s promatranog područja. U unutrašnjosti se analogna analiza točnosti može provesti s temperaturnim podacima rijeka ili jezera.

Preciznost izračunatog LST-a je ograničena prostornom rezolucijom Landsat 8 podataka koja iznosi 30 m. Ograničenja ove analize su u najmanjoj prostornoj rezoluciji koja se može dobiti na osnovu temperaturnih razlika. Tako se, na primjer, u gustim urbanim područjima u centru grada Osijeka ne može razlikovati svaka kuća jer je prostorna rezolucija satelitskog snimka pregruba. Ali se prostorni objekti i obilježja jasno razlikuju za temperaturno različita područja u gradu, a to su na primjer zelene površine koje su hladnije, prometnice koje redovito prikupljaju više energije od ostalih objekata, kao što su vodene površine, koji drugačije emitiraju toplinsku energiju. Temperaturna analiza prostornih odnosa ovisi o građi prirodnih i umjetnih objekata i prostorna rezolucija na osnovu temperaturnih odnosa nije istovjetna kao i

kod optičkog promatranja objekata. Ova analiza omogućuje prepoznavanje prostornih objekata na osnovu temperaturnih odnosa u mjerilu 1:25 000. U nekim je slučajevima ova prostorno temperaturna razlučivost veća, a u nekima manja. Za veću rezoluciju prvenstveno su potrebni satelitski senzori veće prostorno-temperaturne rezolucije.

Vremenska rezolucija termalnog snimanja je ograničena na prelet satelita preko određenog područja. Osim vremenske rezolucije, ograničenje putanje satelita uočljivo je na rubnim dijelovima satelitskih snimaka, jer senzor nije uvijek u potpunosti jednako orijentiran u prostoru u trenutku prikupljanja podataka. Zbog navedenog sjeverozapadni dio Splitsko-dalmatinske županije obuhvaćen satelitskim snimkom ne obuhvaća sva tri odabrana dana identično područje. Još jedno ograničenje putanje satelita moguće je uočiti na podacima za Splitsko-dalmatinsku županiju. Naime, sjeverozapadno područje županije obuhvaćeno je satelitskim snimkom prikupljenim Landsat-om 8 tek u idućoj, 189. silaznoj putanji satelita, zbog čega postoji vremenski odmak u podacima za dva navedena dijela županije.

U uklanjanju područja pod oblacima i njihovim sjenama, *Fmask* algoritam pokazao se vrlo praktičan, ali ne i besprijekoran. Njegovi nedostaci uočljivi su na podacima 22. svibnja kada su iznad području obje županije oblaci cirusi, koji nisu u potpunosti uklonjeni *Fmask* algoritmom, zbog toga su minimalni iznosi LST-a toga dana vezani za temperature oblaka, a ne površinu tla ili mora.

Temperaturna rezolucija podataka SST-a na području Splitsko-dalmatinske županije manja je od 0.01°C , što omogućuje nadopunu modela za računanje morskih struja i mijena, a što je u ovom radu posebno vidljivo na primjeru utjecanja Cetine u Jadransko more. Osim za morske struje, vrijednosti SST-a korisne su i za ribarstvo. Na temelju izračunatih vrijednosti SST-a moguće je detektiranje toplijih i hladnijih područja mora kroz godinu, što može biti jedan od parametara za određivanje lovišta morskih vrsta. Na temelju LST podataka moguće je pratiti i ponašanje šuma, kao i većih poljoprivrednih površina, gdje je LST također nadopuna NDVI-u. NDVI i LST mogu biti od koristi za rano detektiranje bolesti šumskih i poljoprivrednih nasada, koji se prostiru na velikim površinama. Također temeljem LST-a moguće je detektirati objekte s visokim iznosima LST-a u šumskom području, poput cementare na području Papuka, koji mogu biti potencijalni uzročnici požara i deforestacije. Na temelju tih podataka otvara se mogućnost uvođenja povećane preventive i nadzora takovih objekata.

Jedna od značajnijih primjena LST-a je u prostornom planiranju urbanih područja i zdravstvu. Temeljem izračunatog LST-a, moguće je određivanje urbanih toplinskih otoka. Oni zajedno s NDVI vrijednostima pružaju uvid u kritične zone okoliša, a koje su najčešće smještene u najurbanijim dijelovima gradova, gdje je omjer velike količine urbanih objekata i male količine

zelenih površina najizraženiji. Takovi podaci su korisna vodilja izradi urbanističkih planova, u svrhu stvaranja urbane okoline pogodne za čovjeka. U zdravstvu se podaci o LST-u mogu koristiti za povezivanje pojedinih bolesti s mjestom prebivanja oboljelih, što omogućuje uvid u odnose žarišta pojedine bolesti i raspodjele LST-a.

Navedene potencijalne analize ograničene su, osim vremenskom i prostornom rezolucijom TIRS senzora, i njegovom temperaturnom rezolucijom koja nije uvijek idealna i posjeduje šumove. Šumovi na TIRS senzoru najjasnije su vidljivi na izračunatom SST-u za Splitsko-dalmatinsku županiju 13. listopada (slika 19), gdje bi SST trebao imati kontinuirane vrijednosti polja, koje su u ovom slučaju u pravilnim prostornim intervalima ne kontinuirane.

Dosadašnji podaci vezani uz operativnost TIRS senzora ne idu u prilog njegova korištenja za kontinuirano prikupljanje i računanje novih LST podataka.

6. Zaključci

Primjenom SW algoritma nad podacima TIRS-a i MODIS-a izračunata je raspodjela LST-a za područje Osječko-baranjske, te LST-a i SST-a za područje Splitsko-dalmatinske županije. Primarno na osnovu tih podataka je omogućena geoprostorna analiza na osnovu temperaturnih odnosa. Zahvaljujući vremenskoj bliskosti, mogli bismo čak reći istovjetnosti, omogućena je direktna usporedba temperaturnih odnosa u navedenim županijama, na temelju LST-a. Iz provedene geoprostorne analize izvedeni su sljedeći zaključci:

1. Iznosi LST-a su veći na području Splitsko-dalmatinske županije, jer su sva tri odabrana dana minimalni iznosi LST-a detektirani na području Osječko-baranjske županije, dok su maksimalni iznosi LST-a detektirani na području Splitsko-dalmatinske županije. Ako se na području Splitsko-dalmatinske županije uklone iznosi SST-a, srednje vrijednosti LST-a također su veće od onih na području Osječko-baranjske županije.
2. SST se duže apsorbira od LST-a, jer su 6. i 22. svibnja 2014. iznosi SST-a niži od LST-a na području Splitsko-dalmatinske županije, ali se isto tako duže i akumulira jer 13. listopada 2014. godine SST ima veće iznose od LST-a.
3. Urbani utjecaj Splita pogoduje većim iznosima LST-a, jer urbano područje Splita ima veće vrijednosti LST-a u odnosu na čitavu Splitsko-dalmatinsku županiju sva tri analizirana dana.
4. Urbani utjecaj Osijeka pogoduje većim iznosima LST-a u svibnju, jer urbano područje Osijeka ima veće vrijednosti LST-a u odnosu na čitavu Osječko-baranjsku županiju 6. i 22. svibnja.
5. Prirodni objekti, polja za poljoprivrednu proizvodnju brzo apsorbiraju i akumuliraju veliku količinu topline, što je posebno vidljivo na području Osječko-baranjske županije 13. listopada, kada navedeni objekti imaju maksimalne vrijednosti LST-a na području cijele županije. Slična se situacija javlja na području doline Cetine kraj Sinja i na poljima zapadno od Imotskoga, gdje se javljaju među najvećim iznosima LST-a 22. svibnja 2014. na području Splitsko-dalmatinske županije.
6. Omogućeno je detektiranje objekata s ekstremnim iznosima LST-a, kao i detektiranje objekata i njihove vrijednosti LST-a, koji su raspoznatljivi u mjerilu 1:25000.
7. Industrijski objekti i trgovački centri uglavnom imaju maksimalne iznose LST-a ili iznose koji su blizu maksimalnih, na području obje promatrane županije.
8. Vegetacija ublažuje urbani utjecaj na LST, što je vidljivo iz usporedbe urbanih dijelova Osijeka i Splita, gdje Osijek s više vegetacije ublažuje utjecaj urbanih objekata.

Navedeno je vidljivo i usporedbom prirodnih objekata pod vegetacijom s okolnim urbanim objektima, što je najjasnije vidljivo u usporedbi Marjana i urbanog dijela Splita.

9. Nagle promjene u vrijednostima LST-a uzrokovane su čovjekovim djelovanjem, ali i geomorfologijom. Utjecaj čovjekova djelovanja vidljiv je na promjeni vrijednosti LST-a na gospodarskom kompleksu u Mitrovcu, gdje je 6. svibnja razlika LST-a na površini bioplinske elektrane i na površini solarne elektrane 22°C. Utjecaj geomorfologije je vidljiv u klancima na jugozapadu Brača, gdje je razlika LST-a između sjenovite i sunčane strane klanca 10°C.
10. Izračunate vrijednosti LST-a korisne su za izradu proizvoda koji mogu biti osnova ili nadopuna podacima urbanog planiranja, meteorologije, zdravstva, poljoprivrede, šumarstva, hidrologije, ribarstva, ekologije i drugih područja.

Zahvale

Zahvaljujem USGS-u (*Unites States Geological Survey*) na omogućavanju korištenja Landsat 8 snimaka i popratnih meta podataka. Zahvaljujem LAADS-u (*Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System*) i NASA-i (*National Aeronautics and Space Administration*) na omogućavanju korištenja MODIS/Terra podataka. Također zahvaljujem svima koji omogućuju besplatno korištenje QGIS i GRASS GIS softvera.

Posebno zahvaljujem dr. sc. Željku Hećimoviću na mentorstvu, svom izdvojenom vremenu i korisnim savjetima prilikom izrade ovog rada. Vrlo sam zahvalan i Kristijanu Krznariću na ustupanju kompjuterske opreme i softvera za izradu ovoga rada.

Zahvaljujem svim najbližima na ljubavi i potpori, bez kojih ovaj rad ne bi bio realiziran, a posebno zahvaljujem supruzi Mariji, koja je kroz sve vrijeme bila uz mene.

Popis literature

- Augustine, J. A., Hodges, G. B. Cornwall, C. R., Michalsky, J. J., Medina, C. I. (2005): An update on SURFRAD—The GCOS surface radiation budget network for the continental United States, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 2005, 22, 1460–1472.
- 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.
- Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J. A. (2003): A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2003, 108, 4688–4697.
- 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.
- Momeni, M., Saradjian, M. (2007): Evaluating NDVI-based emissivities of MODIS bands 31 and 32 using emissivities derived by day/night LST algorithm, *Remote Sensing of Environment* 2007, 106, 190–198.
- Qin, Z., Dall’Olmo, G., Karnieli, A., Berliner, P. (2001): Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2001, 106, 22655–22670.
- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P. (2001) A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, *International Journal of Remote Sensing* 2001, 22, 3719–3746.
- Peel, M., C., Finlayson, B., L., McMahon, T., A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644.
- Peres, L. F., DaCamara, C. C. (2005): Emissivity maps to retrieve land-surface temperature from MSG/SEVIRI, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2005, 43, 1834–1844.
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., Karnieli, A. (2014): Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm, *Sensors* 2014, 14, 5768–5780.
- 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.
- Wan, Z., Li, Z.-L. (1997): A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 1997, 35, 980–996.

- 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. Landsat misije, http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php, (23.01.2015.)
- URL 2. Primjena ljetnog vremena 2014. godine, <http://www.timeanddate.com/time/dst/2014.html>, (24.02.2015.)
- URL 3. Statistički podaci županija, http://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/H02_02/H02_02.html, (24.02.2015.)
- URL 4. Landsat 8 misija, http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php, (24.02.2015.)
- URL 5. WRS, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3231>, (24.02.2015.)
- URL 6. Klasifikacija orbita, <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/>, (24.02.2015.)
- URL 7. Landsat 8 produkti, <http://landsat7.usgs.gov/landsat8.php>, (24.02.2015.)
- URL 8. Preuzimanje Landsat 8 podataka, <http://earthexplorer.usgs.gov>, (28.10.2014.)
- URL 9. Obavijesti o kalibraciji Landsat 8 podataka, http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php, (25.02.2015.)
- URL 10. Vijesti vezane za Landsat misiju, <http://landsat.usgs.gov/>, (27.04.2015.)
- URL 11. Opis Terra misije, <http://terra.nasa.gov/about>, (25.02.2015.)
- URL 12. Karakteristike MODIS senzora, <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>, (25.02.2015.)
- URL 13. Preuzimanje MODIS podataka, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>, (18.12.2014.)
- URL 14. MODIS produkti, <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/products.html>, (25.02.2015.)
- URL 15. Kalibracija Landsat 8 produkata, https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php, (28.10.2014.)
- URL 16. Detalji obrade Landsat 8 podataka, http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php, (25.02.2015.)
- URL 17. Fmask softver, <https://code.google.com/p/fmask/>, (11.03.2015.)
- URL 18. Meteorološki podaci za Osijek i Split, <http://www.wunderground.com/history/>, (15.04.2015.)
- URL 19. Komplex Mitrovac, <http://www.agrokor.hr/hr/vijesti/dovrsen-komplex-mitrovac-investicija-vrijedna-220-milijuna-kuna/>, (21.04.2015.)
- URL 20. Podaci temperature tla DHMZ-a, http://klima.hr/agro.php?id=agro_temp, (25.04.2015.)

Sažetak

Filip Kovačić

OBRADA I ANALIZA TEMPERATURE POVRŠINE TLA NA TEMELJU LANDSAT 8 PODATAKA

Za vrijeme dana Sunčeve zrake zagrijavaju Zemlju i prenose toplinsku energiju koja je jedan od uvjeta fizikalnih, bioloških i drugih temeljnih procesa na Zemlji. Temperaturu površine tla (*Land Surface Temperature, LST*) možemo mjeriti pored terestričkih metoda i primjenom satelitskih tehnologija. Terestrička mjerenja rezultiraju točkastim podacima LST-a, dok satelitski snimci rezultiraju kontinuiranim poljem podataka LST-a. U ovom radu su korišteni satelitski snimci dobiveni termalnim infracrvenim senzorom Landsat 8 satelita za područje Osječko-baranjske i Splitsko-dalmatinske županije. Korišten je najnoviji termalni infracrveni senzor (TIRS) Landsat misije koji ima dva kanala u međusobno susjednim dijelovima spektra. Odabrane su Landsat 8 snimke za datume 6. i 22. svibnja i za 13. listopada 2014. godine. Ovi datumi su odabrani kako bi se mogli analizirati temperaturni odnosi u različitim godišnjim razdobljima i zbog relativno male naoblake. Snimke su napravljene u 11 sati i 33 minute lokalnog vremena za Osječko-baranjsku i oko jedne minute kasnije za Splitsko-dalmatinsku županiju. Za obradu LST-a iz TIRS snimaka postoje tri algoritma u široj upotrebi koja su od lansiranja Landsat 8 satelita neprestano u razvoju. U ovom radu korišten je SW (*Split-Window*) algoritam prilagođen za TIRS, u sklopu kojega je izračunata emisija površine tla, te količina vodene pare na temelju MODIS senzora Terra satelita. Na osnovu SW algoritma izračunat je LST točnosti nešto veće od 1°C i prostorne rezolucije 30 m. Kvaliteta TIRS-a, točnost SW algoritma i specifične karakteristike odabranih županija omogućile su geotemperaturnu prostornu analizu različitih klimatskih područja, vrsta tla, pokrova tla vegetacijom, odnosa morskog, obalnog i kontinentalnog dijela, detektiranje odnosa temperature površine mora (*Sea Surface Temperature, SST*) na ušću Cetine u Jadransko more, detektiranje mikro toplinskih otoka koje najčešće uzrokuju industrijska postrojenja, određivanje urbanog utjecaja na LST i druge analize. Podaci provedene geotemperaturne analize se mogu koristiti u niz područja kao što su urbanizam i prostorno planiranje, ekologija, meteorologija, zdravstvo, hidrologija, poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo i druga. Mogućnosti analize i interpretacija prostornih objekata i prostornih odnosa na osnovu Landsat 8 podataka još nisu potpuno istražene i ovaj rad daje mali doprinos u razvoju ovog područja.

Ključne riječi: Landsat 8, TIRS, MODIS/Terra, SW algoritam, LST

Summary

Filip Kovačić

PROCESSING AND ANALYSIS OF LAND SURFACE TEMPERATURE BASED ON LANDSAT 8 DATA

Sun rays are heating the Earth during the day, transmitting thermal energy, which is one of main causes of physical, biological and other fundamental processes on Earth. Land surface temperature (LST), beside terrestrial methods, can be measured using satellite technologies. Terrestrial measurements are resulting discrete LST data, while satellite images are resulting continued field of LST data. Landsat 8 thermal infrared sensor satellite imageries for Osijek-Baranja and for Split-Dalmatia County, were used in this work. Newest thermal infrared sensor (TIRS) of Landsat mission with two adjacent thermal band, was used. Landsat 8 imageries for 6th and 22nd of May and 13th of October 2014. These days were chosen in order of temperature relations analysis in different seasons, and because of relatively small cloud coverage. Images were taken at 11:30 of local time for Osijek-Baranja, and about minute after for Split-Dalmatia County. There are three algorithms for TIRS imagery LST processing in wide use, which are in constant development since Landsat 8 was launched. In this work SW (Split-Window) algorithm applied for TIRS was used, within which land surface emissivity, along with water vapor content from MODIS sensor of Terra satellite, was calculated. Basing on SW algorithm, LST of accuracy slightly greater than 1°C and spatial resolution of 30 m, was calculated. TIRS quality, accuracy of SW algorithm and specific characteristics of chosen Counties have enabled geo temperature spatial analysis of different climate areas, soil types, vegetation covers, relations between sea, coast and continental areas, detection of sea surface temperature (SST) relations in delta of Cetina in Adriatic sea, detection of micro heat islands mainly caused by industries, determination of urban effect on LST and other analysis. Geo temperature analysis derived data can be used in many fields, like urbanism and spatial planning, ecology, meteorology, public health, hydrology, agriculture, forestry, fishing and other. Analysis and interpretation of spatial objects and spatial relations possibilities based on Landsat 8 data are still incompletely researched and this work gives small contribution in its development.

Keywords: Landsat 8, TIRS, MODIS/Terra, SW algorithm, LST

Životopis

Filip Kovačić rođen je 19. srpnja 1991. u Karlovcu, a odrastao je u Dugoj Resi, gdje je završio osnovnu školu. Po završetku osnovne škole upisuje opću gimnaziju, također u Dugoj Resi, koju završava polaganjem državne mature na višoj razini. Nakon položene državne mature 2010. godine upisuje Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

U ak. god. 2011/2012 uključuje se u studentski časopis studenata geodezije Ekscentar, sudjelovanjem u studentskim radionicama i pisanju članaka, čiji je danas urednik elektronske verzije. U srpnju 2013. završava preddiplomski studij geodezije i geoinformatike, nakon čega upisuje diplomski studij geodezije i geoinformatike, usmjerenje geodezija, na istom fakultetu. U jesen 2014. dobiva Dekanovu nagradu za rad „Urbani toplinski otoci Grada Zagreba“. Ubrzo potom počinje raditi kao student u geodetskoj tvrtki Geo-omega d.o.o.