

UDK 528.873:528.931:551.521.3:551.593  
Pregledni znanstveni članak / Review

# Usporedba vrijednosti vegetacijskog indeksa dobivenog na temelju digitalnog broja i refleksije na vrhu atmosfere

Luka RUMORA – Zagreb<sup>1</sup>, Ivan MEDVED, Ivan PILAŠ – Jastrebarsko<sup>2</sup>,  
Damir MEDAK – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Daljinska su istraživanja jedan od najraširenijih načina prikupljanja velike količine podataka na velikom prostoru zahvaljujući satelitskim misijama. Prikupljene satelitske snimke omogućile su prikupljanje informacija i shvaćanje mnogobrojnih procesa na Zemlji. Najveći napredak postignut je slobodnim pristupom satelitskim snimkama. Pristupom velikoj količini slobodnih podataka razvijen je i usavršen velik broj postupaka za njihovu daljnju obradu. S razvojem tehnologija dobiveni su i kvalitetniji rezultati. U ovom radu prikazana su dva načina obrade satelitskih podataka u svrhu dobivanja informacija o kvaliteti dobivenih vegetacijskih indeksa izračunatih pomoću digitalnog broja i refleksije. Prikazani su koraci izračuna vrijednosti refleksije iz vrijednosti digitalnog broja za svaki piksel. Analizirani su skokovi u rezultatima uzrokovani oblacima vizualnim promatranjem snimke i dobivenih vrijednosti vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (NDVI).

*Ključne riječi:* digitalni broj, refleksija na vrhu atmosfere, vegetacijski indeks normalizirane razlike, Landsat 7.

## 1. Uvod

Potreba za dobivanjem kvalitetnih informacija raste iz dana u dan. Daljinskim istraživanjima moguće je prikupiti velike količine podataka. Lansiranjem satelita za prikupljanje informacija o Zemljinoj površini te slobodnim distribuiranjem dobivenih podataka javila se sve veća potreba za njihovom kvalitetnom obradom. Najvažnija satelitska misija koja je omogućila globalnu raširenost slobodnih satelitskih snimaka

<sup>1</sup> Luka Rumora, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: lurumora@geof.hr,

prof. dr. sc. Damir Medak, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: dmedak@geof.hr,

<sup>2</sup> dr. sc. Ivan Medved, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, HR-10450 Jastrebarsko, Hrvatska, e-mail: ivanm@sumins.hr,

dr.sc. Ivan Pilaš, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, HR-10450 Jastrebarsko, Hrvatska, e-mail: ivanp@sumins.hr.

je Landsat misija. Landsat misijom je omogućeno prikupljanje multispektralnih snimaka. Vrijednosti piksela distribuiranih multispektralnih snimaka prikazane su digitalnim brojem (digital number – DN). Digitalni broj je broj koji označava intenzitet mjerene elektromagnetske energije reflektirane s tla (Huang i dr. 2002).

Za izračun vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) potrebno se koristiti refleksijom na vrhu atmosfere umjesto digitalnog broja (Parente 2013). NDVI je vegetacijski indeks koji služi za praćenje fotosintetske aktivnosti biljaka. Refleksija je solarno zračenje na radiometru reflektirano od tla, neovisno o međusobnom položaju Sunca i Zemlje.

U ovom radu prikazane su razlike između vegetacijskih indeksa izračunatih pomoću digitalnog broja i refleksije. Prikazani su koraci izračuna vrijednosti refleksije iz vrijednosti digitalnog broja za svaki piksel. Analizirani su skokovi u rezultatima uzrokovani oblacima vizualnim promatranjem snimke i promatranjem dobivenih vrijednosti NDVI-a.

## 2. Osnovna atmosferska korekcija Landsat 7 snimaka za izračun NDVI-a

U ovome radu korištene su satelitske snimke dobivene satelitom Landsat 7. Prilikom obrade podataka transformirani su izvorni podaci iz digitalnog broja u nivo svjetlosti. Obavljena je i transformacija iz nivoa svjetlosti u refleksiju na vrhu atmosfere. Na kraju je izračunan NDVI za potrebe daljnje analize. U daljnjem tekstu objasniti će se navedene veličine i postupak transformacije.

### 2.1. Misija Landsat 7

Satelitska misija Landsat najdugovječniji je program za prikupljanje satelitskih snimaka Zemlje. Započeo je lansiranjem satelita 23. srpnja 1972. Landsat misija stekla je veliku popularnost među istraživačima zbog omogućavanja besplatnog preuzimanja prikupljenih podataka. Podaci se koriste u agronomiji, kartografiji, geologiji, šumarstvu, geodeziji, regionalnom planiranju, nadzoru i školstvu (URL 1).

Landsat 7 (slika 1) lansiran je 15. travnja 1999. godine (tablica 1). Sadrži poboljšani tematski kartograf (Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+) senzor, koji

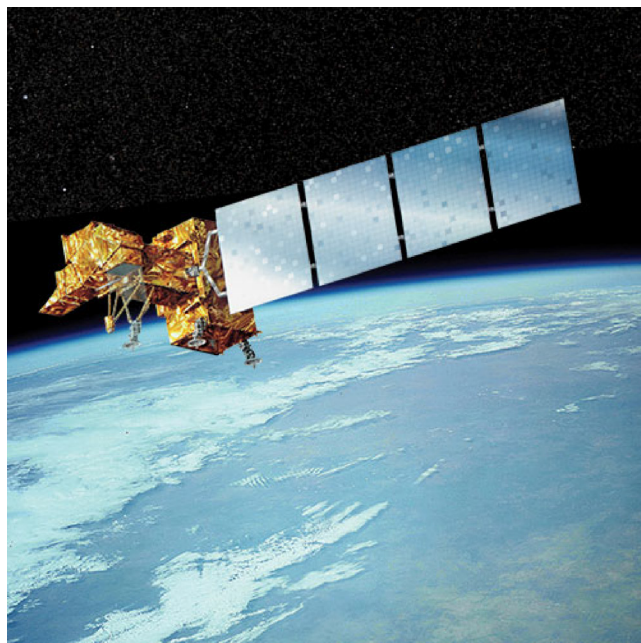
Tablica 1. Podaci o misiji Landsat 7.

Parametar	Vrijednost
Datum lansiranja	15. travanj 1999.
Senzor	ETM+
Visina orbite	705 km
Inklinacija	98,2°
Orbita	Polarna, sinkronizirana sa Suncem
Period obilaska (revolucije)	99 minuta
Vremenska razlučivost	16 dana

se sastoji od osam spektralnih kanala te značajke za globalne primjene, promatranje Zemljina pokrova i kartiranje velikih površina. Daje snimku u pankromatskom kanalu s površinskom razlučivosti 15 m x 15 m, termalnom IR kanalu s površinskom razlučivosti 60 m x 60 m, multispektralnom kanalu s površinskom razlučivosti 30 m x 30 m (tablica 2). Vremenska razlučivost satelita Landsat 7 je 16 dana.

Tablica 2. *Spektralni kanali senzora ETM+.*

Kanal	Valna duljina
Kanal 1 – plavi	0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$
Kanal 2 – zeleni	0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$
Kanal 3 – crveni	0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$
Kanal 4 – bliskoinfracrveni	0,77 – 0,90 $\mu\text{m}$
Kanal 5 – bliskoinfracrveni	1,55 – 1,75 $\mu\text{m}$
Kanal 6 – termalni	10,40 – 12,50 $\mu\text{m}$
Kanal 7 – srednji infracrveni	2,08 – 2,35 $\mu\text{m}$
Kanal 8 – pankromatski – PAN	0,52 – 0,90 $\mu\text{m}$



Slika 1. *Satelit Landsat 7 u orbiti.*

### 2.1.1. Digitalni broj

Svaka snimka može se smatrati kompletom malih, jednakih dijelova slikovnih elemenata posloženih u redove i stupce. Položaj svakog piksela definiran je u  $xy$  koordinatnom sustavu. Ishodište koordinatnog sustava, u slučaju Landsat snimka, nalazi se u gornjem lijevom kutu snimke. Svaki piksel ima numeričku vrijednost, koja se naziva digitalni broj (DN). Zbog toga se snimka može, umjesto dvodimenzionalnim, opisati i trodimenzionalnim koordinatnim sustavom u kojem koordinate  $x$  i  $y$  označavaju položaj piksela, a koordinata  $z$  je vrijednost digitalnog broja. Digitalni broj numerička je vrijednost intenziteta reflektirane elektromagnetske energije prostora definiranog veličinom piksela. Ovisno o kapacitetu pohrane, digitalni je broj prikupljen s konačnim brojem bitova. Brojem bitova definirana je radiometrijska rezolucija snimke. Snimke satelita Landsat 7 prikupljene su s 8 bitova. Ovisno o broju bitova definirana je skala vrijednosti. Raspon skale vrijednosti računa se prema formuli  $2^n$ . Stoga 8-bitna snimka posjeduje skalu od 0 do 255, jer formula  $2^8$  daje 256 vrijednosti. Raspon skale određuje vrijednosti unutar kojih se digitalni broj može nalaziti, zbog toga je potrebno skalirati vrijednosti prikupljenog intenziteta elektromagnetskog zračenja kako bi se nalazio unutar definirane skale. Digitalni se broj na snimci prikazuje vrijednošću intenziteta u svojoj skali boja. Ako je snimka radiometrijski kalibrirana, stvarna vrijednost intenziteta može se izračunati iz vrijednosti digitalnog broja piksela (Schroeder i dr. 2006).

### 2.1.2. Nivo svjetlosti

Normalizirano zračenje je ukupno emitirani tok zračenja normaliziran s prostornim kutom promatranja (u steradianima) ili smjerom propagacije svjetla, koje se definira sljedećim izrazom:

$$R_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{\text{SUN}\lambda} \cdot \cos(\theta_{\text{SE}})} \quad (1)$$

Mjerna jedinica normaliziranog zračenja je  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster}} \right]$ . Steradian je jedinica prostornoga kuta. Koristi se u trodimenzionalnom prostoru i analogna je mjernoj jedinici radian koji definira kut u dvodimenzionalnom prostoru. Sfera je određena s  $4\pi$  steradiana, a hemisfera s  $2\pi$  steradiana (Markham i Helder 2012). Detaljno objašnjenje parametara koji su navedeni u prethodnom izrazu, dano je u 5. poglavlju.

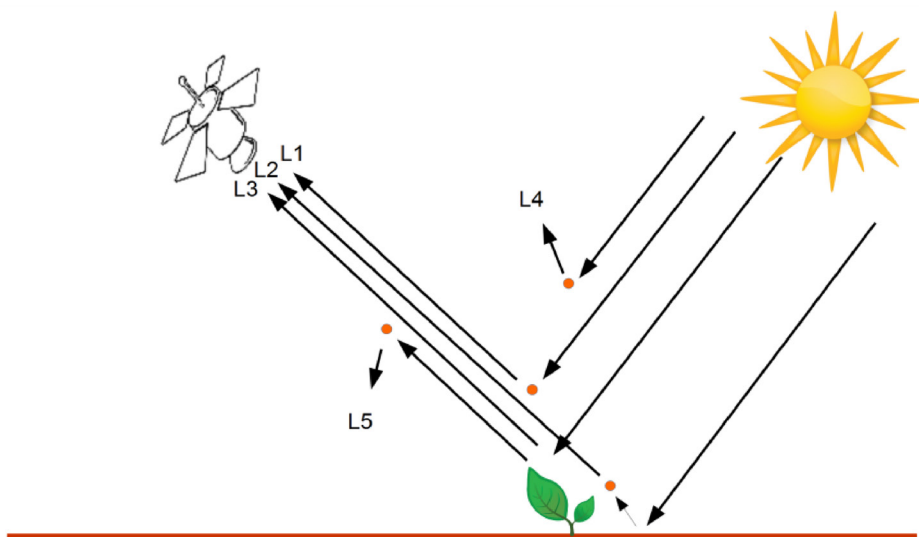
Za razliku od normaliziranog zračenja, koje prikuplja ukupnu vrijednost zračenja na svim valnim duljinama, nivo svjetlosti prikuplja pojedine vrijednosti zračenja na određenoj valnoj duljini izraženoj u mikrometrima. Nivo svjetlosti prikuplja se instrumentima na satelitu, a definiran je sljedećim izrazom:

$$L_\lambda = G_{\text{rescale}} \cdot Q_{\text{CAL}} + B_{\text{rescale}} \quad (2)$$

gdje je  $L_\lambda$  spektralni nivo svjetlosti,  $G_{rescale}$  skalarni dobitak,  $B_{rescale}$  skalarni bias i  $Q_{CAL}$  kvantizirana kalibrirana vrijednost piksela. Mjerna jedinica nivoa svjetlosti je  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$  (URL 2).

### 2.1.3. Refleksija na vrhu atmosfere

Za različite aplikacije mogu se upotrebljavati i nivo svjetlosti i refleksija. Refleksija je karakteristika promatranog materijala, te se stoga korištenjem refleksije mogu dobiti najpouzdaniji vegetacijski indeksi. Refleksija je odnos količine zračenja odaslanog prema objektu i količine povratnog zračenja (Mira i dr. 2014). Refleksija na vrhu atmosfere rezultat je međudjelovanja između elektromagnetskog zračenja koje dolazi sa Sunca, atmosfere kroz koju prolazi zračenje od Sunca prema Zemlji i natrag, i tla s kojeg se reflektira zračenje do senzora na satelitu. Taj postupak prikazan je na slici 2, gdje je  $L_1$  atmosfersko zračenje,  $L_2$  reflektirano zračenje,  $L_3$  zračenje okoline, dok su  $L_4$  i  $L_5$  povratno raspršeno zračenje (URL 3).



Slika 2. Refleksija Sunčeva zračenja.

## 3. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)

Kako bi se odredila gustoća zelenila na određenoj površini Zemlje, potrebno je promatrati različite valne duljine vidljivog i blizuinfračrvenog Sunčeva zračenja reflektiranog s biljaka. Kada Sunčevo zračenje dolazi do biljaka, pigmenti u listovima (klorofili) apsorbiraju vidljivu svjetlost (od 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ) za upotrebu u fotosintezi. Struktura stanica lista reflektira blizuinfračrvenu svjetlost (od 0,7 do 1,1  $\mu\text{m}$ ). Što više listova posjeduje biljka, veći je utjecaj na valne duljine svjetla

(Irish i dr. 2006). Zbog toga vegetacija u vidljivom spektru izgleda potpuno drugačije nego u blizuinfracrvenom spektru. Na temelju blizuinfracrvenih i crvenih valnih duljina određuju se relativne količine vegetacije. Ako postoji više reflektirane energije u blizuinfracrvenom spektru nego u vidljivom spektru, tada je vegetacija u tom pikselu vjerojatno gusta i može sadržavati travnata područja, tundru ili pustinju (URL 4).

Postoji velik broj satelita koji mjere crvene i blizuinfracrvene valne duljine reflektirane s površine Zemlje. Pomoću algoritama izvorni satelitski podaci transformiraju se u snimke. Na temelju snimaka određenih kanala mogu se izračunati vegetacijski indeksi. Vegetacijski indeks indikator je koji opisuje zelenilo (relativnu gustoću i zdravlje vegetacije) svakog elementa slike (piksel) na satelitskoj snimci. Vegetacijski indeksi baziraju se na opažanju kako različite površine različito reflektiraju zračenje (Dong i dr. 2015).

Najčešći je vegetacijski indeks normalizirane razlike (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI). To je indeks zelenila ili fotosintetske aktivnosti biljaka. Njegova biofizička interpretacija komadić je apsorbirane fotosintetske aktivnosti radijacije apsorbirane od površine (tla). Na NDVI utječe i velik broj drugih atributa, kao što su atmosferski uvjeti, skala snimke, vlaga vegetacije, vlaga tla, ukupni pokrov vegetacije, razlike u tipu zemlje, itd. NDVI ima smanjenu osjetljivost na promjene u količini vegetacije. To znači da se s povećanjem zelene vegetacije promjene u NDVI-u sve više smanjuju. Stoga prilikom visokih vrijednosti NDVI-a mala promjena u NDVI-u može označavati veliku promjenu u vegetaciji. Taj tip osjetljivosti problematičan je za analizu velikog područja s velikom količinom fotosintetski aktivne vegetacije (Pilaš i dr. 2014).

Budući da NDVI označava odnos dvaju kanala, pomaže u kompenzaciji razlika u osvjetljenju unutar snimke zbog zakrivljenosti i razlike između snimaka uzrokovane vremenom u danu ili sezoni kada su snimke prikupljene. Stoga je NDVI-em omogućena usporedba vremenskog niza snimaka za ekološke ili druge upotrebe (URL 5).

Vrijednosti NDVI-a nalaze se unutar intervala od  $-1$  do  $+1$ . Područja pokrivena kamenjem, pijeskom ili snijegom obično pokazuju niske vrijednosti NDVI-a ( $0,1$  ili manje). Rijetka vegetacija kao što je žbunje ili travnjak mogu rezultirati umjerenim vrijednostima NDVI-a (od  $0,2$  do  $0,5$ ). Visoke vrijednosti NDVI-a ( $0,6 - 0,9$ ) odgovaraju gustoj vegetaciji koja se može naći u umjerenim i tropskim šumama ili usjevima na vrhuncu rasta (Huete i Jackson 1987).

#### 4. Transformacija iz digitalnog broja u nivo svjetlosti

Prikupljene satelitske snimke geometrijski su i radiometrijski korigirane. Kalibrirani digitalni broj ( $Q_{CAL}$ ) ima jednaku radiometrijsku skalu za sve snimke (Finn i dr. 2012). Konverzija iz  $Q_{CAL}$  u nivo svjetlosti zahtijeva poznavanje gornje i donje granice originalnih koeficijenata za skaliranje. Informacije o koeficijentu skaliranja Landsat podataka nalaze se u datoteci metapodataka priloženoj uz preuzete snimke (slika 3) (Benabdelkader i Melgani 2008).

```

GROUP = L1 METADATA FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
  ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
  REQUEST_ID = "0101411031023_00013"
  LANDSAT_SCENE_ID = "LE718902820141415G100"
  FILE_DATE = 2014-11-03T15:15:15Z
  STATION_ID = "SG1"
  PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.5.0"
  DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
  DATA_TYPE = "L1T"
  ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
  OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
  EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
  SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
  SENSOR_ID = "ETM"
  SENSOR_MODE = "BUMPER"
  WRS_PATH = 189
  WRS_ROW = 028
  DATE_ACQUIRED = 2014-05-21
  SCENE_CENTER_TIME = 09:37:10.9455608Z
  CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 47.01737
  CORNER_UL_LON_PRODUCT = 15.10789
  CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 46.96943
  CORNER_UR_LON_PRODUCT = 18.31423
  CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 45.07061
  CORNER_LL_LON_PRODUCT = 15.10417
  CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 45.02581
  CORNER_LR_LON_PRODUCT = 18.20005
  CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 508200.000
  CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 5207100.000
  CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 752100.000
  CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = 5207100.000
  CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 508200.000
  CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = 5207100.000

```

Slika 3. Primjer dijela datoteke s metapodacima.

Formula za konverziju iz digitalnog broja u nivo svjetlosti je (Chander i dr. 2009):

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \cdot Q_{CAL} + B_{rescale}, \quad (3)$$

pri čemu je:

$$G_{rescale} = \frac{(L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda})}{(Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN})},$$

$$B_{rescale} = L_{MIN\lambda} - \frac{(L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda})}{(Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN})} \cdot Q_{CALMIN}.$$

Stoga se  $L_\lambda$  može izraziti kao:

$$L_\lambda = \frac{(L_{\text{MAX}\lambda} - L_{\text{MIN}\lambda})}{(Q_{\text{CALMAX}} - Q_{\text{CALMIN}})} \cdot (Q_{\text{CAL}} - Q_{\text{CALMIN}}) + L_{\text{MIN}\lambda}, \quad (4)$$

gdje su:

$L_\lambda$  – spektralni nivo svjetlosti na otvoru blende senzora  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$G_{\text{rescale}}$  – skalirani dobitak  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$B_{\text{rescale}}$  – skalirani bias  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$Q_{\text{CAL}}$  – kvantizirana kalibrirana vrijednost piksela [DN]

$L_{\text{MIN}\lambda}$  – spektralni nivo svjetlosti skaliran na  $Q_{\text{CALMIN}}$   $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$L_{\text{MAX}\lambda}$  – spektralni nivo svjetlosti skaliran na  $Q_{\text{CALMAX}}$   $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$Q_{\text{CALMIN}}$  – minimalna kvantizirana kalibrirana vrijednost piksela [DN]

$Q_{\text{CALMAX}}$  – maksimalna kvantizirana kalibrirana vrijednost piksela [DN].

Sve navedene vrijednosti osim  $L_{\text{MIN}\lambda}$  i  $L_{\text{MAX}\lambda}$  preuzimaju se iz metapodataka priloženih uz preuzete satelitske snimke. Vrijednosti  $L_{\text{MIN}\lambda}$  i  $L_{\text{MAX}\lambda}$  konstantne su i definirane za satelit Landsat 7 (tablica 3, URL 6).

Tablica 3. Interval spektralnog nivoa svjetlosti ETM+ senzora.

Broj kanala	Niski nivo svjetlosti		Visoki nivo svjetlosti	
	$L_{\text{MIN}}$ $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$	$L_{\text{MAX}}$ $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$	$L_{\text{MIN}}$ $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$	$L_{\text{MAX}}$ $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$
1	-6,20	293,70	-6,20	191,60
2	-6,40	300,90	-6,40	196,50
3	-5,00	234,40	-5,00	152,90
4	-5,10	241,10	-5,10	157,40
5	-1,00	47,57	-1,00	31,06
6	0,00	17,04	3,20	12,65
7	-0,35	16,54	-0,35	10,80
8	-4,70	243,10	-4,70	158,30



## 5. Transformacija iz nivoa svjetlosti u refleksiju na vrhu atmosfere

Snimke prikupljene različitih datuma imaju različite solarne zenitne kutove, različitu udaljenost između Sunca i Zemlje te različito egzoatmosfersko solarno zračenje koje proizlazi iz razlike spektralnih kanala. Razliku od snimke do snimke moguće je ukloniti konverzijom nivoa svjetlosti na senzoru u refleksiju na vrhu atmosfere (Top of the Atmosphere Reflection – TOA reflection). Chandler i dr. (2009) spomenuli su kako TOA refleksija pomaže u uklanjanju kosinusova efekta različitih zenitnih kutova i kompenzira za različite vrijednosti egzoatmosferskoga solarnog zračenja. Također korigira varijacije u udaljenosti između Zemlje i Sunca ovisno o datumu prikupljanja podataka. Konverzijom iz blještavila u refleksiju omogućuje se bolja usporedba između scena prikupljenih različitih datuma. Refleksija na vrhu atmosfere dio je Sunčeve energije reflektirane s površine Zemlje (URL 7). Računa se sljedećom formulom:

$$R_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{\text{SUN},\lambda} \cdot \cos(\theta_{\text{SE}})}, \quad (5)$$

gdje su:

$R_{\lambda}$  – planetarna refleksija na vrhu atmosfere

$L_{\lambda}$  – nivo svjetlosti  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m}} \right]$

$d$  – udaljenost između Zemlje i Sunca [astronomska jedinica]

$E_{\text{SUN},\lambda}$  – srednje egzoatmosfersko solarno zračenje  $\left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$

$\theta_{\text{SE}}$  – solarni visinski kut [°].

Udaljenost između Zemlje i Sunca te solarni visinski kut ovise o odabranoj sceni, danu u godini i vremenu u danu kada je snimka prikupljena. Solarni elevacijski kut i dan u godini nalaze se u datoteci metapodataka priloženoj uz preuzete snimke. Vrijednosti  $E_{\text{SUN},\lambda}$  dane su u tablici 4 za svaki kanal satelita Landsat 7 (Ouaidrari i Vermote 1999).

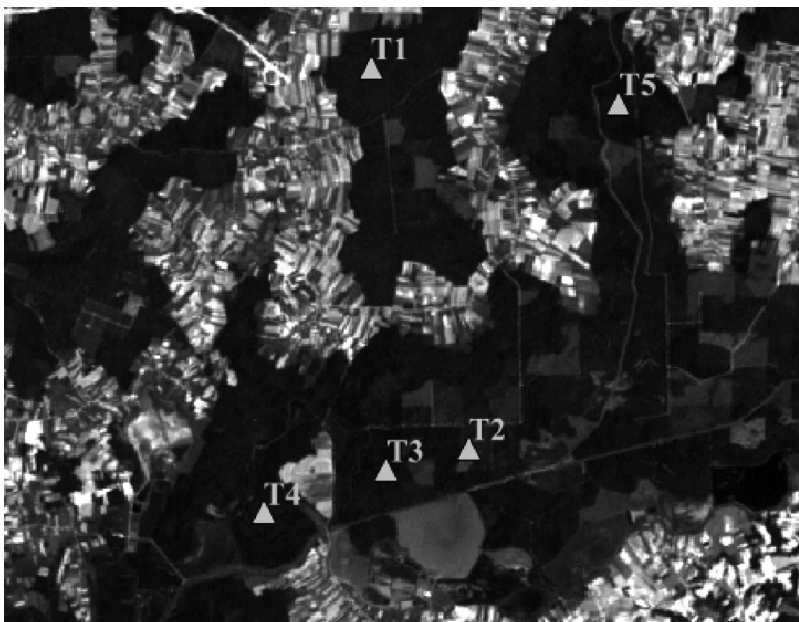
Tablica 4. Srednja vrijednost egzoatmosferskoga solarnog zračenja za svaki kanal satelita Landsat 7.

Kanal	$E_{\text{SUN},\lambda} \left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$
1	1970,00
2	1842,00
3	1547,00
4	1044,00
5	225,70
7	82,06
8	1369,00

## 6. Provedena istraživanja i analiza dobivenih rezultata

U projektu su upotrijebljene satelitske snimke satelita Landsat 7 u razdoblju od siječnja 2014. do siječnja 2015. godine. Upotrijebljeno je ukupno dvanaest snimaka. Postupak konverzije iz digitalnog broja u refleksiju kod satelita Landsat 7 provodi se prethodnom konverzijom iz digitalnog broja u nivo svjetlosti, te zatim konverzijom iz nivoa svjetlosti u refleksiju prije navedenim postupcima (URL 8).

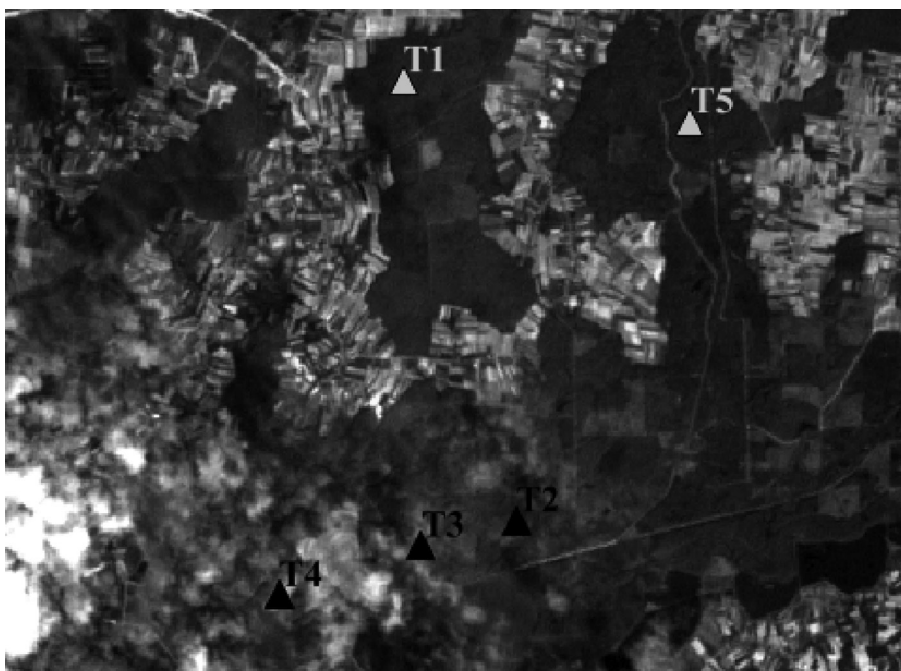
Na temelju satelitskih snimaka s digitalnim brojem i satelitskih snimaka s refleksijom izračunan je NDVI za svaku snimku. Korištenjem dobivenih snimaka NDVI-a izabrano je pet uzoraka na području šume (slika 4).



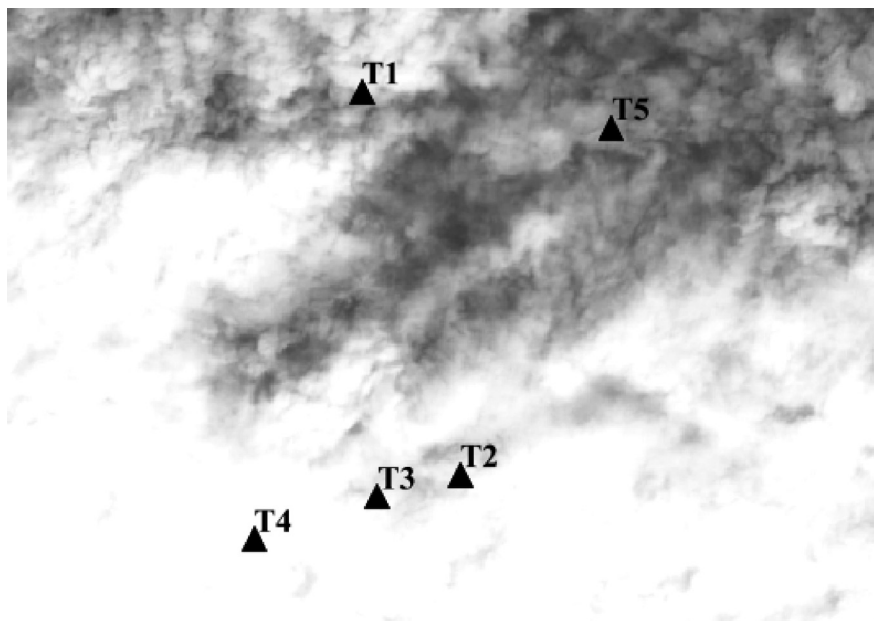
Slika 4. Položaj korištenih uzoraka.

U konačnici je iz dobivenih rezultata izrađen graf za svaku točku (slika 7). Na grafu su elipsama (slika 7) označene vrijednosti nastale zbog oblaka. Točnije, oblaci su pokrili područje uzorka, stoga dobivena vrijednost predstavlja iznos oblaka, a ne vrijednost NDVI-a na tlu (slike 5 i 6).

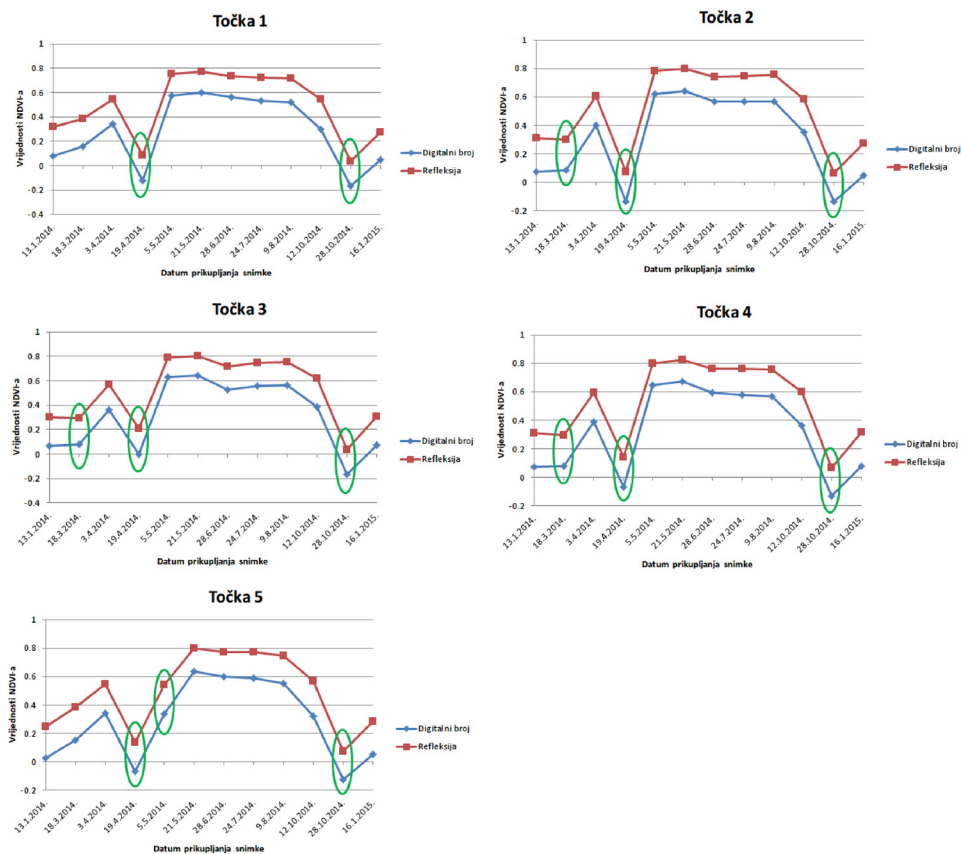
Usporedbom dobivenih grafova vidljiv je jednaki trend kretanja u vrijednostima digitalnog broja i u vrijednostima refleksije. Iz toga se može zaključiti da je za potrebe korištenja apsolutnih podataka potrebno korištenje NDVI vrijednosti dobivenih iz podataka refleksije. S druge strane, za potrebe relativnog odnosa u nekom razdoblju, kao što je praćenje trenda NDVI vrijednosti, mogu se upotrebljavati podaci dobiveni na oba, prije navedena, načina. Analizom vrijednosti uočeni su skokovi u dobivenim rezultatima. Dodatnom vizualnom analizom snimaka na kojima su vidljivi skokovi u vrijednostima uočena je pojava oblaka na području



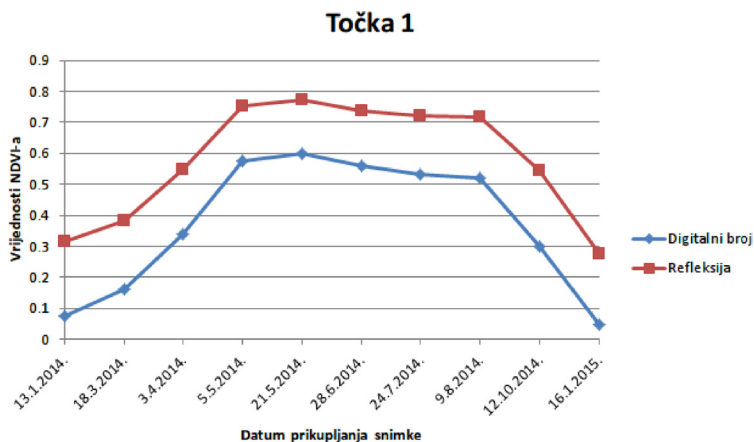
Slika 5. Oblaci na snimci prikupljenoj 18. 3. 2014.



Slika 6. Oblaci na snimci prikupljenoj 19. 4. 2014.



Slika 7. Usporedba vrijednosti NDVI-a dobivenih digitalnim brojem i refleksijom na uzorku od pet točaka.



Slika 8. Graf vrijednosti NDVI-a s uklonjenim vrijednostima oblaka.

prikupljenog uzorka (slike 5 i 6). Rezultate dobivene na tim mjestima potrebno je ukloniti kako ne bi utjecali na rezultate daljnjih analiza (slika 8).

Uklanjanjem vrijednosti NDVI-a na kojima se nalaze oblaci (slika 8) omogućena je usporedba ispravnih vrijednosti NDVI-a dobivenih temeljem digitalnog broja i refleksijom.

## 7. Zaključak

Satelitske snimke danas su najrašireniji način prikupljanja podataka na velikim površinama. Besplatno dostupnim satelitskim snimkama mogu se dobiti velike količine novih podataka. Način obrade dobivenih podataka jedan je od temeljnih preduvjeta za dobivanje kvalitetnih rezultata. Ovim radom prikazana su dva načina obrade satelitskih podataka u svrhu dobivanja informacija o kvaliteti dobivenoga vegetacijskog indeksa. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI) jedan je od najviše korištenih vegetacijskih indeksa. Kao takav vrlo je važan širokoj znanstvenoj populaciji. Stoga je potrebno poznavanje procesa izračuna NDVI-a. Jedan od koraka tog procesa uključivao je pitanje treba li se koristiti podacima refleksije ili je dovoljno korištenje podataka digitalnog broja. S tim pitanjem definirano je i pitanje kvalitete podataka.

U radu je obrađen postupak korištenja snimaka satelita Landsat 7. Na temelju izvornih snimaka s vrijednostima digitalnog broja proveo se postupak transformacije u vrijednosti nivoa svjetlosti. Zatim je provedena transformacija vrijednosti iz nivoa svjetlosti u refleksiju na vrhu atmosfere. Na temelju snimaka s vrijednostima digitalnog broja i snimaka s vrijednostima refleksije izračunan je vegetacijski indeks NDVI. Prikupljen je uzorak od pet točaka na području šume i uspoređene su dobivene vrijednosti. Zaključeno je kako je poželjno korištenje podataka refleksije, iako postoje određeni slučajevi u kojima je dovoljno korištenje podataka digitalnog broja.

*ZAHVALA. Ovaj rad financirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom AFO-RENSA I-2389-2015, br. projekta 1924.*

## Literatura

- Benabdelkader, S., Melgani, F. (2008): Contextual spatio-spectral postreconstruction of cloud-contaminated images, *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 5, 2, 204–208.
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. (2009): Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote sensing of environment*, 113, 5, 893–903.
- Dong, J., Xiao, X., Kou, W., Qin, Y., Zhang, G., Li, L., Jin, C., Zhou, Y., Wang, J., Biradar, C. (2015): Tracking the dynamics of paddy rice planting area in 1986–2010 through time series Landsat images and phenology-based algorithms, *Remote Sensing of Environment*, 160, 99–113.
- Finn, M. P., Reed, M. D., Yamamoto, K. H. (2012): A straight forward guide for processing radiance and reflectance for EO-1 ALI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and ASTER, *Unpublished Report from USGS/Center of Excellence for Geospatial Information Science*, 8.
- Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., Zylstra, G. (2002): Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance, *International Journal of Remote Sensing*, 23, 8, 1741–1748.
- Huete, A. R., Jackson, R. D. (1987): Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 23, Issue 2.
- Irish, R. R., Barker, J. L., Goward, S. N., Arvidson, T. (2006): Characterization of the Landsat-7 ETM+ automated cloud-cover assessment (ACCA) algorithm, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72, 10, 1179–1188.
- Markham, B. L., Helder, D. L. (2012): Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review, *Remote Sensing of Environment*, 122, 30–40.
- Mira, M., Olivos, A., Rivalland, V., Courault, D., Marloie, O., Guillevic, P. (2014): Quantifying uncertainties in land surface temperature due to atmospheric correction: Application to Landsat-7 data over a Mediterranean agricultural region, In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*, IEEE, 2375–2378.
- Ouaidrari, H., Vermote, E. F. (1999): Operational atmospheric correction of Landsat TM data, *Remote Sensing of Environment*, 70, 1, 4–15.
- Parente, C. (2013): TOA reflectance and NDVI calculation for Landsat 7 ETM+ images of Sicily, *Electronic International Interdisciplinary Conference*, 351–354.
- Pilaš, I., Medved, I., Medak, J., Medak, D. (2014): Response strategies of the main forest types to climatic anomalies across Croatian biogeographic regions inferred from FAPAR remote sensing data, *Forest ecology and management*, Vol. 326, 58–78.
- Schroeder, T. A., Cohen, W. B., Song, C., Canty, M. J., Yang, Z. (2006): Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon, *Remote sensing of environment*, 103, 1, 16–26.

### **Mrežne adrese**

- URL 1: Landsat 7 ETM+ data and data products,  
<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>, (19. 10. 2015.).
- URL 2: Radiance vs. Reflectance,  
<http://www.exelisvis.com/Company/PressRoom/TabId/190/ArtMID/786/ArticleID/3377/3377.aspx>, (21. 10. 2015.).
- URL 3: Landscape Toolbox,  
[http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote\\_sensing\\_methods:normalized\\_difference\\_vegetation\\_index](http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:normalized_difference_vegetation_index), (21. 10. 2015.).
- URL 4: Normalized Difference Vegetation Index,  
[http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php), (21. 10. 2015.).
- URL 5: NDVI as an Indicator of Drought,  
[http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php), (21. 10. 2015.).
- URL 6: Conversion to Radiance,  
[http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data\\_prod/prog\\_sect11\\_3.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/prog_sect11_3.html), (21. 10. 2015.).
- URL 7: Radiance to Reflectance,  
[http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data\\_prod/prog\\_sect11\\_3.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/prog_sect11_3.html), (21. 10. 2015.).
- URL 8: Digital Image Processing,  
<http://www.ciesin.org/docs/005-477//005-477.html>, (21. 10. 2015.).

# Comparison of Vegetation Index Value Based on Digital Number and Top of Atmosphere Reflectance

*ABSTRACT.* Remote sensing is common way for collecting large amount of data across large area as a result of satellite missions. Collected satellite images allows gathering informations for understanding Earth processes. Biggest advantage was free satellite data access. Accessing large amount of free data, number of methods for processing gathered satellite images were developed. With technology development, processed data have better quality. This article shows two ways of processing satellite data for gathering informations about quality of vegetation index calculated with digital number and with reflectance. Steps of calculation reflectance for each pixel from digital number is shown. Leaps in results, caused by clouds, were analysed by visual interpretation of image and from results of calculated normalized difference vegetation index (NDVI).

*Keywords:* digital number, top of atmosphere reflection, normalized difference vegetation index, Landsat 7.

*Primljeno / Received:* 2016-01-21

*Prihvaćeno / Accepted:* 2016-03-01