

UDK 528.8:628.4(497.521.2)
Pregledni znanstveni članak / Review

Koncept otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba primjenom metoda daljinskih istraživanja

Andrija KRTALIĆ, Vesna POSLONČEC-PETRIĆ,
Sandra VRGOČ – Zagreb¹

SAŽETAK. U članku je opisan koncept otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada na dijelu područja grada Zagreba primjenom metoda daljinskih istraživanja na satelitskim snimkama visoke rezolucije WorldView-2. Obavljena je segmentacija vrijednosti piksela brojčanih satelitskih snimki, a nakon toga je provedena objektivno orijentirana klasifikacija (u softverskom paketu Definiens Professional 5.0) na odabranim izvornim i poboljšanim snimkama navedenog satelitskog sustava prema parametrima: srednjak i standardno odstupanje. Nakon provedene klasifikacije dobiveni su rezultati filtrirani pomoću indikatora ilegalnih odlagališta otpada u GIS-softverskom paketu ArcGIS. Konačni su rezultati interpretirani (parametrima matrice konfuzije) i provjereni (validirani) preklapanjem s referentnim podacima o poznatim ilegalnim nesanimiranim odlagalištima otpada i izlaskom na teren.

Ključne riječi: gospodarenje otpadom, daljinska istraživanja, WorldView-2 snimke, segmentacija, objektivna klasifikacija, otkrivanje.

1. Uvod

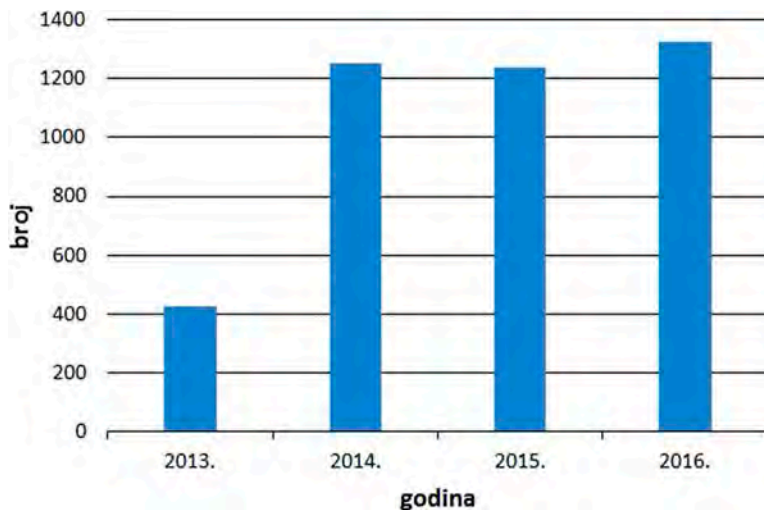
Jedan od aktualnih ekoloških problema u Republici Hrvatskoj (RH) prikupljanje je, razvrstavanje i zbrinjavanje otpada (Fundurulja i dr. 2001), a poglavito pronalaženje i sanacija ilegalnih odlagališta otpada (Dragičević 2009). Otpad kojega se vrijedna svojstva mogu iskoristiti mora se odvojeno sakupljati i skladištiti (zbrinuti), a odlagalište mora ispunjavati zahtjeve utvrđene *Zakonom o održivom gospodarenju otpadom* (u daljnjem tekstu: *Zakon*) (URL 1), koji je usklađen s Ugovorom potpisanim između članica Europske unije, i direktivom Europske unije *Directive*

¹ doc. dr. sc. Andrija Krtalić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: kandrija@geof.hr,

doc. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: vposlonc@geof.hr,

Sandra Vrgoč, mag. ing. geod. et geoinf., Srednjaci 18, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: sandravrgoc@hotmail.com.

2006/12/EC (URL 7). U svrhu nadzora provedbe odredbi Zakona i upravljanja sustavom gospodarenja otpadom RH vodi se Informacijski sustav gospodarenja otpadom (URL 1). Zbog načina i brzine nastajanja ilegalnih odlagališta o njima ne postoji točna evidencija, pa je broj takvih odlagališta teško procijeniti. Popisom iz 2010. godine, npr., evidentirano je čak 266 ilegalnih odlagališta na području Istarske županije što je, prema procjeni, tek 40% ukupnog broja ilegalnih odlagališta (URL 2). U gradu Zagrebu se već dulje vrijeme akumuliraju problemi s ilegalnim odlagalištima otpada, broj kojih u prethodne tri godine premašuje brojku od 1200 lokacija unutar administrativnih granica grada (slika 1) (URL 3).



Slika 1. Broj ilegalnih odlagališta na području grada Zagreba u razdoblju od 2013. do 2016. godine (URL 3).

Inspekcijski nadzor primjene propisa donesenih u Zakonu provode inspektori zaštite okoliša Ministarstva zaštite okoliša i energetike (URL 1), a metode daljinskih istraživanja mogu se primijeniti kao alat za prikupljanje dodatnih informacija za praćenje postojećih legalnih (Drimaco 2012, Faisal i dr. 2012, Shaker i dr. 2010, URL 4) ili za otkrivanje ilegalnih odlagališta otpada ispod (Wu i Huang 2006) ili na površini zemlje (Quinlan i dr. 2006, Glanville i Chang 2015, Navaro i dr. 2016). Tim informacijama, deriviranim metodama daljinskih istraživanja iz zračnih i satelitskih snimki, mogu se koristiti inspektori zaštite okoliša, lokalna zajednica i tvrtke koje upravljaju legalnim odlagalištima otpada. U nastavku je opisan koncept deriviranja takvih informacija.

2. Otpad

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti (URL 1). Karakteristika je otpada da je svojem korisniku postao nekoristan, ali se još uvijek može iskoristiti popravljanjem ili recikliranjem. Zbog toga je pravilno gospodarenje otpadom važno kako bi isti ponovno bio stavljen u upotrebu.

2.1. Klasifikacija otpada

Sukladno Pravilniku o katalogu otpada (URL 5), koji je usklađen s *Decision 2000/532/EC* (URL 8), s obzirom na svojstva kojima djeluje na zdravlje ljudi i okoliš, otpad se klasificira kao neopasni i opasni otpad (URL 5).

Neopasni otpad je otpad koji ne posjeduje ni jedno od opasnih svojstava određenih Dodatkom III. Zakona (URL 1).

Opasni otpad je otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava određenih Dodatkom III. Zakona (URL 1).

2.2. Gospodarenje otpadom

Gospodarenje otpadom je djelatnost sakupljanja, prijevoza, zbrinjavanja i druge obrade otpada, uključujući nadzor nad tim postupcima te nadzor i mjere koje se provode na lokacijama nakon zbrinjavanja otpada (URL 1).

Građevina za gospodarenje otpadom je građevina za sakupljanje otpada (skladište otpada, pretovarna stanica i reciklažno dvorište), građevina za obradu otpada i centar za gospodarenje otpadom (URL 1). Te građevine moraju udovoljiti strogim sigurnosnim i zdravstvenim uvjetima. Suprotno tome, neusklađeno (ilegalno, *divlje*) odlagalište je odlagalište koje ne ispunjava uvjete propisane Zakonom (URL 1). Na tim se odlagalištima ne obavlja razvrstavanje otpada po grupama nego se sve vrste otpada i smeća odlažu nekontrolirano i miješaju (slika 2). Ta odlagališta su predmet istraživanja koje je opisano u nastavku.



Slika 2. Prikaz jednog ilegalnog odlagališta otpada na području grada Zagreba (snimio Robert Ančić/Pixell) (URL 6).

3. Otkrivanje ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba primjenom metoda daljinskih istraživanja

Pojam *Earth observation* (promatranje Zemljine površine) označava postupke prikupljanja informacija i podataka o površini Zemlje, objektima i fenomenima na njoj, te praćenje fizikalnih, kemijskih i bioloških promjena tih objekata i fenomena u vremenu. Metode daljinskih istraživanja su jedno od sredstava za prikupljanje, predobradu, obradu i interpretaciju prikupljenih informacija i podataka unutar tih postupaka. Glavni su izvor tih podataka snimke satelitskih sustava koji prikupljaju podatke o Zemljinoj površini s određenim vremenskim bazama (Lavender, S. i Lavender, A. 2016) i na taj način im daju četvrtu dimenziju. Ključ učinkovite uporabe metoda daljinskih istraživanja je dobro definiranje i artikuliranje potreba za informacijama i indikatora promatranog fenomena. Tako prikupljene informacije i podaci mogu se pohraniti u geografskom informacijskom sustavu (GIS) i mogu koristiti ekspertima u pojedinim područjima za podršku pri odlučivanju. U ovom slučaju riječ je o upravljanju i nadzoru legalnih i pronalaženju ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba.

Istraživanje opisano u ovom radu motivirano je demonstracijom mogućnosti uporabe metoda daljinskih istraživanja za otkrivanje i praćenje ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba i sličnim istraživanjem provedenim u sklopu projekta Wastemon (URL 12), koji je osnovala ESA. Taj su projekt u Italiji provodile tvrtke Planetek Italia s.r.l., ERA-Maptec Ltd. i EBA Engineering Consultants. Navedeni servis za unapređenje gospodarenjem otpadom bazira se na segmentaciji satelitskih snimki visoke rezolucije WorldView-2 i objektnom klasificiranju, a opisan je u Drimaco (2012). Razlike u pristupu i provođenju koncepata otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada bit će istaknute u nastavku. Prije odabira takvog koncepta pregledana je i ostala dostupna literatura o istom ili sličnom problemu. U Navaro i dr. (2016) opisana je metoda otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada prstenovanjem galebova GPS-uređajima, nakon čega se prati njihovo kretanje i prikazuje na satelitskim snimkama visoke rezolucije. Shaker i dr. (2010) opisali su metodu otkrivanja odlagališta uporabom viševremenskih (*multi-temporal*) Landsat snimki preko kojih su određivane površinske temperature i uočeno je da su temperature površine pod otpadom veće od okoline. Autori Glanville i Chang (2015) daju pregled metoda daljinskih istraživanja koje se razvijaju u svrhu praćenja i/ili kartiranja ilegalnih odlagališta otpada koristeći satelitske podatke.

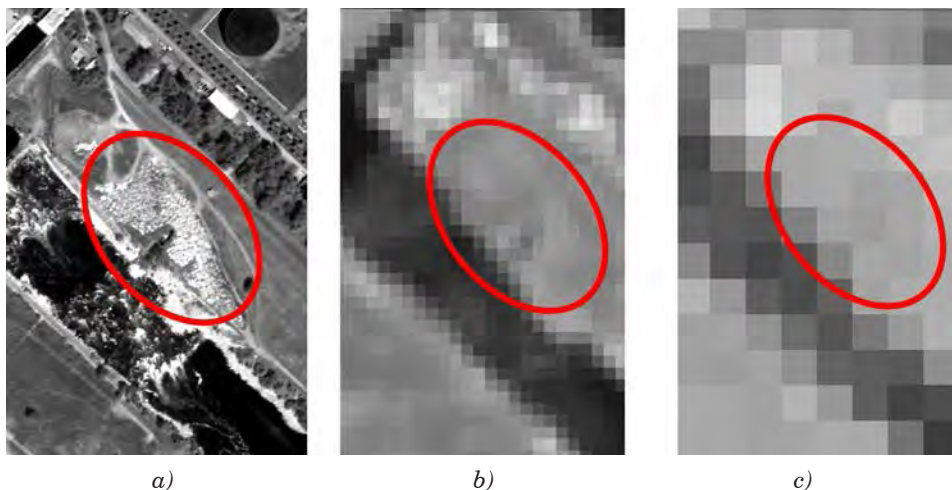
3.1. Izbor odgovarajućih satelitskih snimki

Objekti od interesa, koje pokriva ovaj članak, ilegalna su odlagališta otpada. Cilj istraživanja postignut je uspostavljanjem procedure otkrivanja tih objekata na satelitskim snimkama visoke rezolucije WorldView-2 (u daljnjem tekstu *WorldView-2 snimke*) (URL 9). Na slici 2 je prikazano tipično ilegalno odlagalište otpada koje treba otkriti na satelitskim snimkama. Glavni problem u otkrivanju takvih objekata je raznolikost predmeta koji ih čine (bijela plastika, tamni i svijetli drveni namještaj, bijela tehnika, kućne potrepštine, građevinski otpad). Naime, riječ je o predmetima izrađenim od bitno različitih materijala koji rezultiraju različitom refleksijom po valnim duljinama, što utječe na radiometrijsku nehomogenost objekta koji ga čine na kanalima što ih zapisuje senzor posredstvom refleksije.

Satelitske snimke sustava Landsat (URL 10) i Copernicus (Sentinel 2A) (URL 11) besplatne su i dostupne za prihvata i korištenje, ali zbog njihovih prostornih razlučivosti (tablica 1) nisu pogodne za ovu namjenu. Površina njihovih piksela je prevelika u odnosu na predmete koji se na odlagalištima nalaze i prilikom stvaranja snimki dolazi do prevelikog usrednjavanja radiometrijskih vrijednosti tih predmeta (slika 3). Zbog tih činjenica i zbog adekvatnije veličine piksela (tablica 1), za istraživanje i provedbu koncepta otkrivanja odlagališta opisanog u ovom članku izabrane su WordView-2 snimke.

Tablica 1. Pregled prostornih rezolucija satelitskih snimki WorldView-2 (URL 9), Sentinel 2A (ESA 2015) i Landsat 8 (USGS 2016) po kanalima, u nadiru.

Prostorna rezolucija snimki satelitskih sustava po kanalima (u nadiru)			
Kanali	WorldView-2	Sentinel 2A	Landsat 8
Pankromatski: izvorni	0,46 m x 0,46 m		15 m x 15 m
Pankromatski: izvan SAD-a, degradiran	0,5 m x 0,5 m		
Multispektralni, degradirani	2,0 m x 2,0 m		
1–5, 7			30 m x 30 m
6			60 m x 60 m
2,3,4,8,		10 m x 10 m	
5,6,7,8b,11,12		20 m x 20 m	
1,9,10		60 m x 60 m	



Slika 3. Prikaz ilegalnog odlagališta otpada na području grada Zagreba na satelitskim snimkama (u crvenoj elipsi): a) WorldView-2 (pankromatski, 0,5 m x 0,5 m), b) Sentinel 2A (kanal 8, 10 m x 10 m), c) Landsat 8 (kanal 5, 30 m x 30 m).



Slika 4. RGB WorldView-2 snimka na kojoj se vidi područje grada Zagreba na kojem je provedeno istraživanje.

Za potrebe ovog istraživanja od Europske svemirske agencije (ESA) zatražen je pristup WordView-2 snimkama područja grada Zagreba. Pristup je odobren i set snimki (slika 4) preuzet je s portala ESA Earth Observation Users' Single Sign On (Vrgoč 2017).

3.2. Izbor područja za analizu

Kako bi se provela spektralna analiza objekta od interesa i ostalih objekata na sceni potrebno je poznavati spektralne karakteristike objekta koji se želi detektirati i njegova okolina. U tu je svrhu priskrbljena informacija o poziciji jednoga poznatog ilegalnog odlagališta otpada koje je pronađeno na WordView-2 snimkama (slika 6).

3.3. Predobrada WordView-2 snimki

Preuzeti skup WordView-2 snimki dijela Zagreba (*WV2_OPER_WV-110_2A_20130808T103039_N45-706_E015-950_4061.SIP*) sadržava 9 kanala (pankromatski i 8 multispektralnih, slika 5) (DIGITALGLOBE b 2010) razine obrade 2A (DIGITALGLOBE) koji su radiometrijski i geometrijski korigirani projiciranjem na ravninu u projekciji WGS84 UTM33, od strane proizvođača. Snimke su nastale 8. kolovoza 2013. godine u 10 h 30 min i 39 sec (Vrgoč 2017).



Slika 5. Prikaz WorldView-2 spektralnih kanala po valnim duljinama (preuzeto iz URL 9).

Zbog činjenice da pankromatski kanal ima 16 puta bolju prostornu rezoluciju od multispektralnih WorldView-2 kanala, provedeno je poboljšanje multispektralnih kanala (*Pan-sharpening*) (Campbell i Wynne 2011) s pankromatskim kanalom u svrhu bolje vizualne interpretacije WorldView-2 snimki u softverskom paketu *ArcGIS 10*. Poboljšanje kanala je postupak kombiniranja spektralnih informacija sadržanih u multispektralnim kanalima slabije prostorne rezolucije (2 m) s prostornom rezolucijom pankromatskoga kanala (0,5 m), što je novina u odnosu na koncept opisan u Drimaco (2012).

3.4. Segmentacija WorldView-2 snimki

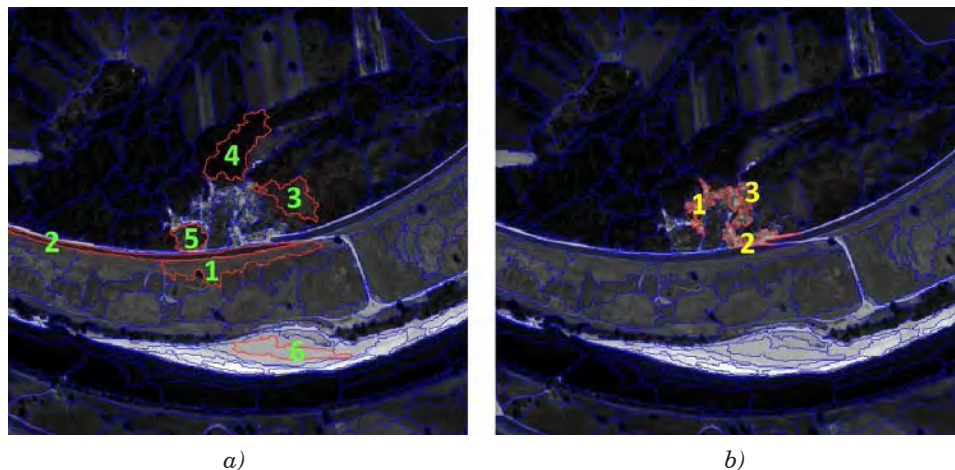
Segmentacija digitalne snimke (DEFINIENS 2006) proces je razlaganja digitalne slike na manje dijelove (objekte) koji imaju zajednička svojstva (značajke), odnosno spajanje pojedinih piksela sličnih značajki u segmente (Navulur 2006). Segmentacija je provedena na WorldView-2 snimkama 2A razine obrade i na poboljšanim kanalima u programskom paketu Definiens Professional 5.0, po heurističkom modelu koji je i patentiran u sklopu razvoja ovog softvera za objektno orijentiranu analizu digitalnih snimki (Navulur 2006).

Definiens Professional 5.0, tvrtke Trimble, nudi algoritam višerezolucijske segmentacije (*multiresolution segmentation* – MS) koji je regionalno baziran (Navulur 2006). MS tehnika segmentacije promatra svaki piksel kao zasebne objekte koje potom spaja u segmente. Odluka o spajanju objekata temelji se na lokalnom

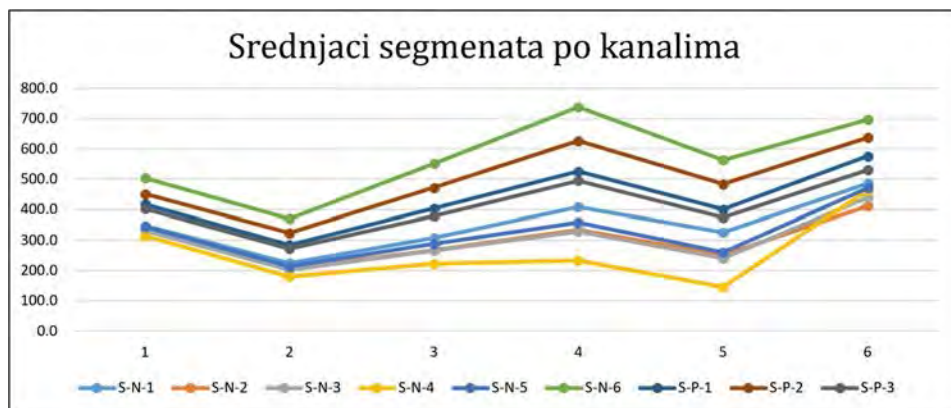
kriteriju homogenosti *parametru mjerila (scale parameter)* koji opisuje sličnost između susjednih vrijednosti piksela slike. Ako je vrijednost parametra s prirastom vrijednosti susjednog piksela unutar definiranoga kriterija (praga), oni se spajaju, a ako je veća, segment se zatvara i od tog se piksela stvara novi segment (Darwish i dr. 2003). Kriterij se u osnovi bazira na vrijednosti standardnog odstupanja. Ako se postavi niža vrijednost, segment će biti homogeniji i manji, a ako se prag podigne na veću vrijednost veličine standardnog odstupanja, segmenti će biti nehomogeniji i veći. Upravo je ova potonja činjenica iskorištena pri provođenju segmentacije i klasifikacije na bazi objekata i novina je u odnosu na koncept opisan u Drimaco (2012). Parametar mjerila nije strogo definiran od strane proizvođača, pa je provedeno nekoliko segmentacija na izvornim i poboljšanim kanalima dok nije dobiven povoljan rezultat za ulazak u klasifikaciju (prema segmentima za poznato ilegalno odlagalište, slika 6). Područje grada Zagreba koje prikazuju WorldView-2 snimke zadovoljavajućom je segmentacijom podijeljeno na 30 984 objekta čime je stvoren preduvjet za klasifikaciju.

3.5. Klasifikacija

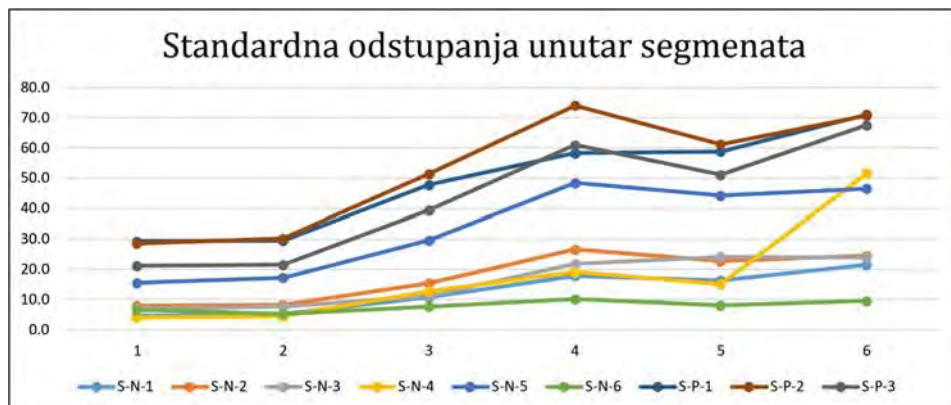
Zbog činjenice da se na ilegalnim odlagalištima otpad ne razvrstava, takva područja na snimkama imaju vrlo velik raspon vrijednosti piksela koji je prikazuju (slika 2). Nasuprot tome, prirodni i umjetni objekti, uglavnom, zadržavaju veći stupanj homogenosti vrijednosti piksela koji ih čine. Jedna od mjera homogenosti skupa standardno je odstupanje i ona je u ovom istraživanju iskorištena kao jedan od parametara prema kojem je provedena klasifikacija. Drugi parametar koji je korišten u klasifikaciji, kao izvorni podatak o refleksiji insolacije (Lavender, S. i Lavender, A. 2016), srednja je vrijednost piksela unutar pojedinog segmenta. Na slici 6a prikazani su *negativni* segmenti (ne predstavljaju odlagalište), a na slici 6b *pozitivni* segmenti (predstavljaju odlagalište). Raščlambom vrijednosti srednjaka (slika 7) i standardnih odstupanja (slika 8) uočava se veća sličnost vrijednosti



Slika 6. Prikaz a) negativnih (ne predstavljaju odlagalište) segmenata (predstavnici klasa: 1 – vegetacija 1; 2 – put uz smetlište; 3 – vegetacija 2; 4 – vegetacija 3; 5 – golo tlo; 6 – šljunak), b) pozitivnih (predstavljaju odlagalište) segmenata.



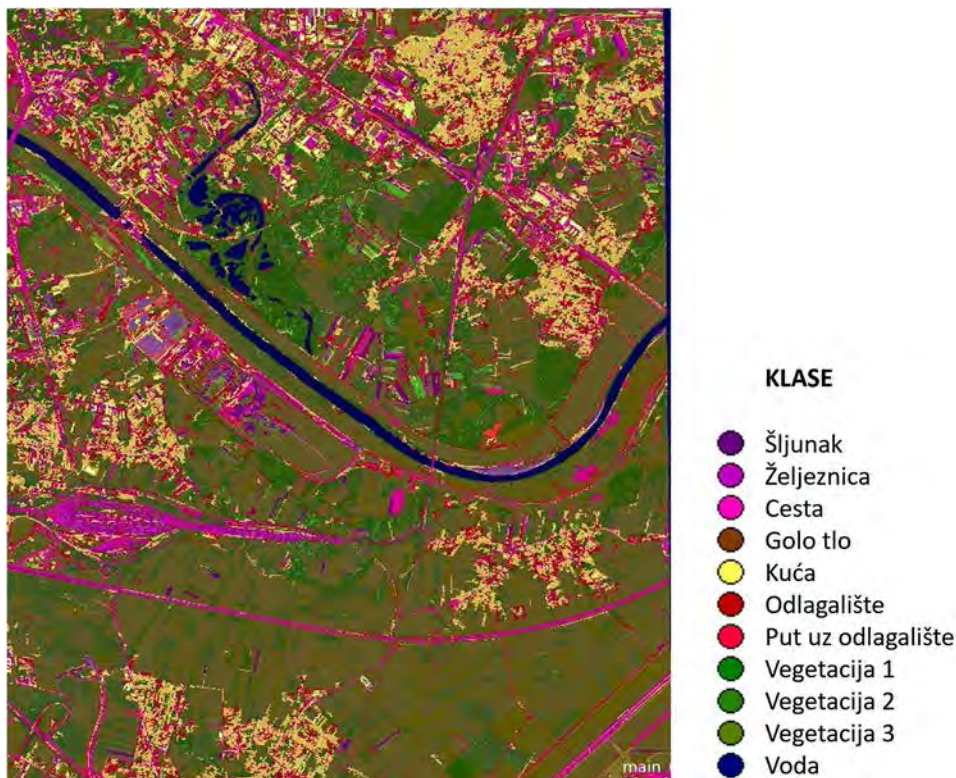
Slika 7. Dijagram vrijednosti srednjaka za negativne (S-N-1-6) i pozitivne segmente (S-P-1-3) sa slike 6.



Slika 8. Dijagram vrijednosti standardnog odstupanja za negativne (S-N-1-6) i pozitivne segmente (S-P-1-3) sa slike 6.

srednjaka, a izraženija različitost u vrijednostima standardnog odstupanja (osim u kanalu 5, S-N-5) između segmenata na 6 izvornih WorldView-2 kanala. Sličnost i različitost tih parametara ovise o stupnju sličnosti ili različitosti odbačenih predmeta, ali prikazani primjer upućuje na mogućnost diskriminacije segmenata prema vrijednostima standardnog odstupanja unutar segmenata.

Vizualnim pregledom scene i ispitivanjem spektralnih karakteristika i vrijednosti standardnih odstupanja segmenata koji čine pojedine objekte na sceni utvrđeno je da klasifikaciju treba provesti na 11 klasa i izostaviti višespektralne kanale 1 i 2 zbog manje izraženih razlika u vrijednostima navedenih parametara (slike 7 i 8). Objektno orijentirana klasifikacija provedena je u softverskom paketu *Definiens Professional 5.0* po metodi najbližih susjeda (*Nearest Neighbour*) na 11 odabranih klasa (slika 9) korištenjem parametara srednjak i standardno odstupanje. Ulazi u klasifikaciju su sljedeći: pankromatski i 4 multispektralna WorldView-2 kanala, te poboljšane verzije 4 višespektralna kanala.



Slika 9. Rezultat objektno orijentirane klasifikacije na 11 odabranih klasa.

Dobiveni rezultat klasifikacije nije zadovoljavajući jer je previše segmenata svrstano u klasu *Odlagalište*, što ne odgovara stanju na terenu. U svrhu filtriranja rezultata klasifikacije, klasa *Odlagalište* izvezena je iz softverskog paketa *Definiens Professional 5.0* i pohranjena u obliku vektorske (*shapefile*) datoteke. Datoteka je nakon toga unesena u GIS-softverski paket *ArcMap*, gdje je nastavljena daljnja obrada.

Budući da je broj objekata u klasi *Odlagalište* bio 3431, učinjeno je dodatno filtriranje klase prema GIS-raščlambama. U tu svrhu određeni su indikatori prisutnosti ilegalnog odlagališta otpada na nekom području (u daljnjem tekstu – *indikator*) koji pomažu u odluci koja segmentirana područja ostaju kao sumnjiva, a koja se mogu zanemariti. Indikatori su objekti na sceni koji interpretatora navode na zaključak da bi se odlagalište moglo nalaziti u njihovoj blizini. To su npr. objekti:

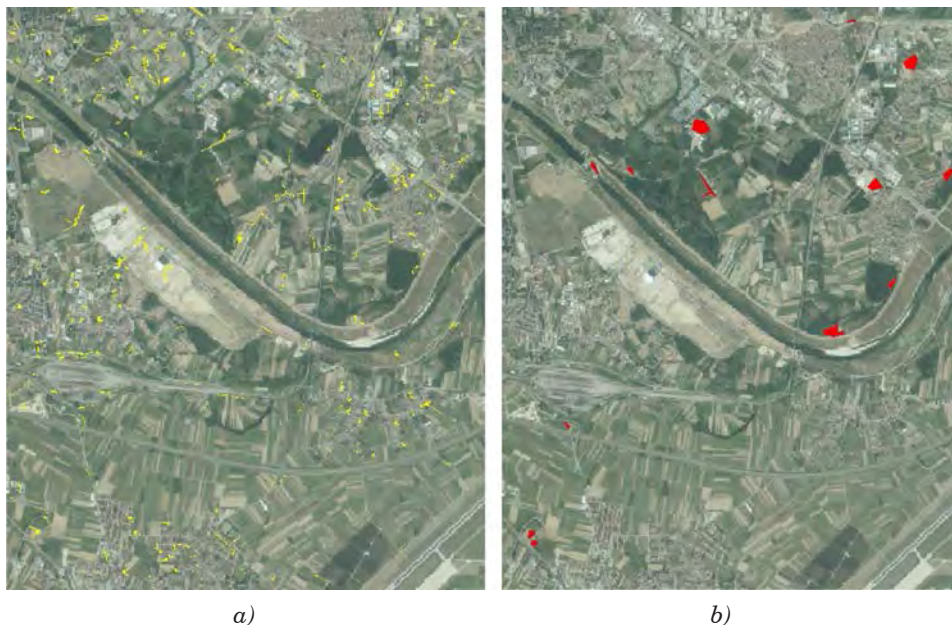
- staze i putevi (relativno) udaljeni od zgrada i kuća,
- kanali i nasipi s prilaznim putevima,
- mjesta zaklonjena od pogleda u parkovima ili šumovitim predjelima urbanih sredina,
- obale rijeka s prilaznim putevima,
- šumski proplanci s prilaznim stazama,

kojima su zajedničke karakteristike udaljenost od očiju i nazočnosti ljudi i prilazni putevi kojima se može brzo prići i udaljiti s mjesta na kojem se nekontrolirano iskrcava otpad. Na osnovi takvih indikatora mogu se upitima izdvojiti sva potencijalna područja na kojima se mogu nalaziti legalna odlagališta otpada. Uočeno je da je klasa *Odlagalište* na nekim područjima bliska klasama *Kuća*, *Šljunak*, *Cesta* i *Vegetacija 1-3* gdje su mnogobrojni izgrađeni objekti svrstani u klasu kojoj ne pripadaju. Nakon filtriranja ostalo je 325 segmenata koji prikazuju potencijalna ilegalna odlagališta otpada (slika 10a).

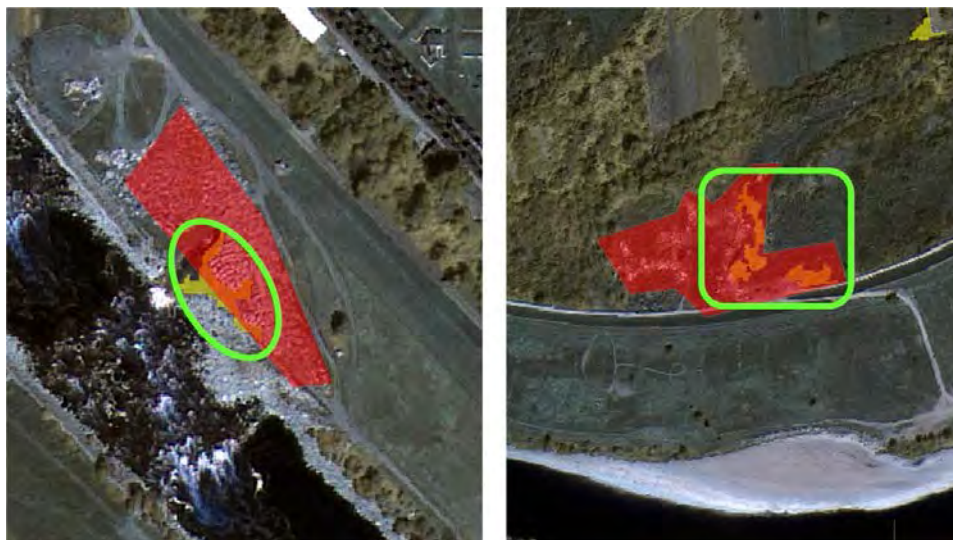
4. Provjera dobivenih rezultata

Nakon provedene klasifikacije i filtriranja njezinih rezultata, pristupilo se određivanju kvalitete provedenoga koncepta i dobivenih rezultata. U tu svrhu kreirani su referentni podaci u obliku vektoriziranih postojećih poznatih nesansiranih ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba (slika 10b) prikazanih na slici 4. Vektorizacija je izvedena na digitalnim ortofoto prikazima (DOF) mjerila 1:2000.

Preklpom navedenih vektorskih podataka dobiven je njihov presjek što označava točno klasificirane segmente, odnosno otkrivena ilegalna odlagališta otpada. Na slici 11 prikazani su primjeri presjeka tih poligona za dvije lokacije (7 i 9 iz tablice 2). Od ukupno 13 ručno vektoriziranih poznatih ilegalnih odlagališta otpada 11



Slika 10. Prikaz a) filtriranih rezultata objektno orijentirane klasifikacije, potencijalna ilegalna odlagališta otpada (žuti poligoni) i b) vektoriziranih područja poznatih ilegalnih odlagališta otpada (crveni poligoni), prikazanih preko DOF-a 1:2000 (Vrgoč 2017).



Slika 11. Prikazi presjeka rezultata klasifikacije i vektoriziranih referentnih poligona (u zelenoj elipsi i zelenom pravokutniku) za lokacije broj 7 (lijevo) i 9 (desno) (Vr-goč 2017).

Tablica 2. Tablica s koordinatama otkrivenih (potvrđenih) ilegalnih odlagališta otpada na području grada Zagreba prikazanim na slici 4.

Redni broj	WGS84_N [deg]	WGS84_E [deg]	HTRS96_X [m]	HTRS96_Y [m]
1	16,0536090	45,7934072	465296,09472	5072712,88152
2a	16,0623279	45,7886226	465971,01757	5072177,39264
2b	16,0613415	45,7890950	465894,61540	5072230,30757
3a	16,0564882	45,7765746	465509,54973	5070840,92053
3b	16,0573295	45,7762563	465574,78568	5070805,18534
4	16,0672263	45,7774370	466345,13801	5070932,19534
5	16,0314611	45,7751606	463562,36191	5070694,87991
6	16,0205902	45,7778238	462718,71449	5070995,87401
7	16,0151723	45,7779304	462297,46766	5071010,25132
8	16,0595228	45,7662706	465739,23780	5069694,47340
9a	16,0512120	45,7611381	465089,61461	5069127,66467
9b	16,0519548	45,7608935	465147,23938	5069100,15904
10	16,0109904	45,7516999	461954,43447	5068097,10097
11	16,0057740	45,7400448	461540,59262	5066804,29620

Tablica 3. Vektori konfuzije koji prikazuju kvalitetu rezultata provedenoga koncepta otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada, točnost proizvođača i korisnika.

Broj poznatih ilegalnih odlagališta otpada	Broj otkrivenih	Broj neotkrivenih	Otkriveni (%)	Neotkriveni (%)
	11	2	85	15
	<i>Pozitivni segmenti</i>	<i>Negativni segmenti</i>	<i>Ispravno određeno (%)</i>	<i>Lažna uzbuna (%)</i>
13	17	308	5	95

ih je otkriveno (potvrđeno) presjekom, što znači da je klasifikacija potvrdila postojanje ilegalnih odlagališta otpada u 11 od 13 slučajeva. Rezultati provedena koncepta mogu se interpretirati rječnikom matrice konfuzije (Congalton i Green 2009), odnosno vektorom u ovom slučaju, jer je riječ samo o jednoj klasi od interesa (tablica 3). Točnost *proizvođača* (*producer's accuracy*) (Congalton i Green 2009) iznosi 85% (11 od 13), a točnost je *korisnika* (*user's accuracy*) (Congalton i Green 2009) 5% (17 od 325). Propušteno je otkrivanje 15% (2 od 13) ilegalnih odlagališta (*omission error*) (Congalton i Green 2009), a lažno je proglašeno (*commission error*) (Congalton i Green 2009) ilegalnim odlagalištem 95% segmenta (308 od 325).

U tablici 2 prikazan je popis koordinata za 11 otkrivenih ilegalnih odlagališta otpada.

Dodatna provjera rezultata ovoga koncepta izvršena je izlaskom na teren i njihovim fotografskim dokumentiranjem (slika 12). Nekim su lokacijama pridružene dvije koordinate zbog toga što su nakon presjeka dobivena dva poligona s malim razmakom koja predstavljaju isto odlagalište. Osim toga, u blizini mjesta koja su određena kao ilegalno odlagalište otpada često se nalazi još nekoliko manjih odlagališta budući da otpad nije koncentriran na jednoj hrpi.



Slika 12. Fotografije ilegalnih odlagališta otpada na lokacijama 7 (lijevo) i 9 (desno) iz tablice 2 (Vrgoč 2017).



a)

b)

Slika 13. Fotografije novootkrivenih ilegalnih odlagališta otpada na putu od lokacije 7 do lokacije 9 iz tablice 2: a) rasuti otpad, b) otpad odbačen ispod željezničkog mosta (Vrgoč 2017).

Putem od lokacije broj 7 do lokacije broj 9 otkrivena su nova (nepoznata) mjesta na kojima se ilegalno odlaže otpad, no ta mjesta zbog manjeg obujma odloženog otpada (slika 13a) i njihova položaja (ispod mosta) (slika 13b) nisu vidljiva na satelitskim snimkama.

5. Zaključak

Na području grada Zagreba postoje dva legalna odlagališta otpada, a na dijelu grada što ga pokrivaju WorldView-2 snimke i koji je bio područje interesa u istraživanju za ovaj rad nalazi se 13 ilegalnih odlagališta otpada od kojih je 11 otkriveno korištenjem metoda daljinskih istraživanja i GIS-obrađena. Opisanim konceptom otkrivanja ilegalnih odlagališta otpada otkriveno je i dokumentirano 85% takvih mjesta, što upućuje na velik potencijal u svrhu gospodarenja otpadom. Nadalje, terenski pregled dobivenih rezultata opisanoga koncepta rezultirao je otkrićem dvaju do sada nepoznatih odlagališta otpada na području grada Zagreba. Na taj način inspektori zaštite okoliša Ministarstva zaštite okoliša i energetike mogu lakše i brže doći do informacija ili podataka o starim (širenje) ili novim (nastajanje) ilegalnim odlagalištima otpada i poduzimati korake u vezi njih. Koncept ne daje konačne rezultate, već rezultate koje treba provjeriti i verificirati na terenu, ali pruža informacije o potencijalnim mjestima gdje se odlagališta mogu nalaziti. Na taj se način omogućuje bolje planiranje nadzora i pregleda terena i štedi vrijeme.

Uz pogodnosti koje nude satelitske snimke visoke rezolucije satelitskih sustava kakav je WorldView-2 (u smislu prikazivanja i obrade velikih područja) postoje i geometrijska i radiometrijska ograničenja pri korištenju metoda daljinskih istraživanja. Od dvaju neotkrivenih odlagališta jedno nije otkriveno zbog toga što se nalazi ispod konstrukcije mosta (pa je samim time nevidljivo iz zraka), a drugo zato što otpad nije bio nabacan na hrpu već je bio razasut po široj površini. Nadalje, koncept je rezultirao i velikom količinom lažnih alarma (95%), što je manji

problem jer je postotak otkrivanja velik, ali ipak govori o (ne)pouzdanosti koncepta.

Daljnja istraživanja treba usmjeriti u pronalazak dodatnih parametara za provođenje segmentacije i klasifikacije te u definiranje liste indikatora ilegalnih odlagališta otpada koji se mogu vidjeti na snimkama ili pozicionirati u prostoru (kontekstualni podaci) kako bi se uz efikasnost povećala i pouzdanost opisanoga koncepta.

ZAHVALA. Opisano istraživanje omogućila je European Space Agency (ESA) besplatnim ustupanjem satelitskih snimki visoke rezolucije WorldView-2 za dio područja grada Zagreba. Rad je motiviran i početkom istraživanja na Erasmus+ Sector Skills Alliances projektu: EO4GEO – Towards an innovative strategy for skills development and capacity building in the space geo-information sector supporting Copernicus User Uptake (No. 591991-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-SSA-B), što ga financira Europska komisija.

Literatura

- Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011): *Introduction to Remote Sensing*, 5th edition, The Guilford Press, New York, U.S.
- Congalton, G. R., Green, K. (2009): *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data, Principles and Practices*, 2nd edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, U.S.
- Darwish, A., Leukert, K., Reinhardt, W. (2003): *Image Segmentation for the Purpose of Object-Based Classification*, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03, Proceedings, IEEE International, 2039–2041, http://test.ecognition.com/sites/default/files/337_fr07_1420.pdf.
- DEFINIENS (2006): *Definiens Professional 5*, Reference Book, Definiens AG, München, Germany.
- DIGITALGLOBE, Base product series FAQ, <https://www.c-agg.org/wp-content/uploads/DigitalGlobe-Base-Product-FAQ.pdf>, (9.1.2018.).
- DIGITALGLOBE b (2010): *White paper, The Benefits of the 8 Spectral Bands of World-View 2*, https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/35/DG-8SPECTRAL-WP_0.pdf, (9.1.2018.).
- Dragičević, J. S. (2009): *Odlagališta komunalnog otpada na području Hrvatske*, Građevinar, Vol. 61, No. 8, 769–773.
- Drimaco, D. (2012): *A Monitoring Services to Improve waste Management at Local Level*, Window on GMES, A GMES4REGIONS publication, 134–139.
- ESA (2015): *Sentinel-2 User Handbook*, https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook, (9.1.2018.).
- Faisal, K., Al-Ahmad, M., Shaker, A. (2012): *Remote Sensing Techniques as a Tool for Environmental Monitoring*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012, XXII ISPRS Congress, 25 August – 1 September, Melbourne, Australia.
- Fundurulja, D., Mužinić, M., Pletikapić, Z. (2001): *Odlagališta komunalnog otpada na području Hrvatske*, Građevinar, Vol. 52, No. 12, 727–734.
- Glanville, K., Chang, H. C. (2015): *Remote Sensing Analysis Techniques and Sensor Requirements to Support the Mapping of Illegal Domestic Waste Disposal Sites in Queensland, Australia*, Remote Sensing, 2015, 7, 13053–13069.
- Lavender, S., Lavender, A. (2016): *Practical Handbook of Remote Sensing*, 5th edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, U.S.
- Navarro, J., Grémillet, D., Afán, I., Ramírez, F., Bouten, W. (2016): *Feathered Detectives: Real-Time GPS Tracking of Scavenging Gulls Pinpoints Illegal Waste Dumping*, PLoS ONE, Vol. 7, No. 11, 1–9.
- Navulur, K. (2006): *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, U.S.
- Quinlan, B., Huybrechts, C., Schmidt, C., Skiles, J. W. (2006): *Detecting Waste Tire Piles Using High-resolution Satellite Imagery and an Image Processing Model in Two Regions of California*, ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada, May 1–5, Vol. 52, No. 12, 727–734.
- Shaker, A., Faisal, K., El-Ashmawy, N., Yan, W. Y. (2010): *Effectiveness of Using Remote Sensing Techniques in Monitoring Landfill Sites Using Multi-temporal*

Landsat Satellite Data, Al-Azhar University Engineering Journal, JAUES, Vol. 5, No. 1, December, 542–551.

USGS (2016): LANDSAT 8 (L8), DATA USERS HANDBOOK,

<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>, (9.1.2018.).

Vrgoč, S. (2017): Primjena Worldview-2 satelitskih snimaka za detekciju ilegalnih odlagališta otpada, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Wu, T. N., Huang, Y. C. (2006): Detection of Illegal Dump Deposit with GPR: Case Study, Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management, ASCE, July, 144–149.

Mrežne adrese

URL 1: Zakon.hr, NN 94/13, 73/17, Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o održivom gospodarenju otpadom, 14. srpnja 2017.,

<https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom>, (2.1.2018.).

URL 2: Istarski.hr, Na području Istre 266 divljih odlagališta otpada,

<http://www.istarski.hr/node/5408>, (2.1.2018.).

URL 3: Cistoca.hr, Čišćenje divljih odlagališta,

<http://www.cistoca.hr/usluge/ciscenje-divljih-odlagalista/1314>, (2.1.2018.).

URL 4: Arts & Humanities Research Council, Satellite Monitoring as a Legal Compliance Tool in the Environment Sector, Case Study Two: The Disposal of Waste on Land and Remote Sensing,

<http://www.envirosecurity.org/helf/UCL%20Case%20Study%20on%20Waste%20Monitoring.pdf>, (5.1.2018.).

URL 5: NN 90/2015, Pravilnik o katalogu otpada,

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_90_1757.html, (3.1.2018.).

URL 6: Zagreb guše divlja odlagališta otpada,

<http://balkans.aljazeera.net/vijesti/zagreb-guse-divlja-odlagalista-otpada>, (5.1.2018.).

URL 7: Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste, Official Journal of the European Communities,

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:en:PDF>, (5.1.2018.).

URL 8: Commission Decision amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes, Official Journal of the European Communities of 16 January 2001,

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:047:0001:0031:EN:PDF>, (5.1.2018.).

URL 9: Satellite imaging corporation, WorldView-2 Satellite Sensor,

<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>, (9.1.2018.).

URL 10: Landsat Missions, USGS,

<https://landsat.usgs.gov/>, (9.1.2018.).

URL 11: Copernicus, Europe's eyes on Earth,

<http://www.copernicus.eu/>, (9.1.2018.).

URL 12: Wastemon, Earth Observation for Waste Management Services, Plantek, Italia,

<http://www.planetek.it/eng/projects/wastemon>, (5.1.2018.).

The Concept of Detecting Illegal Waste Landfills in the Zagreb Area Using the Remote Sensing Methods

ABSTRACT. The article describes the concept of detecting illegal waste landfills in a part of the City of Zagreb by using remote sensing methods on high-resolution satellite images WorldView-2. Pixel base segmentation of the high-resolution satellite images was performed, and then the object-oriented classification (in the Deffiniens Professional 5.0 software) was performed on the selected source and pan-sharpened images of the satellite images according to the parameters: mean and standard deviation. After the classification had been carried out, the results obtained were filtered using indicators of illegal waste disposal landfills in the GIS ArcGIS software package. The final results were interpreted (by matrix confusion parameters) and verified by overlapping with reference data about known illegal laundered waste landfills and by checking them in the field.

Keywords: waste management, remote sensing, WorldView-2 images, segmentation, object-oriented classification, detection.

Primljeno / Received: 2018-01-23

Prihvaćeno / Accepted: 2018-02-05