

Detekcija i analiza azbestnih krovova na području grada Zagreba primjenom tehnika daljinskih istraživanja

doc. dr. sc. Mateo Gašparović¹, Antun Jakopec, mag. ing. geod. et geoinf.²

¹ Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, mgasparovic@geof.hr

² Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, ajakopec@geof.hr

Sažetak: Azbest je prirodni mineral koji se u prošlom stoljeću uvelike koristio kao građevni materijal te se zbog svojih fizikalnih svojstava, posebice izolacijskih, koristio za izradu krovnih ploča. Tijekom 20. stoljeća došlo se do spoznaje da je azbest kancerogen. Kancerogenu emisiju azbestnih vlakana uzrokuje bušenje, obnavljanje, rušenje, građenje te bilo kakvo drugo nepropisno pohranjivanje i zbrinjavanje azbesta ili materijala izrađenih od istog. Unatoč svemu tome korištenje azbesta u industrijskoj proizvodnji bila je česta pojava, pa je azbest danas sastavni dio okoliša. Međutim, dolazi se do velikog problema pri detekciji prisutnosti azbesta u prostoru koji nas okružuje, prvenstveno se to odnosi na krovove izgrađenih objekata. Jedan od načina detekcije prisutnosti azbesta u okolišu je primjena tehnika daljinskih istraživanja. Glavni cilj ovog istraživanja je detekcija azbestnih krovova na području grada Zagreba pomoću WorldView-2 satelitske snimke koristeći tri različite metode nadzirane klasifikacije. Za provedbu tradicionalnog pristupa nadzirane klasifikacije bazirane na pikselima i objektima korišten je algoritam *Random Forest* (RF). U radu je korištena i napredna, objektno orijentirana (OO) klasifikacija temeljena na pravilima. Najbolje rezultate je dala objektno orijentirana klasifikacija temeljena na pravilima, s ukupnom točnošću od čak 96,05% i vrijednošću kapa koeficijenta od 0,95. Tako korištenjem rezultata dobivenih posljednjom klasifikacijom omogućeno je detektiranje azbestnih krovova na području grada Zagreba s vrlo visokom točnošću. Stoga, pomoću rezultata dobivenih ovim istraživanjem omogućena je efikasnija i jednostavnija detekcija azbestnih krovova na području grada Zagreba te samim time olakšano provođenje različitih strategija za lociranje i zbrinjavanje materijala sačinjenih od azbesta.

Ključne riječi: azbestni krovovi, daljinska istraživanja, klasifikacija, ocjena točnosti, segmentacija

1. Uvod

Promjene u okolišu koje su se događale sve do 18. stoljeća bile su neznatne u odnosu na cijeli planet i tek unazad dva stoljeća, zbog želje za razvitkom gospodarstva i industrije ne mareći za onečišćenje koje se čini zbog ljudskog faktora, dolazi se do različitih ekoloških problema. Takvo „ponašanje“ prema okolišu postaje nepodnošljivo te krajem 20. stoljeća dolazi se do sve veće ekološke osviještenosti kako bi se zaštitio okoliš (Afrić, 2002).

Jedan od načina zaštite okoliša je detekcija i zbrinjavanje azbesta, koji je korišten kao materijal za građevinske objekte. Azbest je prirodni vlaknasti mineral iz skupine silikata. Nalazi se u prirodi i ima malenu toplinsku i električnu vodljivost te je otporan prema visokim temperaturama (Jakobović, 2007). Zbog svojih fizikalnih svojstva ponajviše se koristio u kombinaciji s cementom za izradu krovnih pokrivača.

Za praćenje i istraživanje Zemljine površine u velikoj mjeri se koriste tehnike daljinskih istraživanja. Taj način omogućuje jeftinije, brže i efikasnije analize područja od interesa bez ikakvog fizičkog kontakta s objektima na Zemlji (Gašparović i dr., 2017a). Novi algoritmi i metode krajnjim korisnicima omogućuju potpuno automatsko kartiranje zemljinog pokrova temeljem globalno dostupnih satelitskih snimaka, Gašparović i dr., 2019.

Prethodna su istraživanja najčešće otkrivala azbestne krovove pomoću hiperspektralnih snimki snimljenih iz zrakoplova koristeći metode klasifikacije zasnovane na pikselima (Frassy i dr., 2014; Cilia i dr., 2015). Međutim, takav pristup koji uključuje klasifikaciju zasnovanu na pikselima pokazao se neučinkovitim za izdvajanje objekata unutar urbane sredine, posebice krovnih površina. Osim toga, snimanje iz zrakoplova pomoću hiperspektralnih senzora iziskuje vrlo visoki trošak. Zbog toga se u novije doba sve više koriste multispektralne satelitske snimki

vrlo visoke rezolucije, koje su jeftinija varijanta u odnosu na prethodni način prikupljanja podataka (Myint i dr. 2011).

Jedan od najvećih problema pri izdvajanju raznih vrsta objekata unutar urbane sredine, kao što su parkirališta, asfaltirane ceste, sivi, tamniji, azbestni krovovi i dr., je da ti objekti dijele vrlo slične spektralne potpise te ih je zbog toga vrlo teško jedinstveno izdvojiti. Uz ograničeni broj spektralnih kanala multispektralnih snimki s vrlo visokom rezolucijom taj problem postaje još veći. Tako se točnost rezultata klasifikacije zasnovane na pikselima smanjuje zbog pojavljivanja više različitih vrsta objekata unutar neke klase. Kako bi se na multispektralnim satelitskim snimkama, osim spektralnih karakteristika objekata, uzela u obzir i ostala svojstva, npr. tekstura, veličina, oblik objekata i dr., pomoću kojih bi se lakše izdvojili objekti u urbanoj sredini, podliježe se objektno orijentiranim nadziranim klasifikacijama (Gibril i dr., 2017).

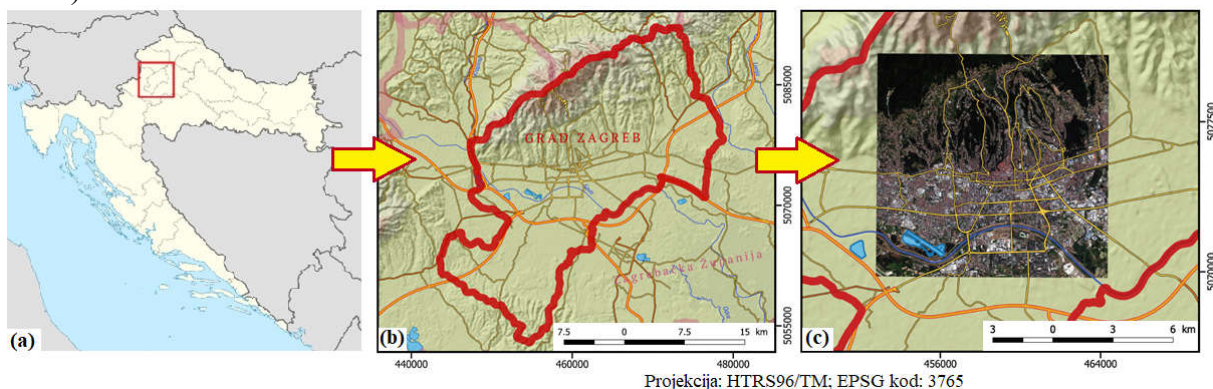
S obzirom na to da su prethodna istraživanja prilikom detekcije azbestnih krovova najviše temeljena na hiperspektralnim snimkama, ovo istraživanje koristi WorldView-2 multispektralnu snimku vrlo visoke rezolucije na kojoj su provedene tri različite metode klasifikacije koje su poslužile za izdvajanje azbestnih krovova od ostalog: 1. nadzirana klasifikacija zasnovana na pikselima – metoda *Random Forest*; 2. objektno orijentirana nadzirana klasifikacija – metoda *Random Forest*; 3. objektno orijentirana nadzirana klasifikacija temeljena na pravilima. Korištenjem softvera otvorenog koda za cjelokupni proces izdvajanja azbestnih krovova, ovo se istraživanje razlikuje od prethodnih gdje su se koristili komercijalni softveri: *eCognition Trimble* i *ENVI* (Gibril i dr., 2017; Cilia i dr., 2015; Hamedianfar i dr., 2014; Myint i dr. 2011).

Cilj ovog istraživanja je pronalazak optimalne metode daljinskih istraživanja za potrebe detekcije azbestnih krovova na području grada Zagreba. Istražene su tri neovisne metode nadzirane klasifikacije za izdvajanje azbestnih krovova od ostalog te se rezultatima klasifikacija dala ocjena točnosti pomoću matrice konfuzije i kapa (κ) koeficijenta.

2. Područje istraživanja

Za područje istraživanja u ovom radu odabrano područje grada Zagreba površine 125 km² (Slika 1b i 1c). Istraživanje je provedeno na WorldView-2 snimkama koje su nabavljene u sklopu projekta GEMINI – Geoprostorno praćenje zelene infrastrukture na temelju terestričkih, zračnih i satelitskih snimaka (Gašparović i dr. 2017b).

Zagreb je glavni i ujedno najveći grad po broju stanovnika u Republici Hrvatskoj. Nalazi se u kontinentalnoj središnjoj Hrvatskoj (Slika 1a). Danas grad Zagreb predstavlja upravno, gospodarsko, kulturno i znanstveno središte Republike Hrvatske. Zbog svoje važnosti čini samostalnu teritorijalnu i samoupravnu jedinicu koja ima status županije (Gašparović i dr., 2018).

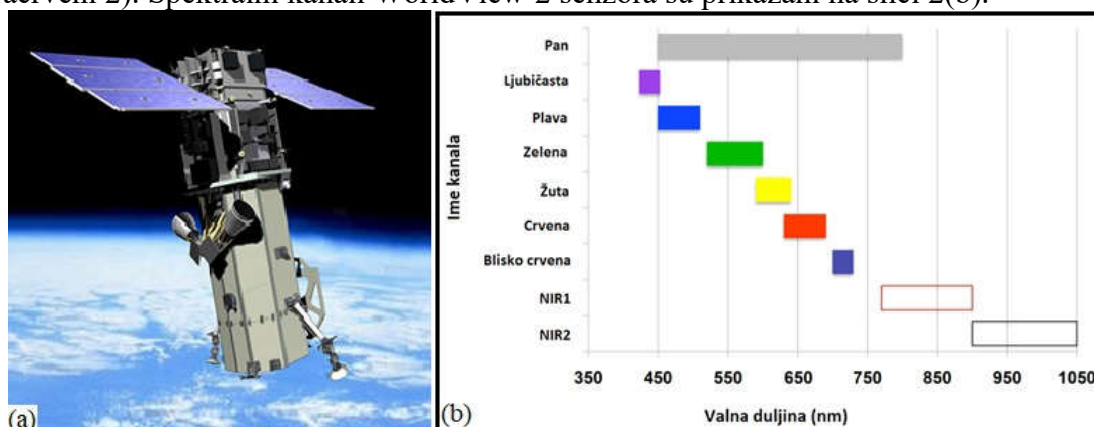


Slika 1. (a) Kartografski prikaz Zagreba na zemljovidu Hrvatske, (b) kartografski prikaz lokacije područja istraživanja i (c) područje istraživanja sa prikazom WorldView-2 satelitske snimke korištene u ovom istraživanju (Jakopec, 2019)

3. Podaci istraživanja

Satelitska snimka korištena za potrebe istraživanja snimljena je 13. kolovoza 2013. godine WorldView-2 satelitom, obuhvaća dio područja grada Zagreba na kojemu su provedene nadzirane klasifikacije na temelju tri različite metode. Satelit WorldView-2 lansiran je u listopadu 2009. godine (Slika 2a). Ovo je prvi komercijalni satelit s osmerokanalnim multispektralnim senzorom koji omogućuje vrlo visoku prostornu rezoluciju. Senzor satelita WorldView-2 pruža visoko rezolucijski pankromatski kanal s prostornom rezolucijom od 46 cm i osam multispektralnih kanala prostorne rezolucije 1,85 m. Nalazi se na nadmorskoj visini od 770 km. Dnevno može prikupiti podatke površine od 1 000 000 četvornih kilometara, a vrijeme ponovnog opažanja istog dijela Zemljine površine iznosi oko 1,1 dan (URL 1).

Multispektralni kanali senzora sadrže četiri standardna spektralna kanala (plavi, zeleni, crveni i blisko infracrveni 1) i četiri nova kanala (ljubičasti, žuti, blisko crveni i blisko infracrveni 2). Spektralni kanali WorldView-2 senzora su prikazani na slici 2(b).



Slika 2. (a) WorldView-2 satelit (URL 2) i (b) Spektralni kanali s pripadajućim valnim duljinama (URL 3)

Tijekom preliminarne faze provedbe istraživanja, posredstvom Google karata označene su lokacije potencijalnih azbestnih krovnih ploča pomoću crvenih oznaka (Slika 3a). Nakon dobre uredske pripreme, pomoću bicikla kao prijevoznog sredstva, obilazila se jedna po jedna lokacija i utvrđivalo se koji objekti odgovaraju za daljnje istraživanje, a koji ne (Slika 3b). Prvenstveno je trebalo posjetiti svaku lokaciju zbog utvrđivanja je li dobro izvršena procjena pomoću Google karata. Od ukupno 120 lokacija, njih 80 se koristilo za daljnje istraživanje, dok lokacije preostalih objekata nisu odgovarale azbestnim krovnim pločama.



Slika 3. (a) Određivanje potencijalnih lokacija azbestnih krovova pomoću Google karata i (b) Primjer objekata koji sadrže azbestne krovne ploče

4. Klasifikacija satelitskih snimaka

Obrada satelitske snimke u ovom istraživanju provedena je u softverima otvorenoga koda. Korišteni su: programski jezik R (verzija 3.4.1) u softveru RStudio (1.0.151), Orfeo ToolBox (6.6.1), Quantum GIS (3.6.1), SAGA GIS (6.4.0) i Grass GIS (7.6.1).

Nadzirana *Random Forest* (RF) klasifikacija zasnovana na pikselima je vrlo korisna pri izdvajanju klasa po spektralnim svojstvima iz multispektralnih snimki. Međutim, ima određena ograničenja na koje treba obratiti pozornost. Kao rezultat se dobije raster, čiji svaki piksel predstavlja jednu od klasa zemljišnog pokrova, a klase su ograničene na samo spektralna svojstva piksela (Slika 5d).

Kod nadzirane RF klasifikacije prvi i najvažniji korak je kvalitetan odabir uzoraka za trening koji će predstavljati pojedine klase zemljišnog pokrova (Slika 5b). Prije odabira samih uzoraka, provedena je vizualna interpretacija po čitavom području satelitske snimke. Sam proces interpretacije odvijao se na kreiranim kompozicijama spektralnih kanala, od kojih su se najviše koristile sljedeće: „true-color“ snimka (crveni – zeleni – plavi kanali; Slika 5a) i „false-color“ (NIR1 – crveni – zeleni kanali) (Jakopec, 2019).

Objektno orijentirana nadzirana klasifikacija funkcionira na način sličan onome kako ljudi percipiraju i prepoznaju objekte u stvarnom svijetu. Obrada i analiza satelitske snimke započinje njezinom segmentacijom (Slika 5c), prilikom čega se teži objedinjavanju piksela u što veće homogene skupine ili objekte koji će što realnije prikazivati objekte iz stvarnoga svijeta. Nakon procesa segmentacije, objekti se na snimci klasificiraju na temelju njihovih spektralnih, prostornih, teksturalnih i kontekstualnih svojstava. Postupak objektno orijentirane nadzirane klasifikacije u osnovi je utemeljen na segmentaciji satelitske snimke. Objektno orijentirani pristup je vrlo prikladan za snimke vrlo visoke prostorne rezolucije (Jakopec, 2019).

Za provedbu 1. nadzirane RF klasifikacije zasnovane na pikselima i 2. objektno orijentirane nadzirane RF klasifikacije, cjelokupni zemljišni pokrov je sveden na 15 klasa (Slika 5d i 5e): *Azbestni krovovi* (ljubičasta boja), *Prometnice*, *Krovovi od crijepa*, *Golo tlo*, *Niska vegetacija*, *Visoka vegetacija*, *Plavi krov*, *Reflektirajući krov*, *Sivi krov*, *Sjena*, *Šljunak*, *Tamni krov*, *Tenisko igralište*, *Umjetna trava* i *Voda*. Dok kod 3. objektno orijentirane nadzirane klasifikacije temeljene na pravilima zemljišni pokrov je sveden na 11 klasa: *Azbestni krovovi* (ljubičasta boja), *Krovovi od crijepa*, *Golo tlo*, *Reflektirajući krov*, *Prometnice*, *Vegetacija* (visoka i niska), *Voda*, *Šljunak*, *Tenisko igralište* i *Sjena* (Slika 5f).

4.1 Metoda nadzirane klasifikacije *Random Forest*

Random Forest (RF) metoda je općeniti naziv za skup algoritama koji se koriste u stablastim klasifikatorima. RF algoritam kreira određen broj stabala čiji broj odabire interpretator, od kojih se svako stablo na temelju odabranih uzoraka za trening „trenira“ i vrši pretragu samo po slučajno kreiranom podskupu ulaznih varijabli kako bi se odredilo mjesto razgranavanja. Pri klasifikaciji svako pojedino stablo će dati „glas“ jednoj od klasa unutar skupa (Breiman 2001).

Random Forest jedan je od modela nadziranog strojnog učenja. Strojno učenje jest programiranje računala na način da optimizira neki kriterij uspješnosti temeljem podatkovnih primjera ili prethodnog iskustva (Alpaydin, 2009).

Brojna istraživanja (Gislason i dr., 2006; Liu i dr., 2013) su se bavila usporedbom i analizom točnosti *Random Forest* metode s drugim metodama. Zaključak dobiven iz njih je da *Random Forest* metoda daje bolje rezultate klasifikacije pri radu s višedimenzionalnim podacima (podaci iz višespektralnih snimki).

4.2 Nadzirana klasifikacija temeljena na pravilima

Nadzirana klasifikacija temeljena na pravilima u većini se slučajeva koristi pri objektno orijentiranoj analizi snimke. Formiranje skupa pravila uključuje proučavanje odnosa između svojstva objekata i potencijalnih klasa radi konstrukcije modela stabla temeljenog na pravilima (Cohen i Shoshany, 2002). Takvo stablo se dijeli na više grana, od kojih svaka sadrži različita pravila (logičke uvjete) pomoću kojih se objekti određenih klasa izdvajaju od ostalih objekata na snimci. Definiranje skupa pravila može biti izuzetno zahtjevno, naročito kada se klasificira

područje koje obuhvaća raznovrsne objekte. Naime, logički uvjeti nekada ne mogu zadovoljiti jedinstveno izdvajanje samo jedne vrste objekta pa samim time nastaje problem preklapanja različitih vrsta objekata u istoj klasi, što naravno, smanjuje točnost rezultata klasifikacije (Veljanovski i dr., 2011).

5. Rezultati i analiza

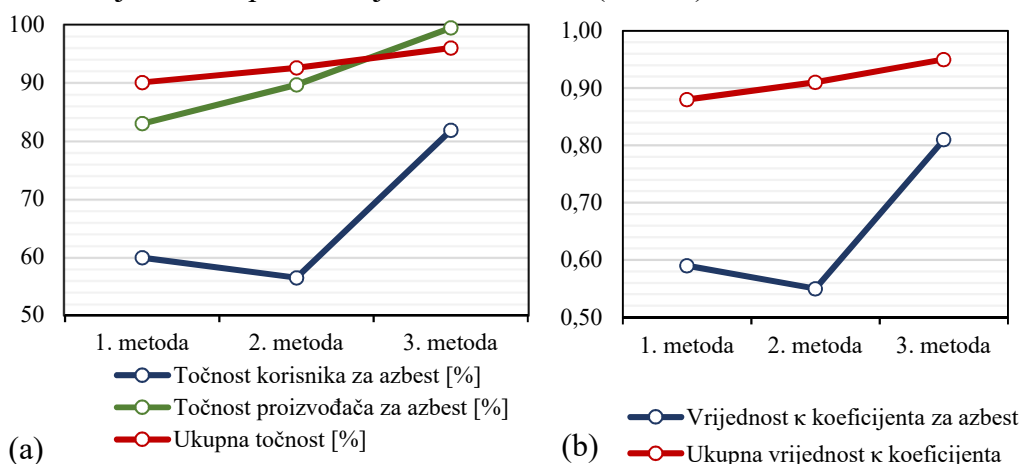
Zbog jednostavnijeg objašnjenja postupka vizualne analize satelitske snimke uzet je manji dio područja istraživanja (Slika 5). „True-color“ snimka užeg područja grada Zagreba je prikazana na slici 5a, gdje ljubičasti pravokutnici označavaju lokacije azbestnih krovova pronađenih prilikom terenskog istraživanja.

Iz usporedbe rezultata sviju triju metoda klasifikacija može se uočiti da su se dijelovi unutar ljubičastih pravokutnika koji predstavljaju azbestne krovove uistinu klasificirali u klasu Azbestni krovovi (ljubičasta boja). Međutim kod rezultata 1. i 2. metode klasifikacije (Slika 5d i 5e) opaža se da preostali dijelovi snimke koji su se klasificirali u klasu *Azbestni krovovi* u stvarnosti pripadaju drugim klasama (objektima) koje dijele slične spektralne karakteristike, kao što su: *Sivi krovovi*, *Tamni krovovi*, *Prometnice* i dr. Dok kod rezultata dobivenih pomoću 3. metode (Slika 5f) broj takvih objekata koji su se krivo klasificirali u odnosu na prethodne dvije klasifikacije se drastično smanjio, to se može primijetiti na slikama 5d, 5e i 5f.

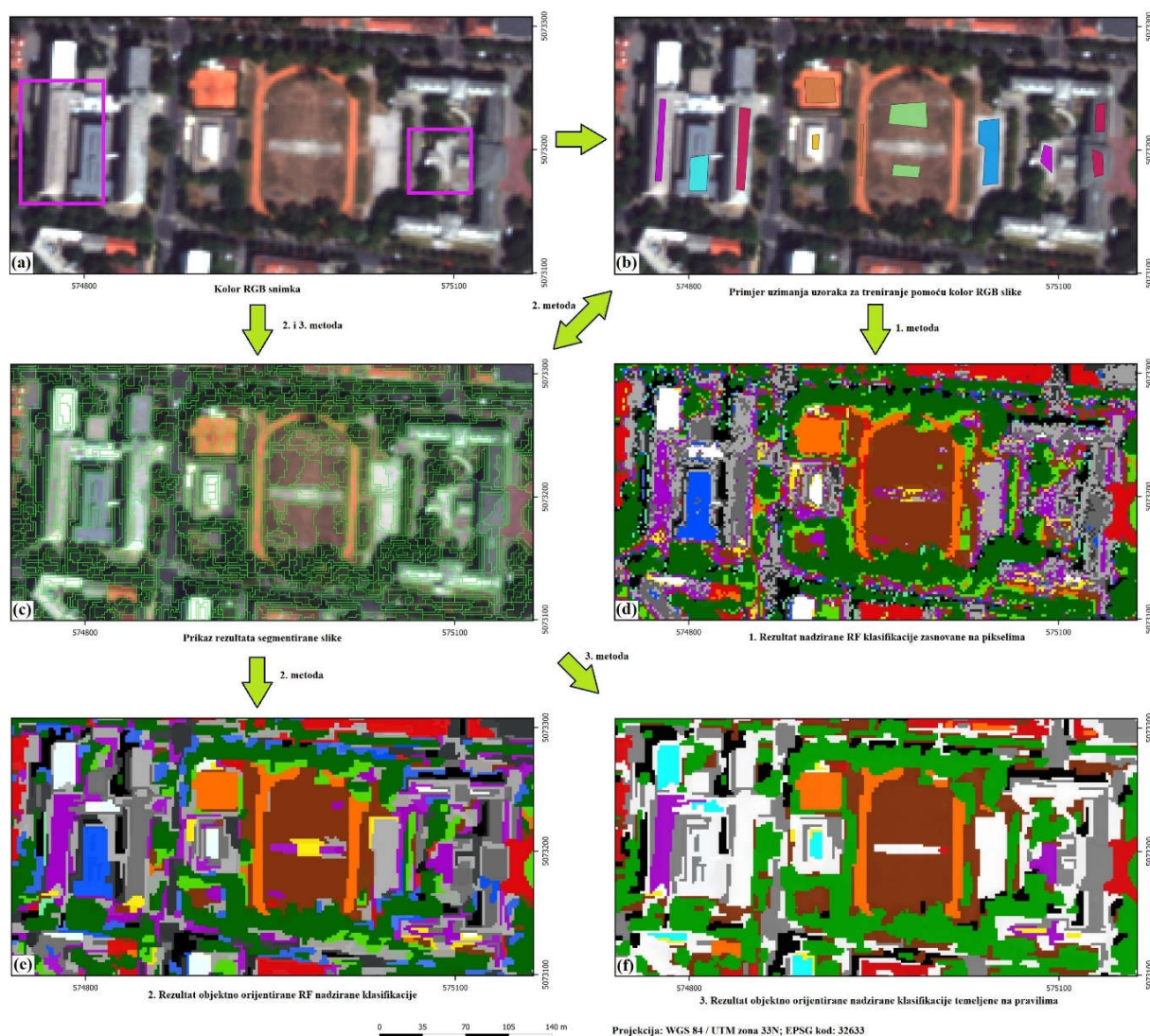
Površina azbestnih krovova dobivena rezultatom 3. metode klasifikacije iznosi samo 1,77 km², dok za prethodne dvije metode klasifikacije površina iznosi preko 7,50 km². Tako se površina azbestnih krovova kod 3. objektno orijentirane klasifikacije temeljene na pravilima u odnosu na prethodne dvije klasifikacije smanjila za 4,84 puta (Slika 6). Rezultat dobiven pomoću 3. metode klasifikacije daje puno realniju površinsku zastupljenost azbestnih krovova na području grada Zagreba.

Rezultati 1. i 2. metode klasifikacije postignuti su s vrlo visokom točnošću, gdje ukupna točnost prve klasifikacije iznosi 90,10%, dok za drugu iznosi 92,60%. Vrlo visoku vrijednost postigao je i kapa koeficijent, gdje za prvu klasifikaciju iznosi 0,88, dok za drugu 0,91. Usprkos činjenici o ukupnoj točnosti klasifikacije i kapa koeficijenta, čije vrijednosti govore o vrlo visokoj točnosti klasifikacije, kod klase *Azbestni krovovi* zamijećena je puno manja točnost u odnosu na ukupnu. Tako za klasu Azbestni krovovi korisnička točnost za prvu i drugu klasifikaciju iznosi 59,85% i 56,42%, dok vrijednost kapa koeficijenta iznosi 0,59 i 0,55 (Slika 4).

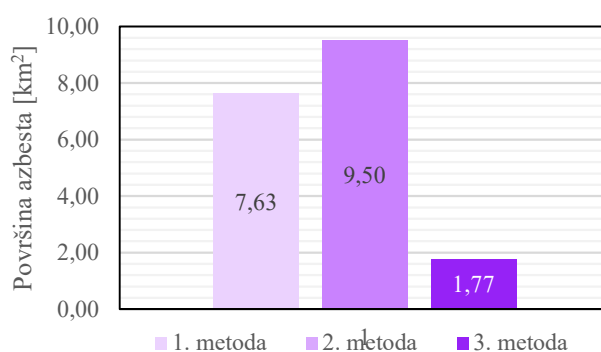
Rezultat 3. objektno orijentirane klasifikacije temeljene na pravilima postignut je s vrlo visokom ukupnom točnošću od čak 96,05%, dok vrijednost kapa koeficijenta iznosi 0,95. U odnosu na druge dvije klasifikacije, poboljšala se točnost klasifikacije i vrijednost kapa koeficijenta za klasu *Azbestni krovovi*. Tako za azbestne krovove korisnička točnost iznosi 81,83%, dok vrijednost kapa koeficijenta iznosi 0,81 (Slika 4).



Slika 4. Usporedba (a) točnosti provedenih klasifikacija i (b) vrijednosti κ koeficijenta



Slika 5. Vizualna analiza rezultata manjeg dijela područja istraživanja (strelice označavaju tijek rada)



Slika 6. Prikaz ukupne površine azbestnih krovova dobivenih različitim metodama klasifikacije

6. Zaključak

Sumiranjem cjelokupnog procesa istraživanja koji je obuhvaćao razne obrade, interpretacije, analize i usporede same satelitske snimke i rezultata dobivenih iz nje, stvorene su tri različite metode detekcije azbestnih krovova za veći dio naseljenog područja grada Zagreba. Radi šire upotrebljivosti prikazane metodologije istraživanja cijeli proces bio je zasnovan na softverima otvorenog koda. Potvrđeno je da objektno orijentirana nadzirana klasifikacija temeljena na pravilima daje daleko najbolje rezultate u odnosu na ostale

klasifikacije. Objektно orijentirana klasifikacija temeljena na pravilima postigla je ukupnu točnost od čak 96,05% uz vrijednost kapa koeficijenta od 0,95.

Korištenjem rezultata dobivenih objektно orijentiranom nadziranom klasifikacijom temeljenom na pravilima omogućeno je detektiranje azbestnih krovova s vrlo visokom točnošću, pa ovo istraživanje može poslužiti različitim vladinim institucijama Republike Hrvatske, a time i samom gradu Zagrebu, za primjenu pogodnih strategija i načina za lociranje te zbrinjavanje materijala načinjenih od azbesta. Provedenom objektно orijentiranom klasifikacijom utvrđeno je da je na području istraživanja utvrđeno 1,77 km² azbestnih krovova. S pogledom na budućnost, sam proces istraživanja može se podići na višu razinu na način da se razvijena znanstvena metoda i skup razvijenih pravila primjeni na WorldView-2 satelitskim snimkama drugih područja te se provede usporedba i analiza točnost dobivenih rezultata. Na taj način omogućuje se neovisna provjera provedenih znanstvenih istraživanja u ovom radu i primjena istih na druga područja.

Literatura

- Afrić, K. (2002): Ekološka svijest – pretpostavka rješavanja ekoloških problema. *Ekonomski pregled*, 53 (5-6), 578. – 594.
- Alpaydin, E. (2009): *Introduction to Machine Learning*. Second Edition. Cambridge: The MIT Press.
- Breiman, L. (2001): Random Forests. *Machine Learning*, 45 (1), 5. – 32.
- Cilia, C., Panigada C., Rossini M., Candiani G., Pepe M. Colombo (2015): Mapping of Asbestos Cement Roofs and Their Weathering Status Using Hyperspectral Aerial Images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4 (2), 928. – 941.
- Cohen, Y., Shoshany, M. (2002): A National Knowledge-Based Crop Recognition in Mediterranean Environment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 75. – 87.
- Frassy, F., Candiani G., Rusmini M., Maianti P., Marchesi A., Nodari F. R., Via G. D., Albonico C., Gianinetto M. (2014): Mapping Asbestos-Cement Roofing with Hyperspectral Remote Sensing over a Large Mountain Region of the Italian Western Alps. *Sensors*, 14 (9), 15900. – 15913.
- Gašparović, M.; Zrinjski, M.; Gudelj, M. (2017a): Analiza urbanizacije grada Splita. *Geodetski list*, 71 (94), 3, 189. – 202.
- Gašparović, M., Medak, D., Miler, M. (2017b): Geospatial monitoring of green infrastructure—case study Zagreb, Croatia. In *The International Conference SGEM Vienna GREEN*, 2017.
- Gašparović, M., Zrinjski, M., Veselski, A. (2018): Analiza urbanizacije grada Zagreba. *Zbornik radova - 11. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije*, 121. – 126.
- Gašparović, M.; Zrinjski, M.; Gudelj, M. (2019): Automatic cost-effective method for land cover classification (ALCC). *Computers environment and urban systems*, 76 (4), 1. – 10.
- Gibril, M. B. A., Shafri, H. Z. M., Hamedianfar, A. (2017): New semi-automated mapping of asbestos cement roofs using rule-based object-based image analysis and taguchi optimization technique from WorldView-2 images. *International Journal of Remote Sensing*, 38 (2), 467. – 491.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A.; Sveinsson, J. R. (2006): Random Forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27 (4), 294. – 300.
- Hamedianfar, A., Shafri H. Z. M., Mansor S., Ahmad N. (2014): Improving Detailed Rule-Based Feature Extraction of Urban Areas from Worldview-2 Image and Lidar Data. *International Journal of Remote Sensing*, 35, 1876. – 1899.
- Jakobović, Z. (gl. ur.) (2007): *Tehnički leksikon*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 54., Zagreb.

Jakopec, A. (2019): Detekcija i analiza azbestnih krovova na području grada Zagreba primjenom tehnika daljinskih istraživanja. Diplomski rad. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Liu, M., Wang, M., Wang, J., Li, D. (2013): Comparison of random forest, support vector machine and back propagation neural network for electronic tongue data classification: Application to the recognition of orange beverage and Chinese vinegar. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 970. – 980.

Myint, S. W., Gober P., Brazel, Grossman-Clarke A. S., Weng Q. (2011): Per-Pixel vs. Object-Based Classification of Urban Land Cover Extraction Using High Spatial Resolution Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115 (5), 1145. – 1161.

Veljanovski, T., Kanjir, U., Oštir, K. (2011): Objektno usmerjena analiza podataka daljinskoga zasnivanja. *Geodetski vestnik* 55 (4), 641. – 664.

URL 1: Satellite imaging corporation, <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>, (31.5.2019.).

URL 2: Amazonaws S3, https://s3.amazonaws.com/content.satimagingcorp.com/media/cms_page_media/57/worldview-2%20sm.jpg, (31.5.2019.).

URL 3: Satellite imaging corporation, <https://content.satimagingcorp.com/static/galleryimages/worldview-2-satellite-spectral-bands.jpg>, (31.5.2019.).

Detection and analysis of asbestos roofs in the city of Zagreb by using remote sensing techniques

Abstract: Asbestos is a natural mineral that was widely used as a building material in the last century. Due to its excellent physical properties, especially insulation performance, it was extensively used for roof panels construction. However, during the 20th century, it had been recognized as carcinogenic. Drilling, improvements, destruction, construction and improper storage and disposal of asbestos cause emissions of carcinogenic asbestos fibers. Regardless of that, using asbestos in industrial production was a common practice, and today asbestos is an integral part of the environment. However, there is still a challenge in detecting the presence of asbestos in the space around us, and that is primarily related to roof constructions. The application of remote sensing techniques is one of the methods for detecting the existence of asbestos in the environment. The main objective of this study was to detect asbestos roofs in the city of Zagreb using WorldView-2 satellite imagery and three different methods of supervised classifications. The Random Forest algorithm was implemented to the traditional approach of supervised classification based on pixels and objects. An advanced, object-oriented classification based on the rules was also used. The most accurate results were delivered by the rule-based object-oriented classification, with an overall accuracy of 96,05%, and a kappa coefficient of 0,95. Thus, by using the results obtained with the rule-based object-oriented classification, it is possible to detect asbestos roofs in the city of Zagreb with very high accuracy. The results obtained by this study provide an efficient and relatively simple approach for the detection of asbestos roofs in the city of Zagreb, which can facilitate the implementation of various strategies for locating and managing asbestos-based materials

Keywords: asbestos roofs, remote sensing, classification, accuracy assessment, segmentation