

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE GEO 2016
AND XXIX MEETING OF SERBIAN SURVEYORS
"PROFESSIONAL PRACTICE AND EDUCATION
IN GEODESY AND GEOINFORMATICS"
2-5 June 2016, Kopaonik, Serbia

**DETEKCIJA AZBESTNIH KROVOVA POMOĆU
HIPERSPEKTRALNIH SNIMAKA**

Ivan Jakopec¹, Željko Bačić¹, Vesna Poslončec-Petrić¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb, HRVATSKA, E-mail: ijakopec@geof.hr, zbacic@geof.hr, vesna.posloncec@geof.hr

Sažetak: Kancerogenost azbesta prepoznata je u ranom 20. stoljeću, kada je počelo i ograničavanje njegove upotrebe, da bi početkom ovog stoljeća mnoge države potpuno zabranile upotrebu ovog materijala. Zabrana proizvodnje, prometa i upotrebe azbesta i materijala koji sadrže azbest u Hrvatskoj stupila je na snagu 2006. godine i od tada je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti uspostavio sustav pravila i naknada za zbrinjavanje otpada koji sadrži azbest. Međutim, veliki problem ostaje detekcija stanja u okolišu, odnosno detekcija azbesta korištenog u graditeljstvu, prvenstveno za krovove i oplata zgrada. Jedan od načina masovne detekcije azbestnih površina je primjena tehnika daljinskih istraživanja. U radu je dat pregled načina detekcije azbestnih krovova korištenjem hiperspektralnog spektrometra u infracrvenom i vidljivom području spektra - MIVIS senzora.

Ključne riječi: azbest, daljinska detekcija, hiperspektralni senzori

Summary: Carcinogenicity of asbestos has been recognized in early 20th century, when also restriction of its use has started, so that many countries have banned use of this material with the start of this century. The ban of production, traffic and use of asbestos and materials containing asbestos has been implemented in Croatia in year 2006, since when the Environment Protection and Energy Efficiency Fund has established a system of rules and atonements for waste treatment of waste containing asbestos. Nevertheless, as a great problem remains detection of situation in the environment with the respect to detection of asbestos used in construction, primarily for roofs and coating of buildings. One of the methods of mass detection of asbestos surfaces is application of remote sensing techniques. In this paper an overview is given on asbestos roofs detection utilizing Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer (MIVIS).

Keywords: asbestos, remote detection, multispectral sensors

1. UVOD

Svijet je industrijskom revolucijom, koja je nesumnjivo donijela velik napredak mnogim područjima ljudskoga života, od razvoja gospodarstva pa do olakšavanja svakodnevnog života, ušao i u eru potrebe za pojačanom skrbi o okolišu. Briga za okoliš je dugo bila podređena gospodarskom razvitku, industriji, prometu i sveukupnom napretku tehnologije, no svijest ljudi se počela mijenjati i skrb za okoliš je danas znatno razvijenija, negoli prije samo 20-ak godina, iako ima još puno prostora za napredak na tom području. Jedan od mogućnosti bolje brige za okoliš je svakako i sanacija azbesta iz građevinskih objekata.

Azbest je prirodni, vlaknasti mineral iz skupine silikata (kalcijevih, magnezijevih i željeznih). Azbestni su materijali krocidolit, amozit, antofilit, aktinolit, tremolit i krizotil. Krocidolit ili „plavi azbest“ je najopasniji, a na našim područjima je najprisutniji krizotil, koji je najmanje opasan [1]. Azbest je u okolišu prisutan oduvijek. Diljem Hrvatske postoje nalazišta azbesta, koja se nikada nisu ozbiljnije iskorištavala jer je azbest iz uvoza bio povoljniji od eksploatacije [2]. Azbest ima malu toplinsku i električnu vodljivost, otporan je na visoke temperature te su njegova pozitivna svojstva poznata od davnina. Nakon II. svjetskog rata industrija azbesta doživljava nagli procvat, uglavnom zbog dostupnosti i pristupačnih cijena, ali su ubrzo otkrivena njegova štetna svojstva. Već početkom 20. stoljeća u Velikoj je Britaniji prepoznat kao opasna prašina [3]. Naime, azbest je

kancerogen – prašina, koja nastaje pri proizvodnji, rastavljanju ili razgradnji predmeta od azbesta, ulazi u dišni sustav ljudi i uzrokuje vrlo ozbiljne, po život opasne maligne bolesti.

Azbest je tijekom druge polovice 20. stoljeća svekoliko prisutan u pločama za krovšte, u bojama i betonu za vanjske i pregradne zidove, kao izolator u mnogim električnim uređajima, u vodovodnim i drugim cijevima, u odjeći za zaštitu od topline i tako dalje. Na područjima bivše Jugoslavije, ali i u drugim dijelovima Europe uvelike se koristio zbog povoljne cijene te je na mnogim objektima prisutan i danas, što predstavlja veliku opasnost za zdravlje ljudi, kao i za okoliš.

Europski parlament još je 1976. godine donio Direktivu o ograničavanju proizvodnje i upotrebe azbesta s naglaskom da do 1. siječnja 2005. godine sve zemlje članice Europske unije moraju napustiti i potpuno zabraniti upotrebu određenih opasnih tvari među kojima je i azbest, a do 15. travnja 2006. godine i uskladiti sve svoje zakone i propise s Direktivom.

Zabrana proizvodnje, prometa i upotrebe azbesta i materijala koji sadrže azbest u Republici Hrvatskoj stupila je na snagu 1. siječnja 2006. godine. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost uspostavio je sustav pravila i naknada za zbrinjavanje otpada koji sadrži azbest [4]. Mnogi gradovi i općine u Republici Hrvatskoj razvili su vlastite strategije gospodarenja otpadom te daju poticaje za uklanjanje azbesta pravnim i fizičkim osobama. Na nekim područjima oformile su se i udruge građana koje se bore protiv toga štetnog materijala te su privukli i sponzore iz privatnoga sektora [5].

Iako su svi potrebni propisi stupili na snagu, borba protiv azbesta trajat će još desetljećima, kako u Hrvatskoj, tako i u susjednim zemljama. Zbog toga je potrebno istraživati i razvijati nove, učinkovitije i brže metode detektiranja i uklanjanja azbesta iz građevinskih objekata, a u čemu uvelike mogu pomoći metode geodetske znanosti.

2. PREGLED ISTRAŽIVANJA I SPOZNAJA

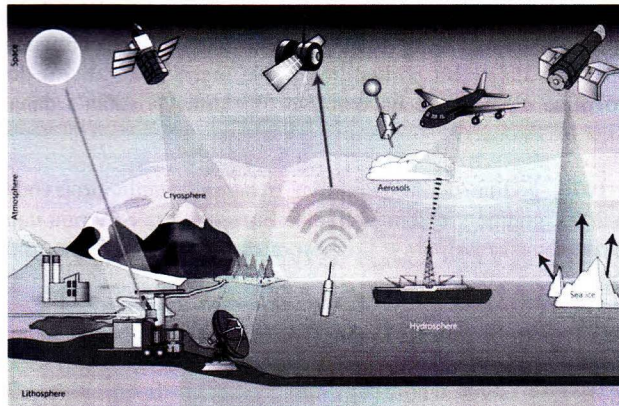
Danas gotovo polovica svjetskog stanovništva živi u urbanim mjestima u raznim građevinama koje su izgrađene od različitih vrsta materijala, koji teže što boljoj energetske očuvanosti, vremenskoj otpornosti, otpornosti na razne ekološke utjecaje te razne klimatske utjecaje [6, 7, 8, 9]. S ciljem zadovoljenja navedenih svojstva građevina, koriste se materijali koji u svom sastavu imaju i azbest. Kao što je već prethodno navedeno, upotreba građevinskih materijala koji su sastavljeni od azbesta u većini zemalja svijeta zabranjeno je zbog kancerogenih svojstava azbestnih čestica. Najviše se azbesta nalazi u krovnim pokrovima, tj. pločama koje su sastavljene od azbesta i cementa, a služe za pokrivanje krovova građevina. Da bi se navedeni krovovi mogli staviti pod kvalitetan nadzor te samim time spriječiti širenje azbestnih vlakna, potrebno je te iste krovove locirati u prostoru. Detektiranje azbestnih krovova u prostoru zahtjevan je zadatak [10], a u rješavanju navedenog zadatka značajno može pomoći metodologija daljinskog istraživanja.

Daljinsko istraživanje je metoda prikupljanja informacija o nekom objektu ili fenomenu u većem ili manjem opsegu pomoću uređaja za snimanje ili istraživanje u realnom vremenu, koji je bežičan ili nije u fizičkom ili bliskom kontaktu s objektom (pomoću zrakoplova, svemirske letjelice, satelita, brove ili broda (slika 1)). Ova metodologija se koristi u mnogim područjima, a najčešće u znanstvenim disciplinama koje su povezane s istraživanjem Zemlje (npr. hidrologija, ekologija, oceanografija, glaciologija, geologija). Također se primjenjuje i u vojnim, trgovačkim, gospodarskim, planskim i humanitarnim programima. Tehnika prikupljanja informacija temelji se na upotrebi različitih tehnologija senzora koji služe za detekciju i klasifikaciju objekta na Zemljinoj površini, unutar atmosfere i oceana pomoću detekcije odbijenih ili zračenih signala (npr. elektromagnetskog zračenja). Senzori se mogu podijeliti na aktivne senzore (kada se signal emitira sa aviona ili satelita) [12, 13, 14] ili pasivne senzore (npr. sunčeva svjetlost) [15]. Senzori su postavljeni na stabilnim platformama s kojih se može vršiti snimanje.

Platforme koje se koriste prilikom daljinskog istraživanja su [16]:

- na tlu - obično se koriste za usporedbu podataka o površini s podacima koji su dobiveni avionima ili satelitima. Budući da su oni na vrlo maloj udaljenosti od površine koja se proučava, često pomoću njih pokušavamo bolje opisati objekte koje promatramo drugim sensorima. Na taj način možemo razumjeti informacije koje su dobivene pomoću satelita i aviona,
- u zraku - koriste se posebno pripremljeni avioni, a ponekad i helikopteri. Iz aviona se mogu dobiti veoma precizni podaci o zemljinoj površini,
- u svemiru - snimanja se vrše iz svemirskih letjelica ili još češće sa satelita.

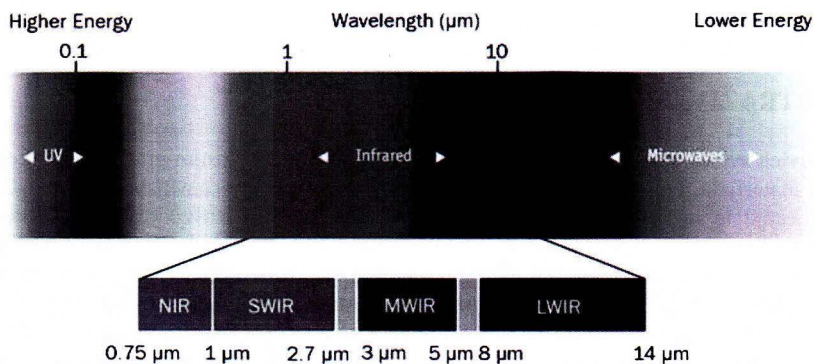
Čimbenika za odabir platforme je više, a najvažniji su željna rezolucija (mjerilo), pokrivenost površine (grad, država, kontinent) i cijena snimanja.



Slika 1: Platforme koje se koriste prilikom daljinskog istraživanja [11]

2.1. Spektralna rezolucija

Različite predmete ili skupine predmeta možemo razlikovati uspoređujući njihove spektralne refleksije pri različitim valnim duljinama (npr. elektromagnetsko zračenje) (slika 2).



Slika 2: Spektar elektromagnetskog zračenja [18]

Na taj način, korištenjem širokog područja spektra valnih duljina (npr. vidljivog i infracrvenog svjetla), možemo razlikovati klase kao što su voda i vegetacija. Detaljnije specificirane klase, kao što su razne vrste raslinja ili biljaka i uz širok pojas valnih duljina, obično ne razlikujemo. Njihovo razlikovanje moguće je samo u vrlo uskim rasponima valnih duljina. Stoga su nam potrebni sustavi s velikom spektralnom rezolucijom. Spektralna rezolucija pokazuje koliko dobro senzor određuje (razlikuje) različite valne duljine. Moderni sustavi za daljinsko istraživanje mjere refleksiju, vlastito zračenje ili odbijeno umjetno zračenje kod više različitih područja valnih duljina. Ove vrste senzora zovu se višespektralni ili multispektralni. Napredni višespektralni senzori koji omogućuju otkrivanje stotina vrlo uskih valnih duljina, vidljive, bliske i srednje infracrvene svjetlosti zovu se hiperspektralni [16]. Često se u praksi prilikom otkrivanja azbest-cement ploča koriste hiperspektralni senzori koji mogu detektirati vidljive, bliske infracrvene, kratkovalne infracrvene i termalne infracrvene valne duljine, a naziv je takvog senzora MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer).

Specifikacije navedenog senzora nalaze se u tablici 1.

Tablica 1: MIVIS karakteristike senzora [17]

Spektralna pokrivenost	Broj kanala	Valna duljina [µm]
Vidljive	20	0.43 – 0.83
Bliske infracrvene	8	1.15 – 1.55
Kratkovalne infracrvene	64	2.0 – 2.5
Termalne infracrvene	10	8.2 – 12.7

Najbolji rezultati identifikacije vrsta materijala od kojih su sastavljeni krovovi dobiveni su upravo iz podataka koji su sakupljeni korištenjem hiperspektralnih senzora, što potvrđuju Shafri i dr. (2012) [19] u svome radu u kojem također navode primjene gdje je sve te iste podatke moguće primijeniti.

Postoji više prepreka na koje se nailazi prilikom klasifikacije tipova krovova [20]:

- 1) Boja svih vrsta krovova ovisi o starosti istih jer su podložni atmosferskim utjecajima i UV zračenju.
- 2) Svi krovovi na sebi imaju lišajeve i mahovine [21].
- 3) Gotovo su svi krovovi sastavljeni od više vrsta materijala, kao što su razni metali, stakleni prozori s plastičnim ili drvenim okvirima te zaštitne rolete od drva, plastike ili metala.
- 4) Krovovi (osim onih koji su ravni) imaju različite geometrijske oblike, što dovodi do nehomogene refleksije svjetla na području cijeloga krova te takva područja mogu biti veoma malene površine (manje od same rezolucije slike, što rezultira nemogućnošću detekcije).

Zbog navedenih prepreka, u klasifikaciji krovova uvijek ima pogrešaka. Stoga razne metode klasifikacije različito definiraju i klasificiraju krovove. Potrebno je odabrati metodu klasifikacije koja će najbolje razlučiti vrste krovova.

2.2. Primjeri detektiranja i klasificiranja vrsta krovova

Nagyvardi i dr. (2011) [22] koriste snimke sastavljene od vidljivog spektra za identifikaciju starosti građevina. Pretpostavka je u tom istraživanju da starije zgrade imaju tamnije krovove od novijih zgrada. Međutim, nedostatak je takvih slika to što je nemoguće identificirati o kojem tipu krova se radi.

Taherzadeh i dr. (2013) [23], navode da je određivanje tipova krovova jedan od zahtjevnijih zadataka zato što ne postoji dovoljan broj testnih uzoraka. U cilju savladavanja navedenog problema, u radu se koristi općeniti model spektralnih svojstava materijala krovova. Model se sastoji od spektralnih, prostornih i teksturnih informacija. Navedeni model sastoji se od funkcije koja je sastavljena od linearne kombinacije unaprijed poznatih varijabli koje omogućuju najbolju identifikaciju vrsta krovova. Hiperspektralne snimke iznad područja Malezije nad gradom Kuala Lumpurom te iznad Sveučilišta Putra Malaysia prikupljene su pomoću satelitskih misija Worldview 2. Točnost identificiranja vrsta krovova u gradu Kuala Lumpur iznosila je 82% dok je na području iznad Sveučilišta Putra Malaysia iznosila 90%, što je više nego zadovoljavajuće. U konačnici, navedeni model s kombinacijom hiperspektralnih snimaka dobivenih pomoću satelita Worldview 2 omogućuje dobar potencijal za detektiranje krovovnih materijala bez upotrebe testnih uzoraka, što se također može potvrditi radom autora Taherzadeh i dr. (2012) [24].

Cavalli i dr. (2008) [25], testiraju kako rezolucija snimaka koje su dobivene iz satelitskih misija ALI, Hyperion, LANDSAT ETM+ i snimaka koji su dobivene MIVIS senzorima utječu na identifikaciju materijala vrsta krovova te pronalaze da je rezolucijom od 30 m moguće identificirati samo osnovne površinske materijale, dok je korištenjem hiperspektralnih senzora moguće identificirati mnogo više površina.

Bassani i dr. (2007) [21], opisuju način na koji je moguće identificirati krovove građevina koje su sastavljene od azbest-cement valovitih ploča te određivanje stupnja istrošenosti ploča, što uzrokuje širenje azbestnih vlakana putem zraka. Testiranja su provedena u laboratorijskim uvjetima i na otvorenom. Hiperspektralne snimke prikupljene su avionom uz korištenje MIVIS senzora. Snimanja su provedena na području Italije nad gradovima Follonica i Rimini. Na temelju spektralnih analiza dobivena je spoznaja da se azbest-cement ploče i njihova vlakna mogu značajno detektirati na valnim duljinama od 2.32 μm i na 9.44 μm . Na temelju tih podataka detektirane su lokacije azbest-cement krovova te su određeni njihovi stupnjevi istrošenosti. Rezultati ukazuju da hiperspektralni senzori omogućuju dobru identifikaciju i klasifikaciju azbest-cement krovova.

Cilia i dr. (2015) [26], bavili su se time kako identificirati azbest-cement krovove i prikazati njihove lokacije u urbanim središtima te odrediti indekse spektralnih valnih duljina za određivanje tipova krovova. Podaci su prikupljeni avionskim snimanjem korištenjem hiperspektralnog MIVIS senzora. Snimanja su izvršena na području Italije nad gradovima Biassono, Lissone, Monza, Muggio i Seregno. Azbest-cement krovovi identificirani su s točnošću od 89%. Na temelju indeksa o trošnosti površina (ISD) moguće je locirati azbestne krovove s velikim stupnjem istrošenosti. Testiranja pomoću računanja indeksa ISD ukazuju da je čak 40% detektiranih azbest-cement krovova potrebno hitno sanirati kako bi se spriječilo širenje azbestnih čestica.

Frassy i dr. (2014) [27], opisuju lociranje azbest-cement krovova u planinskim područjima. Podaci su prikupljeni avionskim snimanjem korištenjem hiperspektralnog MIVIS senzora, na području zapadnih Alpa u Italiji i dolini Valle d' Aosta. Pomoću dobivenih snimaka i njihovom obradom, identificirani su azbest-krovovi s točnošću od

80%. Reljef je značajno utjecao na točnost identifikacije azbest-cement krovova. Rezolucija hiperspektralnih snimaka bila je glavni razlog pojave grešaka prilikom identifikacije azbest-cement krovova. Također, krovove vrlo malenih dimenzija nije bilo moguće detektirati. Dakle, glavno otkriće odnosi se na veličinu krovova, tj. njihovu površinu, odnosno, krovovi koji su bili manji od 3x3 piksela (što pokriva područje od 144 m²) nisu bili u potpunosti detektirani, na što ukazuje rezultat da je samo njih 43% bilo uspješno detektirano. Detekcija krovova koji su bili veći od navedene površine bila je točnija te iznosi 75%. Zaključeno je da daljinska istraživanja omogućuju dobru identifikaciju azbest-cement krovova na vrlo velikim i kompleksnim područjima po pitanju razvijenosti terena.

Fiumi i dr. (2014) [28], opisuju lociranje azbest-cement krovova na teritoriju Lazio Region, koji se nalazi u Italiji. Rezultati su dobiveni na temelju avionskih snimaka korištenjem hiperspektralnog MIVIS senzora i regionalnih karata, koji su potom uspoređeni sa stvarnom situacijom na terenu te je time potvrđena njihova točnost. Navodi se da kombiniranje MIVIS senzora i regionalnih karata, uz korištenje raznih programa za obradu podataka, može znatno doprinijeti informiranju o površinama na nekom području. Također se navodi da je današnje korištenje jeftinih daljinskih istraživanja uglavnom neodgovarajuće zbog male prostorne rezolucije (veličine piksela), što može stvarati probleme prilikom otkrivanja malenih površina azbest-cement krovova. U konačnici se navodi da određene lokacije istrošenih azbest-cement krovova, koji su već znatno u fazi raspadanja, mogu znatno pomoći lokalnim vlastima koje se bave očuvanjem okoliša i zdravljem stanovništva.

Szabó i dr. (2014) [29] metodom daljinskog istraživanja iz aviona, uz korištenje hiperspektralnih senzora, žele definirati lokacije azbest-cement krovova, odnosno izvršiti njihovo kartiranje. U radu su provedena testiranja raznih metoda klasifikacija. Također, cilj je rada određivanje valnih duljina koje imaju glavnu ulogu u identifikaciji različitih materijala krovova. U obradi hiperspektralnih snimaka, korištene su SAM, MLS i SVM metode klasifikacije. Pomoću navedenih metoda klasifikacija detektirane su lokacije, kako azbest-cement krovova, tako i raznih drugih materijala kovova s točnošću od 85%.

3. ZAKLJUČAK

Uklanjanje i zbrinjavanje azbesta i proizvoda koji sadrže azbest predstavlja veliki izazov za svaku državu, odnosno lokalnu zajednicu. U Hrvatskoj, kao i drugim državama u regiji postoji veliki broj takvih objekata, čiji je točan broj nepoznat. Zato detekcija objekata s azbestnim proizvodima predstavlja poseban izazov. Pregled spoznaja u svijetu o ovoj problematici koji je dan u ovom radu pokazuje da je moguće uspješno koristiti hiperspektralne snimke prikupljene daljinskim opažanjima pomoću spektrometra u infracrvenom i vidljivom području spektra. Da bi se uklanjanje azbestnih proizvoda s objekata u Hrvatskoj uspješno provelo potrebno je doći do točne spoznaje koliko takvih objekata ima, te će se istraživanje i razvoj metodologije i tehnike za primjenu hiperspektralnih snimaka nastaviti kroz provedbu znanstvenog projekta na Geodetskom fakultetu u Zagrebu u suradnji s nadležnim institucijama Republike Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Jakobović, Z. (gl. ur.). *Tehnički leksikon*. Zagreb: Leksikografski zavod Miroslav Krleža. 2007. str. 54.
- [2] Plavšić (2010): *Azbest je svuda oko nas*. Zagreb: Hrvatski zavod za toksikologiju. str. 5.
- [3] Azbest – „tihan ubojica“. brošura Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/A_Z_B_E_S_T_-_clanak.pdf
- [4] http://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje_otpadom/posebne_kategorije_otpada/otpad_koji_sadrzi_azbest/
- [5] primjer: Udruga *Moj otok* s otoka Krka: <http://quirinusportal.com/2015/04/projekt-zamjene-azbestnih-krovova/>
- [6] C. L. J. Arnold, and C. J. Gibbons, "Impervious Surface Coverage: the Emergence of a Key Environmental Indicator," *Journal of American Planning Association*, Vol. 62, No. 2, 1996, pp. 243-258.
- [7] Z. Sun, H. Guo, X. Li, L. Lu and X. Du, "Estimating Urban Impervious Surfaces from Landsat-5 TM Imagery Using Multilayer Perceptron Neural Network and Support Vector Machine," *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 5, No. 1, 2011, Article ID: 053501.
- [8] T. R. Oke, "Boundary Layer Climates," 2nd Edition, Methuen and Co. Ltd., Routledge, New York, 1987.
- [9] Y. Yang and P. Pan, "Research on the Impact of Impervious Surface Area on Urban Heat Island in Jiangsu Province" *Proceeding of SPIE 8286, International Symposium on Lidar and Radar Mapping, Technologies and Applications*, Nanjing, 26 May 2011, Article ID: 82861P.

- [10] Ebrahim Taherzadeh, Helmi Z. M. Shafri, „Development of a Generic Model for the Detection of Roof Materials Based on an Object-Based Approach Using WorldView-2 Satellite Imagery“, *Advances in Remote Sensing*, 2013, 2, 312-321.
- [11] Jun Yang, Peng Gong, Rong Fu, Minghua Zhang, Jingming Chen, Shunlin Liang, Bing Xu, Jiancheng Shi, Robert Dickinson (2013), „The role of satellite remote sensing in climate change studies“, *Nature Climate Change* 3, 875–883.
- [12] Schowengerdt, Robert A. (2007), „Remote sensing: models and methods for image processing (3rd ed.)“, Academic Press. p. 2. ISBN 978-0-12-369407-2.
- [13] Schott, John Robert (2007), „Remote sensing: the image chain approach (2nd ed.)“, Oxford University Press. p. 1. ISBN 978-0-19-517817-3.
- [14] Guo, Huadong; Huang, Qingni; Li, Xinwu; Sun, Zhongchang; Zhang, Ying (2013). "Spatiotemporal analysis of urban environment based on the vegetation–impervious surface–soil model" (Full text article available). *Journal of Applied Remote Sensing* 8: 084597. Bibcode: 2014JARS...8.4597G. doi:10.1117/1.JRS.8.084597.
- [15] Liu, Jian Guo & Mason, Philippa J. (2009). *Essential Image Processing for GIS and Remote Sensing*. Wiley-Blackwell. p. 4. ISBN 978-0-470-51032-2.
- [16] Krištof Oštir, Admir Mulahusić „Daljinska istraživanja“, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, 2014.
- [17] Fiumi L., Campopiano A., Casciardi S., Ramires D.: Method validation for the identification of asbestos-cement roofing. *Applied Geomatics*, vol. 4, Issue 1, 2012, pp. 55–64.
- [18] Nina Knešaurek (2014), Predavanje: Kvalitativne metode ispitivanja reprodukcije boja, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [19] Shafri H.Z.M., Taherzadeh E., Mansor S., Ashurov R., (2012), Hyperspectral remote sensing of urban areas: an overview of techniques and applications, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4, 1557-1565.
- [20] Szabo, S.; Burai, P.; Kovacs, Z.; Szabo, G.; Kerenyi, A.; Fazekas, I.; Paladi, M.; Buday, T. Testing algorithms for the identification of asbestos roofing based on hyperspectral data. *Environ. Eng. Manag. J.* 2014, 13, 2875–2880.
- [21] Bassani, C.; Cavalli, R.M.; Cavalcante, F.; Cuomo, V.; Palombo, A.; Pascucci, S.; Pignatti, S. Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. *Remote Sens. Environ.* 2007, 109, 361–378.
- [22] Nagyvárad L., Gyenizse P., Szebényi A., (2011), Monitoring the changes of a suburban settlement by remote sensing, *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment*, 5, 76-83.
- [23] E. Taherzadeh, and H. Z. M. Shafri. "Development of a Generic Model for the Detection of Roof Materials Based on an Object-Based Approach Using WorldView-2 Satellite Imagery." *Adv. in Remote Sens* 2013.
- [24] Taherzadeh E., Shafri H.Z.M., Soltani S.H.K., Mansor S., Ashurov R., (2012), A comparison of hyperspectral data and Worldview-2 images to detect impervious surface, *ASPSRS Annual Conference*, March 19-23, Sacramento, California.
- [25] Cavalli R.M., Fusilli L., Pascucci S., Pignatti S., Santini F., (2008), Hyperspectral sensor data capability for retrieving complex urban land cover in comparison with multispectral data: Venice City case study (Italy), *Sensors*, 8, 3299-3320.
- [26] Chiara Cilia, Cinzia Panigada, Micol Rossini, Gabriele Candiani, Monica Pepe and Roberto Colombo, "Mapping of Asbestos Cement Roofs and Their Weathering Status Using Hyperspectral Aerial Images", *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2015, 4, 928-941.
- [27] Frassy, F.; Candiani, G.; Rusmini, M.; Maianti, P.; Marchesi, A.; Nodari, F.R.; Via, G.D.; Albonico, C.; Gianinetto, M. Mapping asbestos-cement roofing with hyperspectral remote sensing over a large mountain region of the Italian western Alps. *Sensors* 2014, 14, 15900–15913.
- [28] Fiumi, L.; Congedo, L.; Meoni, C. Developing expeditious methodology for mapping asbestos-cement roof coverings over the territory of Lazio Region. *Appl. Geomat.* 2014, 6, 37–48.
- [29] Szabo, S.; Burai, P.; Kovacs, Z.; Szabo, G.; Kerenyi, A.; Fazekas, I.; Paladi, M.; Buday, T. Testing algorithms for the identification of asbestos roofing based on hyperspectral data. *Environ. Eng. Manag. J.* 2014, 13, 2875–2880.