



PRIMJENE METODA DALJINSKE DETEKCIJE U IZVANREDNIM UVJETIMA

Dr.sc. geofizike **Amer Smailbegović**, dipl.ing.geol.
Photon d.o.o. Split

Sažetak Većina izvanrednih pojava nosi sa sobom potencijal velike materijalne štete, gubitka ljudskih života, nesagledivih posljedica na okoliš kao i nemogućnosti procjene što, gdje i kako će se razvijati splet ali i rasplet okolnosti vezanih za dani događaj. Najznačajniji faktor koji umnogome može ublažiti posljedice je pravovremena i mjerodavna informacija s kojom se mogu sagledati i trenutačno stanje ali i procijeniti dalji događaji sa strategijom pristupa danoj situaciji. Metodologija primijenjena u ovom radu proizlazi iz načela daljinske detekcije i mineralne spektroskopije kako bi se odredile površinske pojave i koncentracije različitih ciljeva: tla, vegetacije, rudnih sirovina, kvaliteta vode i sl. Korištenjem pasivnog metoda hiperspektralne daljinske detekcije ili aktivnog metoda putem LIDAR-a, moguće je detektirati važne pojave na tlu i karakterizirati ih. Promjene uzrokovane zagađenjem ili promjenom stanja, imaju utjecaja na sve elemente sustava: onečišćenje vode ili tla moguće je direktno primjetiti spektroskopskim promjenama u samom tlu ili voda usljed pojave novih materija, ili pak posredno kroz stres i smanjenje kvantiteta ili kvaliteta biljnog pokrova. Primijenjena daljinska detekcija se može promatrati kao multi-disciplinski sistem "alatki" koje se mogu primijeniti u svrhu definicije, razmatranja i rješavanja problema i izazova sa kojima se susreće u izvanrednim uvjetima. Mogućnost dobivanja točnih i pravovremenih informacija umnogome može pomoći u razrješavanju situacije na terenu. Kombiniranim metodama daljinske detekcije moguće je stvoriti pseudo-realan prikaz cjelokupne situacije i donijeti strateške i taktičke odluke brzo i sukladno prikazanim izazovima.

Ključne riječi: daljinska detekcija, spektroskopija, LIDAR, izvanredni uvjeti, hiperspektralno

APPLICATION OF THE REMOTE SENSING METHOD IN EMERGENCY CONDITIONS

Abstract The majority of emergencies contain the same general characteristics: loss of life, material destruction and unforeseen consequences to the environment as well as overall inability to estimate how the events are going to develop with regards to the emergency condition at hand. The most important factor which could help mitigate the consequences is timely and accurate information into the situation at hand, which in turn can be used for strategic assessment and mitigation of the situation. The methodology applied in this study is derived from the principles of remote sensing and mineral spectroscopy to determine certain surface characteristics of various targets (e.g. soils, water, mineral resources, water quality). Using passive or active remote sensing methods, it is possible to detect various occurrences and characterize them by their importance to the developing emergency situation. The applied remote sensing can be understood as a multidisciplinary set of tools which can be applied towards the definition, consideration and resolution of the problems and challenges encountered in an emergency. The ability to obtain correct and timely information is of paramount importance in deriving pseudo-real assessment of the entire situation and derive strategic and tactical decisions appropriate to the understanding of the situation.

Key words: remote sensing, spectroscopy, LIDAR, emergency conditions, hyperspectral



1. UVOD

Većina izvanrednih pojava nosi sa sobom potencijal velike materijalne štete, gubitka ljudskih života, nesagledivih posljedica na okoliš kao i nemogućnosti procjene što, gdje i kako će se razvijati splet, ali i rasplet okolnosti vezanih za dati događaj. Najznačajniji faktor koji umnogome može ublažiti posljedice je pravovremena i mjerodavna informacija s kojom se mogu sagledati i trenutačno stanje, ali i procijeniti dalji događaji sa strategijom pristupa danoj situaciji. Metode daljinske detekcije omogućavaju uvid u cjelokupno stanje pojave s relativno sigurne udaljenosti, umanjujući rizik, a nudeći potrebne informacije. Kombinacijama metoda daljinske detekcije (elektro-optičke, multispektralne, hiperspektralne) s geološkim, geofizičkim, hidrološkim te biološkim poimanjem terena je ukazala na značajne i ohrabrujuće rezultate u objašnjavanju kompleksnih problema vezanih za životnu sredinu. Daljinska detekcija je posredna metoda prikupljanja velikog broja elementarnih informacija s određenog terena putem elektro-optičkih sistema u vrlo brzom vremenskom roku, bez izravnog fizičkog kontakta s danom sredinom. Metode daljinske detekcije nisu univerzalni odgovor, ali često daju dovoljno pokazatelja koji mogu poslužiti kao putokaz k razumijevanju i razrješavanju osmotrenih problema ili situacija.

2. METODOLOGIJA

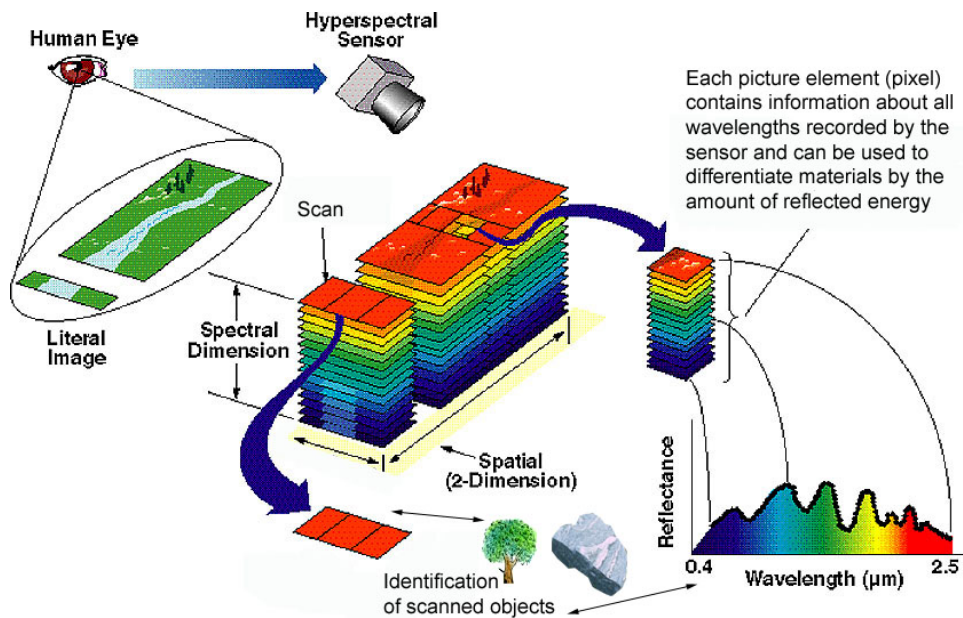
Metodologija primijenjena u ovom radu proizlazi iz načela daljinske detekcije i mineralne spektroskopije kako bi se odredile površinske pojave i koncentracije različitih ciljeva: tla, vegetacije, rudnih sirovina, kvaliteta vode i sl. Korištenjem pasivnog metoda hiperspektralne daljinske detekcije ili aktivnog metoda putem LIDAR-a, moguće je detektirati važne pojave na tlu i karakterizirati ih.

Hiperspektralna detekcija

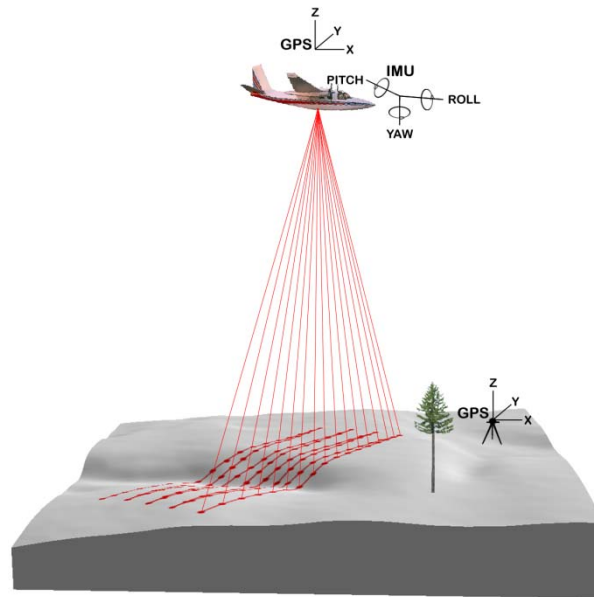
Hiperspektralna tehnologija se razvija već dva desetljeća na osnovi istraživanja agencija NASA-e na poljima foto-čelija, digitalne pohrane podataka, spektroskopije i uznapredovanih navigacijskih sustava. Sve su ove tehnologije objedinjene u specijalnoj vrsti kamere-senzora koja simultano snima teren u više stotina valnih duljina: od ultraviolettne do infracrvene regije spektra i s visokom prostornom rezolucijom, od 0.5 do 3m. Hiperspektralna tehnologija je sada dostupna na komercijalnoj razini i može se slobodno primjenjivati bilo gdje na svijetu, a kamere su dovoljno male i portabilne da ih je moguće integrirati u bilo koji vid letjelice. Analizom i obradom podataka moguće je identificirati različite vrste biljaka, minerala, vještačkih materijala, kvalitetu vode, pojave zagađenja i dosta drugih pojava koje imaju karakterističan spektralni odraz. Naime, hiperspektralna tehnologija omogućava karakterizaciju terena na osnovi kako osmatrane, odnosno snimane, površine reflektiraju primljenu sunčevu radijaciju. Glavni razlog za primjenu hiperspektralne detekcije je da posebne vrste ciljeva imaju poseban spektralni odraz, a sustav može prikupiti ogromnu količinu podataka, primjenjivih u različitim namjenama, na relativno velikoj površini. Promjene uzrokovane zagađenjem ili promjenom stanja, imaju utjecaja na sve elemente sustava: onečišćenje vode ili tla moguće je izravno primijetiti spektroskopskim promjenama u samom tlu ili vodi uslijed pojave novih materija, ili pak posredno kroz stres i smanjenje kvantitete ili kvalitete biljnog pokrova.

LIDAR

LIDAR je kratica za sustav Laserske Identifikacije, Detekcije i Razdaljine, koji se omedavno koristi u složenim geodetskim mjerjenjima. Sustav radi na principu laserskog pulsiranja: senzor pulsira laserski snop od određene površine, i na osnovi vremenske razlike između emitiranog, odbijenog i primljenog laserskog zraka, određuje oblik površine koju snima. Budući da se senzor nalazi na precizno utvrđenoj lokaciji (letjelica na kojoj je postavljen sustav je opremljena sa diferencijalnim GPS sustavom), ovim je moguće dobiti topografski profil visoke rezolucije. LIDAR je u stanju pokriti određenu regiju s više od tisuću pulsniha točaka i tim dobiti prikaz snimljene površine u X-Y-Z prostoru s rezolucijom topografskog detalja do 5 cm. Ovako snimljena površina je pohranjena u trodimenzionalnom modelu koji je moguće analizirati iz različitih kutova, kako bi se razumjeli svi mogući prostorni elementi (n.p.r. topografija, pukotine, ose klizanja, glatkoća terena, drenažni oblici, itd.) a istovremeno intenzitetom laserskog pulsa okarakterizirali drugi ciljevi (tip vegetacije, navodnjenost terena). LIDAR je aktivni senzorski sustav koji može biti korišten u većini vremenskih uvjeta (osim magle i guste kiše), danju i noću budući da emitira svoj vlastiti puls energije.



Slika 1. Koncept hiperspektralne daljinske detekcije: Svaki slikovni element (piksel) digitalnog snimka sadrži više stotina kanala različitih valnih duljina što omogućava klasifikaciju terena na osnovi informacija sadržanih u tom snimku.



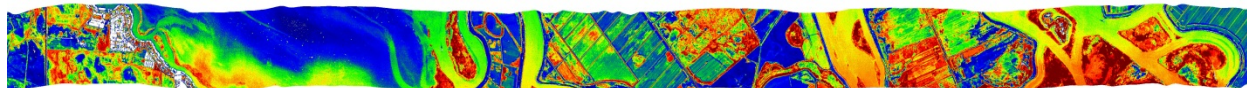
Slika 2. Koncept detekcije LIDAR sustavom gdje je površina skenirana odbijenim laserskim pulsovima

3. PROBLEMATIKA

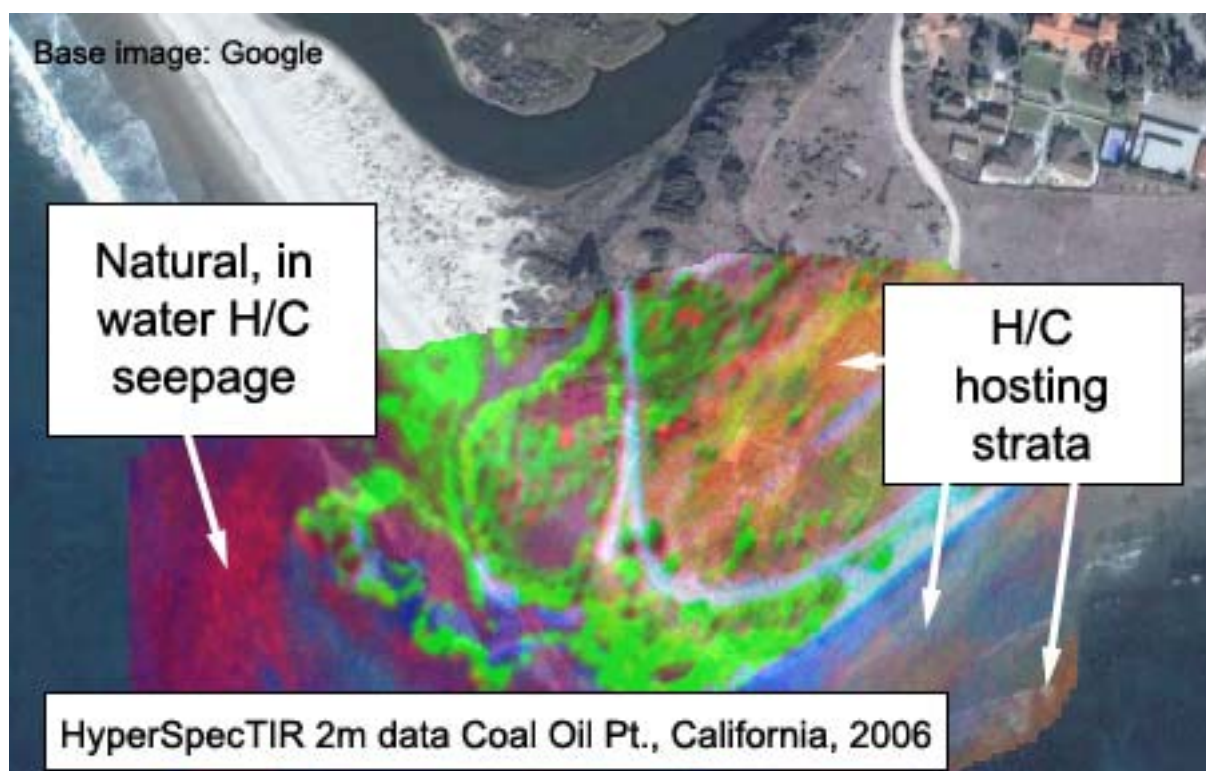
Analizom hiperspektralnih podataka moguće je odrediti trenutno stanje površine s obzirom na mineralošku vrstu tla, kvalitetu, kvantitetu i vrstu biljnog pokrova, vrstu materijala koji su prisutni na površini, te kvalitetu i čistoću površinskih voda. Promjene uzrokovane zagađenjem ili promjenom stanja imaju utjecaja na sve elemente sustava: onečišćenje vode ili tla moguće je izravno primijetiti spektroskopskim promjenama u samom tlu ili vodi uslijed pojave novih materija ili pak posredno kroz stres i smanjenje kvantitete ili kvalitete biljnog pokrova.

Pojave organskih materija u vodi, bilo prirodnim putem (pritoke bujica, elementarne nepogode, prirodna izvorišta ugljikovodika) bilo industrijskim odnosno urbanim zagađenjem, moguće je primijetiti uslijed spektroskopskih promjena u vodi te pojavom određenih vrsta oportunističkih algi ili mikroorganizama kojima odgovara novonastala situacija. Hiperspektralna metodologija dopušta kategorizaciju onečišćenja putem analize organskih materijala koji su trenutno prisutni u vodi. Povećanje faktora koji smanjuju čistoću vode (nivo klorofila, turbiditeta, suspendiranih sedimenata i fitoplanktona) su simptomi eutrofičnog stanja vode. Koncentracija ovih parametara može biti putokaz k razumijevanju potencijalnog učinka na akvatski okoliš te cjelokupnu kvalitetu vode. Hiperspektralni skaneri su vrlo osjetljivi na koncentracije vodenog klorofila u valnim dužinama od 660 – 720 nm te mogu primijetiti čak i vrlo malo količine povećane gustoće klorofila u vodi (e.g. Jupp et al. 1997).

Također, smanjenje bistrine vode može biti zapaženo promatranjem razine transmitance (količine energije svjetla koja prolazi kroz vodu) između 400-500 nm omogućavajući time kvalitativne i kvantitativne razine suspendiranog sedimenta i drugih zagađivača u određenoj regiji. Ovakvom metodom dobiva se sveobuhvatan pristup i razumijevanje trenutnog stanja vodotoka te regija koje su zahvaćene određenim problemima, bez zahtjevnog i dugotrajnog terenskog rada.



Slika 3. Hiperspektralni prelet riječnog sustava – zone zahvaćene odljevom visoko-organskog sadržaja su izražene toplijim bojama.

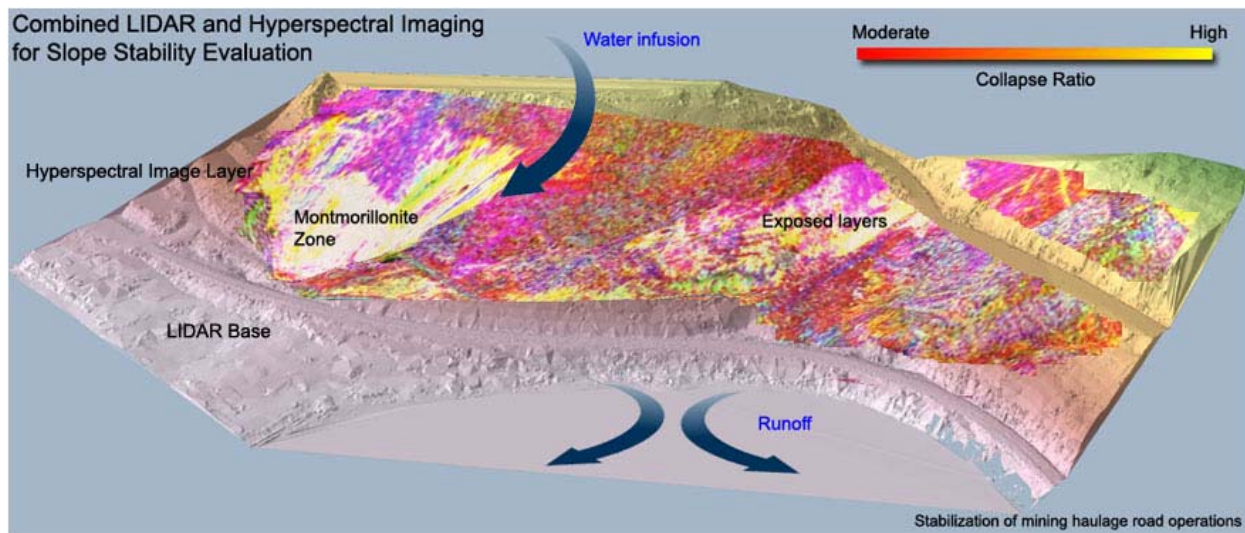


Slika 4. Pojava ugljikovodika u vodi

Teški metali (olovo, živa, kadmij itd.) su produkt industrijskog zagađenja sredine i kroz dvostupanjski proces transformacije (oksidacija i bioakumulacija) vrlo lako ulaze u lanac prehrane i ekosustava. Ova pojava je ili proces dugotrajne industrijske kontaminacije terena ili posljedica izljeva industrijskog ili rudnog otpada. Studije pokazuju (Wu et al., 2005) da je apsorpcija teških metala i sulfata u tlu umnogome ovisna o vrsti mineralogije tla te lokalnih klimatsko-okolišnih uvjeta. Također, prisutnost sulfata i ostataka metalne rude u jalovištima rudnika predstavlja početnu poziciju za snimanje i remedijaciju mogućih uzročnika prije nego što mogući zagađivači uđu u ekosustav. Istraživanja su pokazala da prisutnost minerala gline ima učestaliju pojavu s maksimalnim koncentracijama apsorpcije teških metala te je takve regije moguće označiti i ograničiti razine ljudske interakcije (ograničenja boravljenja, upotreba za poljoprivredne namjene itd).

Daljinskim metodama moguće je utvrditi prisutnost minerala gline, sulfidnih minerala, ali i pojave sulfatnih soli i regija zahvaćenim zagađenjem putem opadanja kvalitete vode ili stresa primjetnog u vegetaciji.

U regijama koje su možda bile zahvaćene požarom, pa je povećana erozija, ili se pak javljaju u suptropskim ili tropskim uvjetima, gdje velike količine organskog materijala predstavljaju pogodno tlo za pojavu klizišta, hiperspektralnom detekcijom moguće je odrediti zone pogodne za stvaranje klizišta putem mineraloške kategorizacije tla i detekcijom hidrofilnih minerala koji propagiraju klizišta.



Slika 5. Integrirani LIDAR i hiperspektralni podatci na zoni klizišta gdje hidrofilni minerali gline igraju bitnu ulogu u propagaciji klizišta na padinama većim od 40 stupnjeva.



4. PRIMJER

U mjesecu listopadu 2010., pri aluminijskom kombinatu u gradu Ajka, Mađarska, 140 km zapadno od Budimpešte, došlo je do pucanja pregradne brane i izlivanja veće količine otpadnog crvenog mulja. Crveni mulj je otpadni materijal pri rafiniranju rude boksita u aluminij i sadrži visoko-lužnate spojeve aluminijevog hidroksida (pH vrijednosti više od 12). Bujica otpadnog materijala, u količinama većim od 3 kubna kilometra se izlila prema gradu Kolontar i gotovo ga preplavila odnijevši za sobom sedam ljudskih života i stvorivši opasnu zonu dugu više od 30 kilometara (Bakos et al., 2010).

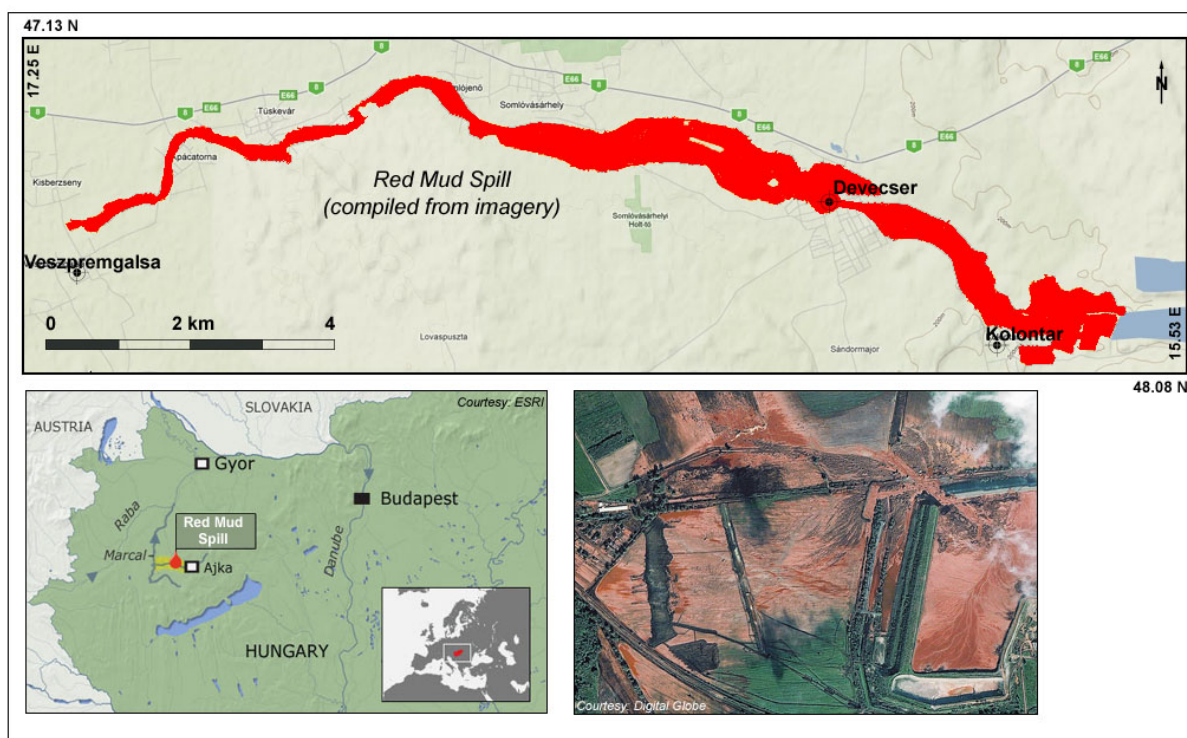
Mađarska vlada je mobilizirala sve raspoložive sustave kako bi se ustanovila štetnost i koncentracija bujičnog nanosa sa snimanjima koristeći hiperspektralne, termalne i LIDAR zračne metode daljinske detekcije potpomognute zemaljskim uzorkovanjem, kemijskim analizama i spektroskopijom (detaljan opis aktivnosti je dat u Burai et al., 2010.).

Apsorpcijske karakteristike crvenog mulja su utvrđene laboratorijskim metodama i detektirane u rasponu od 480-570 nm valne duljine s maksimalnom vrijednosti reflektante u rasponu od 650-720 nm valne duljine. U tu svrhu, kreiran je matematički izraz za procjenu dubine crvenog mulja (od 0 do iznad 25 cm) kao funkcije intenziteta reflektance:

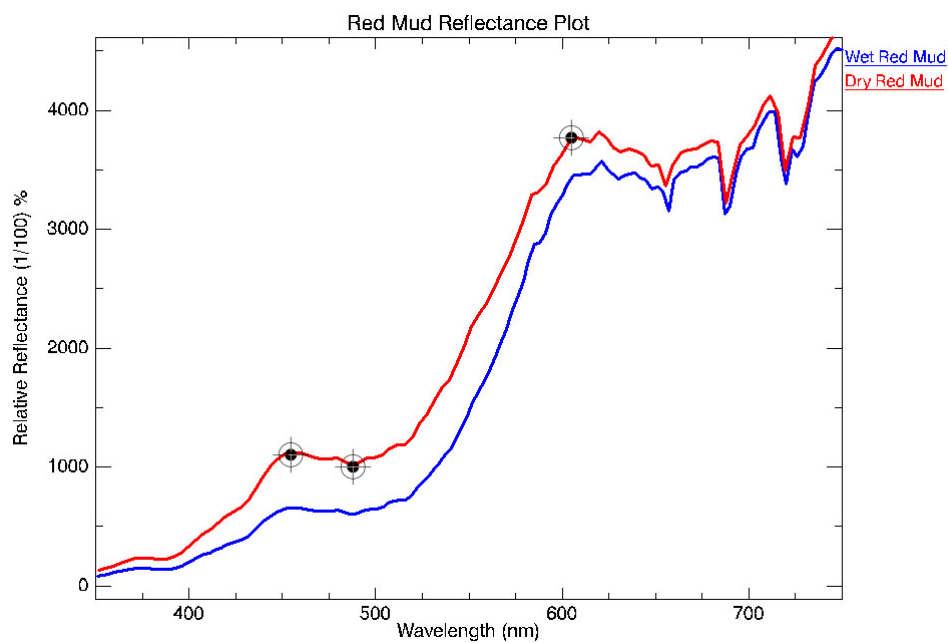
$$\text{INDEKS} = (B682\text{nm}-A549\text{nm}) / (B682\text{nm}+A549\text{nm})$$

Izračunati indeks (Burai et al., 2010) je koreliran s podacima prikupljenim na terenu i predviđena debljina se slagala sa stanjem na terenu u više od 85% slučajeva, gdje je regija bila jasno vidljiva na danim zračnim snimcima (bez primjesa sjene ili gustog biljnog pokrivača).

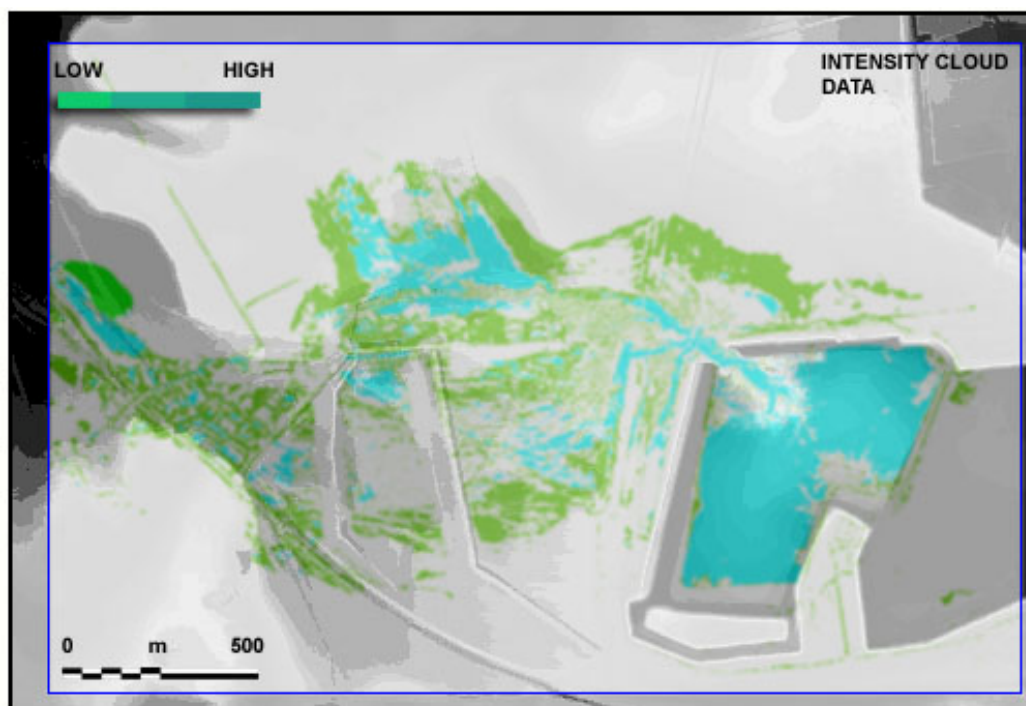
Kako bi se prevladali utjecaji sjene, korišteni su podaci s aktivnog senzorskog sustava LIDAR. Intenzitet laserskog pulsa opada s tim što je osmatrani cilj vlažniji, a samim tim i dublji, jer se crveni mulj teže suši. Više autora (npr. Kaasalainen i dr. 2005., Moore i dr. 2001., Lang i McCarty, 2009.) je ukazalo na mogućnosti korištenja LIDAR sustava u tu svrhu i predložili da se podatci procesuiraju na osnovu tzv. prvih odboja, što znači prvih dobivenih laserskih impulsa koji su dobiveni s površine. Na mjestima gdje je intenzitet dobivenog signala znatno smanjen zbog apsorpcije i difrakcije laserskog snopa s vlažne površine moguće je dobiti poseban otisak koji se korelira s relativnom vlažnošću pokrivača, a samim tim i kvocijentom dubine, dobivenim terenskim mjerenjem dubine i vlažnosti. Rezultati su ukazali na više od 90% korelacije između LIDAR-skih, hiperspektralnih i terenskih procjena vlažnosti, odnosno debljine crvenog mulja.



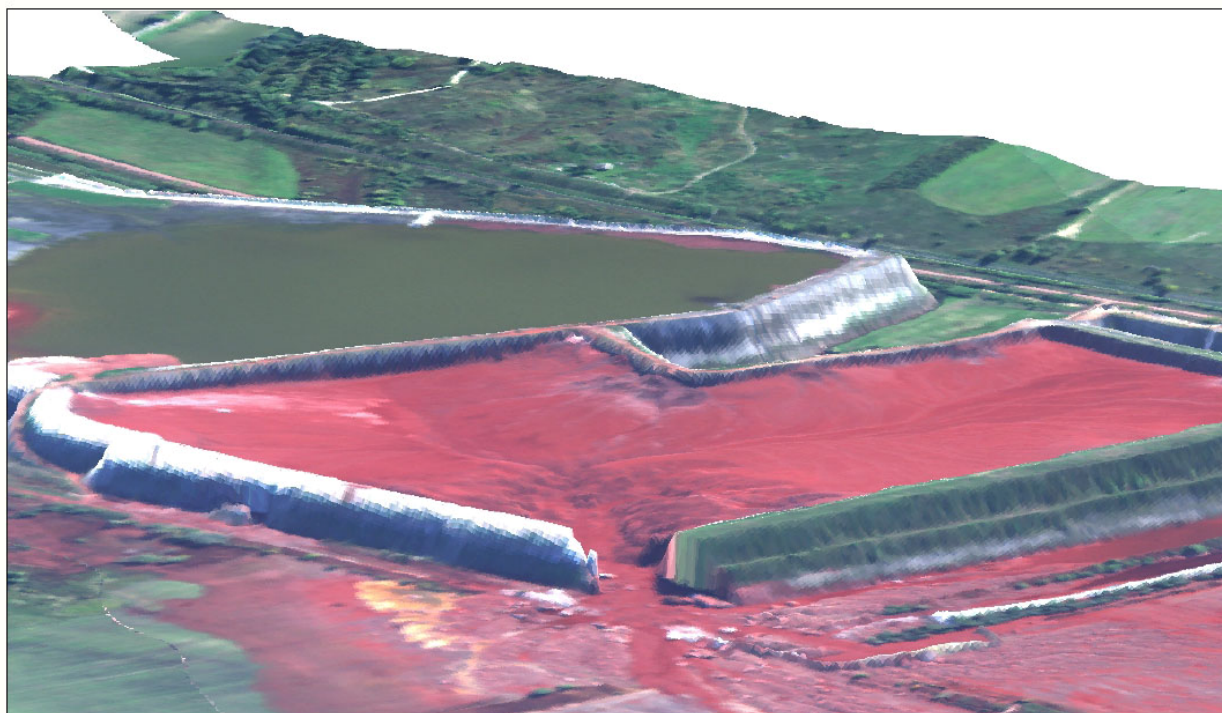
Slika 6. Regija zahvaćena izljevom crvenog mulja, Kolontar, Mađarska.



Slika 7. Spektroskopski odraz crvenog mulja s identifikacijskim točkama za indeks



Slika 8. Intenzitet odbijenih laserskih točaka s površine prikupljenih LIDAR-om



Slika 9. Obradeni i integrirani LIDAR podatci s hiperspektralnim podacima (Burai et al., 2010).



5. ZAKLJUČAK

Primijenjena daljinska detekcija se može promatrati kao multidisciplinarni sustav "alatki" koje se mogu primijeniti u svrhu definicije, razmatranja i rješavanja problema i izazova s kojima se susreće u izvanrednim uvjetima. Mogućnost dobivanja točnih i pravovremenih informacija umnogome može pomoći u razrješavanju situacije na terenu. Kombiniranim metodama daljinske detekcije moguće je stvoriti pseudo-realan prikaz cjelokupne situacije i donijeti strateške i taktičke odluke brzo i sukladno prikazanim izazovima.

U kombinaciji s drugim metodama daljinske detekcije i terenske klasifikacije i uzorkovanja, moguće je pratiti ove pojave na široj regiji i kroz duži vremenski period kako bi se mogao utvrditi njihov stvarni utjecaj i eventualne mjere ublažavanja i otklanjanja posljedica.

LITERATURA

1. Bakos, K. – Gamba, P. – Burai, P. (2011): Rapid estimation of point source chemical pollutant coverage in catastrophe situation using hierarchical binary decision tree ensemble end probability membership value based ensemble approaches. 3rd IEEE GRSS Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing-WHISPERS 2011, Lisboa, Portugal, 2011. In press.
2. Burai, P. - Smailbegovic, A. - Lénárt, Cs. - Berke, J. - Milics, G. - Tomor, T. - Bíró, T. (2011). Preliminary analysis of red mud spill based on aerial imagery, Hungary. Acta 3. Geographica. Landscape and Environment, Volume 5, Issue 1.
3. Jupp, D. L. B., Kirk, J. T. O. & Harris, G. P. 1994. Detection, identification and mapping of cyanobacteria. using remote sensing to measure the optical quality of turbid inland waters.
4. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 45, 801-828.
5. Kemper, T. – Sommer, S. (2002): Estimate of heavy metal contamination in soils after a mining accident using reflectance spectroscopy. Environmental Science and Technology 36: 2742-2747.
6. Lang, M.W. – McCarty, G.W. (2009): Lidar intensity for improved detection of inundation below the forest canopy. Wetlands, 29: 1166–117.
7. Moore, I.D. – Grayson, R.B. – Ladson, A.R. (1991): Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes 5: 3-30.
8. Wu YZ, Chen J, Ji JF, Tian QJ, Wu XM. Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. Environ Sci Technol. 2005 Feb 1;39(3):873-8