

PRIMJENA GEOFIZIČKIH I GEOKEMIJSKIH METODA U FORENZIČKIM ISTRAŽIVANJIMA

Pregledni naučni rad

Primljeno/Received: 13. 10. 2023.

Prihvaćeno/Accepted: 6. 11. 2023.

Amer SMAILBEGOVIĆ

Sažetak

Klasična forenzička ispitivanja i vršenje uviđaja su nekad nedovoljna da sakupe sve potencijalne dokaze, posebice ukoliko se vrše nakon dužeg vremenskog intervala, prvenstveno zbog nemogućnosti izlaska na teren ili na lokaciju. Ova ograničenja su posebice izražena u ispitivanjima ratnih zločina ili lociranju ratne zaostavštine (neeksploziranih ubojnih sredstava, zakopanog oružja, masovnih grobnica i drugih mjesta gnusnih zločina). Ovaj rad prezentira neke od geofizičkih i geokemijskih metoda i tehnika koje su korištene diljem svijeta - Balkanu, Bliskom istoku i Ukrajini, posebice u pronalaženju sekundarnih i tercijarnih masovnih grobnica i zaostale vojne tehnike. Opisane metode uključuju upotrebu metoda daljinske detekcije putem zračnih ili satelitskih senzora koji ukazuju na izvjesne promjene na tlu, upotrebu radarskih sustava za probijanje tla, elektromagnetnih metoda, uređaja za detekciju rezidualne radijacije te geokemijskih metoda uzorkovanja vode i tla kako bi se sakupio dokazni materijal odnosno locirale zone od potencijalnog interesa. Predstavljene metode upućuju na opisive promjene u mineralogiji tla, električnoj provodljivosti, pojavama šupljina na radarskim snimcima tla kao i neuobičajene koncentracije metala (posebice teških metala) ili organskih tvari u vodi ili tlu kao potencijalne indikatore masovnih zločina ili druge ratne zaostavštine.

Ključne riječi

Forenzika, dokazni materijal, geofizika, geokemija, ratni zločini, ratni materijal

UVOD

Forenzička ispitivanja i prikupljanje dokaznog materijala na otvorenom prostoru sadrže različite fizičke, kemijske, biološke, hidrološke i geološke elemente koji mogu pojačati ali često i otežati uzorkovanje, ispitivanje i korelaciju dokaznog materijala. Ovaj rad se fokusira na geološkim elementima i fizičko-kemijskim svojstvima tla koja se mogu primijeniti u forenzičkim ispitivanjima a direktno su vezana za posebna krivična djela kao što su ubojstvo, sakrivanje posmrtnih ostataka, paljevina, upotreba eksplozivnih sredstava, sakrivanje oružja ili drugog dokaznog materijala kao i druge aktivnosti koje dolaze u bliski kontakt sa elementima tla, vode

ili vegetacijskog pokrivača. Opisana geofizička i geokemijska metodologija je relativno novijeg datuma, interdisciplinarnog je tipa i cilj je pružiti osnovne informacije o ulozi i vrijednosti razumijevanja kombiniranih prirodnih pojava u rasponu od makroskopskih (regionalnih) studija mjesta zločina do mikroskopskih istraga kako bi se podržale službe za provođenje zakona u rješavanju kriminala, zaštite okoliša, teškog i organiziranog kriminala, ratnih zločina ali i terorizma.

GEOLOŠKA FORENZIKA

Prva opisana pojava geo-forenzičkih metoda je iz aprila 1856, kada je bačva koja je bila natovarena srebrenim novcem i poslana željeznicom pronađena ispunjena pijeskom po dolasku na odredište. Tada je Profesor Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876), sa Univerziteta u Berlinu, napravio detaljne uzorke pijeska sa stanica duž željezničkih pruga u Pruskoj i uz pomoć polariziranog mikroskopa uspio da odredi postaju na kojoj se desila krađa (Donnelly & Murray, 2021). Ovo je ujedno i jedan od klasičnih pristupa na kojem se danas, uz upotrebu različitih instrumenata određuju nulta stanja, pozadine, anomalije i korelacije uz utvrđivanje mineralogije tla, primjesa, sadržaja vode, električne provodljivosti, termalnih svojstava i prirodne radijacije. Neke od pojava mogu biti makroskopskog karaktera i jasno vidljive golim okom (npr. iskopana zemlja, paljevina, otisci tragova itd.) ali su često bitniji u istrazi tragovi koje je počinitelj nastojao ukloniti. U prikazanoj tabeli, opisane su neke od promjena koje su uočljive putem geofizičkih i geokemijskih uzorkovanja, a mogu imati izvjesne forenzičke primjene obzirom na izmjenu stanja terena.

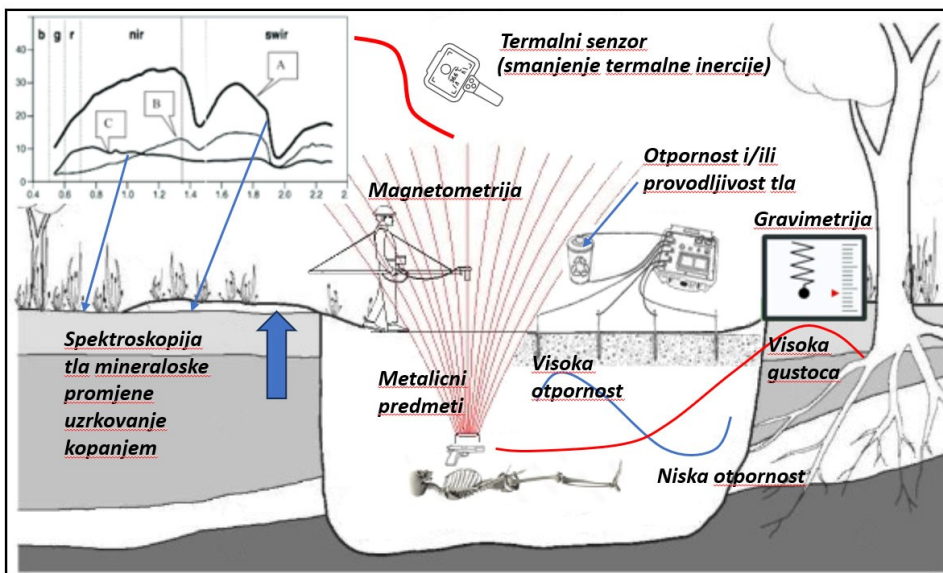
Tabela 1. Neke od izdvojenih geofizičkih i geokemijskih tehnika koje se koriste u forenzici.

Terenska pojava	Geofizička metoda	Geokemijska metoda
Paljevina	Termalne anomalije	Izmjena mineralogije tla
	Magnetne anomalije Smanjenje provodljivosti tla, posebno ako je paljevina prekrivena pokrovom.	Izmjena infracrvenog odraza tla Elementarne anomalije uočene putem ICP-MS metoda.
Paljevina sa zapaljivim sredstvima (akceleratorima)	Termalne anomalije	Elementarne anomalije ugljikovodika ili metala uočene putem ICP-MS metoda
	Smanjenje provodljivosti tla	
Kopanje	Magnetne anomalije, Smanjenje ili povećanje provodljivosti tla zbog izmjene različitih horizonata.	Spektroskopske anomalije minerala tla (npr. povećanje količine glinenih minerala na površini), elementarne anomalije (pojava amonijaka, kalija, plinova itd.).
	Izmjena radarskog odraza zbog pojave šupljina ili diskontinuiteta.	
	Izmjena (smanjenje) mase uočene kroz mikro-gravimetrijska mjerenja.	

Proizvodnja narkotika	Pozitivne magnetne anomalije (laboratorije), karakterističan infracrveni ili termalni odraz biljaka, materijala itd.	Pojave organskih spojeva u tlu ili abnormalnih koncentracija plina, acetata itd. Prisustvo povećanih koncentracija P, N, K u tlu.
Eksplozija	Površinska deformacija uočena RADAR ili LIDAR detektorom, negativna magnetna anomalija u centru i pozitivna magnetna anomalija na rubu (krhotine). Gravimetrijska mjerenja gustoće.	Prisustvo organskih spojeva ili rezidualnog eksploziva u tlu, vodi ili na površinama koje su bile u kontaktu.
Sakrivanje eksplozivnih naprava	Pozitivne magnetne i elektromagnetne anomalije kao i pojave opisane kopanjem (izmjena mineralogije tla).	Prisustvo organskih spojeva ili teških metala u tlu fokusiranim na usku regiju (npr. Pb-Sb-W-Mn). Spektralne anomalije uzorkovane kopanjem.
Industrijski ispušt	Karakterističan infracrveni ili termalni odraz odnosno promjena provodljivosti / otpornosti tla ako je ispušt ispod tla.	Prisustvo teških metala ili organskih spojeva u tlu, vodi ili zraku.

GEOFIZIČKE METODE

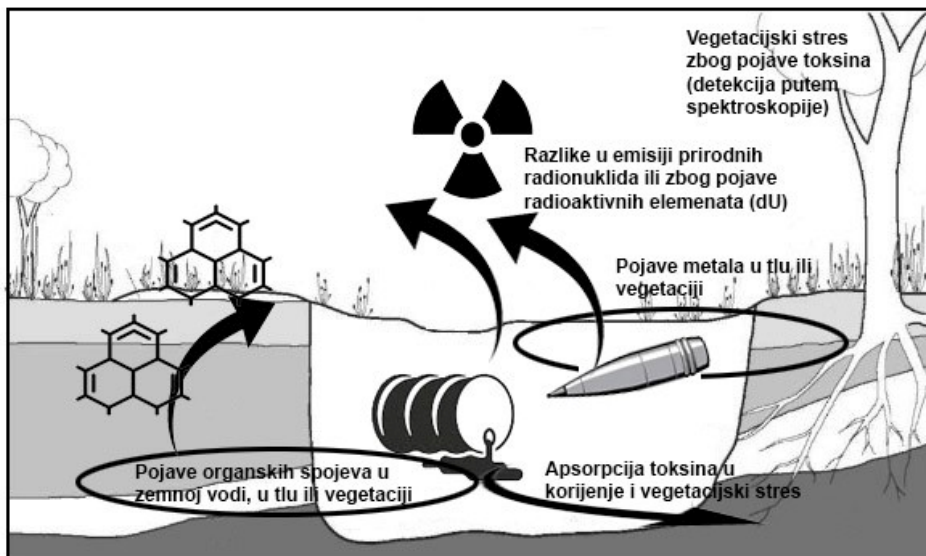
U forenzičkim primjenama uglavnom se koriste geofizičke metode koje imaju relativno veliku rezoluciju u razaznavanju plitkih anomalija ili izmjena uzrokovanih kopanjem, utiskivanjem, paljevinom ili drugim izmjenama tla uslijed izravnog antropogenog djelovanja. Neke od tehnika koje su našle primjenu u forenzici su geomagnetno snimanje (Pringle, et al., 2014), električna provodljivost ili otpornost terena (Doro, et al., 2022), RADAR (Barone & Di Maggio, 2019), gravimetrija (Fenning & Donnelly, 2004) i termalna svojstva tla (Edelman, et al., 2013). Na kompozitnom dijagramu (ispod) prikazane su fizičke pojave uzrokovane prikrivanjem posmrtnih ostataka i načini na koji se mogu detektirati uz upotrebu geofizičkih mjerenja. Glavna poveznica je da putem kopanja ili interniranja tijela ili drugih objekata je privremeno narušena prirodna pozadina što dovodi do mineraloških ili fizičkih parametara tla, kao što su provodljivost, gustoća, termalna inercija, vlažnost itd. Ove izmjene, u zavisnosti od vremenskog intervala koji je protekao od internacije pa do snimanja, mogu biti posebno izražene ili ukazivati samo male anomalije, ovisno o stupnju „uznemiravanja“ tla te drugim pratećim objektima ili okolišnim parametrima. Primjerice u relativno suhom okolišu, sa malo vegetacije, ove izmjene terena su uočljive vrlo dugo, dok u vlažnim, kontinentalnim terenima sa bujnom vegetacijom vrlo brzo blijede i stapaju se sa pozadinom. Pojedini elementi, npr. termalna inercija (koliko se brzo zagrijava i hladi neki objekat ili regija), električna provodljivost ili gustoća terena ostaju uočljivi duže vrijeme nakon što su površinski elementi maskirani.



Slika 1. Shematski prikaz geofizičkih tehnika za detekciju u pojedinim forenzičkim ispitivanjima.

GEOKEMIJSKE METODE

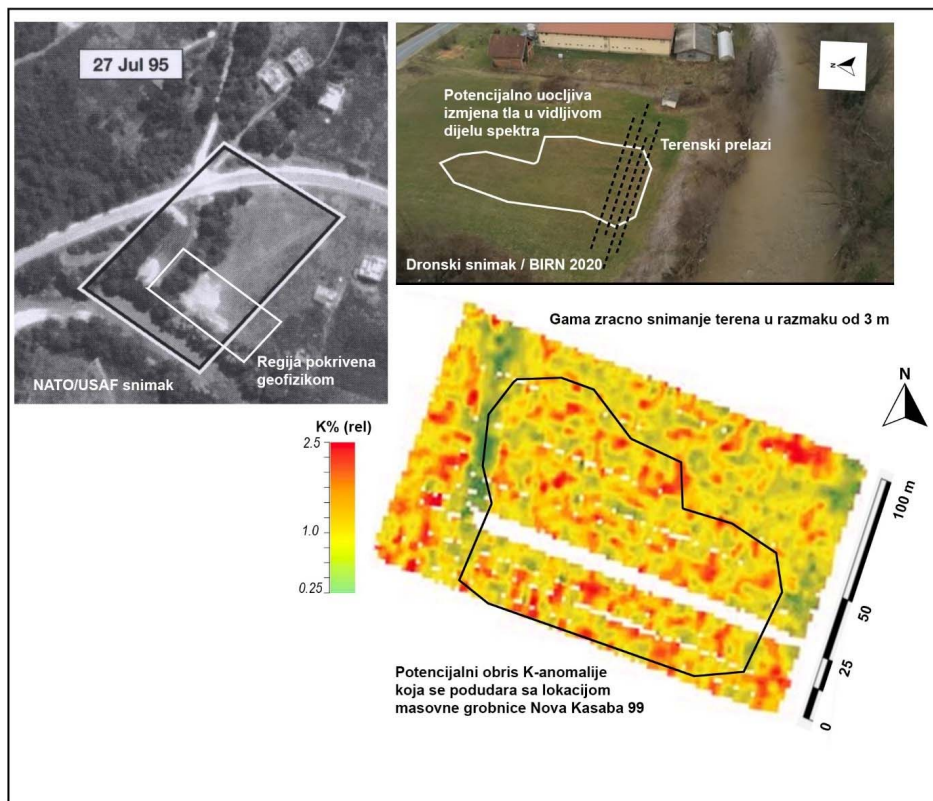
Geokemijske tehnike u forenzici se primarno fokusiraju na elementarne anomalije prisutne u tlu ili u vodi (npr. pojava metala ili organskih spojeva) ali uključuju i pojedine izmjene u fizičkim karakteristikama tla i vode uzrokovane kemijskim promjenama u strukturi materijala (boja, odraz, gustoća, čvrstina itd.). Neke od ovih promjena moguće je uočiti putem analitičkih metoda kao što su infracrvena spektroskopija (Edelman, et al., 2013), gama-zračna spektroskopija (Norma, 2016), spektroskopija mase (ICP-MS) uz upotrebu inducirano-uparene plazme (Ruffolo, et al., 2022). Ove metode detekcije uglavnom se oslanjaju na diskretne molekularne ili atomske promjene unutar samog materijala koji se analizira. Primjerice, u procesu kopanja, minerali gline (npr. pretežno aluminijско-hidroksidni minerali) se akumuliraju na površini i često mijenjaju mineraloško-kemijsku strukturu tla (koja se obično sadrži od silikata ili karbonata). Ove promjene su uočljive putem infracrvene spektrometrije tla (Clark, 1999) ali nekad, i duže vrijeme, upotrebom gama-zračne spektroskopije (Clausen, et al., 2016), prvenstveno zbog izmjene koncentracije mase samog tla. Budući da je radioaktivnost radionuklida u tlu funkcija cjelokupne mase i sadržaja radionuklida i zapremine tla, spektralni odraz prirodnog radioizotopa tla Kalijuma-40, izrazito je osjetljiv na promjene u zapreminskoj gustoći tla, koja se kopanjem mijenja i može se detektirati putem spektroskopije. Kemijske promjene u samom tlu, izazvanih prisustvom kontaminanata (npr. organskih spojeva ili teških metala) koji se možda nalaze u tlu zbog prisustva industrijskog otpada ili raspadanja ne-eksplozivnih ubojnih sredstava (NUS). Najbolji pokazatelj je upravo geokemijska analiza tla i vode koja može ukazati na povišene koncentracije metala ili spojeva koji ne pripadaju zadatoj pozadini i na taj način ukazati na potencijalne probleme (Perunovic, et al., 2015). Također, neka NUS mogu sadržavati i neke radioaktivne elemente (npr. osiromašeni Uranij) te ih je moguće detektirati i putem kemijske ali i spektroskopske analize terena.



Slika 2. Shematski prikaz geokemijskih tehnika u pojedinim forenzičkim ispitivanjima.

PRIMJERI IZ PRAKSE

Primjene geoloških, geofizičkih i geokemijskih metoda su učestalije u forenzičkim ispitivanjima (Leucci, 2020) a očekuje se, da će, prvenstveno zbog napretka analitičkih metoda, ove tehnika postati od krucijalnog značaja za prepoznavanje i najmanjih anomalija (Fitzpatrick & Donnelly, 2021). Specifično u Bosni i Hercegovini, neke od demonstriranih metoda se uspješno mogu koristiti u detekciji i utvrđivanju anomalija ili pozadinskog kontrasta na mjestima gdje su izvršena masovna pogubljenja i locirane masovne grobnice, primjerice u okolici Konjević Polja. Iako je proteklo više od četvrt stoljeća nakon zločina i značajne izmjene terena zbog primarnog iskopavanja masovnih grobnica te kasnijih ekshumacija ali i kasnije obnove terena i poljoprivrednih radova, neki od elemenata su i dalje uočljivi (Hanson, 2023). Na lokaciji opisanoj kao Nova Kasaba 99 (BIRN, 2020) uočene su rezidualne geofizičke anomalije u donjem (jugozapadnom) dijelu primarne grobnice Nova Kasaba 99. Gamma-zračna anomalija (prikazana na slici 3) ustanovljena terenskim prehledom iz jula 2023., podudara se sa obrisima zona uznemirenog tla, vidljivim na izviđačkim zračnim snimcima iz 1995., ali vjerovatno također uočljivim i na visoko-rezolucijskim, digitalnim snimcima sa drona 2020 (slika 3).



Slika 3. Geofizičko snimanje gama zračnom spektroskopijom na području masovne grobnice Nova Kasaba 99. Originalni zračni snimak iz 1995 i dronski snimak iz arhiva BIRN (BIRN, 2020). Geofizičko snimanje iz Jula 2023, sa razmakom od 3m između prelaza spektrometrom.

Bitno je naglasiti i da je inicijalno pronalaženje masovnih grobnica na području Bosne i Hercegovine, u periodu od 1995 – 2003 urađeno uz pomoć nekih od opisanih forenzičkih metoda uključujući i satelitske snimke i geo-radar (Hanson, 2023). Interesantna činjenica je da neki od rezidualnih tragova, kao primjerice količina isijavanja radioaktivnog Kalija 40, ostaje potencijalno razaznatljiva i godinama nakon primarnih (1995) i sekundarnih iskopavanja (1999). Vrlo je vjerovatno da i neki od drugih geofizičkih i geokemijskih pokazatelja postoje na ovoj ali i na drugim, daleko većim lokacijama te predstavlja potencijal za dalja istraživanja, jer mogu poslužiti kao potencijalni uzorak za otkrivanje za sad još nepoznatih grobnica diljem BiH.

DISKUSIJA

Opisane istražne metode, posebno kada su kombinirane i digitalno preklapljenе sa geoprostornim ili drugim digitaliziranim arhivskim podacima ukazuju na veliki potencijal i primjenu u forenzičkim istraživanjima u Bosni i Hercegovini (Hanson, 2023), Bliskom istoku (ICMP, 2005), Ukrajini (Hobbs & T., 2022) te drugim mjestima gdje je potrebno ukazati i na dokazati na zločine

većih razmjera. Isto tako, na nešto manjoj skali, uz adaptaciju i prilagodbu geofizičkih uređaja široj lepezi korisnika (umjesto samo geofizičara) izgledna je veća i rasprostranjenija primjena u stalnim forenzičkim ispitivanjima – kao primjerice upotreba geo-radara (Schultz, 2012) koja je svrsrdno prihvaćena u policijskim procedurama. Potencijal za istu takvu primjenu imaju i druge metode, prvenstveno elektromagnetne ili magnetne metode koje su, uz sve veću preciznost i automatizirano digitalno filtriranje „lažnih uzbuna“, u stanju detektirati i najmanje anomalije. Uzevši u obzir sve kreativnije metode skrivanja dokaza krivičnih djela (npr. spaljivanje, kemijska destrukcija) ali i samu magnitudu zločina (npr. Ukrajina, Bliski istok) izgledno je da će geofizičke i geokemijske metode imati sve rasprostranjeniju i kombiniranu primjenu na terenu te je bitno osposobiti i analitički kadar koji ove metode može i iskoristiti.

ZAKLJUČAK

Klasična forenzička ispitivanja mogu se poboljšati upotrebom opisanih geoloških, geofizičkih i geokemijskih metoda. Prednost novih metoda je prvenstveno izražena u ispitivanjima ratnih zločina ili lociranju ratne zaostavštine (neeksplodiranih ubojnih sredstava, zakopanog oružja, masovnih grobnica i drugih mjesta zločina). Metode koje upućuju na opisive promjene u mineralogiji tla, električnoj provodljivosti, pojavama šupljina na radarskim ili gravitacijskim snimcima tla kao i neuobičajene koncentracije metala (posebice teških metala) ili organskih tvari u vodi ili tlu predstavljaju naznake koje je gotovo nemoguće sakriti te stoga predstavljaju bitan i nekada jedini forenzički trag. Taj trag je nekada, ako su uvjeti povoljni, uočljiv i godinama nakon izvršenog krivičnog djela a podaci se daju preklapati sa drugim geoprostornim podacima kako bi se ukazalo i na najmanje potencijalne anomalije.

Reference

- Barone, P. & Di Maggio, R., 2019. Forensic geophysics: ground penetrating radar (GPR) techniques and missing persons investigations. *Forensic Sci. Res.*, 4(doi: 10.1080/20961790.2019.1675353), pp. 337-340.
- BIRN, 2020. *Bitter Land: Mass grave map of Bosnia and Herzegovina*. [Online] Available at: <https://massgravesmap.balkaninsight.com/nova-kasaba-99/> [Accessed 01 10 2023].
- Clark, R., 1999. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy.. In: *Manual of Remote Sensing 3 (11)*. s.l.:US Geological Survey, pp. 3-58.
- Clausen, J. et al., 2016. *Passive Gamma-Ray Emission for Soil-Disturbance Detection*, Hanover, USA: U.S. Army Engineer Research and Development Center .
- Donnelly, L. & Murray, R., 2021. A historical overview of forensic geology.. In: H. M. P. D. R. A. & D. L. (. Donnelly L.J., ed. *A Guide to Forensic Geology*. London: Geological Society, pp. 5-18.
- Doro, K., Emmanuel, E. & Adebayo, M., 2022. Imaging of Buried Human Remains in Simulated Mass and Individual Graves. *Front. Environ. Sci.*, 10(<https://doi.org/10.3389/fe-nvs.2022.882496>).
- Edelman, G., Hoveling, R. & Roos, M., 2013. Infrared imaging of the crime scene: possibilities and pitfalls. *Journal Forensic Sci.*, 58(5)(DOI: 10.1111/1556-4029.12225), pp. 1156-1162.
- Fenning, P. & Donnelly, L., 2004. Geophysical techniques for forensic investigation. *Geological Society London Special Publications*, 232(1)(doi: 10.1144/GSL.SP.2004.232.01.03), pp. 11-20.
- Fitzpatrick, R. & Donnelly, L., 2021. An introduction to forensic soil science and forensic geology: a synthesis. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 492, pp. 1-32..
- Hanson, I., 2023. Mass Graves: The Forensic Investigation of the Deaths, Destruction and Deletion of Communities and Their Heritage. *The Historic Environment: Policy & Practice*, Issue <https://doi.org/10.1080/17567505.2023.2251228>.
- Hobbs & T., 2022. *A geospatial strategy to detect and identify potential clandestine mass graves in Ukraine; Master's Thesis*, Baltimore, MD, USA: Johns Hopkins University.
- ICMP, 2005. *ICMP Exploring Improved Methods for Locating Mass Graves*. [Online] Available at: <https://www.icmp.int/press-releases/icmp-exploring-improved-methods-for-locating-mass-graves/> [Accessed 01 10 2023].
- Leucci, G., 2020. *Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations*. Cham, Switzerland: Springer.
- Norma, E., 2016. *Nuclear Forensics using Gamma-ray Spectroscopy*. DOI: 10.1051/epjconf/201612304001, Heavy Ion Accelerator Symposium 2015.
- Perunovic, T. et al., 2015. Geochemical investigation as a tool in the determination of the potential hazard for soil contamination (Kremna Basin, Serbia). *J. Serb. Chem. Soc.* , 80(8), p. 1087–1099.
- Pringle, J., Giubertoni, M. & Cassidy, N., 2014. The use of magnetic susceptibility as a forensic search tool. *Forensic Science International*, 246C(10.1016/j.forsciint.2014.10.046), pp. 3-42.

- Ruffolo, S., Barca, D., Alvarez de Buergo, M. & La Russa, M., 2022. ICP-MS – Fundamentals and Application to Forensic Science. In: L. D. M. a. C. Mercurio, ed. *Mineralogical Analysis Applied to Forensics*. Mineralogical Analysis Applied to Forensics ed. s.l.:Springer, pp. DOI: 10.1007/978-3-031-08834-6_6.
- Schultz, J., 2012. *Detecting Buried Remains Using Ground-Penetrating Radar*, Washington, DC: U.S. Department of Justice, National Institute of Justice.

FORENSIC APPLICATIONS OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL METHODS

Review paper

Abstract

Classic forensic investigations are sometimes insufficient to collect all of the potential evidence from a crime-scene, especially if conducted a long-time after, particularly when there are limitations in accessing the site and performing the fieldwork. The described limitations are particularly pronounced in the investigation of war crimes or location of war legacy (unexploded ordnance, buried weapons, mass graves and other potential war-crimes). This paper presents some of the geophysical and geochemical methods and techniques that have been used around the world - the Balkans, the Middle East and the Ukraine, especially in locating secondary and tertiary mass graves and residual military materiel. The described methods include the use of remote sensing methods via airborne or satellite sensors that indicate certain changes on the ground, the use of ground penetrating radar systems, electromagnetic methods, sensors for detecting residual radiation, and geochemical methods of water and soil sampling to collect evidence or locate zones of potential interest. The presented methods outline descriptive alterations in the soil mineralogy, electrical conductivity, occurrences of voids or discontinuities in the ground-penetrating radar data and unusual concentrations of metals or organic substances in water or soil as potential indicators of mass war-crimes or other war legacy.

Keywords: Forensics, evidence, geophysics, geochemistry, war crimes, war material

Podaci o autoru

Amer Smailbegović, DTCare Sarajevo NVO. E-mail: amer@dtcare.org.