



Tragovi zemljišta u forenzičkoj analizi



Maja Milojević Rakić
Fakultet za fizičku hemiju

Zemljište i njegovi delovi čine važne tragove u istragama jer postoji izuzetno veliki broj vrsta zemljišta koje se mogu identifikovati zbog specifičnog sadržaja stena, minerala, stakla i hemijskih supstanci.

Forenzičkom analizom se tipično mogu identifikovati individualne geografske lokacije. Ispitivanja uzoraka zemljišta i srodnih materijala daje informacije o tome da li uzorci koji se porede sa standardnim potiču iz istog izvora.



Zašto ispitivati uzorke zemljišta?

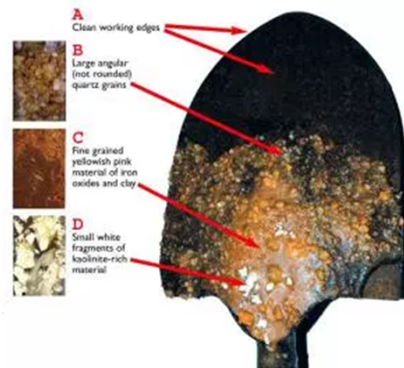
Forenzička analiza zemljišta se bavi ispitivanjem morfologije uzoraka zemljišta, mapiranje različitih oblasti od interesa u istrazi, mineralogije, hemije, geofizike, biologije i molekularne biologije. Kako dobiti odgovore na različite probleme i nedoumice koji se javljaju tokom istrage?

Analiza zemljišta u forenzici – da li su uzorci tokom zločina promenjeni ili premešteni (kada se vrši poređenje sa bazama podataka ili standardnim uzorcima). Primarni prenos uzoraka zemljišta (sa određene lokacije na cipelu) i sekundarni prenos (svaki dalji transport uzoraka, npr. sa cipele u kuću).

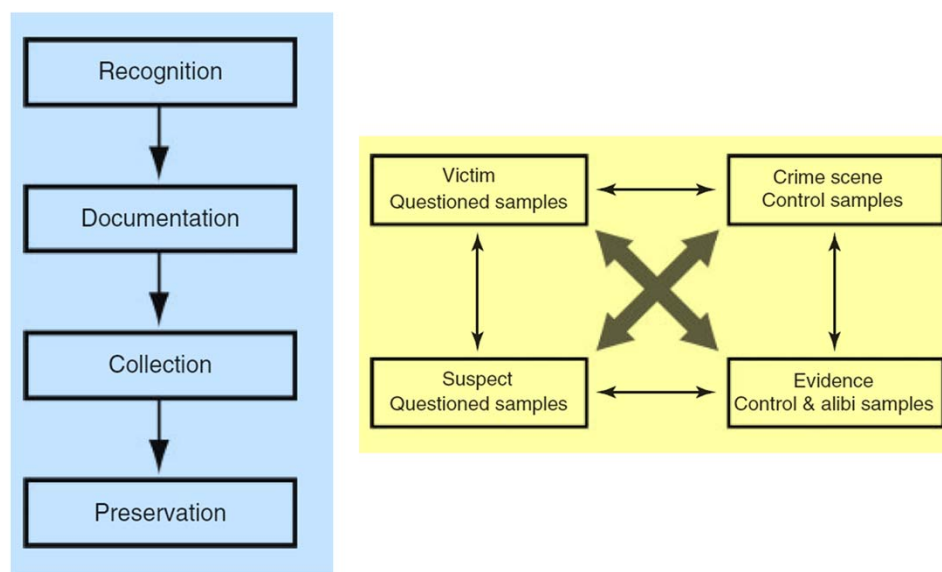
Različiti načini kontrole i premeštanja uzoraka (vozila, cipele, lopate i dr.)

Svojstva zemljišta su različita što omogućava veliki nivo različitosti i jednoznačnu identifikaciju.

Savremena forenzička analiza je relativno nova grana, orijentisana je ka metodama i tehnikama u multidisciplinarnim metodama forenzike.



Kako ispitivati uzorke zemljišta?



Teorija prenosa uzoraka zemljišta od jedne površine ka drugoj kao rezultat kontakta. Prenos dokaza u tragovima reguliše Locardov princip razmene, koji kaže da kada dve površine dođu u fizički kontakt postoji verovatnoća za međusobni prenos materijala između njih. Tragovi zemlje se rutinski posmatraju na površinama predmeta kao što su obuća i odeća koji se koriste kao dokazni materijal. Takvi dokazi moraju prvo biti prepoznati na svim mogućim predmetima koje se odnose na istragu (slika levo). Drugo, uzorci zemlje moraju biti dobro dokumentovani. Neophodno je i pažljivo sakupljanje i skladištenje uzoraka radi dalje laboratorijske analize.

Analiza uzoraka zemljišta obično započinje uzorkovanjem i opisom tri različite grupe uzoraka: (i) ispitivani uzorci čije je poreklo nepoznato ili sporno - često od osumnjičenog ili žrtve (slika desno), (ii) kontrolni uzorci čije je poreklo poznato - često sa lokacija kao što je mesto zločina i (iii) uzorci zemljišta čije je poreklo poznato i ima svrhu ispitivanja alibija i koje daju stepen slaganja ispitivanih i kontrolnih uzoraka, pružajući tako sveobuhvatnu analizu uporednih uzoraka. Uloga forenzičkog istražitelja tla je da uporedi materijali iz ove tri grupe uzoraka i da izvede zaključke o poreklu ispitanih tragova zemljišta. Na primer, prenos zemljišta može biti prenos na cipele osobe koja je prolazila određenim područjem. Ove vrste transfera se nazivaju primarni transferi (npr. dokazi se prenose sa površine tla do cipela i odakle se kasnije sakupljaju, sa gazištu ili unutar cipela). Nakon što se materijal u tragovima prenese, bilo koji naknadni prenos tog materijala, u ovom slučaju, od cipela na drugu površinu, nazivaju se sekundarni transferi. Oni mogu biti značajni u

proceni prirode i izvora kontakta. Transferi višeg reda (tercijarni) mogu se takođe pojaviti i ti tragovi mogu biti teški za interpretaciju jer izvor dokaza u tragovima može biti izuzetno teško identifikovati.

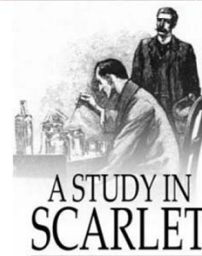
Svojstva idealnog traga su: „(i) jedinstveni dokaz, (ii) visoka verovatnoća premeštanja i zadržavanja, (iii) skoro je nevidljiv, (iv) uzorci se mogu brzo sakupljati, razdvajati i koncentrisani, (v) najmanji tragovi se lako karakterišu i (vi) može postojati baza podataka. U tom smislu, šljokice (napravljene od sitnih komada Al folije ili plastike sa slojem nanetog Al) se smatra idealnim tragom [23]. Uzorci zemljišta se mogu smatrati skoro idealnim tragovima.

Istorijat

Na Pruskoj železnici u 1856, bure sa srebrnim novčićima je ispražnjeno i napunjeno peskom. Prof. Ehrenburg iz Berlina je uzeo uzorke peska sa stanica duž pruge i pomoću mikroskopa ustanovi sa koje stanice je pesak u buretu.



Godine 1887., Arthur Conan Doyle je objavio nekoliko izmišljenih slučajeva - Sherlock Holmes: "Tell at a glance different soils from each other ... has shown me splashes upon his trousers, and told me by their colour and consistence in what part of London he had received them", a 1891, Holmes je primetio "chalk-rich soil" na čizmama.

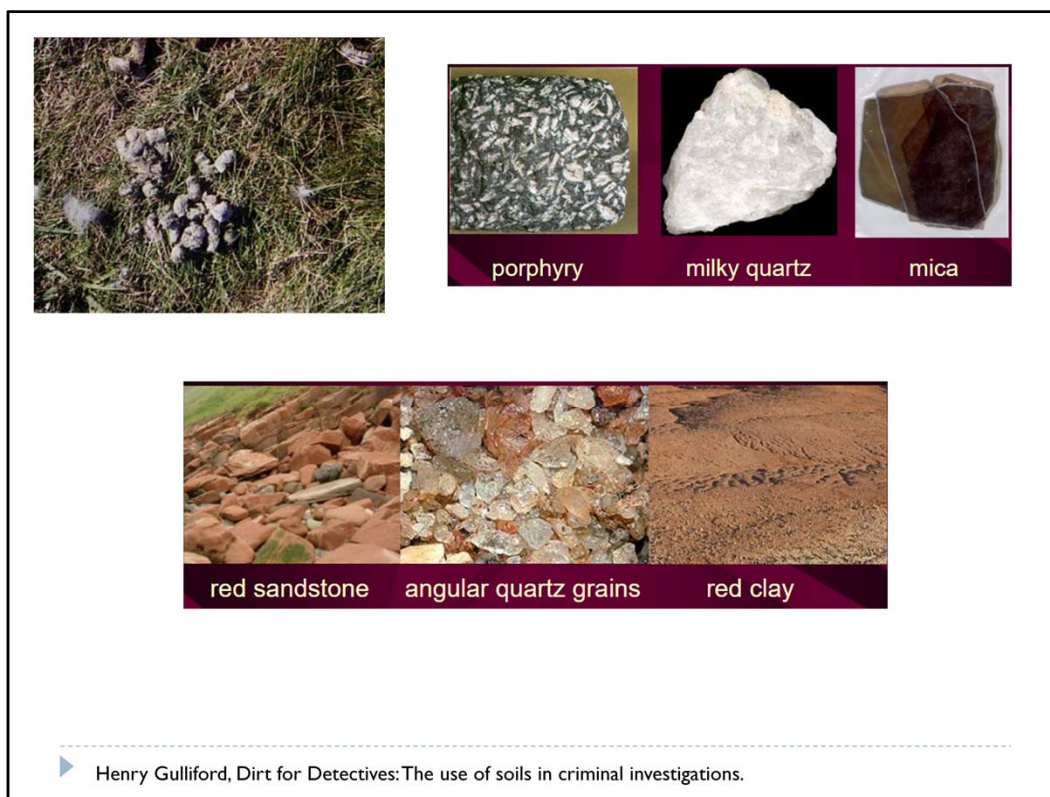


Istorijat

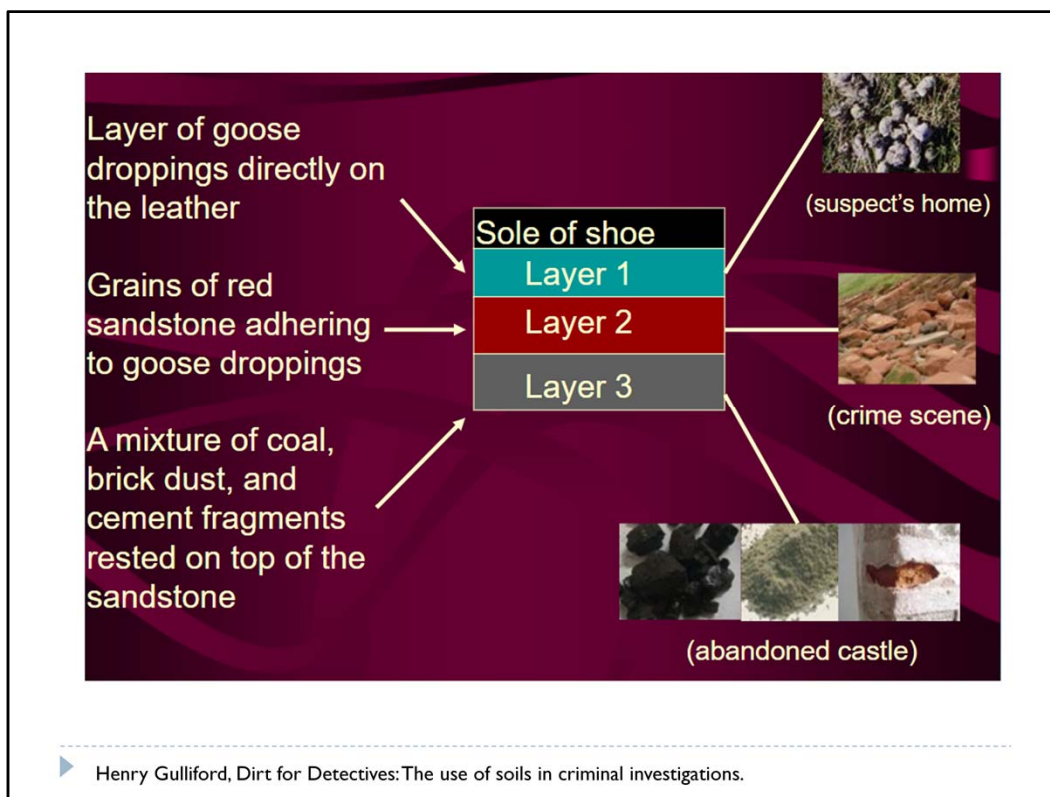
Godine 1908, Georg Popp je ispitivao uzorke zemljišta kao dokaz u analizi ubistva. Pokazao je da uzorci zemljišta sa dve lokacije povezane sa zločinom imaju visok nivo poklapanja sa uzorkom uzetim sa cipele osumnjičenog. Takođe je dokazao hronološki sled događaja analizirajući uzorke sa obuće.



▶ Henry Gulliford, Dirt for Detectives: The use of soils in criminal investigations.



Glavni osumnjičeni je bio čovek koji je važio za kradljivca i lutalicu u kraju gde je žrtva nađena. Forenzičar koji je radio na slučaju je uzeo yemlju sa cipela osumnjičenog koje je veče pre ubista očistila njegova žena. Osumnjičeni je negirao boravak na polju gde je žrtva nađena. U zamku koji se nalazio u blizini polja su pronađene pantalone, puška i municija koji pripadaju osumnjičenom. Sakupljeni su različiti uzorci zemljišta sa mesta zločina i iz okoline. Utvrđeno je da se u dvorištu osumnjičenog nalazila velika količina guščijeg izmeta. Uzorci sa polja koja pripadaju osumnjičenom su sadržali porfirske, magmatske stene, kvarc i mica (filosilikatni mineral). Zemljište u blizini zamka je obilovalo ugljem, cementom i delovima cigli. Zemljište namestu zločina je bilo crvenkasto. Slojevi zemlje sa cipela su redom bili povezani sa svakim od navedenih zemljišta i time određen redosled kretanja osumnjičenog.



Slojevi zemlje sa cipela su redom bili povezani sa svakim od navedenih zemljišta i time određen redosled kretanja osumnjičenog i time je opovrgnut njegov alibi i on je osuđen za ovaj zločin.

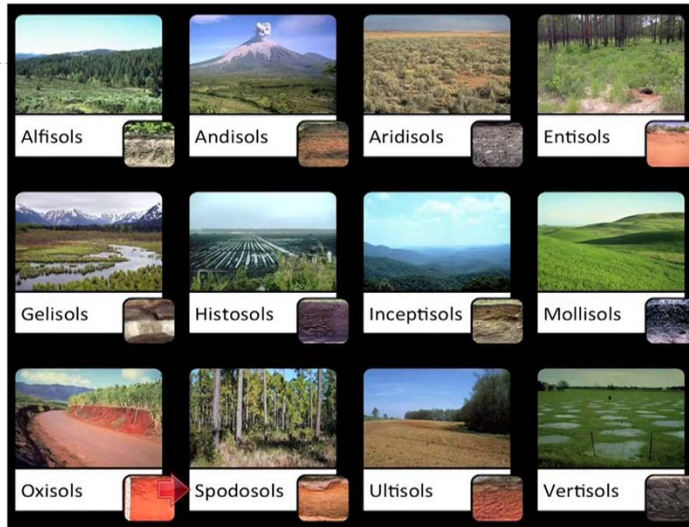


Telo je otkriveno u plastičnoj kesi zajedno sa uzorcima zemlje različitih od onog na kom je telo zakopano. Zbog postojanja zemljišnih mapa utvrđeno je da je prvobitno telo bilo zakopano na močvarnom tlu i to u dvorištu žrtve. Kako su se razvijali mirisi zbog truljenja, ubice su odlučile da ga premeste u jedini šumoviti kraj, i to tamo gde je policija imala teren za vežbe. Tragovi zemlje su nedvosmisleno ukazali na mesto gde je telo bilo zakopano.



DEA agent je ubijen u Meksiku i vlasti su pokušale da zataškaju slučaj. Forenzičari su prikupili tragove zemlje sa tela žrtve i sa mesta gde je nađena. Tragovi na telu su se sastojali od vulkanskog kamenja i riolita, dok je mesto na kom je nađeno uglavnom sadržalo bazaltno kamenje. I u ovom slučaju geološke mape su omogućile da se pronađe originalno mesto na kom je telo bilo zakopano pre nego što je premešteno kada je pokrenuta opsežna istraga. Na kraju je pretraga sužena na određenu lokaciju na kojoj se nalaze mineraloške i teksturalne karakteristike tla (plus ostaci ugljenisane materije) i koji su odgovarali uzorcima zemlje nađenim na telu. Tragovi zemlji znatno su pomogli prikupljenim podacima o izvršenim konspirativnim akcijama između krijumčara droge i meksičke policije radi prikrivanj agenta Camarene. Kasnije se pokazalo da je meksička Federalna policija, pod pritiskom američke vlade da izvrši istragu ubistva, imala dogovor sa trgovcima drogom koji su telo premestili na farmu u Michoacanu.

Klasifikacija



Da bi se mogli ispitivati uzorci zemljišta potrebno je da razumeti sistem klasifikacije za koji je najvažnije sprovesti kontinuirani nadzor nad zemljištem u državi i regionu. Dva internacionalna sistema World Reference Base (WRB) i Soil Taxonomy.

- ▶ Mnoge zemlje imaju nacionalne i tehničke standarde.

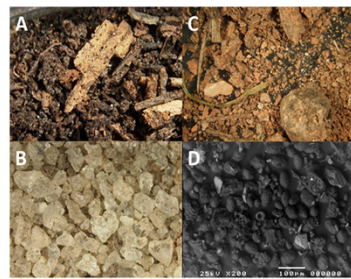
Zemljište je jedinstveno kao dokaz.

Važno je znati koje su sve različite vrste zemljišta i kako se formiraju da bi se mogla vršiti forenzička poređenja. Prirodna zemljišta su jedinstvena jer postoji izuzetno veliki broj različitih tipova koji se, na vrlo malim udaljenostima, brzo menjaju i horizontalno i vertikalno, što omogućava forenzička ispitivanja i razlikovanje uzoraka. Antropogena zemljišta (promene uzrokovane uzgojem ili dodacima opeke, boje ili fragmenata stakla) čine zemljišta koja se prirodno javljaju još više jedinstvenim. Da bi se odredila velika raznolikost tla koja se pojavljuju u svetu, potrebno je imati sisteme klasifikacije zemljišta što pomaže u organizaciji znanja o zemljištu. Postoje dva međunarodna sistema klasifikacije tla koja su široko korišćena - svetska referentna baza (WRB) i taksonomija tla. Mnoge zemlje takođe poseduju nacionalne, specijalizovane tehničke klasifikacije i mape.

Forenzička analiza zemljišta može da bude složena zbog izraženog diverziteta i heterogenosti uzoraka. Najveći problem predstavlja moć razlaganja kod standardnih i nestandardnih metoda analize. Postojanje finih razlika vodi jednoznačnosti rezultata dobijenih detaljnom analizom uzoraka.

Objektivno standardnih metoda nema. Ispitivanje prirodnih zemljišta (minerali, organske materije, životinje i insekti, stene itd.) i antropogenih zemljišta (sadrže veštački unete supstance (jone i fragmente iz različitih sredina koji mogu da unesu svojstva jedinstvena za ispitivano zemljište – rudnici, asfalt, cigle, olovo, staklo, ugljovodonici, boje itd.).

Uprkos rastućem uticaju čoveka na zemljište i ekosistem, mnoga zemljišta zadržavaju svoju morfologiju, ali ih ti efekti mogu učiniti u većoj meri jedinstvenim.



Metode analize – kako početi?

Izbor metode zavisi od vrste i veličine uzorka, kao i dalje upotrebe rezultata analize. Najčešće je potrebno povezati uzorak zemljišta uzet sa nekog objekta ili osobe sa određenom lokacijom.

Osim jednoznačnosti analize, metoda mora da zadovoljava nekoliko kriterijuma, kao što su praktičnost, niska cena, tačnost i primenljivost na uzorke različitih veličina.

Morfološki opisna svojstva kao što su boja, konzistencija, struktura, teksturalna svojstva i prisustvo različitih, velikih komada i odsustvo korenja pomažu identifikaciju zemljišta.



Zašto je uzorci zemljišta čine skoro idealne tragove?

Zemljište se lako prenosi i zadržava - Posebno se odnosi na fine frakcije i organsku materiju. Frakcije veće veličine čestica (>2 mm) se slabije zadržavaju na odeći, obući i tepisima.

Sitne čestice ($<50 - 100$ μm) se često javljaju u malim količinama.

Iako se forenzička ispitivanja zemljišta uglavnom izvode u laboratoriji, ne treba zanemariti značaj uzorkovanja na mestu zločina i kontrolnoj površini.



Zemljište se lako uzorkuje, mogu se selektivno izdvojiti i koncentrisati komponente - različite vrste alata i načina uzorkovanja u zavisnosti od vrste zemljišta, stanja lokaliteta sa koga se uzorak uzima (vlažnost) itd.

Kako i gde uzorkovati, kako prenositi i u kojim uslovima skladištiti uzorke?

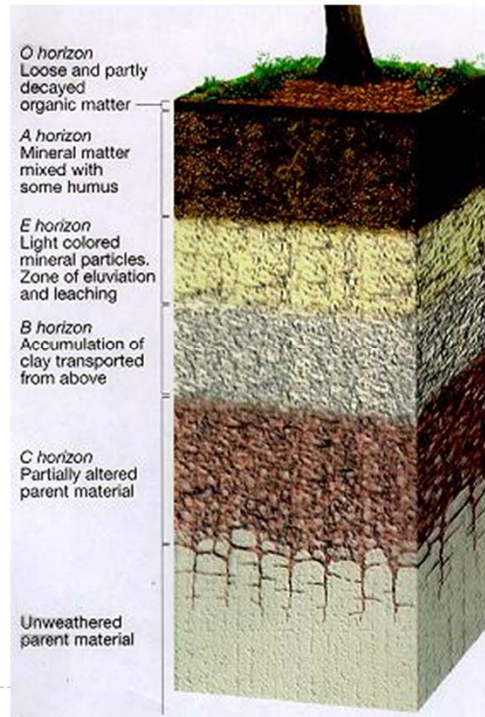
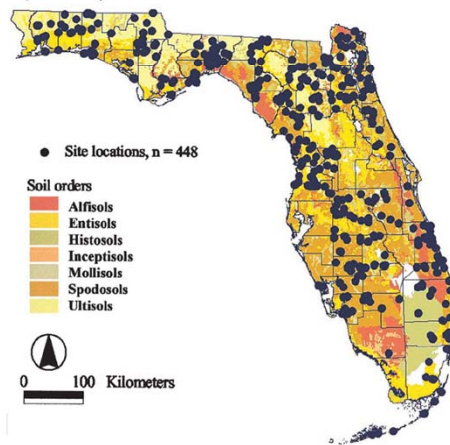
Čvrsti plastični kontejneri se koriste za uzorkovanje pre nego PET ambalaža jer se moraju sačuvati veliki agregati zemljišta. Pre ispitivanja zemljišta sa uzoraka tkanine, potrebno je osušiti tkaninu na vazduhu, isto važi i za vlažnu zemlju koja se nalazi na nekom objektu. U slučaju kada je potrebno ispitati hronologiju događaja uklanja se sloj po sloj zemlje sa predmeta. Uzorci se čuvaju u ambijentalnim uslovima. U slučaju da su biološki uzorci takođe prisutni u zemljištu, za skladištenje se koriste papirne kutije ili kese.

Zemljište je skoro nevidljivo - počinioци su najčešće nesvesni značaja tragova koje ostavljaju u zemljištu i njegovim transferom.

Forenzičko ispitivanje malih količina žućkaste zemlje (<50 μm) na površini tamne zemlje kao kontrolnog uzorka koji je sadržavao 95 % aluvijalnog kamena i šljunka sa samo 5 % gline dobijeno je prosejavanjem kako bi se uočila fina frakcija.

Baza podataka za zemljišta

Profili zemljišta se menjaju horizontalno preko različitih terana, i vertikalno, kroz dubinu zemlje (zbog mešanja organskog materijala u gornjim slojevima i ispiranja i vremenskih prilika, u gornjim slojevima)



Metode za karakterizaciju zemljišta:



opisne
(morfološke)



analitičke

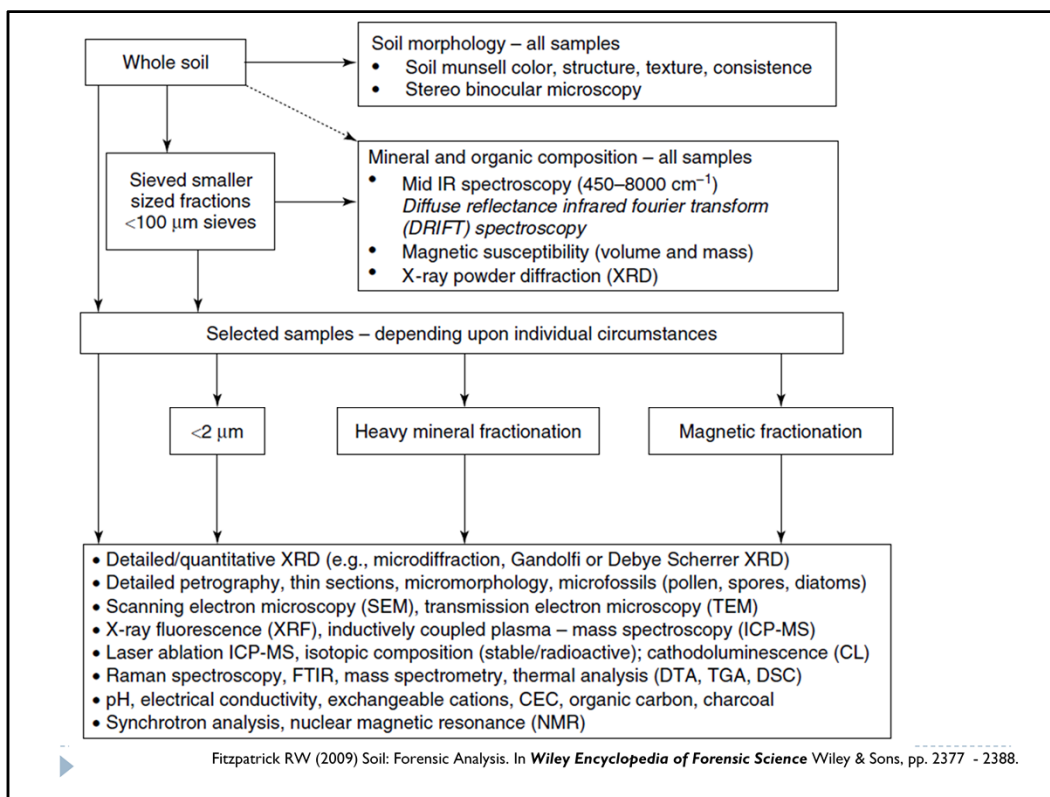


prostorne
(mapiranje)

Faza I – Brza karakterizacija čestica zemlje u celini uzorka.

Faza II – Detaljna karakterizacija i kvantifikacija kompozita i čestica zemlje nakon čega sledi odabir uzoraka, frakcionisanje po veličini i detaljna mineraloška analiza i analiza organskih komponenti.

Faza III – Integracija i ekstrapolacija informacija dobijenih o zemljištu sa jedne na drugu skalu da bi se dobio koherentni model zemljišta, od mikroskopskih svojstava karakterističnih za ceo pejzaž (korišćenjem postojećih zemljišnih mapa ili informacija o zemljištu na širem području).



Nekoliko standardnih metoda je dostupno za brzo razdvajanje i koncentrovanje uzoraka zemljišta poput prosejavanja, magnetne ekstrakcije i razdvajanja teških minerala. Sistematski pristup razlikovanju uzoraka zemljišta za forenzičke analize, gdje je FTIR infracrvena spektroskopija, DTA je diferencijalna termijska analiza, TGA je termogravimetrijska analiza, DSC je diferencijalno skanirajuća kalorimetrija, a CEC je kapacitet za katjonske izmene.

Faza I

Morfologija i profilisanje zemljišta.

Morfološki opisi se daju u skladu sa poznatom terminologijom u pedologiji. Omogućava se jednostavna, brza i nedestruktivna analiza uzoraka korišćenjem svetlosnih mikroskopa.

Svojstva koja se određuju stanje zemljišta su: konzistencija, boja, tekstura, struktura, veličina fragmenata i zastupljenost korenja.

Faza II

Identifikacija mineralnih i organskih komponenti u zemljištu.

Tri metode se najčešće koriste: XRD, DRIFT i magnetna susceptibilnost.

Faza III

Detaljna karakterizacija i kvantifikacija minerala i organske materije.

Skuplje i vremenski zahtevne metode sprovode se na izolovanim uzorcima.



Boja

Boja je jedna od najvažnijih svojstava minerala i zemljišta. Skoro sve boje mogu biti prisutne zbog mineralnog sastava zemljišta.

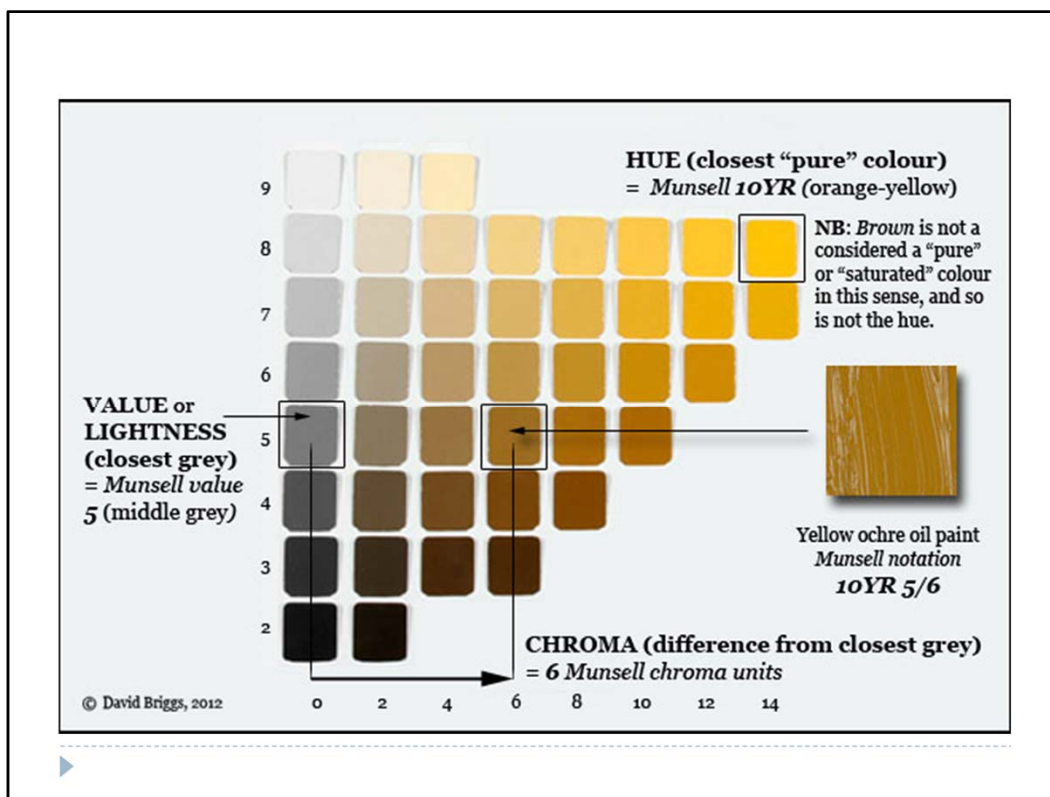
Ako se ispituje pesak duž reke svaka čestica može imati individualnu boju. Međutim, ako je prošlo dosta vremena, ispiranje, akumulacija i pomeranje supstanci dovodi do toga da one budu prevučene ili impregnirane sa mineralnim ili drugim, organskim supstancama što utiče na boju.

Prevlake se najčešće sastoje od gvožđa, aluminijuma, organske materije, gline i dr. Crvenkaste nijanse govore o prisutnom gvožđu i njegovom stepenu oksidacije. Crni minerali u zemljištu su u vezi sa manganom i gvožđem.

Zelena boja potiče od bakar hlorita/glukonata. Plava i ljubičasta su karakteristične za vivijanit (gvožđe fosfat). Organski sloj je obično crn. .



Boja je jedna od najvažnijih identifikacionih karakteristika minerala i zemljišta. Minerali formiraju mozaik sive, žute, smeđe, crvene, crne, pa čak i zelene i ružičaste boje. Zastupljene su gotovo sve moguće boje iz vidljivog spektra. Prisutni minerali direktno doprinose boji geološkog materijala i zemljišta. Mineralna čestice, naročito krupnije su generalno premazane, najčešće gvožđem, aluminijumom, organskim materijama i glinom, pri čemu sami premazi mogu dati naznaku o istoriji uzorka.



Uspostavljeni su određeni standardi da bi postojala određena uniformnost u opisima boja geoloških materijala i zemljišta. Standard za boje koji se najčešće koristi je Munsell Color skala. Boja standarda se postavlja kroz tri parametra: nijansu, vrednost boje i ton boja. Nijansa je dominantna spektralna boja, vrednost je svetlina, a ton je relativna čistoća spektralne boje. Na primer, 7.5YR5 / 2 (braon). 7.5YR se odnosi na nijansu, 5 na vrednost i 2 za ton. Ova standardizacija boja nudi izvestan nivo uniformnosti, ali sadržaj vlage će takođe uticati na boju tla, kao i talasna dužina svetlosti kojom se posmatra. Zato je važno da se ne snima samo boja tla, već i procena „faktora vlažnosti“ u vreme snimanja.

Raspodela veličine čestica

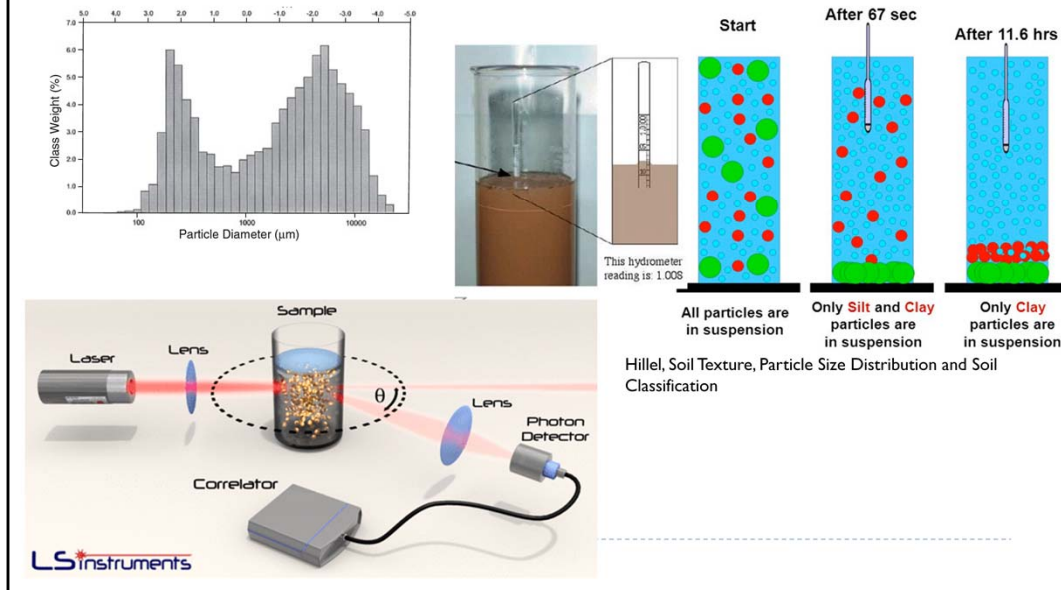
Određivanje raspodele čestica po veličinama često može da da značajne informacije o uzorcima. Brojni su razlozi zbog kojih se ova raspodela detektuje:

- (1) Da bi se proizveli odgovarajući uzorci čija se sličnost poredi. Tada kontrolni uzorak može da sadrži neke čestice veće ili manje veličine nego što su čestice prisutne u ispitivanom uzorku koje se na taj način mogu ukloniti;
- (2) Uzorci se mogu podeliti u poduzorke u kojima će sve čestice biti u istom opsegu veličina za mineralošku analizu ili ispitivanje boje uzoraka;
- (3) Određivanje raspodele veličine čestica se može koristiti kao metod za poređenje uzoraka.

Dijagram koji pokazuje raspodelu veličine se može koristiti kao dokaz, npr, ako su abrazivne čestice dodate u neku mašinu da bi se ona onespobila u slučajevima industrijske sabotaže. Osnovne metode za razdvajanje čestica po veličini su (1) propuštanje uzorka kroz niz sita opadajuće veličine pora; (2) određivanjem brzine taloženja zrna u tečnosti što je u vezi sa veličinom čestica i (3) instrumenti koji mere veličinu čestica na mikroskopskom nivou i detektuju broj čestica određene veličine.



Pre sprovođenja mehaničke analize da bi se odredila raspodela čestica po veličinama, potrebno je dispergovati uzorak zemljišta. Pojedinačne čestice imaju tendenciju da se grupišu i prave agregate. Cementirajućih agensi (karbonati, gvožđe oksid ili postojeće privlačno dejstvo između čestica) moraju biti uklonjeni ili će sitne čestice imati fizičku veličinu u dimenzijama peska ili šljunka.



Pre nego što se napravi mehanička analiza da bi se utvrdila raspodela veličine čestica, potrebno je rastresti uzorak zemlje. Pojedinačne čestice tla obično se lepe u agregate. Sredstva za cementiranje moraju biti uklonjena; u suprotnom, nakupina mulja i čestica gline vode ukрупnjavanju čestica. Uzorak se iz tog razloga tretira vodonik peroksidom da bi se uklonili organski cementni agensi. Poželjno je odrediti raspodelu veličine čestica zemljišta prosejavanjem u tečnosti, obično vodi uz sredstvo za raspršivanje. Mogu se koristiti brojne metode za utvrđivanje raspodele veličine čestice u dispergovanoj suspenziji. Metoda hidrometra je brza metoda za određivanje procenta peska, mulja i gline u uzorku. Temelji se na principu opadajuće gustine suspenzije kako se krute čestice talože. Ova metoda, iako brza i tačna, nije zadovoljavajuća ako želimo da naknadno ispitamo različite raspone veličina, jer zapravo nema fizičkog odvajanje čestica različitih veličina. Moderni uređaji za određivanje raspodele veličine čestica baziraju se na upotrebi laserskog izvora svetlosti i merenju ugla i intenziteta rasejane svetlosti.

Ako su prisutni karbonati doveli do agregacije čestica poželjno je tretirati uzorak razblaženom HCl da bi oni uklonili. Uzorak se dalje može tretirati i sa H_2O_2 da bi se uklonili organski cementirajući agensi. Svi uzorci se moraju podvrgnuti istom tretmanu.

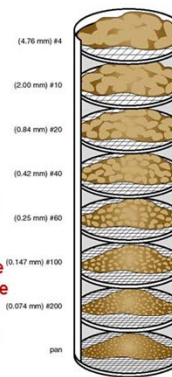
UConn

Sieving Methods

For particles ≥ 0.05 mm (sand fraction) we apply **SIEVING** methods.

Results are expressed as particle diameters

Note - particles are rarely spherical, hence these diameters should be regarded as effective diameters based on sieve opening size.



Sieve Shaker

Copyright © Markus Tuller and Dan O'Donnell 2004

Poželjno je tvrditi raspodelu veličine čestica u uzorku zemlje prosejavanjem u tečnosti, najčešće vodi. Suvo prosejavanje često može dovesti do toga da manje čestice formiraju klastere ili se gline vezuju za veće čestice. Nekada je potrebno dodati dispergujuće agense pre prosejavanja.



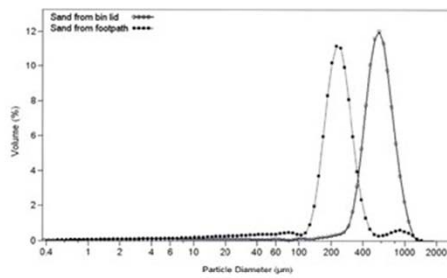
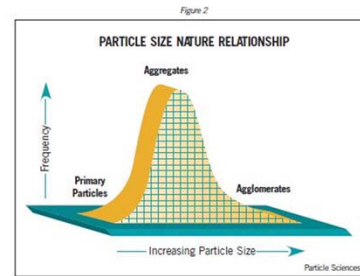


Fig. 5. Superimposed differential volume plots showing a significant difference between sand from a suspect's dustbin lid and sand from the footpath where the rodents were illegally released.

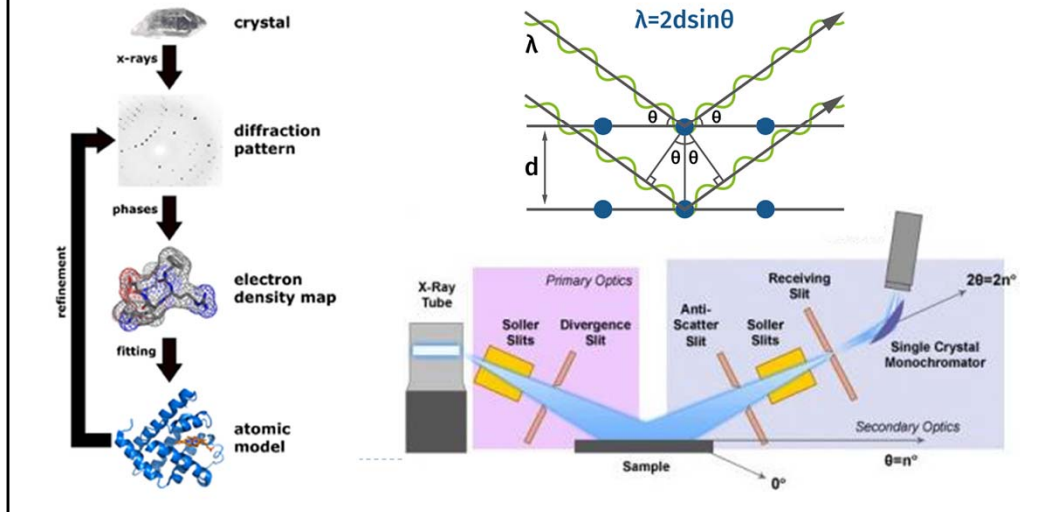


Kada se desi prenos zemlje sa zemljišta određene lokacije, malo je verovatno da će uzorak biti pravi pokazatelj raspodele veličine čestica na originalnom mestu sa koga je zemlja uzeta. To je razlog zašto se nekada raspodele veličina razlikuju, te se ovaj metod najčešće koristi kao dopuna, a ne kao jednoznačan metod detekcije porekla uzorka.

- ▶ K. Pye, and S.J. Blott. "Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry." *Forensic Science International*, 11 Aug. 2004, p. 19

Rendgenska difraktometrija - X-ray powder diffraction (XRD)

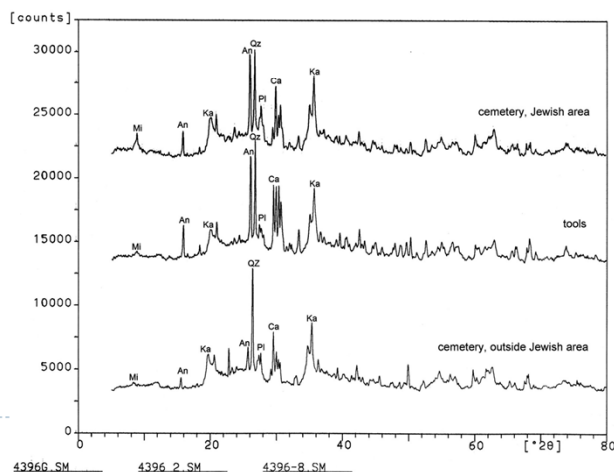
Difrakcija x-zračenja je jedna od najvažnijih metoda za identifikaciju zemljišta i drugih kristalnih materijala. Dva načina za interpretaciju difraktograma: merenjem d vrednosti i intenziteta i poređenjem refleksija sa standardnim bazama ili poređenjem difraktograma analiziranog i kontrolnog uzorka.



Rendgenska difrakcija je jedna od najvažnijih i najpouzdanijih metoda identifikacije sastav geoloških uzoraka, zemljišta i drugih kristalnih supstanci. Metoda se zasniva na određivanju rasporeda atoma, jona i molekula unutar uzorka. Uzorak se analizira propuštanjem rendgenskih zraka kroz kristal i merenjem ugla difraktovanih rendgenskih zraka. Svaki kristalni materijal ima svoj karakterističan rendgenski obrazac. Difrakcioni uzorak se može prikupiti pomoću elektronskog detektora. Postoje najmanje dva načina za tumačenje rendgenske difrakcije: Prva uključuje merenje d vrednosti i intenziteta i upoređivanje ovih podataka sa objavljenim spiskovima podataka o mineralima. Drugi podrazumeva poređenje rendgenskog snimka nepoznatog uzorka sa snimkom poznatog minerala. Postoje slučajevi u kojima se difraktogrami rendgenskih zraka mogu se upoređivati bez stvarne identifikacije supstance, ali je to manje korisno kao dokaz od stvarne identifikacije.

- Metoda za kvalitativnu i kvantitativnu analizu čvrstih materijala u forenzici.
- Različite veličine uzoraka se mogu analizirati.
- Jednoznačnost dobijenog difraktograma minerala u zemljištu.
- Elementi i njihovi oksidi, polimorfne forme i mešoviti kristali se mogu analizirati ovom nedestruktivnom metodom. Deo identifikacije je i poređenje referentnom bazom podataka International Centre for Diffraction Data (ICDD).

Ako dva uzorka zemljišta, npr. sadrže samo kristalnu komponentu kao što je kvarc, značaj poklapanja ta dva uzorka biće mali, jer je kvarc čest sastojak zemljišta. Ako uzorci sadrže četiri ili pet mineralnih komponenti, od kojih neke retke, značaj poklapanja će biti daleko veći.

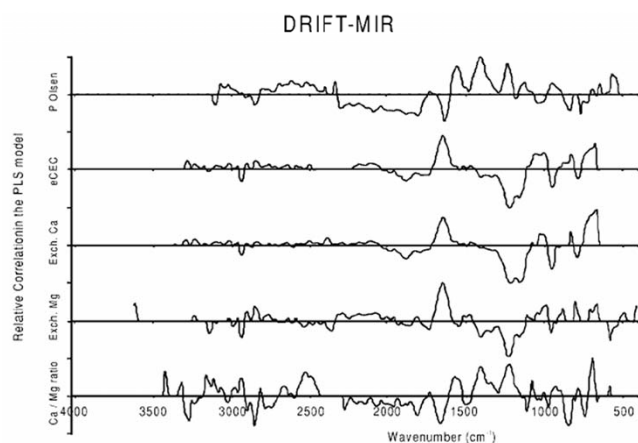


Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT)

Prednost DRIFT spektroskopije je u nedestruktivnosti i brzini metode i da je srednja IC oblast vibracija karakterističnih grupa za organska jedinjenja, gline i kvarc.

Važna metoda za kvalitativnu i semi-kvantitativnu analizu i može se kombinovati sa različitim hemometrijskim metodama.

Često se koriste numeričke metode za modelovanje i predviđanje fizičko-hemijskih svojstava uzoraka.



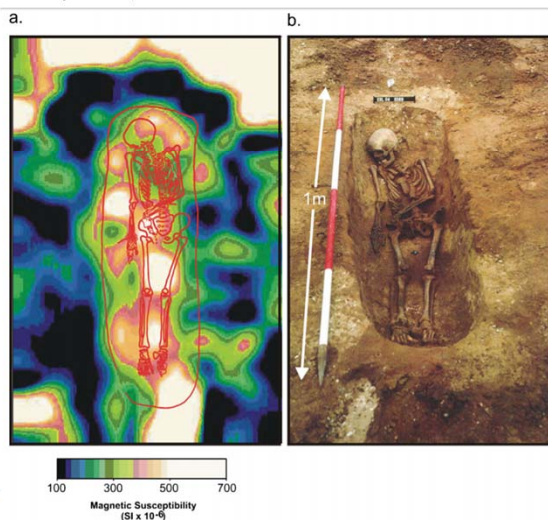
Van Groenigen et al., *NIR and DRIFT-MIR spectrometry of soils for predicting soil and crop parameters in a flooded field*, Plant and Soil 2003, 250(1):155-165

Mass and Volume Magnetic Susceptibility

- Može se koristiti bez izolovanja uzoraka.
- Niska cena, jednostavnost i brzina prikupljanja podataka.
- Brojne studije pokazuju merljivi kontrast u odnosu na ispitivanu regiju u poređenju sa pozadinom.
- Moguća upotreba u aktivnim forenzičkim ispitivanjima, *in situ*.

Anglo-Saksonski grob UK.

- (a) Digitalna mapa dobijena Bartington™ MS2D uređajem
(b) Fotografija iskopanih ostataka.



J.K. Pringle et al. / Forensic Science International 246 (2015) 31–42

Magnetna susceptibilnost opisuje svojstvo materije, odnosno njenu podložnost namagnetisavanju u prisustvu magnetnog polja.

Metode za određivanje količine i vrste elementa u uzorku mogu da se zasnivaju na mogućnosti interakcije uzorka sa zračenjem iz određenog dela elektromagnetnog spektra - emisiona i apsorpciona spektrometrija.

Neutronska aktivaciona analiza je nedestruktivna metoda sa osetljivošću detekcije reda ppb. Potrebno je imati nuklearni reaktor za proizvodnju neutrona kojima je moguće bombardovati uzorak. Rezultujuće gama zračenje se koristi za kvalitativnu i kvantitativnu analizu. Metoda je skupa, zahtevna i rezultat je najčešće radioaktivan uzorak.

Kako organska jedinjenja sadrže ugljenik, njihova identifikacija potrebuje drugačije vrste metoda.

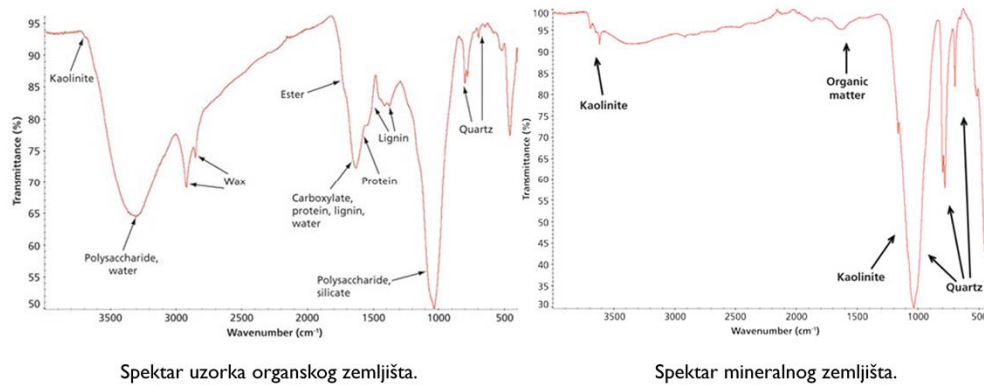
Najpre je potrebno razdvojiti uzorke iz smeše, bilo u gasnoj ili tečnoj fazi – hromatografske metode.

Spektrometri masa – uzorak se bombarduje snopom elektrona čim se dobijaju molekulski joni ili njihovi fragmenti. Nastali fragmenti se usmeravaju kroz superponirano magnetno i električno polje u kome se razdvajaju na osnovu odnosa mase i naelektrisanja. Raspodela fragmenata je, pri istim uslovima jonizacije, jedinstvena za svaki molekul.



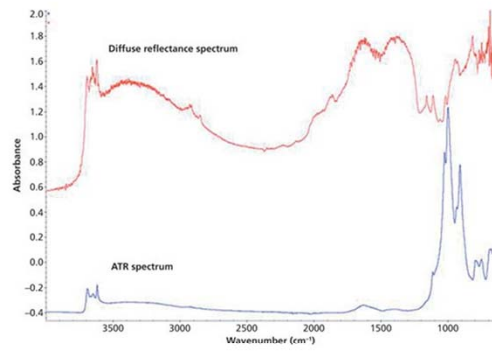
Postoji veliki broj instrumenata i metoda koji mere sastav organskih i neorganskih materijala. Postoje slučajevi u kojima ove metode mogu biti vrlo korisne i pružiti vredne informacije. Na primer, hemijski sastav stakla je često vredan dodatak optičkim i fizičkim ispitivanjima uzoraka. Identifikacija organskih jedinjenja u zemljištu koja ulaze u sastav đubriva daje dodatne karakteristike koje se koriste za poređenje uzoraka. Identifikacija je takođe moguća uz korišćenje spektrofotometara, koji mere količinu apsorbovane svetlosti iz vidljive ili ultraljubičaste oblasti spektra.

Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopija i Ramanska spektroskopija su nedestruktivne analitičke metode za identifikaciju materijala. Često se kombinuju sa mikroskopom radi mapiranja uzoraka.



In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications, 2015 Robertson, et al. Spectroscopy, 30(8) 22–30.

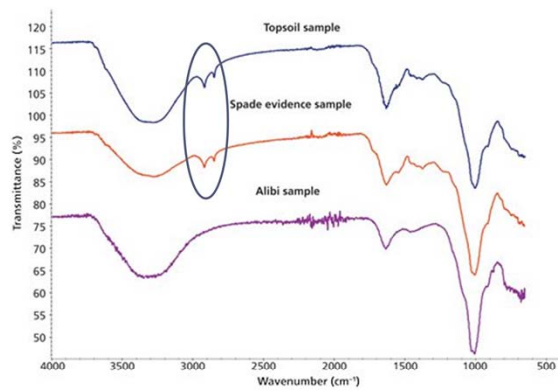
Infracrvena i ramanska spektroskopija su nedestruktivne analitičke metode koja se obično koriste za identifikaciju minerala u zemljištu i materijala organskog porekla. Često se kombinuju sa mikroskopom, na taj način olakšava se identifikacija sitnih predmeta ili dela uzorka. U slučaju krivičnog dela uzorak može biti vrlo mali i uklanjanje materijala za analizu može ostaviti malo preostalog uzorka za dodatno proučavanje ili verifikaciju. Uzorak apsorbuje svetlost u skladu sa svojim hemijskim svojstvima. Detektor sakuplja zračenje koja prolazi kroz uzorak. Softver analizira prikupljene podatke, a rezultati se upoređuju sa poznatim spektrima organskih i neorganskih materijala.



A comparison between diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS, upper) and diamond attenuated total reflectance (DATR, lower) IR spectra for the same unmilled soil sample.



► In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications,
2015 Robertson, et al. Spectroscopy, 30(8) 22–30.



A comparison between IR spectra of the crime scene soil (upper), soil on the spade (middle), and soil from the alibi site (lower).



www.shutterstock.com · 749756398

► In Situ FTIR Analysis of Soils for Forensic Applications, 2015 Robertson, et al. Spectroscopy, 30(8) 22–30.

Faza III

Scanning Electron Microscopes (SEM) / Transmission Electron Microscopes (TEM)

Koriste se za ispitivanje morfologije i hemijskog sastava uzoraka, koristeći uvećanja do 100 000 puta.

Minerali iz zemljišta, fosili i polen se mogu detaljno analizirati.

Elementarna analiza

Rendgenska fluorescencija (XRF), atomska apsorpciona spektroskopija (AAS),

Induktivno spregnuta plazma (ICP) spektrometrija,

ICP-optička emisiona spektrometrija (ICP-OES),

ICP-masena spektrometrija (ICP-MS),

Neutronska aktivaciona analiza (NAA).

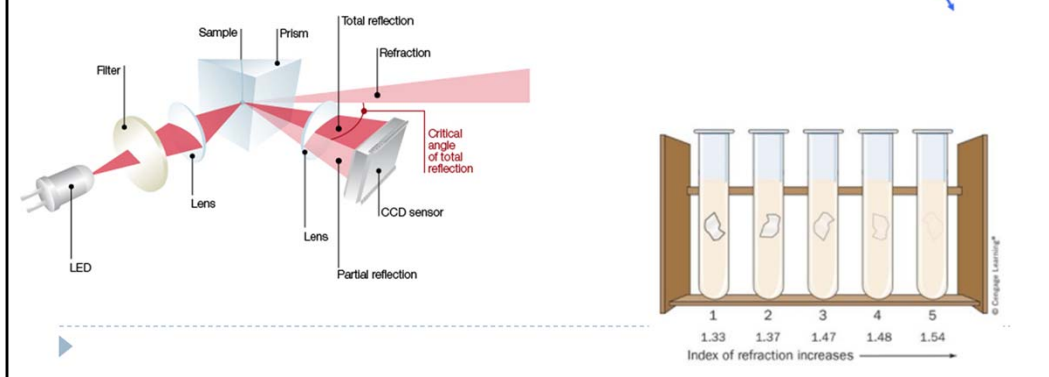
Kombinovane metode

Izdvajanje teških ili magnetnih minerala, rutinska hemijska analiza zemljišta, Ramanska spektrometrija, termijska analiza, NMR, sinhrotronska analiza, i kombinacije ovih tehnika daju pouzdane, tačne rezultate i obezbeđuju dodatne informacije o mineraloškim, hemijskim i fizičkim svojstvima ispitivanog uzorka.

Indeks refrakcije

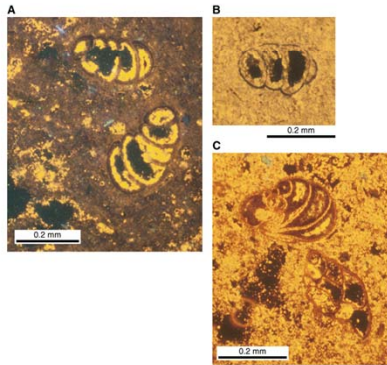
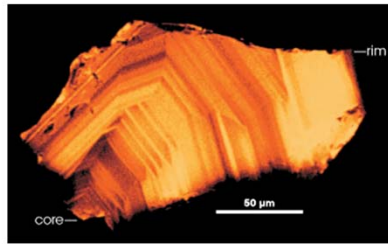
Indeks refrakcije transparentnog materijala predstavlja odnos brzine svetlosti u vakuumu (koja se obično uzima za jediničnu) i brzine svetlosti pri prolasku kroz materijal koji se analizira.

Ovaj se metod najčešće koristi u analizi stakla i većina forenzičkih laboratorija poseduje semi-automatske refraktore.



Indeks prelamanja prozirnog materijala je odnos brzine svetlosti u vakuumu, za koji se obično smatra da je 1, i brzine svetlosti u materiji koja se analizira. Prema tome, indeks refrakcije 2,4553 znači da svetlost putuje 2,4553 puta brže u vakuumu nego u providnom materijalu. Merenje indeksa refrakcije, koji je jedna od najvažnijih metoda za upoređivanje stakla, može se načiniti Becke metodom.

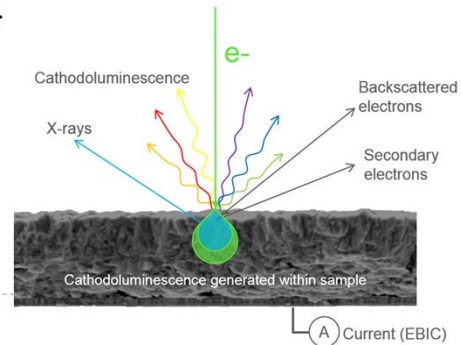
Katodna luminiscencija



<http://www-odp.tamu.edu>

Uređaj koji se koristi za merenje katodne luminiscencije se zove luminoskop, koji je povezan sa mikroskopom. Uzorak se bombarduje elektronskim snopom što izaziva pojavu optičke luminiscencije. Boja i njen intenzitet su funkcija malih promena u koncentraciji nečistoća koje se javljaju u tragovima, kao i na okruženje u kome se nalaze.

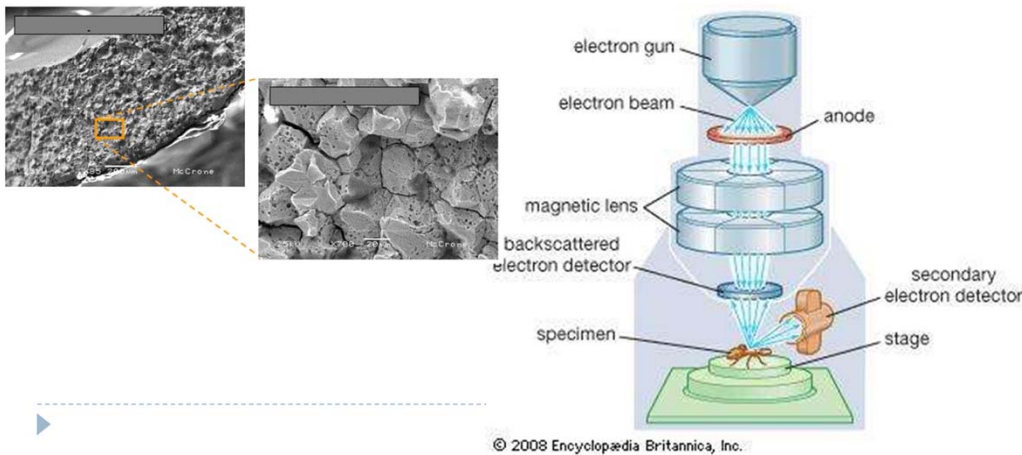
Tako ovaj metod ima široku primenu u mikroanalizi minerala koje inače izgledaju slično.



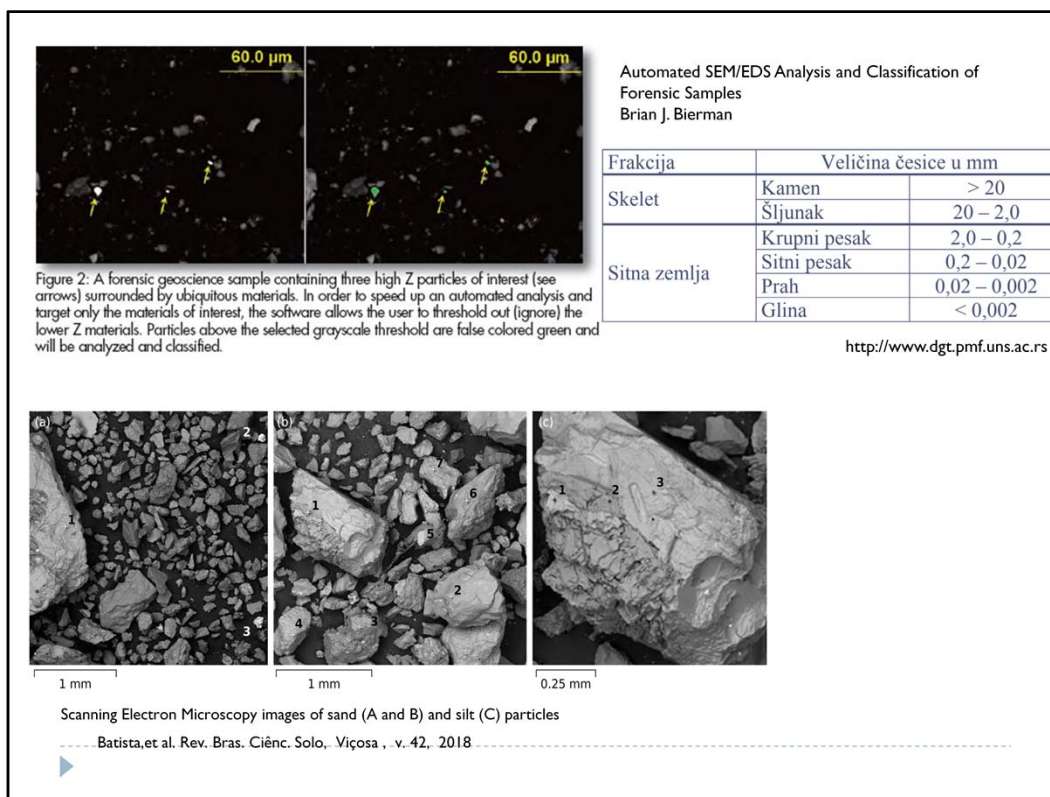
Instrument koji se koristi za katodnoluminiscenciju je luminoskop koji je spregnut sa mikroskopom ili skanirajućem elektronskim mikroskopom. Uzorak - na primer, čestice minerala ili tanki presek uzorka – bombarduju se snopom elektrona. Kada elektroni udare u površinu uzorka, stvara se optička luminiscencija koja se emituje kao obojena svetlost. Boje i njihov intenzitet u velikoj meri zavise od veoma malih promena koncentracije nečistoće u tragovima kod prisutnih minerala. Prema tome, metoda ima široku primenu u određivanju ili posmatranje razlika u mineralnim česticama koja se inače čine sličnim.

SEM ima različita uvećanja u opsegu $25\times - 650,000\times$ i može da detektuje objekat veličine nm.

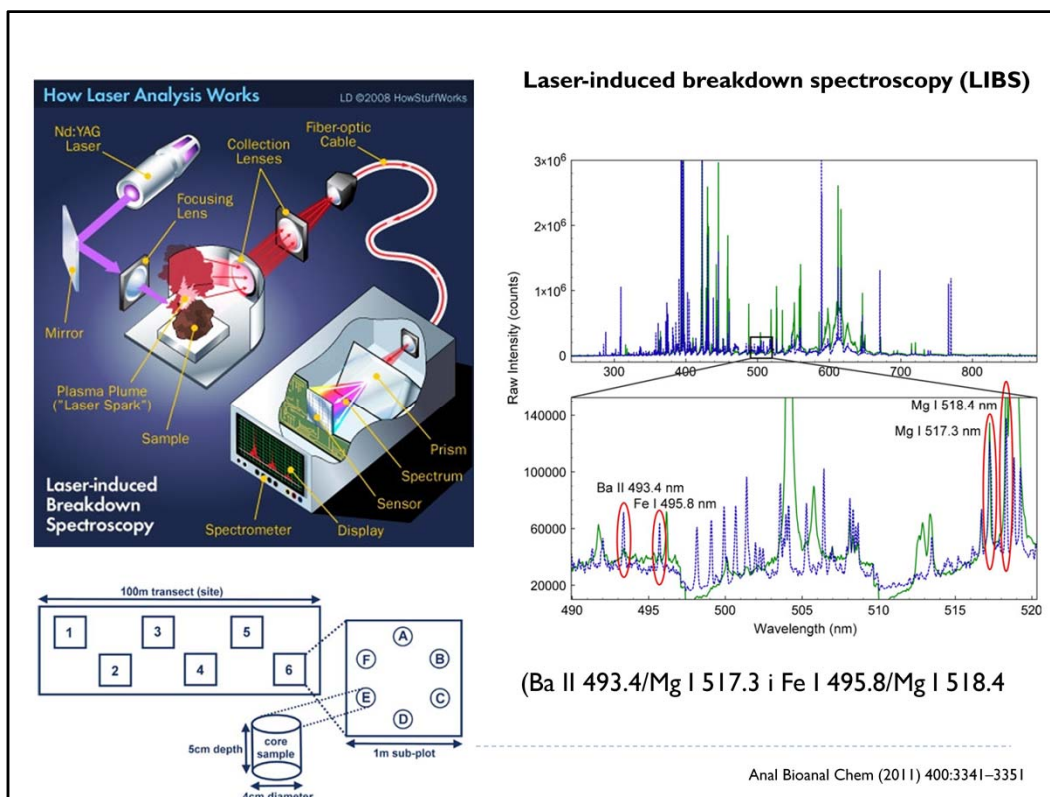
Površina uzorka se može gledati direktno, ali je nekada potrebno naneti sloj ugljenika ili zlata da bi se povećala provodljivost uzorka i kvalitet slike. Lako se tokom snimanja može promeniti uvećanje i na taj način opažati različita morfološka svojstva uzorka, dok je dubina polja takođe odlična. Razlike koje postoje kod uzoraka male veličine su nekada bile nemoguće za razlikovanje, sve do razvoja metoda elektronske mikroskopije. Karakteristike površine pojedinačnih čestica minerala kao što je kvarc se mogu ispitivati, kao i načini orijetacije kristalnih ravni, udubljenja, ogrebotina i dr.



Skannirajući elektronski mikroskop (SEM) ima generalno širok spektar uvećanja od $25\times$ do preko $650\,000\times$ i može snimiti motive manje od 1,5 nm. Ovaj instrument je postao komercijalno dostupan sredinom 1960-ih i brzo je uveden u forenzička ispitivanja. Prednost je to što se površina uzorka može direktno posmatrati. Međutim, ultra tanki premaz od ugljenika ili zlata se mora naneti na uzorak radi poboljšanja kvaliteta slike. Moguće je lako promeniti uvećanje i proučavati izgled površine od vrlo malog do vrlo velikog uvećanja. Površinske karakteristike pojedinih čestica minerala mogu se ispitati, kao i ogrebotine i rast mineralnih čestica. Kada se koriste instrumenti u forenzičkim analizama, treba imati na umu da dva objekta nikada nisu potpuno ista i te fine razlike se mogu ustanoviti pomoću ove tehnike.



Skanišući elektronski mikroskopi imaju mogućnost određivanja elementnog sastava čestica koje se ispituju. To je moguće jer se rendgenski zraci emituju sa uzorka kada elektronski snop pogodi metu, tako da se SEM povezuje sa analizatorom X-zračenja. Emitovani rendgenski zraci se sortiraju po njihovim vrednostima energije ili talasne dužine, koje su karakteristične za određen elemente, i tako se identifikuju prisutni elementi u uzorku. Kvantitativna analiza je samo površinskog karaktera i količina svakog prisutnog elementa određena je intenzitetom emitovanih x-zraka.



LIBS metoda za analizu rasutih čestica zemljišta pomoću lasera koji emituje svetlost talasne dužine 266 nm omogućava dobru preciznost i granice detekcije koje su dovoljno niske da bi se obavila forenzička analiza. Tragovi, glavni i manji elementi u tlu doprineli su da se može snimiti karakterističan profil za svaku lokaciju. LIBS metoda je bila efikasna u diskriminaciji uzoraka i može se kombinovati sa brojnim statističkim tehnikama. Očekuje se da stvaranje baze podataka o tlu koja sadrži elementarne podatke može pružiti korisne istražne informacije kada nepoznati uzorak tla ispituje se u bazi podataka.

Ubistvo i jezero

Ubistvo J. B. Dodsona predstavlja jedan od najinteresantnijih slučajeva u istoriji forenzičke geologije.

Geološki tragovi su omogućili povezivanje osumnjičenog sa određenom lokacijom i obaranje njegovog alibija.

Najvažnije je da su detektivi tada prepoznali značaj tragova zemljišta i zatražili njegovu analizu, a svedočenje forenzičkog geologa je bilo ključno za osudu počinioca.

U oktobru 1995, Dodson je ubijen dok je bio u lov sa suprugom. Mesto zločina je bilo u Uncompahgre planinama u Koloradu. Čitava je oblast pretražena sa detektorom metala, ali puška nije nađena.

Istraživanje u ovom slučaju se proteglo na još tri godine. Tokom poslednjeg istraživanja jezera u blizini kampa u kome je boravio bivši muž osumnjičene žene, istraživači su primetili da blato oko jezera sadrži bentonit koji je nasut kao izolacija u jezersko okno. Blato koje je osumnjičena imala na odeći je odgovaralo blatu kod jezera u blizini kampa bivšeg muža, kome je ukrala pušku.



Uljani tragovi i pesak

U Kanadi je nađeno telo dečaka na putu izvan Ontaria. Na leđima je imao fleku od ulja i prvobitno se mislilo da je reč o udesu. Ali forenzički geolozi su ispitivanjem uljane mrlje i čestica u njoj ustanovili da potiču iz garaže osumnjičenog. Poređenje je izvršeno i za više uzoraka uzetih iz garaža u okolini.

Čestice peska koje su nađene na odeći žrtve i u garaži su prosejane i podeljene na dva dela prema veličini. Nakon uklanjanja ulja, i sušenja uzoraka, poduzorci su bile iste boje. Sadržaj teških metala je takođe bio sličan i tri različite vrste stakla su nađene i u oba uzorka su bile istog indeksa refrakcije.

Takođe su nađene i žute čestice na komadićima stakla, u oba uzorka, koje odgovaraju boji koja se koristi za horizontalnu signalizaciju na putu.



Slučaj koji ilustruje mnoga pitanja u poređenju zemljišta i srodnog materijala se desilo u Kanadi. Telo 8-godišnjeg dečaka bilo je pronađeno pored puta. Zadnji dio njegove košulje imao je masnu mrlju, a preliminarni zaključak je bio da je bio žrtva sudara, a da ulje potiče sa vozila. Ali ispitivanje ulja i suspendovanih čestica koje je analizirao forenzički geolog pokazalo je drugačiji scenario.

Istražitelji su prikupili uzorke masnog materijala na podu zatvorene betonske garaže gde je osumnjičeni, parkirao svoj automobil. Analiza uzoraka pokazala je da su pesak i ostale čestice unutar ulja iz odeće žrtve i u garaže bile slične i da se razlikuju od ulja prikupljenog na podu 10 ostalih garaža u tom području.

Čestice u uzorcima iz odeće žrtve i parkirališta osumnjičenog pružili su značajne informacije. Pesak iz oba uzorka je prosejan i analiziran. Uz to, teški metali u oba su uzorka bili isti. U dva uzorka pronađene su i različite vrste stakla: čilibarno staklo, kaljeno staklo i staklo od sijalice. Svako od ovih stakala je, u dva uzorka, bilo identično po indeksu refrakcije (prelamanje svetlosti pri prolasku kroz sredine različitih gustina). Nađene su i sitne čestice žute, fluorescentne boje na staklu u oba uzorka.

Forenzičar je zaključio da postoji velika verovatnoća da je telo bilo u kontaktu sa betonskim podom garaže osumnjičenog koji je kasnije i osuđen zbog svedočenja forenzičkog geologa.

Veza sa medicinom

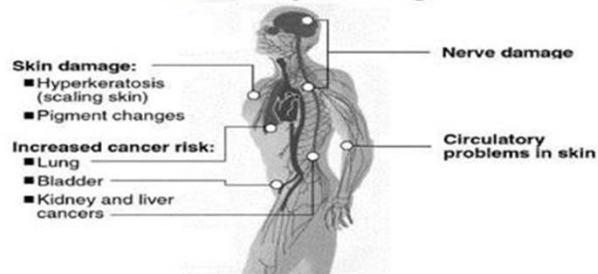
Ispitivan je slučaj ozbiljne bolesti kod malog deteta nastale kao posledica trovanja arsenom.

Osumnjičena osoba je oslobođena optužbi kada je istragom kuće ustanovljeno mnogo uzoraka minerala koje je ostavio prethodni vlasnik, mineralog. Mnogi od uzoraka su predstavljali arsenopirit (sulfid gvožđa i arsena) koje je dete konstantno žvakalo.



Arsenopyrite

Arsenic poisoning

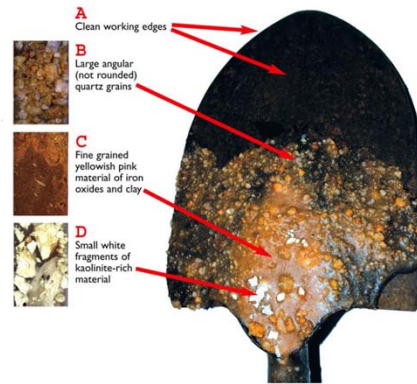


Dvostruko ubistvo



Fig. 3.

Photos of (left) trunk of vehicle driven by suspect showing back of shovel, which had both sides caked with a pink powdery soil (see Fig. 4) and a blood-stained pine post, (top right) jade bracelet, and (bottom right) boots thinly coated in fine pinkish soil.



2000. Oakbank, južna Australija, prijavljen je nestanak žene, majke i sina. Nađen je auto sa blatnjavom lopatom i mrljama od krvi. Ispitan je materijal sa lopate. Čiste ivice, blato na dršci, velike čestice kvarca oštih ivica, bez organskog materijala, beli fragmenti kaolinita. I rozikasta zemlja niske provodljivosti.



Morphological description, pH, and electrical conductivity (EC) of soil materials collected from the back and front of the shovel (questioned samples) and quarry sump (control samples).

Sample type and (number)	Matrix color	
	Dry	Moist
Back of shovel Questioned soil sample(UJU 12.2)	7.5 YR 8/4 Pink	7.5 YR 7/4 Pink
Front of shovel Questioned soil sample(UJU 12.3)	7.5 YR 8/4 Pink	7.5 YR 7/4 Pink
Quarry sump Control soil sample (Q1)	7.5 YR 8/4 Pink	7.5 YR 7/4 Pink

► R.W. Fitzpatrick and M.D. Raven, How Pedology and Mineralogy Helped Solve a Double Murder Case: Using Forensics to Inspire Future Generations of Soil Scientists

Powder x-ray diffraction analysis of materials collected from the shovel (questioned samples) located in the trunk of suspect's vehicle and quarry (control samples).†

Sample	Kaolinite	Quartz	Mica (mus)
Back of shovel (bulk) (<0.4-mm fraction) UJU 12.2	SD (c)	D	M
Back of shovel (small white fragments)	D (wc)	T	T
Front of shovel (bulk) (<0.4-mm fraction) (UJU 12.3)	SD (c)	D	M
Quarry sample (bulk) (<0.4-mm fraction) Q1	SD (c)	D	M
Quarry sample (small white fragments) Q3	D (wc)	T	T
Quarry sample (large white fragment) Q4	D (wc)	T	T

D, dominant (>60%); CD, codominant (sum of components >60%); SD, subdominant (20–30%); M, minor (5–20%); T, trace (<5%); ND, not detected; c, crystalline; wc, well crystalline.

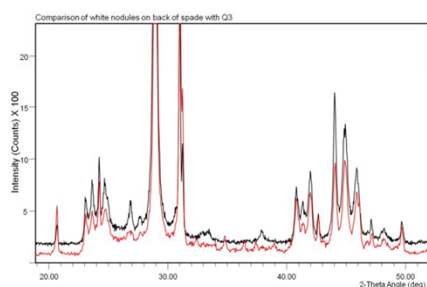


Fig. 6.

Comparison of selected X-ray diffraction (XRD) region of hand-picked clay fragments extracted from the bulk questioned sample from the back of shovel (black) and hand-picked clay fragments extracted from the control quarry sample (Q3) (red).

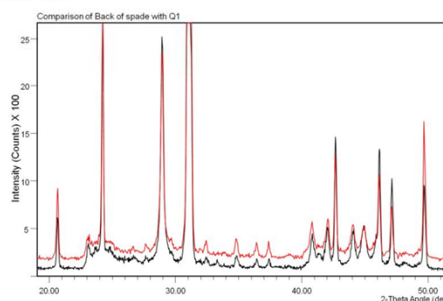


Fig. 5.

Comparison of selected X-ray diffraction (XRD) region of the bulk questioned sample from the back of shovel (sieved to <0.4mm) (black) and bulk control sample (Q1) from the quarry (sieved to <0.4mm) (red).

▶ R.W. Fitzpatrick and M.D. Raven, How Pedology and Mineralogy Helped Solve a Double Murder Case: Using Forensics to Inspire Future Generations of Soil Scientists

Evidence in recent UK murder trial

10 extremely strong	physical fit & chemical/textural match or exotic particles
9 very strong	chemical, textural, colour and biological match
8 strong – very strong	chemical, mineralogical, textural and colour match
7 strong	chemical and biological match
6 moderately strong	very good chemical match
5 moderate evidence	very good biological match from discrete soil samples
4 weak to moderate	fairly good chemical or biological match data obtained from washed mixtures
3 weak	fair chemical or biological match or sand grain shapes & surface textures >50 grains
2 very weak	Quartz grain surface textures < 50 grains
1 extremely weak	Pollen or sand textures with small numbers <50 grains
0 no evidence	Pollen or quartz grain texture < 10 grains

Zaključak

Forenzička analiza uzoraka zemljišta može biti veoma kompleksna zbog velikih međusobnih razlika i heterogenosti uzoraka, što sa druge strane, omogućava jednoznačno razlikovanje uzoraka.

Kako je ovo relativno novo, tačnije ponovo otkriveno područje forenzičke nauke, istraživanja i formiranje eksperata u ovoj oblasti je još u povoju.

Potrebno je da ovakva razmatranja budu integralni deo studija o zemljištu i forenzike u opštem smislu.

Potrebno je napraviti korake ka daljem usavršavanju tehnika i metoda da bi se omogućila unofrmna metodologija u analizi uzoraka zemljišta u forenzičkim ispitivanjima.

