

Uporaba različnih preiskovalnih metod tal za forenzični namen

Use of different investigation methods of soil for forensic purpose

Kristina ŠTIBELJ

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, 1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: kristina.stibelj@geo-zs.si

Prejeto / Received 24. 11. 2011; Sprejeto / Accepted 6. 2. 2012

Ključne besede: forenzična geologija, tla, barva, gostota, mineralna sestava

Key words: forensic geology, soil, color, density, mineral composition

Izvleček

Geologija, s svojim specifičnim znanjem in metodami, lahko pomaga forenzikom pri njihovih preiskavah in analizah. Na osnovi postopkov, ki jih uporabljajo v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju pri Ministrstvu za notranje zadeve RS, smo preiskovali in med seboj primerjali 15 vzorcev tal z različnih lokacij. S primerjanjem njihove barve, gostote in mineralne sestave smo skušali ugotoviti, katera dva vzorca pripadata enaki lokaciji. Primerjali smo rezultate posameznih uporabljenih metod preiskav in ocenjevali, katera nam poda najboljše ujemanje med vzorci ter ujemanje mineralne sestave vzorcev tal z njihovo kamninsko podlago. Najboljše ujemanje vzorcev vzetih z enake lokacije smo dobili z metodo rentgenske praškovne difrakcijske analize. Pri merjenju gostote so vrednosti variirale v odvisnosti od mesta odvzema primerjalnega in spornega vzorca. Njena sprememba je bila opazna že na razdalji manj kot en meter. Za forenziko je bistvenega pomena točna lokacija odvzema vzorcev. Bližina odvzema vzorcev ima velik vpliv na gostoto, saj pri večjih razdaljah ne dobimo primerljivih rezultatov, na zelo kratke razdalje pa lahko prikaže visoko ujemanje. Z uporabo rentgenske difrakcijske analize pa dobimo primerljive rezultate še na oddaljenosti več metrov, kar pa v forenziki ne predstavlja sprejemljivih rezultatov za določanje istovetnosti lokacije.

Abstract

With its specific background and methods, geology may help forensic scientists considerably when doing researches and analyses. Based on the procedures used in the National Forensic Laboratory, we have been researching and comparing 15 soil samples from different locations. We divided them into 3 groups, of which each comprised one pair of samples of the same location. By comparing colour, density and mineral composition in the soil samples, we tried to determine which two samples originated from the same location. We were comparing the results of individually used research methods and tried to evaluate which provide the best sample matches. Furthermore, we were comparing how the mineral composition of the samples and their bedrock match. The best match was achieved by applying the method of X-ray powder diffraction, which clearly showed identical samples collected from the same location. When measuring density, the values varied according to the location site, from which the comparative and conflicting samples were taken. The change of density was observed in the distance of less than one meter. For the field of forensic science the exact location of sample collection is of crucial importance. The proximity of sample collecting has considerable impact on density, as longer distances do not provide comparative results, whereas a short distance may present us with highly matching samples, the method which is widely considered applicable in forensic science. By applying the method of X-ray powder it is possible to acquire comparative results at the distance of several meters; in forensic science, however, this does not provide acceptable results for defining the identity of the location.

Uvod

Forenzična geologija je veda, ki uporablja geološko znanje in metode pri forenzičnih analizah, ki so povezane z nekim kriminalnim dejanjem. Združuje geološke metode, ki vključujejo analize delcev (sejanje, tehtanje, velikost, oblika), mineraloške analize (petrografske preiskave, rentgenska difrakcijska analiza), kemične in geokemične analize (uporaba elektronskega mikroskopa, emisijska spektroskopija, rentgen-

ska fluorescenca) (MURRAY & TEDROW, 1992). Forenzika, oziroma kriminalistična tehnika je del kriminalistike, ki preiskuje sledi v kakršnikoli zvezi s kaznivim dejanjem in skuša iz njih narediti kriminalistično tehnični dokaz (GOLJA, 1997). Zelo dobro je razvita v državah Severne Amerike, kjer imajo za vsak tip preiskave svoje strokovnjake. V ostalih državah sveta je ta smer ponekod prav tako zelo dobro vpeljana v kriminalistična preiskovanja, drugod pa ne. Slednje velja tudi za Slovenijo. Pri tem je potrebno upoštevati, da

je zahteva po takih raziskavah v Sloveniji manjša. Razlog je v samem številu prebivalstva in posledično v manjšem številu kriminalnih dejanj, kjer bi bila potrebna prisotnost geologa. Ta dela opravijo strokovnjaki drugih področij, kot so fiziki in kemiki.

Uporabo geologije v forenziki, kot opisujeta MURRAY in TEDROW (1992), je v svojih knjigah preko glavnega junaka Sherlocka Holmesa prvi podal Arthur Conan Doyle. Njegova domneva je bila, da so vsaka tla specifična za določeno manjše območje na Zemljinem površju. Zato ljudje, ki so v stiku s tlemi, lahko delce tal namerno ali nenaumno pustijo na svojih osebnih predmetih. Njegove ideje niso bile v praksi do takrat še nikoli uporabljene. Prvi, ki je začel vključevati geologijo v preiskovanje kriminala, je bil avstrijski preiskovalec Hans Gross (1847–1915). Razmišljal je, da je iz umazanih na čevlju lažje ugotoviti, kje povsod je človek hodil, kot pa iz utrudljivih izpraševanj, kjer se pogosto ne dobi potrebnih informacij. Prvi primer umora, pri katerem so kot dokazno gradivo uporabili mikroskop za preiskavo mineralov v tleh, je rešil nemški forenzik Georg Popp leta 1904 na podlagi mikroskopskega prepoznavanja mineralov tal.

Danes preučevanje in analiziranje tal poteka rutinsko že v vseh kriminalističnih laboratorijih po svetu, v nekaterih z uporabo več različnih metod, v drugih pa z uporabo le ene. V Nacionalnem forenzičnem laboratoriju v Sloveniji analizirajo vzorce tal s primerjanjem barve in merjenjem gostote. V Združenih državah Amerike so tla del rutinskega preiskovanja (MURRAY & TEDROW, 1992). Osnovne podatke za posamezna območja zbirajo že vnaprej. Izdelujejo posebne karte s tolmači, na katerih je za različne vrste tal podana barva, struktura, mineralna sestava, kemične lastnosti, organska sestava ipd. Prikazane so tudi razlike v sestavi tal v odvisnosti od globine. Tako nek sporni vzorec lažje in hitreje umestijo na določeno lokacijo.

Forenzična geologija še vedno spreminja področje delovanja (MURRAY, 2005). Običajni način preiskovanj vključuje identifikacijo materialov, ki so ključni za določen primer. Tako je na primer preiskovanje pigmentov na pobarvani sliki ali materialov na kipu, mineralna sestava določenega materiala (dragi kamni), ko je njihova originalnost sporna. Kot pri drugih področjih je tudi v forenzični geologiji pomembna uporaba lastnega znanja in izkušenj, zaradi česar geologi opazimo specifične stvari, katerim drugi strokovnjaki ne posvečajo pozornosti.

Pri forenzičnih preiskavah tal in drugih materialov smo soočeni z dvema različnima tipoma vzorcev: *primerjalnimi*, ki jih odvzame preiskovalec na samem kraju kriminalnega dejanja, oziroma nesreče in *kontrolnimi*, oziroma *spornimi* vzorci. Ti so odvzeti za primerjavo z vzorci, povezanimi s kriminalom, oziroma nesrečo (MURRAY & TEDROW, 1992).

Geološke metode, ki se uporabljajo pri forenzičnih preiskavah, vključujejo raziskave barve tal in sedimentov, gostote delcev, porazdelitev del-

cev po velikosti ter njihovo štetje glede na maso in velikost v vzorcu, uporabo polarizacijskega mikroskopa (pregledovanje vlaken, kovin, barv, stekla, plastike v vzorcu, določevanje optičnih lastnosti kamnin in mineralov, težkih mineralov), elektronskega mikroskopa (natančen pregled las, barv, vlaken, primerjava mineralov, morfologija vzorca), rentgenska difrakcijska analiza (mineralna sestava tal in drugih kristaliničnih snovi), različne termične analize (primerjava keramičnih materialov, tal, gum), metoda z meritvijo lomnega količnika (primerjava stekla) in analize z drugimi inštrumentalnimi metodami (emisijška spektrometrija, rentgenska fluorescenca, atomska absorpcijska spektrometrija in druge) (MURRAY & TEDROW, 1992).

V delu smo želeli na praktičnem primeru prikazati enega izmed načinov uporabe geologije v forenziki. Z uporabo različnih metod smo preiskali petnajst vzorcev tal z dvanajstih različnih lokacij. Zaradi izvajanja meritev smo vzorce razdelili v tri skupine po pet in jih tako obravnavali v celotnem postopku. V vsaki skupini je bil prvi vzorec primerjalni, ostali pa kontrolni, oziroma sporni. Eden izmed kontrolnih vzorcev v vsaki skupini je bil odvzet z enake lokacije kot primerjalni. Cilj raziskave je bil, da bi z uporabo različnih preiskovalnih metod v vsaki skupini določili par vzorcev odvzetih z enake lokacije. Želeli smo ugotoviti, kateri od kontrolnih vzorcev ima isti izvor kot primerjalni ter določiti zanesljivost posamezne metode. Poleg samega primerjanja vzorcev glede na dokazno vrednost v forenzičnih preiskavah, nas je zanimala še njihova medsebojna primerljivost, odvisnost mineralne sestave tal od kamninske podlage ter spreminjanje gostote tal glede na njihove različne medsebojne razdalje.

Vzorce tal smo odvzeli na dvanajstih različnih lokacijah in sicer na območju Selške doline, Sorškega polja, v okolici Radovljice, na Krimu in v Fiesi (tabela 1). Namen te raznolikosti je bil predvsem v ugotavljanju enakosti ali različnosti mineralne sestave vzorcev tal glede na njihovo kamninsko podlago in morebitno povezanost z različno starostjo kamninske podlage. Vzorca 1 in 2, vzeta z enake lokacije, ležita na podlagi, ki jo predstavlja skrilavi glinavec permske starosti. Z enake lokacije sta tudi vzorca 6 in 9, katerima podlago predstavlja anizijski dolomit (RAMOVŠ, 2004) ter vzorca 11 in 13, katerih kamninska podlaga je jurski apnenec (BUSER, 1970). Vzorci 4, 8 in 12 so odvzeti na različnih lokacijah, vendar starostno enakih, pleistocenskih kamninskih podlagah. Vzorec 4 smo odvzeli na prodnatih sedimentih (BUSER, 1976), vzorec 8 na konglomeratnih zasipih in vzorec 12 na prodnih zasipih (BUSER, 1980). Kamninska podlaga vzorcu 3 je permski apnenec, vzorcu 5 oligocenski konglomerat, vzorcu 7 permski peščenjak (RAMOVŠ, 2004), vzorcu 10 eocenski fliš (PLENIČAR, 1973), vzorcu 14 ladinjski keratofir in vzorcu 15 kredni skrilavi glinavec (RAMOVŠ, 2004).

Vzorčenje in metode

Pravilen način odvzema vzorcev je prvi pogoj za točnost končnih rezultatov analiz. Kriminalistični tehniki na kraju kaznivega dejanja zberejo več vzorcev tal, ki jih potem kriminalistični strokovnjaki oziroma izvedenci v laboratoriju primerjajo z vzorci, odvzetimi z osumljenčevih osebnih predmetov. Glede na vrsto kaznivega dejanja se na temu primeren način odvzamejo vzorci. Za neko kaznivo dejanje, ki ima stik le s površino tal, se vzorec odvzame s površine. Če je na kraju ugotovljen globlji poseg v tla, se tudi vzorci za preiskave odvzamejo globlje v tleh. S tem se zmanjša možnost za napake pri primerjanju in pri sami točnosti in zanesljivosti končnih rezultatov.

V raziskavi smo vzorce odvzeli s površine tal. Vzorcev nismo definirali pod »isto« lokacijo, saj smo jih odvzeli na medsebojni oddaljenosti 5–7 metrov. Pri tem smo že posegli v prostor, ki v kriminalističnem pogledu ne predstavlja več iste lokacije. Zato jih obravnavamo kot vzorce enake lokacije, saj je v kriminalistiki mesto kaznivega dejanja samo eno. Vse ostalo je okolica, ki je ne obravnavajo kot eno in se kot eno tudi ne sme obravnavati.

Obstaja več načinov in možnosti preučevanja mineralov, kamnin, tal in drugih materialov. Namen primerjalnih metod je, da s primerjanjem vzorcev ugotovimo stopnjo ujemanja in možnost

poistovetenja vzorcev z istim virom. Posledično se lahko potrdi ali zavrne vpletenost osumljenca za določeno kaznivo dejanje. Metode se med seboj razlikujejo, tako se glede na forenzični namen, razlikuje tudi njihova dokazna vrednost.

V nalogi smo za preiskovanje tal uporabili tri različne metode: metoda določanja barve in gostote ter določanje mineralne sestave z uporabo praškovne rentgenske difrakcijske analize.

Barva tal

Barva tal je ena najpomembnejših optičnih identifikacijskih lastnosti tal v forenziki. Predstavlja prvi korak pri sami primerjavi vzorcev. Na podlagi le-te lahko pripravimo vzorec za nadaljnje analize ali pa ga izločimo iz preiskave. Barvo določajo z barvnim atlasom Munsell soil color chart, ki temelji na barvah: R (rdeča), Y (rumena) ter YR (rumeno-rdeča) in na faktorjih: tonu (ang. hue), svetlosti (ang. value) in čistosti (ang. chroma) spektralne barve. Upošteva se še faktor vlažnosti (m-vlažen, d-suh). Tla so zmes mineralov, oksidov, organskih snovi, mikroorganizmov in drugih snovi, ki so se vanje vključila med njihovim nastajanjem. Zato se barva tal lahko spremeni na zelo majhne razdalje. Za njeno določitev je potrebno te snovi z različnimi postopki odstraniti iz vzorcev tal. Po sušenju na sobni temperaturi in sejanju na velikost pod 2 mm sledi odstranjevanje organskih snovi, odstranjevanje oksidnih prevlek,

	Št. vzorca Nu. of sample	Kamninska podlaga Bedrock	Starost Age	Kraj Location
I. skupina vzorcev I. group of samples	1	skrilavi glinavec Clayshale	spodnji perm Lower Permian	Stirpnik
	2	skrilavi glinavec Clayshale	spodnji perm Lower Permian	Stirpnik
	3	apnenec Limestone	zgornji perm Upper Permian	Golica
	4	prodni sedimenti Gravelly sediments	pleistocen Pleistocene	Lesce
	5	konglomerat Conglomerate	srednji oligocen Middle Oligocene	Škofja Loka
II. skupina vzorcev II. group of samples	6	dolomit Dolomite	anizij Anisian	Rovte
	7	peščenjak Sandstone	srednji perm Middle Permian	Mlaka
	8	konglomeratni zasip Conglomerate fill	pleistocen Pleistocene	Hrastnik
	9	dolomit Dolomite	anizij Anisian	Rovte
	10	fliš Flysch	eocen Eocene	Fiesa
III. skupina vzorcev III. group of samples	11	apnenec Limestone	jura Jurassic	Krim
	12	prodni zasip Gravel fill	pleistocen Pleistocene	Reteče
	13	apnenec Limestone	jura Jurassic	Krim
	14	keratofir Keratophyre	ladinij Ladinian	Selca
	15	skrilavi glinavec Clayshale	kreda Cretaceous	Zali log

Tabela 1. Pregled vzorcev glede na vrsto in starost kamninske podlage ter kraja odvzema vzorcev. Pari potemnjenih vzorcev so z enakih lokacij.

Table 1. Review of the samples, depending on the type and age of the bedrock and the place of collection of the samples. Pairs of obscured samples are from the same sites.

navlažitve vzorca in segrevanje. Vse to zahteva strokovnost, natančnost in čas (SUGITA, 1996). Dokazna vrednost barve glede na forenzični namen je nizka, saj kot taka nima velike veljave pri samem izvoru vzorca, kar je eden izmed razlogov, da je primerjava barve z barvnim atlasom v praksi manj v uporabi. Barvo večinoma določajo glede na medsebojno primerjavo vzorcev, kar smo naredili tudi v našem primeru.

Merjenje gostote tal

Gostoto smo merili na Centru za forenzične preiskave (danes Nacionalni forenzični laboratorij). Posušene vzorce smo sejali na velikost debeložrnatega peska in zatehtali 50 mg vzorca s premerom zrn 0,8–0,060 mm. Stresli smo ga v že pripravljeno stekleno cevko s premerom 4 mm. Vsaka steklena cevka je razdeljena na 7 enakih plasti, višine 6 cm. Vanje smo predčasno vlili različne mešanice tekočin bromoforma (CHBr_3) ter bromobenzena ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$). V spodnji plasti je njuna mešanica z gostoto $2,8 \text{ g/cm}^3$, nad njo sledi mešanica z gostoto $2,7 \text{ g/cm}^3$, nato $2,6 \text{ g/cm}^3$, $2,5 \text{ g/cm}^3$, $2,3 \text{ g/cm}^3$, $2,0 \text{ g/cm}^3$ ter na vrhu še čisti brombenzen z gostoto $1,5 \text{ g/cm}^3$. Vzorce smo v stekleni cevki pustili stati 24 ur, da so se delci razvrstili po gostoti.

Ker je gostota specifična na vsakem delu tal posebej, smo naknadno naredili še pet dodatnih meritev gostote, da bi ugotovili, kako se spreminja na krajše razdalje.

Praškovna rentgenska difrakcijska analiza – RTG

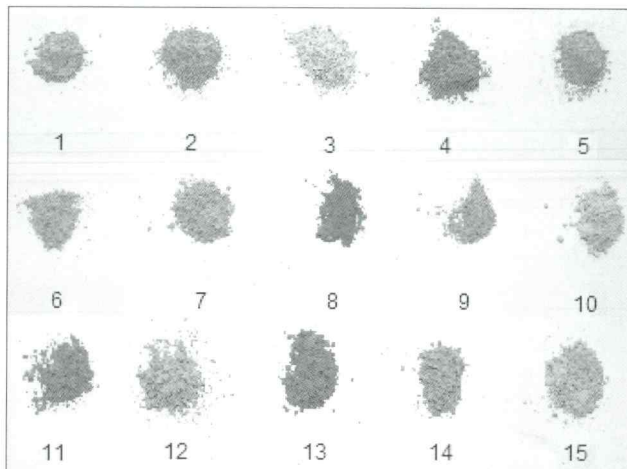
Praškovna rentgenska difrakcijska analiza je ena najpomembnejših in najbolj zanesljivih metod identificiranja mineralne sestave tal (MURRAY & TEDROW, 1992). Pri tem moramo upoštevati, da je za forenziko pomembno ujemanje vzorcev istih lokacij in ne enakih, saj slednje ne predstavljajo nobene dokazne vrednosti. Posušene vzorce smo uprašili in jih dali v analizo na oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani. Potrebovali smo 200 mg homogenega vzorca. Rentgenogrami so bili posneti z rentgenskim difraktometrom PHILIPS. Snemali so v kotnem območju 2θ 2° – 70° , s hitrostjo 3° $2\theta/\text{min}$. Pogoji snemanja so bili: 1,2 kW moči, napetost 20 kV, tok 30 mA, valovna dolžina uporabljene rentgenske svetlobe $\text{CuK}\alpha = 1,5418 \text{ \AA}$, sekundarni grafitni monokromator in proporcionalni števec. Mineralno sestavo vzorcev smo določili s pomočjo računalniškega programa Phillips x'Pert Organizer in ICSD baze podatkov.

Rezultati

Barva vzorcev

Barve primerjalnih in kontrolnih vzorcev z enakih lokacij niso bile enake. Pari vzorcev 1 in 2, 6 in 9 ter 11 in 13 so si bili barvno podobni, vendar bi bila pri določanju z barvnim atlasom le-ta različna. Vsi vzorci imajo različne odtenke rjave

barve od bolj svetlih do bolj temnih, razen vzorcev 5 in 7, ki imata različen odtenek rdečkaste barve ter vzorec 10, ki je siv. Po svetlosti odtenka od bolj svetlih do temnih odtenkov rjave barve si sledijo 3, 15 (izrazito svetlejši barvi), 12, 6, 1, 9, 14, 2, 11, 13, 4 in 8, ki ima izrazito temnejšo barvo (slika 1).



Slika 1. Pregled vzorcev tal glede na barvo.

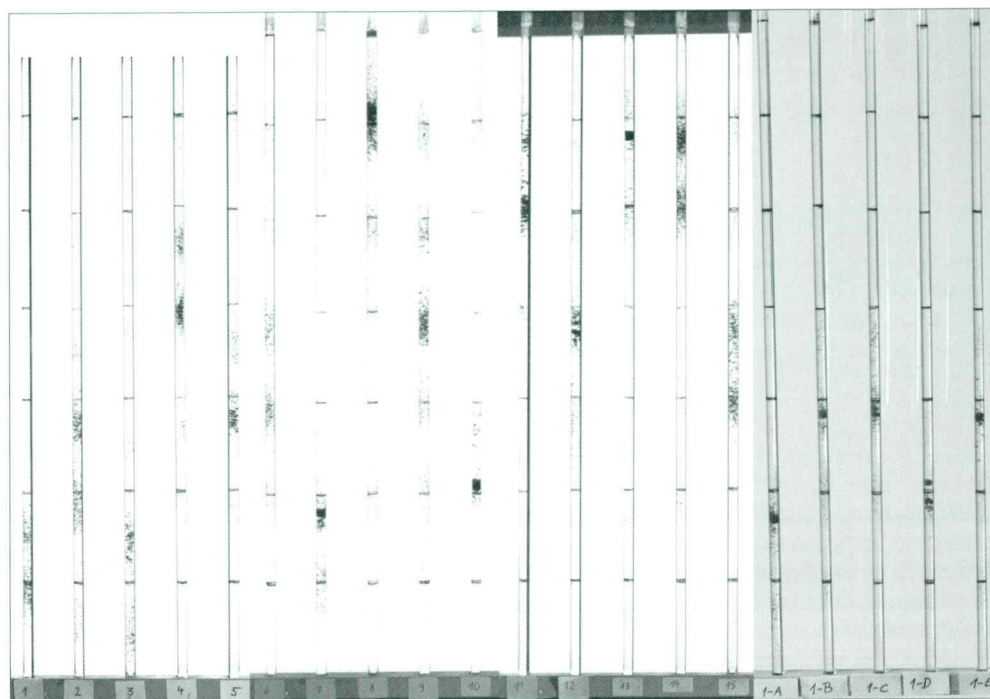
Fig. 1. Review of soil samples, according to color.

Gostota vzorcev

Rezultati meritev gostote prve skupine vzorcev ne prikažejo ujemanja primerjalnega (vzorec 1) in kontrolnega (vzorec 2) vzorca z enake lokacije (slika 2, tabela 2). Opazno je ujemanje njihovih posameznih delcev, ki pa je premajhno, da bi lahko določili isti vir. Primerjalni vzorec ima največjo koncentracijo delcev pri $2,7$ in $2,8 \text{ g/cm}^3$, ostali vzorci vsebujejo največje zgostitve delcev pri nižjih gostotah. Delno se ujemajo delci primerjalnega vzorca s tretjim, ki pa je z druge lokacije. Vzorca 4 in 5 imata drugačno razporeditev delcev.

V drugi skupini vzorcev je opazno majhno ujemanje gostote primerjalnega vzorca (vzorec 6) s kontrolnim enake lokacije (vzorec 9) (slika 2, tabela 2). Največjo koncentracijo delcev imata sicer na različnih mestih (vzorec 1 pri $2,6$ in $2,5 \text{ g/cm}^3$, vzorec 9 pri $2,5 \text{ g/cm}^3$), vendar pa se delci v cevi pojavljajo na enakih višinah. Njuno ujemanje je še vedno premajhno, da bi jima lahko pripisali isti izvor. Ostali vzorci te skupine (vzorec 7, 8 in 10) so si glede razporeditve delcev po gostoti različni in nimajo podobnosti s primerjalnim.

Slika tretje skupine vzorcev kaže podoben položaj delcev primerjalnega vzorca (vzorec 11) s kontrolnima vzorcema 13 in 14 (slika 2, tabela 2). Glavne zgostitve vzorca 11 so pri $2,0 \text{ g/cm}^3$ in $2,3 \text{ g/cm}^3$, posamezni delci pa imajo gostoto $1,5 \text{ g/cm}^3$ in $2,5 \text{ g/cm}^3$. V vzorcu 13 je glavna koncentracija na $2,0$, posamezni delci se pojavijo še na $1,5$, $2,3$ in $2,5$, pri vzorcu 14 pa je glavna zgostitev na $2,0$ in $2,3 \text{ g/cm}^3$, ostali delci pa se pojavljajo še višje po cevi. V vzorcu 13 je opazen pas zgostitve delcev v vrhnjem delu cevi, kar je lahko varljivo in ne poda pravih rezultatov. Medsebojno podobnost razvrstitve delcev imata tudi vzorca 12 in 15, ki pa sta z različnih lokacij.



Slika 2. Izmerjene gostote tal vseh treh skupin vzorcev in dodatnih petih vzorcev.

Fig. 2. Results of density measurements of all three sample groups and additional five samples.

Tabela 2. Odčitane gostote delcev, dobljenih pri meritvah gostote tal.

Table 2. Read density of the particles, obtained from density measurements.

Št. vzorca Nu. of sample	Izmerjene gostote (g/cm ³) Measured density			
	večina delcev most of particles		posamezni delci individual particles	
1	2,7	2,8	2,6	2,5
2	2,6	2,7	2,8	2,5 2,3
3	2,7		2,6	2,5
4	2,3	2,5	2,6	
5	2,6		2,5	2,7
6	2,6	2,5	2,3	2,0
7	2,7		2,8	
8	2,0	1,5	1,5	
9	2,5		2,3	2,0 2,7 2,8
10	2,6	2,7	2,5	2,3
11	1,5	2,0 2,3	2,3	2,5
12	2,5		2,6	2,3 2,0
13	2,0		1,5	2,3 2,5
14	2,0	2,3	1,5	
15	2,5	2,6	2,0	

Tla sestavljajo materiali, ki lahko poleg mineralov vključujejo še organske delce, kot so delci rastlin, vrsto antropogenih ali tujih delcev, ki so preneseni in vključeni v tla. Na gostoto torej vpliva več dejavnikov, zato je potrebno določiti, kako veliko območje se definira kot isto. Razdalja med vzorci z enakih lokacij je bila prevelika, da bi dobili zanesljivo ujemanje rezultatov gostote. Zato smo po osmih mesecih naredili še pet dodatnih meritev, da bi ugotovili, kako se gostota spreminja na manjše razdalje. Vzorce smo odvzeli na medsebojni oddaljenosti petih metrov. Prvega na mestu vzorca št. 1, da bi videli morebitno spremembo gostote v odvisnosti od časa. Lokacija

vsakega naslednjega vzorca je bila en meter stran od prejšnjega. Označili smo jih z 1-A, 1-B, 1-C, 1-D in 1-E.

Rezultati so pokazali, da se gostota lahko spreminja na oddaljenosti enega metra ali manj (slika 2). Zelo visoko stopnjo ujemanja kažejo vzorci 1-B, 1-C in 1-E. Zgostitve in posamezni delci se pojavljajo na enakih višinah (2,6 g/cm³). Med njimi pa je vzorec 1-D, ki ima nekoliko drugačno razvrstitev posameznih delcev, kar velja tudi za 1-A. Gostote so se spremenile tudi po času, vendar razlike niso velike, saj se delci pri vzorcu 1 in 1-A pojavljajo pri enakih gostotah (2,8 in 2,7 g/cm³) ampak z različnimi koncentracijami. Prav tako imajo vzorci 1-B, 1-C in 1-E podobne največje zgostitve delcev kot vzorec 2 (2,6 g/cm³), ostali delci se pa pojavljajo tudi pri 2,7 in 2,5 g/cm³.

Primerjava rezultatov meritev barve in gostote

Vzorec 8, z najtemnejšim odtenkom rjave barve, ima izmed vseh najmanjšo gostoto. Vzorci 4, 11 in 13 imajo svetlejši odtenek rjave barve. Od teh imata vzorca 11 in 13 nizko gostoto (med 2,0 in 2,3 g/cm³), kakršno ima tudi vzorec 14, ki je nekoliko svetlejša rjava barve. Vzorca 3 in 15 sta najbolj svetla, njuna gostota je različna: vzorec 3 je z gostoto med 2,8 in 2,7 g/cm³ eden izmed najgostejših (poleg vzorcev 1 in 7), vzorec 15 pa ima gostoto med 2,6 in 2,5 g/cm³. Pri ostalih vzorcih (2, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 15) se delci gibljejo med 2,7 in 2,3 g/cm³. Njihove barve so si podobne, razen vzorcev 4, 5 in 10.

Rentgenska praškovna difrakcijska analiza – RTG mineralna sestava

Glede na minerale, določene z rentgensko difrakcijo, smo ugotovili visoko stopnjo ujemanja vzorcev enakih lokacij (tabela 3).

Tabela 3. Minerali, ki gradijo tla ter kamninsko podlago, določeni z rentgensko praškovno difrakcijsko analizo.

Table 3. Minerals of soil and bedrock, determined by X-ray powder diffraction.

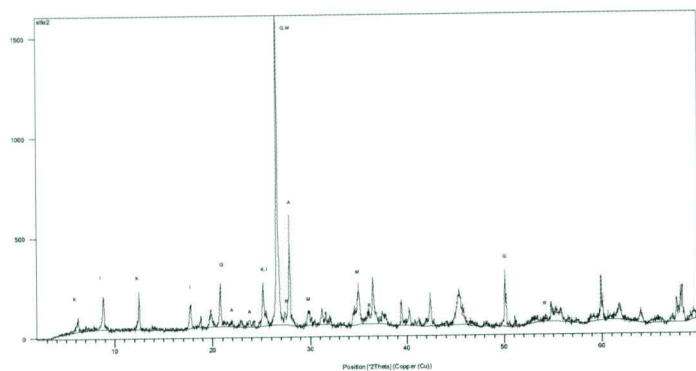
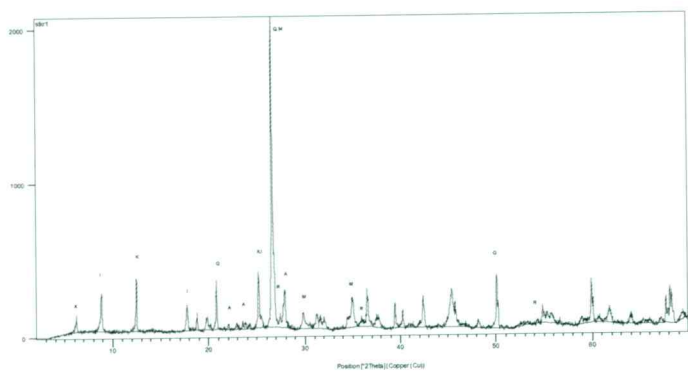
Št. vzorca/ Nu. of sample	Mineralna sestava/ Mineral composition		
	tal/ soil	tal in kamninske podlage/ soil and bedrock	kamninske podlage/ bedrock
1	rutil/ Rutile	kremen, muskovit, albit, klorit, illit/ Quartz, Muscovite, Albite, Chlorite, Illite	
2	rutil/ Rutile	kremen, muskovit, albit, klorit, illit / Quartz, Muscovite, Albite, Chlorite, Illite	
3	dolomit, illit, rutil, muskovit, sadra/ Dolomite, Illite, Rutile, Muscovite, gypsum	kremen, kalcit/ Quartz, Calcite	
4	albit, kaolinit/ Albite, Kaolinite	kremen, dolomit, kalcit, illit/ Quartz, Dolomite, Calcite, Illite	
5	illit, klorit/ Illite, Chlorite	kremen, dolomit, kalcit, kaolinit, hematit/ Quartz, Dolomite, Calcite, Kaolinite, Hematite	
6	muskovit, illit, klorit/ Muscovite, Illite, Chlorite	dolomit, kremen/ Dolomite, Quartz	kalcit, albit/ Calcite, Albite
7		kremen, muskovit, albit, klorit, illit, hematit/ Quartz, Muscovite, Albite, Chlorite, Illite, Hematite	
8	kalcit, anortit/ Calcite, Anorthite	illit, muskovit, kremen/ Illite, Muscovite, Quartz	albit / Albite
9	muskovit, illit, klorit/ Muscovite, Illite, Chlorite	dolomit, kremen/ Dolomite, Quartz	kalcit, albit/ Calcite, Albite
10	anortit/ Anorthite	dolomit, kalcit, kremen, illit, klorit/ Dolomite, Calcite, Quartz, Illite, Chlorite	Albit/ Albite
11	kremen, albit, illit, klorit, rutil, dolomit, muskovit/ Quartz, Albite, Illite, Chlorite, Rutile, Dolomite, Muscovite	kalcit	
12	kalcit, dolomit, anortit, klorit/ Calcite, Dolomite, Anorthite, Chlorite	kremen, illit, muskovit/ Quartz, Illite, Muscovite	albit / Albite
13	kremen, albit, illit, klorit, rutil, dolomit, muskovit/ Quartz, Albite, Illite, Chlorite, Rutile, Muscovite	Kalcit/ Calcite	
14	kremen, illit, muskovit/ Quartz, Illite, Muscovite	albit, klorit/ Albite, Chlorite	Dolomit/ Dolomite
15		kremen, albit, muskovit, klorit, illit/ Quartz, Albite, Muscovite, Chlorite, Illite	Kalcit/ Calcite

V prvi skupini vzorcev vidimo visoko stopnjo podobnosti primerjalnega in kontrolnega vzorca z enake lokacije (slika 3). Pri obeh (1, 2) smo določili enake minerale: kremen, illit, albit, muskovit, klorit in rutil (tabela 3). Pri ostalih (3, 4, 5) se mineralna sestava razlikuje. Vsi vsebujejo kremen, illit, kalcit in dolomit. Vzorec 3 poleg naštetih mineralov vključuje še muskovit, rutil in sadro, vzorec 4 albit in kaolinit, vzorec 5 pa klorit, kaolinit in hematit.

Tudi pri drugi skupini vzorcev je stopnja ujemanja med primerjalnim (6) in kontrolnim (9) vzorcem enake lokacije visoka (slika 4). Določili smo enake minerale: kremen, muskovit, illit, klorit in dolomit. Ostali kontrolni vzorci (7, 8, 10) ne kažejo podobnosti s primerjalnim in tudi med seboj se glede na mineralno sestavo razlikujejo. Vsi trije vsebujejo kremen in illit, poleg teh pa vzorec 7 še muskovit, klorit, albit in hematit, vzorec 8 muskovit, anortit in kalcit, vzorec 10 pa klorit, dolomit, anortit in kalcit.

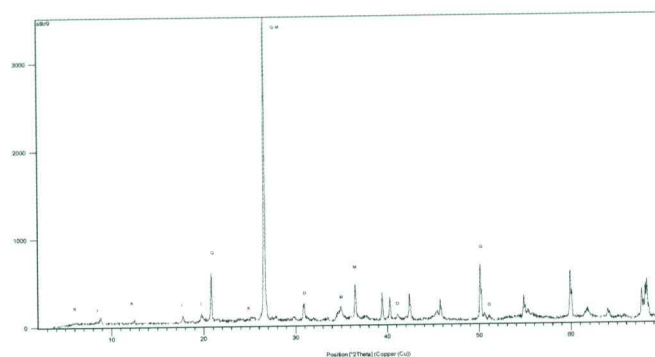
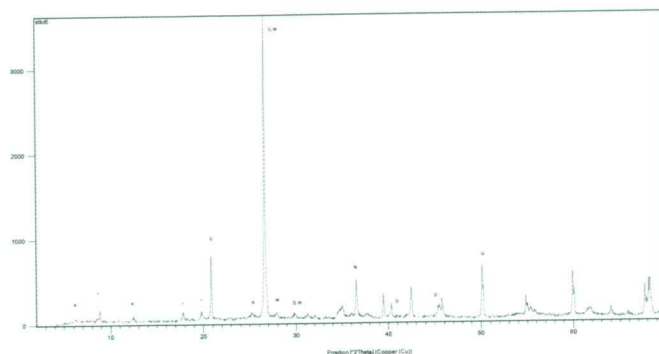
V tretji skupini vzorcev je slika nekoliko drugačna. Rentgenograma primerjalnega in kontrolnega vzorca enake lokacije (slika 5) imata visoko stopnjo ujemanja. Pri obeh (11, 13) smo določili kremen, albit, illit, klorit, kalcit, dolomit, rutil in muskovit. Prav tako pa kažeta na možnost istega izvora tudi vzorca 14 in 15, čeprav sta odvzeta na različnih lokacijah. Njuna mineralna sestava je enaka in vsebuje kremen, albit, illit, klorit in muskovit. Vzorec 12 vsebuje kremen, illit, klorit, kalcit, dolomit, muskovit in anortit (tabela 3).

Zanimala nas je tudi mineralna sestava kamninske podlage vzorcev. Kamninsko podlago vzorcev 1 in 2 predstavljajo minerali kremen, muskovit, albit, klorit in illit, vzorca 3 kremen in kalcit, vzorca 4 kremen, dolomit, kalcit in illit, vzorca 5 pa kremen, dolomit, kalcit, kaolinit in hematit. V drugi skupini kamninska podlaga vzorcev 6 in 9 vsebuje kremen, kalcit, dolomit in albit, vzorca 7 kremen, illit, albit, muskovit, hematit



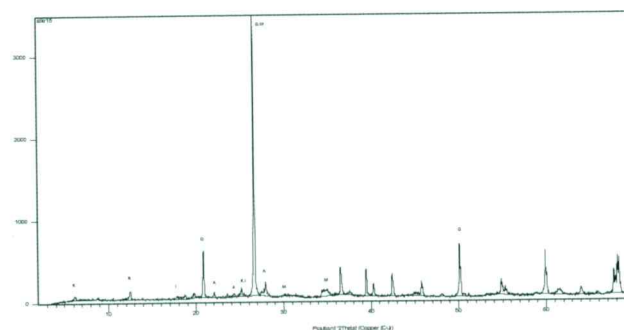
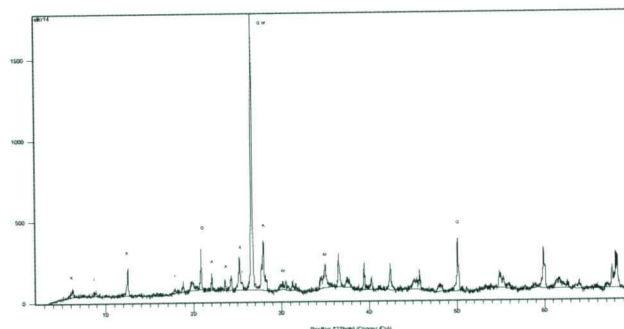
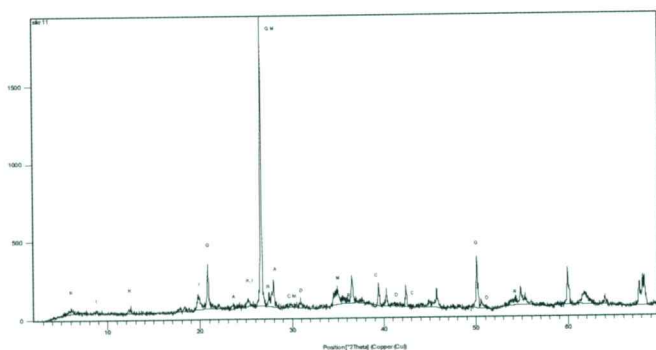
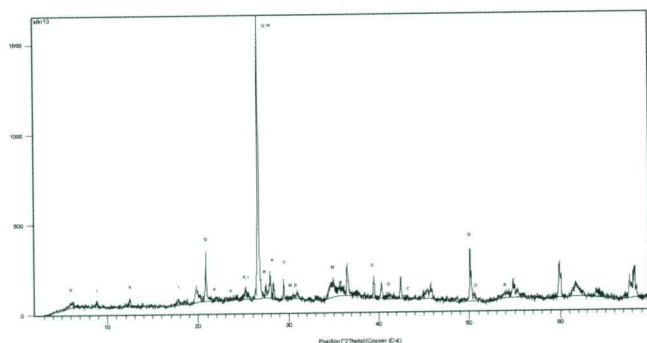
Slika 3. Mineralna sestava vzorcev 1 in 2, določena z rentgensko difrakcijo.

Fig. 3. Mineral composition of samples 1 and 2, determined by X-ray diffraction.



Slika 4. Mineralna sestava vzorcev 6 in 9, določena z rentgensko difrakcijo.

Fig. 4. Mineral composition of samples 6 and 9, determined by X-ray diffraction.



Slika 5. Mineralna sestava vzorcev 11, 13 ter 14, 15, določena z rentgensko difrakcijo.

Fig. 5. Mineral composition of samples 11, 13 and 14, 15, determined by X-ray diffraction.

in klorit, kamninski podlagi vzorcev 8 in 12 smo določili enake minerale in sicer kremen, illit, albit in muskovit, vzorcu 10 pa kremen, kalcit, dolomit, illit, albit in klorit. V tretji skupini nam ostanejo še vzorci 11 in 13, katerih kamninska podla-

ga vsebuje kalcit, vzorec 14, ki vsebuje dolomit, albit in klorit ter vzorec 15, kateremu smo določili kremen, kalcit, illit, albit, muskovit in klorit (tabela 3).

Diskusija

Rezultati, pridobljeni s posameznimi metodami, se med seboj razlikujejo. Metoda praškovne rentgenske difrakcijske analize je podala zelo dobro ujemanje vzorcev enakih lokacij in hkrati opazne razlike vzorcev z drugih lokacij. Pri ostalih dveh metodah istovetnosti vzorcev enakih lokacij ni bilo mogoče zanesljivo določiti in sta dobro prikazali razlike med njimi in med vzorci drugih lokacij (barva, gostota).

S primerjavo barv nismo dobili želenega ujemanja med primerjalnimi in kontrolnimi vzorci enakih lokacij (1 in 2, 6 in 9 ter 11 in 13). Da bi jim določili enake barve, bi morali odvzeti vzorce z iste lokacije ter jih medsebojno primerjati.

Vzorca, katerima barva izrazito izstopa (3, 8), se dobro ujemata z gostoto. Vzorec 3 ima najbolj svetel odtenek rjave barve in najvišjo gostoto, vzorec 8 pa najtemnejši odtenek rjave barve in najnižjo gostoto. Za njiju bi lahko rekli, da sta si barva in gostota soodvisni in imajo temnejši vzorci zaradi prisotnosti organske snovi nižjo gostoto. To bi lahko potrdili še za vzorca 11 in 13, ki imata prav tako močan odtenek rjave barve, njuna gostota pa je precej nizka. Vendar pa to ne velja za vzorec 14, ki ima svetlejši odtenek rjave barve, gostoto pa podobno vzorcema 11 in 13 in je med 2,3 in 2,0 g/cm³. Soodvisnost med barvo in gostoto vzorcev bi prav tako lahko prikazali na vzorcu 1, ki je svetlo rjave barve in ima gostoto med 2,8 in 2,7 g/cm³, kar pa ne velja za vzorce 6, 9, 12, 14, ki imajo prav tako svetel odtenek rjave barve, njihova gostota pa je nižja. Med vzorci se jasne korelacije med barvo in gostoto ne da določiti, kar nakazuje, da barva in gostota vzorcev nista neposredno primerljivi. Z meritvami gostote nismo dobili enakosti med primerjalnimi in spornimi vzorci. Le v tretji skupini vzorcev je opazna podobnost med primerjalnim in kontrolnim vzorcem enake lokacije (vzorca 11 in 13), hkrati pa je imel vzorec 14 njima podobno gostoto.

Oddaljenost vzorcev 5 metrov in več je bila prevelika, da bi nam meritve gostote lahko prikazale ujemanje med vzorci. Z dodatnimi meritvami gostote smo ugotovili, da so tla specifična za vsako lokacijo posebej in da se gostota vzorcev spremeni tudi po času. V času osmih mesecev so se delci pri vzorcih 1 in 1-A pojavili pri enakih gostotah (med 2,7 in 2,8 g/cm³), vendar v različnih koncentracijah. Spreminjanje gostote vzorcev 1-A, 1-B, 1-C, 1-D in 1-E, glede na medsebojno oddaljenost 1 m prikazujejo, da se gostota lahko spremeni v oddaljenosti manj kot 1 m, lahko pa imajo tla enako gostoto na oddaljenosti 1, 2, 3 m, čeprav se njihove vmesne gostote razlikujejo. Vzorca 1-B in 1-C imata razporeditev delcev enako, z vzorcem 1-E se razlikujeta v koncentraciji posameznih delcev. Rezultati kažejo, da je gostota specifična za določeno območje. Pri enakih lokacijah smo dobili različne gostote vzorcev, pri istih lokacijah pa so si bile gostote zelo podobne. To predstavlja dobro dokazno vrednost v forenziki, kjer je ključen kraj odvzema primerjalnega in spornega vzorca, ki mora biti isti in ne enak.

Pri meritvah se lahko pojavijo napake, kiremenijo končni rezultat (MURRAY & TEDROW, 1992). Delci so lahko sprijeti, pri čemer se sprimeta dva minerala ali več in se zato pojavita na vmesni višini, torej vmesni vrednosti njune prave specifične teže. Težki minerali so sicer lahko razpoznavni, vendar se zaradi gostote višje od 2,8 začnejo kopičiti na dnu cevi. Kremen je eden izmed najbolj pogostih mineralov na Zemlji. Ker neredko vsebuje tekočinske vključke in vključke drugih mineralov, je njegova gostota spremenljiva. Minerali z zelo podobno gostoto se pojavijo na enaki višini, kar lahko vodi do varljivega zgoščevanja delcev na določeni višini. Zaradi naštetega lahko, ne glede na natančnost merjenja, dobimo napačen rezultat. Taka napaka se je lahko zgodila tudi pri vzorcu 13, pri katerem je prišlo do močne koncentracije delcev pri gostoti 2,0 g/cm³, kar je lahko posledica napake pri meritvi. Možno je, da imajo nekateri delci na vrhnjem delu zgostitve rahlo večjo gostoto, vendar se zaradi zgostitve delcev pod njimi ne morejo spustiti nižje po cevi.

Na podane primere lahko ob upoštevanju možnih napak, z uporabo obeh dveh metod (določitev barve in gostote), podamo visoko stopnjo njune zanesljivosti. Njune razlike se vidijo že na kratke razdalje (nekaj metrov; enake in druge lokacije), enakosti med vzorci pa na razdalji 3, 2, 1 meter ali manj, kar pride v poštev pri forenziki.

Mineralna sestava tal je podala zelo dobro ujemanje primerjalnih in kontrolnih vzorcev enakih lokacij. Prav tako pa so bile jasne razlike v mineralni sestavi z ostalimi vzorci. Izjema sta vzorca 14 in 15, katerima smo določili enake minerale. Ker imajo vzorci enakih lokacij enako mineralno sestavo tal, ne pride v poštev v forenziki, saj je tu pomembna ista lokacija. Sklepamo lahko, da bi mineralna sestava vzorcev istih lokacij prav tako prikazala njihovo ujemanje, vendar pa to za forenziko ni dovolj. Vidne morajo biti tudi razlike med njimi, ko gre za vzorce z enake lokacije. V primeru, ko imamo podobno barvo in gostoto za posamezni par vzorcev, vendar pa o njuni istovetnosti nismo prepričani, lahko z RTG preverimo, če so vzorci res z iste lokacije. S tem bi dobili zelo visoko stopnjo ujemanja primerjalnih in kontrolnih vzorcev.

Tabela 4. Gostote mineralov, določenih z RTG.

Table 4. Densities of minerals, which were determined by X-ray diffraction.

Mineral Mineral	Gostota g/cm ³ Density	Mineral Mineral	Gostota g/cm ³ Density
kremen/ Quartz	2,63	illit / Illite	2,69
kalcit/ Calcite	2,71	albit/ Albite	2,62
dolomit/ Dolomite	2,90–3,00	anortit/ Anorthite	2,65
sadra/ Gypsum	2,30	klorit/ Chlorite	2,50–3,30
hematit/ Hematite	5,30	kaolinit/ Kaolinite	2,60
rutil/ Rutile	4,20–4,30	muskovit/ Muscovite	2,83

Iz primerjave izmerjenih gostot tal (tabela 2) in gostot mineralov (tabela 5), ki smo jih določili z RTG vidimo, da imajo minerali, ki se v vzorcih, določenih z RTG, najpogosteje pojavljajo (kremen, illit, muskovit, albit, klorit), gostote med 2,6 in 2,7 g/cm³. Najbolj odstopata vrednosti za rutil (5,3 g/cm³) in hematit (4,2–4,3 g/cm³), ki sta gostejša. Izmerjene gostote vzorcev 1, 2, 3, 7 in 10 se zelo dobro ujemajo z gostotami mineralov, ki smo jih določili z RTG. Manjše ujemanje je z vzorci 5, 6, 12, 15, zelo slabo pa pri vzorcih 4 in 9. Pri vzorcih 8, 11, 13 in 14 podobnosti ni. Tako odstopanje pripisujemo morebitnim vsebnostim organskih snovi v vzorcih ali pa napakam pri meritvah, omenjenih zgoraj.

Mineralna sestava kamninske podlage vzorcev kaže, da ima kamninska podlaga in njeno prepevanje bistven vpliv na mineralno sestavo tal. Tla vsebujejo minerale, ki so prisotni v kamninski podlagi, poleg teh pa vključujejo še druge minerale, med katerimi so nekateri posledica prepevanje kamninske podlage, za druge pa sklepamo, da so naknadno vključeni v tla z višje ležečih delov.

Z analizo kamninske podlage smo ugotovili, da starost in vrsta kamninske podlage ne vplivata na mineralno sestavo tal drugih lokacij (ne enakih!). Mineralne sestave vzorcev z apnenca (3, 6 in 9), skrilavih glinavcev (1 in 2, 15) in s pleistocenske kamninske podlage (4, 8, 12), se razlikujejo (tabela 3).

Zaključki

Vsaka od metod, tako primerjanje barve, merjenje gostote, kot tudi rentgenska praškovna difrakcijska analiza, s katerimi smo preiskovali tla, je podala drugačne rezultate. Različna je tudi njihova dokazna vrednost glede na forenzični namen.

Meritve med seboj niso neposredno primerljive. Barve vzorcev ne sovpadajo z gostotami, ki smo jih dobili pri merjenju. Gostote le delno sovpadajo z gostotami mineralov, določenih z RTG.

Kamninska podlaga ima vpliv na mineralno sestavo tal. Minerali, ki gradijo kamnine sovpadajo z minerali, ki gradijo tla. Zato lahko določeno mineralno sestavo tal pričakujemo, vendar pri tem ni izključena možnost prisotnosti drugih ali pa odsotnost pričakovanih mineralov.

Da bi lahko določili, katera metoda je za forenzični namen najboljša, je potrebno najprej določiti, kakšni rezultati se lahko opredelijo kot točni.

Gostota tal je specifična za vsako območje tal posebej, saj se lahko spreminja že na zelo majhne razdalje (manj kot en meter). Tudi barva vzorcev enakih lokacij si je le podobna. Če pri merjenju gostote ugotovimo ujemanje razporeditve delcev dveh (ali več) vzorcev, lahko podamo visoko stopnjo dokazne vrednosti, da sta z enake lokacije, vendar pa ni nujno, da sta z iste. V primeru, da upoštevamo še barvo vzorcev in je le-ta

enaka, pa lahko podamo že dokaj visoko stopnjo zanesljivosti, da sta vzorca z iste lokacije. Vendar pa v obratnem primeru, ko rezultati gostote ne pokažejo ujemanja med vzorci enakih lokacij, možnost, da imajo vzorci isti vir, ni izključena.

Mineralna sestava, določena s praškovno rentgensko difrakcijo, je podala zelo dobro ujemanje vzorcev enakih lokacij. Vendar pa ujemanje vzorcev enakih lokacij v forenziki ne predstavlja zadovoljivih rezultatov, saj je v primeru forenzike potrebno nedvoumno določiti kraj kriminalnega dejanja. Zato so rezultati, določeni z RTG, nezanesljivi. Kot smo že omenili, 5 ali več metrov oddaljena lokacija ne predstavlja več kraja kriminalnega dejanja. S to metodo ne moremo določiti ali je bil vzorec odvzet na samem kraju ali le blizu kraja kriminalnega dejanja. Zato se v tem primeru njena dokazna vrednost močno zmanjša. Metoda sama po sebi ne predstavlja dovolj zanesljive dokazne vrednosti za forenzični namen.

Za forenziko je pri primerjanju vzorcev bistvenega pomena uporaba metod, ki prikažejo jasno ujemanje vzorcev istih lokacij in jasne razlike vzorcev enakih in drugih lokacij. Pri tem ena sama metoda (od metod, ki smo jih uporabila v raziskavi) ni zadosti. Metoda določanja barve sama zase ni dovolj močna za uporabo v forenziki, vendar pa se skupaj z metodo merjenja gostote lahko vidi že izrazito ujemanje med vzorci iste lokacije, hkrati pa so opazne razlike, ko imamo vzorce drugih lokacij. Še vedno pa v primeru, ko enakosti barve in gostote niso jasno izražene, lahko uporabimo še metodo rentgenske praškovne difrakcije. Ob nadgraditvi prvih dveh metod s slednjo, pa lahko podamo zelo visoko stopnjo zanesljivosti ali sta vzorca z iste lokacije ali ne. To pa predstavlja v forenzičnem preiskovanju vzorcev že zanesljivo dokazno vrednost.

Stopnjo zanesljivosti posamezne metode bi lahko ugotovili z večjim številom sistematično odvzetih in analiziranih vzorcev. To predvsem velja za rentgensko difrakcijsko analizo, pri kateri smo dobili zelo dobro ujemanje dveh vzorcev enake lokacije. Tako bi z vedenjem, kako se rezultati v ujemanju ali razlikovanju vzorcev spreminjajo glede na oddaljenost od primarnega vzorca, lahko podali večjo dokazno vrednost. Enako velja za barvo in gostoto.

Zahvala

Predstavljeni rezultati so del diplomskega dela z naslovom »Mineralna sestava tal kot dokazno gradivo v forenziki«. Zahvaljujem se Gorazdu Pezdirju in Ester Ceket za pomoč pri meritvah gostote v Nacionalnem forenzičnem laboratoriju. Zahvala gre tudi vsem trem recenzentom prof. dr. Bredi Mirtič, Mirki Trajanovi in Gorazdu Pezdirju za kritične in dosledne vsebinske pripombe ter za razjasnitev določenih pojmov, postopkov in zakonitosti, pomembnih v forenziki. Prav tako se zahvaljujem tudi ARRS in MNZ, ki so omogočili raziskavo.

Literatura

- GOLJA, J. 1997: Kriminalistična tehnika. In: MAVER, D.: Kriminalistika. Ljubljana: Uradni list Republike Slovenije: 239-245.
- MURRAY, R. C & TEDROW, J. 1992: Forensic geology. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall: 203 p.
- MURRAY, R. C. 2005: Collecting crime evidence from earth. Internet: <http://www.forensicgeology.net/science.htm> (17.9.2009)
- SUGITA, R. & MARUMO, Y. 1996: Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science international*, 83/3: 201-210, doi:10.1016/S0379-0738(96)02038-5.
- BUSER, S. 1970: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000. Tolmač lista Postojna. Zvezni geološki zavod, Beograd: 58 p.
- BUSER, S. 1976: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000. Tolmač lista Kranj. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1980: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000. Tolmač lista Celovec. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- PLENIČAR, M. 1973: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000. Tolmač lista Trst. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- RAMOVŠ, A. 2004: Geološki razvoj Selške doline. V: *Železne niti. Zbornik Selške doline. Muzejsko društvo železniki*: 17-51.