

Утицај чаура, зрна и барутних честица на ЗЕМЉИШТЕ

1. Сара Петковић

Депарتمان Форензичког инжењерства
Криминалистичко-полицијски
универзитет
Београд, Земун, Република Србија
sara.petkovic@kpu.edu.rs
ORCID iD: 0009-0000-2390-2152

2. Радован Радовановић

Депарتمان Форензичког инжењерства
Криминалистичко-полицијски
универзитет
Београд, Земун, Република Србија
radovan.radovanovic@kpu.edu.rs
ORCID iD: 0000-0001-7302-8328

3. Зоран Милановић

Депарتمان Криминалистике
Криминалистичко-полицијски
универзитет
Београд, Земун, Република Србија
zoran.milanovic@kpu.edu.rs
ORCID iD: 0000-0002-7265-747X

Анстракт— Овим радом представљене су најсавременије методе у анализирању узорака земљишта: рендгенско - флуоресцентни спектрометар за детекцију олова и уређај за рендгенску дифракцију за детекцију минерала хидроцерусита. Укратко ће бити објашњени основни параметри везани за чауре, пројектиле, барутне честице и земљиште. Затим се наводи утицај чаура, пројектила и барутних честица на земљиште услед њиховог распадања и таложења. На крају се истиче потенцијална употреба ових података за развој нове методе за упоредну форензичку анализу трагова. Циљ овог истраживачког рада је да укаже на важност проналажења нових метода за упоредну форензичку анализу трагова. Анализе ће показати на који начин резултати доприносе ефикаснијем раду форензичара у расветљењу дела противних закону.

Кључне речи— чауре, пројектили, барутне честице, олово, хидроцерусит, земљиште, анализа

I. УВОД

Природа постоји око три и по милијарде година. Чине је: биљке, животиње, земљиште и процеси који се догађају на Земљи, а на које човек није утицао. Главна одлика природе је њена разноликост. Познате су хиљаде врста микроорганизама, бактерија, животиња, биљака. Сваки организам поседује карактеристике које га чине јединственим. Људи, истраживачи, свакодневно раде на откривању нових података у вези природе, која је и даље препуна изненађења. Препознат је и потенцијал сарадње биолога и форензичара, кроз анализу трагова који се могу пронаћи на биљкама, земљишту, итд. [1] [2]

Форензика је један од темељних стручних аспеката у расветљењу и разрешавању кривичне ствари, односно кривичног дела. Први пут је примењују још древни Египћани током опсервације органа лешева у процесу мумификације. Напредак науке и технологије подстичу прогрес форензике као науке и као практичне дисциплине. Ослања се на примену сазнања из: математике, физике, хемије, биологије, медицине, у циљу прикупљања, фиксирања, анализе, процесуирања и похрањивања у базе података прикупљених доказа. Данас, форензика је неизоставан део криминалистике, кривично-процесног права и правног система уопште. У блиској будућности, форензика ће још значајније напредовати због све веће доступности научно-технолошких решења и преплитања са другим научним дисциплинама. [17]

Задатак форензичара није само да буде максимално оперативан на терену, или у лабораторији, већ и да се посвети системским проблемима који ометају квалитетан крајњи резултат. Откривање нових метода за анализу трагова доприноси лакшем и ефикаснијем решавању кривичних дела. Тако се јавила идеја за анализу утицаја чауре и зрна метка, односно њиховог састава, на биљке, као и ефекта које барутне честице имају на земљиште.

II. ПОЈАМ ЧАУРА, ЗРНА, БАРУТНИХ ЧЕСТИЦА, БИЈАКА И ЗЕМЉИШТА

A. Чауре

Чаура је важан траг за идентификацију оружја. Проналажење, прикупљање и анализа трагова чаура и пројектила неопходно је како би балистичари утврдили да ли је спорним оружјем извршено кривично дело. Балистички вештаци често на основу трагова на чаури дају своје мишљење о ватреном оружју из ког се претпоставља да је метак испаљен. [3]

Детаљи који се преносе на чауру најчешће су у виду релефа и огреботина Трагови који се најчешће проналазе на чаури након испаљења метка су: траг ударне игле (траг удара, траг клизања и траг отвора ударне игле), траг извлакача, чела затварача, као и трагови избациваача, уста шаржера и неки специфични трагови који настају приликом избацивања чауре. [3]

На слици (Сл.) 1 можемо да видимо неке од чаура различитог калибра.



Сл. 1 Чауре различитог калибра

(Извор: <https://reason.com/2014/12/16/kid-suspended-for-bringing-an-empty-shell/>, доступно 19.12.2024)

На месту извршења кривичног дела чауре се проналазе визуелним прегледом подручја или метал-детектором на местима попут травнатих површина, а након што се реконструкцијом утврди вероватан положај са којег је

извршилац кривичног дела извршио опаљење ватреног оружја. Прикупљају се руком, уз обавезно ношење гумене рукавице, како се не би оштетили трагови. [3]

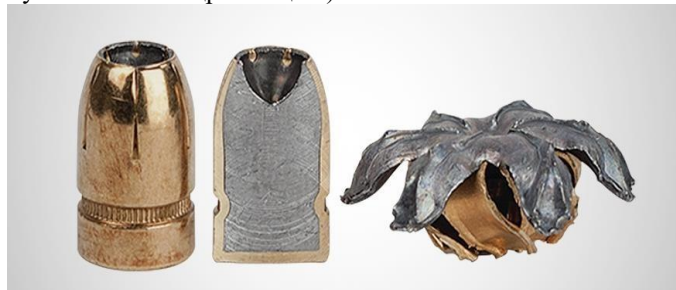
Пронађена чаура има неколико класних карактеристика, као што су: иницијали произвођача који су утиснути на њеној глави, подаци о врсти и калибар муниције. [4] Месинг, алуминијум и челик су метали од којих се чауре најчешће производе. Дужина и пречник чауре. Врста обода, димензије врата и изглед сужења тела чауре специфичне су за одређени тип чауре. [5]

В. Зрна

Зрна (пројектили) проналазе се на предметима, на месту извршења кривичног дела или на жртви. Њихова димензија и облик зависе од врсте муниције. Средишњи део пројектила сачињен је од меког олова. Спољашњи део пројектила, у виду металног омотача, најчешће је направљен од бакра или челика. Последица постојања металног омотача су смањена фрагментација и деформација које се обично јављају након контакта пројектила са циљем. [5]

Пројектили који су испалени из оружја садрже на себи fine, пругасте ознаке. Ове ознаке настају као последица урезивања пројектила у поља цеви приликом опаљења. Ове ознаке имају облик жлебова и благо су закривљени у леву или десну страну, у зависности од типа цеви оружја. Могуће је пронаћи и секундарне трагове који су последица појаве рђе и нечистоћа, услед влаге. Потребно је дугогодишње искуство како би балистичари прецизно и са сигурношћу анализирали узорке. [6]

На слици 2 можемо да видимо пример пројектила пре и након контакта са неким одређеним циљем (који не мора нужно бити и зацртани циљ).



Сл. 2 Пројектил пре (лево) и након контакта са циљем (десно)
(Извор: <https://www.smith-wesson.com/article/handgun-caliber-names-explained> доступно 19.12.2024)

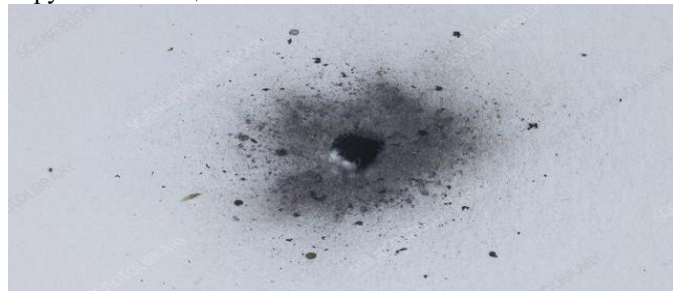
С. Барутне честице

Након опаљења ватреног оружја барутне честице излазе из цеви. Оне су у том моменту загрејане и под притиском, и могу да се таложе на површинама које су у непосредној близини места где је извршено опаљење. Детекција ових честица је од великог значаја у форензичким истрагама. Користи се за успостављање везе између учиниоца кривичног дела и употребљеног оружја. [7]

Интеракцијом цеви оружја и метка приликом опаљења долази до таложења металних честица за барутне честице. Ово се дешава као последица силе трења, услед које долази до трошења материјала са површине цеви и метка. Поменуте компоненте, заједно са барутним честицама,

представљају неорганске барутне честице. Такође, постоји и органска компонента барутних честица. Настаје таложењем уља за чишћење оружја или мазива, који услед високе температуре након опаљења испаре и вежу се за барутне честице. [8]

На слици 3 можемо да видимо могуће простирање барутних честица након опаљења.



Сл. 3 Простирање барутних честица након опаљења
(Извор: <https://www.sciencephoto.com/media/707666/view/gunshot-residue-on-cotton-paper> доступно 19.12.2024)

Д. Земљиште

Земљиште је динамична површина. Њен састав делимично се мења на сваком метру. Одликују је сложена хемијска, биолошка, хидролошка, физичка и минеролошка својства која нису постојана. Мењају се услед промена климе, матичног материјала, топографије, трајања формирања земљишта итд. Зато тло можемо дефинисати као изузетно динамичну површину. Земљиште може бити један од најкориснијих доказа. Међутим, управо различитости његових карактеристика и структура, чине га и међу најкомплекснијим за анализу. [9]

На слици 4 можемо да видимо неке од типова земљишта.



Сл. 4 Различити типови земљишта
(Извор: <https://simplelawnsolutions.com/blogs/lawn-care/types-of-soils> доступно 19.12.2024)

Полазећи од основне поделе земљишта, на природно тло и тло које је створио човек, најпре су уочљиве суштинске разлике. Природна тла су многобројнија и разноврснија. На њих утичу климатски услови области у којој се налазе, организми који насељавају подручје, и стене од којих је формирано тло. Тло које је створио човек, утичући на њега физичким и хемијским поступцима, одликује висок степен дистинкције. То је резултат додавања минерала, отпада, компоста и сличних материјала у природно земљиште. Током форензичког поређења резултата анализа различитих земљишта, претходни утицај човека на састав тла је изузетно битан фактор. [10]

III. УТИЦАЈ ЧАУРА, ЗРНА И БАРУТНИХ ЧЕСТИЦА НА ЗЕМЉИШТЕ

Повећана концентрација метала у природи, као последица коришћења ватреног оружја у стрељанама, постао је модеран проблем загађења животне средине. Метали попут: антима (Sb), олова (Pb), бабра (Cu), арсена (As) и волфрама (W) налазе се у знатно већим концентрацијама од дозвољене. Арсен се углавном користи за учвршћивање челичне сачме. Језгро пројектила је најчешће оловно, док је омотач од бабра. [11]

Процењује се да само у Сједињеним Америчким Државама (енг. United States of America) постоји преко 18 000 стрељана. У Европи десетине хиљада тона оловне муниције доспева у природу на годишњем нивоу. Чауре се углавном проналазе у близини места одакле се гађа. Пројектили се налазе у близини циља, док се барутне честице распростиру у околину преко ваздуха. Поред загађења земљишта и биљака, метали могу да доспеју и у подземне воде. Саме хемијске карактеристике земљишта могу да допринесу већој сорпцији ових метала.

На слици 5 можемо да видимо пројектиле нађене на земљишту стрељане на отвореном, док на слици 6 можемо да видимо и фотографију једне такве стрељане.



Сл. 5 Пројектили пронађени на земљишту стрељане на отвореном
(Извор: A. J. Barker, J. L. Clausen, T. A. Douglas, A. J. Bednar, C. S. Griggs & W. A. Martin, "Environmental impact of metals resulting from military training activities: A review", *Chemosphere*, 2021, pp 265, 129110)



Сл. 6 Фотографија неке стрељане на отвореном
(Извор: <https://www.co.camden.qa.us/1176/Two-Rivers-Gun-Range> доступно 19.12.2024)

A. Олово пројектила

Олово које се налази у пројектилу подлеже распадању које може да буде физичко и хемијско. Физичко распаѓање јавља се као последица фрагментације пројектила након контакта са циљем. Фрагменти падају на тло, а временом долази до абразије олова. До хемијског трошења долази услед реакције између олова и земље која се одвија у три фазе: оксидација, карбонизација и растварање. Прво долази до оксидације олова (након излагања води и ваздуху), па се претвара у карбонате услед реакције са угљен-диоксидом из

ваздуха или земље. Након карбонизације, услед високе концентрације угљен-диоксида у земљишном раствору, долази до растварања једињења и формирања нерастворног минерала хидроцерусита. [11] [13]

B. Загађење животне средине барутним честицама

Загађење животне средине барутним честицама могуће је на стрељанама које се налазе на отвореном. Ове честице, између осталог, садрже и олово које је врло токсично. Олово се може наталожити на биљкама и земљишту. У истраживању спроведеном у отвореној стрељани од стране Келебманга и сарадника (Kelebemang et al.) 2017. године, земља и биљке који се налазе и до 25 m удаљени од места гађања садржали су наталожене барутне честице. Удаљеност коју ће барутне честице прећи у ваздуху пре него што се спусте на земљу зависи од: влажности ваздуха, ветра и топографије самог подручја. [12]

IV. УПОТРЕБА РЕНДГЕНСКО - ФЛУОРЕСЦЕНТНОГ СПЕКТРОМЕТРА И УРЕЂАЈА ЗА РЕНДГЕНСКУ ДИФРАКЦИЈУ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ МЕТАЛА И МИНЕРАЛА У ЗЕМЉИШТУ

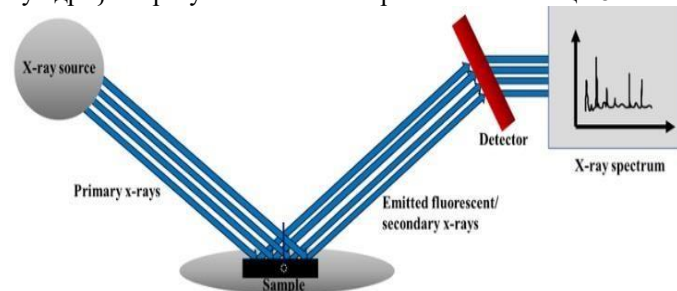
Земљиште је један од најкориснијих доказа, али и међу најкомплекснијим за анализу. Бројни су случајеви где се трагови тла преносе на: алате, оружје, одећу, косу, кожу. Земљиште можемо пронаћи на ђону обуће, или гумама од возила. На основу тога да утврђујемо где и куда се неко кретао. Пренос трагова заснива се на Локардовом принципу размене који дефинише да ако две површине дођу у контакт, постоји могућност међусобног преношења материјала између њих. Доказе треба пронаћи, прецизно документовати, пажљиво прикупити и чувати. [10]

Рендгенско – флуоресцентна спектрометрија (енг. X-ray fluorescence spectrometer, XRF) је уређај који се састоји од извора X зрачења и детектора. Извор емитује сноп рендгенског зрачења на узорак који се анализира. Затим долази до побуђења електрона у узорку, и њиховог спуштања из виших у ниже орбитале. Извор зрачења и детектор налазе се под углом од 45° у односу на држач узорка. Узорак се поставља у посуду за анализу тако да прекрије њено дно. Детектор карактерише висока осетљивост како би могао да региструје енергију ослобођену од стране побуђених електрона. Ослобођена енергија представља флуоресценцију. [14]

Рендгенско – флуоресцентна спектрометрија има примену у више грана форензике: балистици, трасологији, анализи докумената, земљишта. Користи се за анализу елементарног састава материјала: метала, пројектила, комадића стакла, влакана, боја, мастила итд. У поступку анализе земљишта, XRF има примену у утврђивању присуства тешких метала и минерала. Предност овог уређаја је што не захтева специјалну припрему узорака. Довољно је осушити и уситнити материјал. Време анализе је кратко, од 5 до 60 s, у зависности од тога да ли се користи ручни, или стационарни XRF уређај. [15]

XRF уређај користи се за детекцију метала попут олова. Повишене концентрације олова у узорку земље могу се детектовати на одећи или предмету који припадају осумњиченом. Ово указује на то да је осумњичени боравио на месту извршења кривичног дела, ако на истом постоји повишена концентрација олова.

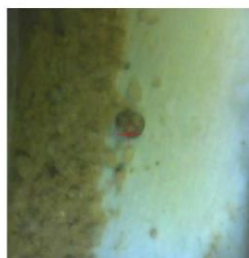
Принцип рада овог уређаја приказан је на слици 7, док су одређени резултати анализе приказани на слици 8.



Сл. 7 Принцип рада XRF уређаја

(Извор: <https://www.researchgate.net/figure/Simple-schematic-representing-the-working-principle-of-XRF> доступно 19.12.2024)

Hitachi High-Tech



Name	Class	Date	Time	Duration
1a	Soil-FP	20/08/2024	13:38:36	5 s
Element	Ir %	Pt %	Mo %	Hg %
±	N/A	N/A	0.00	0.00
Element	N/A	N/A	0.001	0.001
±	N/A	N/A	0.001	0.001
Element	Sn %	Sb %	Sj %	P %
±	0.01	0.01	N/A	N/A
±	0.002	0.002	N/A	N/A
Element	Ti %	V %	Mn %	Fe %
±	3.96	0.05	0.04	2.09
±	0.025	0.003	0.009	0.026
Grades:	No Match			

Сл. 8 Резултат анализе ручним XRF уређајем

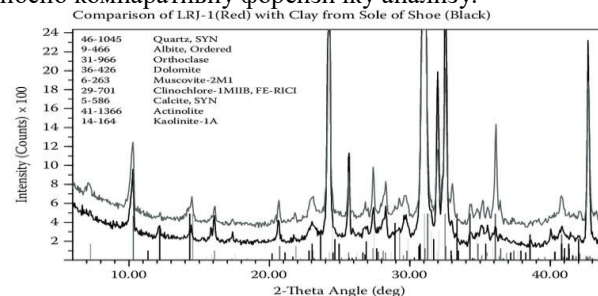
(Извор: С. Ретхас, „Инструменталне методе за мапирање земљишта као стратегија унапређења форензичких анализа“, 2024, мастер рад [22])

Уређај за рендгенску дифракцију (енг. X-ray diffraction, XRD) је метода за квалитативну и квантитативну анализу кристалне структуре различитих материјала. Ово је једна од најсавременијих и најразноврснијих метода за анализу. Поменути инструмент можемо анализирати било коју чврсту супстанцу, органску или неорганску, кристалну или полукристалну. Приликом форензичких вештачења методу користимо и за квалитативну и за квантитативну анализу. Њен значај је у томе јер омогућава анализу узорка релативно мале запремине. Сама метода је недеструктивна за узорак. Добијени резултати су јако прецизни и значајни за судски поступак. [16]

Земљиште у себи садржи глину која се састоји од минерала са различитим физичким структурама и хемијским саставом. XRD се користи како би се одредио тип и количина минералног садржаја у земљи. Ова метода значајно олакшава описивање и карактеризацију материјала земљишта. Присуство минерала хидроцерусита на одећи или предмету који припада осумњиченом може да помогне форензичарима да потврде његово присуство на месту извршења кривичног дела. У процесу узорковања земљишта прикупљају се три различите групе узорка:

спорни узорак прикупљен од осумњиченог или жртве, контролни узорак земљишта познатог порекла (са места извршења кривичног дела) и трећи узорак познатог састава који се користи као стандард за анализу. Битно је да се узорци прикупе по утврђеној стандардној процедури како би се очувао његов интегритет. Затим следи карактеризација материјала на основу лабораторијских испитивања.

На слици 9 можемо да видимо поређење земљишта, односно компаративну форензичку анализу.

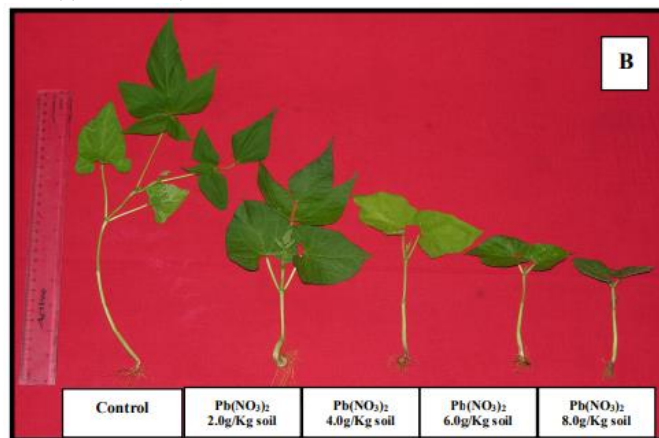


Сл. 9 Компаративна форензичка анализа земљишта

(Извор: <https://www.researchgate.net/figure/comparisons-between-x-ray-diffraction-XRD-patterns-of-soil> https://www.researchgate.net/figure/comparisons-between-x-ray-diffraction-XRD-patterns-of-soil-samples-from-the-shoe-and_fig1_279611846 доступно 19.12.2024)

V. УТИЦАЈ ОЛОВА НА ВОДУ И БИЉКЕ

Раст биљака опада са повећањем концентрације олова, што се види на слици 10.



Сл. 10 Приказ утицаја присуства олова на раст биљака

(Извор: : P. Bhardwaj, A. K. Chaturvedi & P. Prasad, "Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of Phaseolus vulgaris L.", Nature and science, 2009, 7(8), 63-75)

Током процеса клијања семена долази до активирања ензима за хидролизу: амилазе, липазе и протеазе. Када се у земљи налази повишена концентрација олова долази до смањеног раста биљака због инхибиције ензима [18].

Поред утицаја на раст биљака, повишене концентрације олова у земљи доводе до негативног утицаја на комплетну метаболичку активност биљака. Долази до смањења количине фотосинтетских пигмената у биљци. Такође, опада и количина растворљивих угљених хидрата и протеина у биљкама са порастом концентрације олова у земљи [18].

Олово може да се, услед падавина, слије у воду за пиће. Тешки метали у води, с обзиром на њихову ниску рН, су токсичнији и лакше се растварају [21]. Негативне последице тровања оловом по људе су: поремећај нервног система, бол у мишићима, умор, оштећење бубрега и повишени крвни притисак [19]. Када су у питању животиње долази до: хистерије, анксиозности, повећане саливације, грчења мишића, конвулзија [20]. Из наведеног закључује се да повишене концентрације олова имају изузетно негативне последице на биљке, животиње и људе.

VI. ЗАКЉУЧАК

Савремен начин живљења изискује ефектне, ефикасне и економичне методе у форензици. Тежња појединих лица ка лаком и брзом, а противправном стицању новчаних или имовинских користи довела је до повећања броја кривичних дела на глобалном нивоу. Овај тренд мора да прати и стручно усавршавање форензичара. Они су мост између јавних добара, приватних права и интереса, и примене закона.

Детекција присуства олова у земљишту помоћу рендгенско - флуоресцентног спектрометра, као и минерала хидроцерусита су методе које се ретко користе при упоредној форензичкој анализи трагова. Овим радом указано је на њихов потенцијал. Задатак форензичара није само да буде максимално оперативан на терену, или у лабораторији, већ и да се посвети системским проблемима који ометају квалитетан крајњи резултат.

РЕФЕРЕНЦЕ/ЛИТЕРАТУРА

- [1] L. Hancock, "What is biodiversity?", <https://www.worldwildlife.org/pages/what-is-biodiversity#:~:text=Biodiversity%20is%20all%20the%20different,make%20up%20our%20natural%20world,> доступно 15.12.2024.
- [2] [https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/nature,](https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/nature) доступно 15.12.2024.
- [3] Б. Фрањић, М. Милосављевић, „Форензичка балистика“, Сарајево, 2009, pp 19-21.
- [4] L. Xin: "A Cartridge Identification System for Firearm Authentication", <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/891807>, доступно 12.12.2024.
- [5] P. M. Rhee, E. E. Moore, B. Joseph, A. Tang, V. Pandit, & G. Vercruysse, 2016, "Gunshot wounds: a review of ballistics, bullets, weapons, and myths", *Journal of trauma and acute care surgery*, 80(6), pp 853-867.
- [6] A. Lucas, "The examination of firearms and projectiles in forensic cases", *Analyst*, 1923, 48(566), pp 203-210.
- [7] S. Aalbers, "The evidential value of gunshot residue composition comparisons" (Doctoral dissertation, Delft University of Technology), 2013.
- [8] C. Bonnar, "On the Integrated Analysis and Forensic Interpretation of Gunshot Residues" (Doctoral dissertation, Flinders University, College of Science and Engineering.), 2023.
- [9] A. Delgado & A. J. Gómez, "The soil. Physical, chemical and biological properties", *Principles of agronomy for sustainable agriculture*, 2016, pp 15-26.
- [10] R. W. Fitzpatrick, "Soil: forensic analysis", *Wiley encyclopedia of forensic science*, 2009, pp 1-14.
- [11] A. J. Barker, J. L. Clausen, T. A. Douglas, A. J. Bednar, C. S. Griggs & W. A. Martin, "Environmental impact of metals resulting from military training activities: A review", *Chemosphere*, 2021, 265, 129110
- [12] O. Black., S. C. Smith & C. Roper, "Advances and limitations in the determination and assessment of gunshot residue in the environment", *Ecotoxicology and environmental safety*, 2021, 208, 111689
- [13] A. O. Fayiga & U. K. Saha, "Soil pollution at outdoor shooting ranges: Health effects, bioavailability and best management practices", *Environmental pollution*, 2016, 216, pp 135-145.
- [14] Y. Imanishi, A. Bando, S. Komatani, S. Wada & K. Tsuji, "Experimental parameters for XRF analysis of soils", *Powder Diffraction*, 2010, 53, pp 248-255.
- [15] S. Mamedov, "Application of micro-XRF in forensic science", *Microscopy and Microanalysis*, 2012, 18(S2), pp 956-957.
- [16] <https://www.uts.edu.au/about/faculty-science/microstructural-analysis-unit/our-facilities/x-ray-diffraction-xrd>, доступно 15.12.2024.
- [17] M. A. A. Kharoshah, M. K. Zaki, S. S. Galeb, A. A. R. Moulana & E. A. Elsebaay, "Origin and development of forensic medicine in Egypt", *Journal of forensic and legal medicine*, 2011, 18(1), pp 10-13.
- [18] P. Bhardwaj, A. K. Chaturvedi & P. Prasad, "Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L.", *Nature and science*, 2011, 7(8), pp 63-75.
- [19] <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/h-s/pdf/en/HealthyEnvironments/water/Leade.pdf> доступно 19.12.2024.
- [20] B. Blakey: "Lead poisoning in animals", <https://www.merckvetmanual.com/toxicology/lead-poisoning/lead-poisoning-in-animals> доступно 19.12.2024.
- [21] B. M. Saalidong, S. A. Aram, S. Out & P. O. Lartey, "Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems", *PloS one*, 2022, 17(1), e0262117.
- [22] С. Петхас, „Инструменталне методе за мапирање земљишта као стратегија унапређења форензичких анализа“, 2024, мастер рад.

ABSTRACT

This paper presents the most modern methods in the analysis of soil samples: an X-ray fluorescence spectrometer for the detection of lead and an X-ray diffraction device for the detection of the mineral hydrocerussite. The basic parameters related to cartridges, projectiles, powder particles and soil will be briefly

explained. Then, the impact of cartridges, projectiles and powder particles on the soil due to their decomposition and deposition is stated. Finally, the potential use of these data for the development of a new method for comparative forensic analysis of traces is emphasized. The aim of this research paper is to point out the importance of finding new methods for comparative forensic analysis of traces. The analyses will show how the results contribute to more efficient work of forensic scientists in solving crimes.

**IMPACT OF GUN CASINGS, BULLET GRAINS AND
GUN PARTICLES ON SOIL**

Sara Petkovic, Radovan Radovanovic, Zoran Milanovic