

**Skenovacia mikroskopia a jej uplatnenie v mechanoskopickej
analýze stôp úderníka strelných zbraní**

Scanning Microscopy and Its Applications in Firing Pin Mark
Analysis

Bc. Roman Pollák

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman POLLÁK**
Osobní číslo: **A10332**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Skenovací mikroskopie a její uplatnění
v mechanoskopické analýze stop úderníku střelných
zbraní**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se se zařízením 3D mikroposuvů firmy Physik Instrumente v laboratoři FAI UTB.
3. Připravte vzorky různých typů nábojnic a provedte jejich 3D zobrazení pomocí skenovacího mechanismu.
4. Provedte analýzu získaných zobrazení s cílem objevení markantů přiřaditelných k jednotlivým typům zbraní, případně k individuálním zbraním.
5. Provedte celkové zhodnocení metody a popište její základní limity.
6. Navrhněte případné další postupy výzkumu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **MARTÍNEK, Tomáš. Impedanční skenovací mikroskopie. Bakalářská práce. UTB Zlín. Vedoucí práce Křesálek Vojtěch, doc. RNDr. CSc.**
2. **KOUDĚLKA, Jozef. Metrologické zabezpečení mikronových a submikronových posuvů. Bakalářská práce. UTB Zlín. Vedoucí práce Křesálek Vojtěch, doc. RNDr. CSc.**
3. **PHYSIK INSTRUMENTE. M-110 Micro Translation Stages: User Manual. 2004. Německo, 50 s. Dostupné z: www.pi.ws.**
4. **PORADA, Viktor. Kriminalistika. Brno: CERM, 2001, 746 s. ISBN 80-720-4194-0.**
5. **HAWKES, P a John C SPENCE. Science of microscopy. New York: Springer, c2007, 2 v. (xviii, 126526. ISBN 03-872-5296-7.**

Vedoucí diplomové práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

V diplomovej práci je v teoretickej časti popísaná kriminalistická balistika, jej rozdelenie na základné celky spolu s popisom ich hlavných objektov skúmania. Následne sa práca zaoberá strelnými zbraňami a strelivom, ktorého časti sú nositeľmi povýstrelových stôp z jednotlivých zbraní. Rovnako popisuje vznik, skúmanie a analýzu vzniknutých stôp s dôrazom na stopy na povrchu nábojnice. Zobrazeniu morfológie povrchov pomocou rôznych metód spoločne s popisom systému skenovacej mikroskopie je venovaný záver teoretickej rešerše. V praktickej časti sú pomocou systému skenovacej mikroskopie zobrazené a analyzované odtlačky úderníka jednotlivých zbraní typu Glock 17. Záver práce pojednáva o limitoch použitého zariadenia ako aj o prípadnom ďalšom využití.

Kľúčové slová: kriminalistická balistika, stopy úderníka, skenovanie povrchu, skenovacia mikroskopia,

ABSTRACT

In the theoretical section of this thesis forensic ballistics and its main parts along with their objectives of analysis are described. Firearms, ammunitions and impressed action marks from firing are described afterwards. Origin, examination and analyses of impressed action marks with emphasis on cartridge impression marks are also part of theoretical section of this thesis. Conclusion of this part is devoted to methods of scanning probe microscopy along with description of scanning microscopy system and its facilities. The practical part includes visualized and analyzed Glock 17 firing pin marks which were achieved by scanning microscopy. The conclusion deals with limits of used system and also discusses its further practical usage.

Keywords: forensic ballistics, firing pin impression marks, surface scanning, scanning microscopy,

Na tomto mieste by som rád poďakoval mojej rodine a blízkym za podporu a zázemie, ktoré mi poskytovali počas celého môjho štúdia.

Veľká vďaka patrí vedúcemu diplomovej práce doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedenie a konzultácie. Takisto by som veľmi rád poďakoval všetkým, ktorí mi svojimi pripomienkami a radami pomohli k vytvoreniu tejto práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 BALISTIKA	11
1.1 ROZDELENIE KRIMINALISTICKEJ BALISTIKY	13
1.1.1 Prenatálna balistika	13
1.1.2 Vnútoraná balistika	13
1.1.3 Prechodová balistika	15
1.1.4 Vonkajšia balistika	16
1.1.5 Terminálna balistika.....	16
1.1.5.1 Penetračný potenciál strely	17
1.1.5.2 Ranivá balistika.....	17
1.1.5.3 Typy strelných poranení	18
1.1.6 Postterminálna balistika	19
2 DRUHY STRELNÝCH ZBRANÍ A STRELIVA	20
2.1 DRUHY STRELNÝCH ZBRANÍ	20
2.2 STRELIVO	21
2.2.1 Jednotný náboj	22
2.2.1.1 Nábojnica	22
2.2.1.2 Zápalka.....	23
2.2.1.3 Hnacia zlož	24
2.2.1.4 Strela	25
3 VZNIK BALISTICKÝCH STÔP	27
3.1 STOPY NA STRELE.....	27
3.2 STOPY NA NÁBOJNICI.....	28
3.2.1 Stopy úderníka	29
3.2.2 Stopy vytáhovača a vyhadzovača	30
3.2.3 Ostatné stopy na nábojnici	31
3.3 ZISŤOVANIE TYPU ZBRANE, SKUPINOVÁ A PODSKUPINOVÁ PRÍSLUŠNOSŤ.....	32
3.4 INDIVIDUÁLNA IDENTIFIKÁCIA ZBRANE (STOTOŽNENIE ZBRANE)	33
3.5 METÓDY A TECHNOLOGIE POUŽITÉ PRI IDENTIFIKÁCII	34
3.5.1 Komparačný mikroskop a jeho využitie	34
3.5.2 Základná metóda porovnávania a získavania testovacích objektov.....	35
3.5.2.1 Získavanie testovacích nábojníc a striel	35
3.5.3 Moderné balistické systémy	36
4 ZOBRAZOVACIE METÓDY POVRCHU VZORIEK	38
4.1 OPTICKÁ MIKROSKOPIA	38
4.1.1 Kvalita použitého svetla	38
4.1.2 Metóda fázového kontrastu	39
4.1.3 Metóda temného pola	39
4.1.4 Polarizačná mikroskopia	40
4.1.5 Fluorescenčná mikroskopia.....	40
4.1.6 Ďalšie metódy optickej mikroskopie.....	40
4.1.7 Stereomikroskop	41

4.2	MIKROSKOPIA SKENUJÚCOU SONDOU (SPM - SCANNING PROBE MICROSCOPY)	41
4.2.1	Rastrová tunelovacia mikroskopia (STM – Scanning Tunneling Microscopy)	42
4.2.2	Mikroskopia atomárných síl (AFM – Atomic Force Microscopy)	44
4.2.3	Mikroskopia magnetických síl (MFM – Magnetic Force Microscopy)	45
4.2.4	Mikroskopia laterálnych síl (LFM – Lateral Force Microscopy)	45
4.2.5	Mikroskopia modulovaných síl (FFM - Force Modulation Microscopy)	46
4.2.6	Ďalšie skenovacie metódy	46
5	SYSTÉM SKENOVACEJ MIKROSKOPIE.....	47
5.1	POUŽITÉ PRÍSTROJE A MERACIA TECHNIKA.....	47
5.1.1	Mercury M-110 1DG - Micro Translation Stages.....	47
5.1.2	C-862 Mercury DC-Motor Controller.....	48
5.1.3	Digitálny multimeter HP 34401A	48
5.1.4	Výsledná meracia aparatúra	48
5.1.4.1	Použitá skenovacia metóda	48
5.1.4.2	Skenovanie	49
5.1.4.3	Skenovací raster	49
5.1.4.4	Program pre riadenie a zber dát	50
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	51
6	ZAMERANIE PRAKTICKEJ ČASTI DIPLOMOVEJ PRÁCE.....	52
6.1	VIZUALIZÁCIA A ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH ODTLAČKOV ÚDERNÍKA PÍŠTOLÍ GLOCK 17.....	52
6.1.1	Odtlačky vytvorené zbraňou č. 1	53
6.1.2	Odtlačky vytvorené zbraňou č. 2	54
6.1.3	Odtlačky vytvorené zbraňou č. 3	55
6.1.4	Celkové porovnanie nábojníc.....	55
6.2	OPTICKÁ METÓDA IDENTIFIKÁCIE	57
6.2.1	Ryhy na nábojnici	57
6.3	VÝHODY A NEVÝHODY POUŽITEJ SKENOVACEJ MIKROSKOPIE.....	60
6.3.1	Časová náročnosť skenovania	60
6.3.2	Skenovací algoritmus – posuv po vyhodnotení kontaktu	61
6.3.2.1	Nový algoritmus skenovania	61
6.3.3	Skenovací hrot.....	63
6.3.3.1	Nevýhody skenovacieho hrotu.....	65
6.3.4	Skenovanie vodivých vzoriek	66
6.4	BUDÚCE VYUŽITIE SYSTÉMU SKENOVACEJ MIKROSKOPIE.....	66
	ZÁVER	67
	CONCLUSION	68
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	69
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	73
	ZOZNAM OBRÁZKOV	74
	ZOZNAM TABULIEK	76
	ZOZNAM PRÍLOH.....	77

ÚVOD

Rozvojom zbraní rástla priamoúmerne aj trestná činnosť nimi spôsobená. Pre úspešné odsúdenie páchatel'ov bolo nevyhnutné predloženie množstva nespochybniteľných dôkazov, ktoré by viedli k ich usvedčeniu. Nutným predpokladom bolo spojenie nájdenej strely alebo nábojnice s použitou zbraňou. Nie je dodnes známe, kedy sa presne zistilo, že všetky strely vypálené z rovnakej zbrane sú nositeľmi rovnakých mikrorýh a že každá zbraň zanecháva rozdielne stopy na nábojnici, ktoré je možné spojiť s danou zbraňou.

Teoretická časť diplomovej práce ozrejmjuje danú problematiku literárnou rešeršou z pohľadu kriminalistickej balistiky a jej hlavných celkov. V ďalšej časti práce sú opisované základné druhy strelných zbraní a streliva, spolu s rozdelením a rozborom jeho hlavných prvkov. Nasledujúca kapitola pojednáva o vzniku povýstrelových stôp na strelách a nábojniciach, ktoré sú významné pri kriminalisticko-balistickej expertíze. Dôležitou časťou sú vzniknuté povýstrelové stopy na nábojnici, z ktorých budú tie najvýznamnejšie predmetom skúmania v praktickej časti tejto práce. Zahrnuté sú aj dnešné metódy skúmania ako aj zariadenia, ktoré sú nevyhnutnou súčasťou výskumných laboratórií. Ďalšia kapitola je venovaná optickým a kontaktným zobrazovacím metódam, ktoré sú využívané pri zobrazení morfológie povrchov skúmaných vzoriek. Následne nadväzuje popis zariadení a metódy skúmania systému skenovacej mikroskopie, ktorá je použitá pri zobrazení odtlačku úderníka na dne nábojnice.

V praktickej časti práce sú pomocou skenovacej mikroskopie zobrazené jednotlivé odtlačky úderníkov na nábojniciach. Ďalšou analýzou je definovaná ich prípadná zhoda a príslušnosť k danej zbraňi. Zhody alebo prípadné rozdiely sú v praktickej časti potvrdené aj optickou mikroskopiou, ktorá má v dnešnej kriminalistickej expertíze naďalej svoje stabilné miesto. Nakoniec sú v práci analyzované limity daného systému s návrhmi ich zlepšenia v prospech kvalitnejších výsledkov.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 BALISTIKA

Názov balistika pochádza z gréckeho slova „*balistra*“, ktoré opisovalo antickú strelnú zbraň schopnú vystreľovať projektily na veľkú vzdialenosť. Významným medzníkom podmieňujúcim vznik balistiky bolo vynájdenie čierneho strelného prachu niekedy medzi 7. a 9. storočím v Číne, do Európy prenikol okolo 13. storočia. Jeho vynájdenie bol predpokladom pre vznik nových zbraní, najmä kanóna.

V 14. a začiatkom 15. storočia sa začali rozvíjať aj ručné zbrane, malé ručné kanóny na drevenej násade. Najprv museli strelci zapáľovať strelný prach ručne, neskôr bolo vytvorené mechanické zapáľovanie, ktoré uvoľnilo strelcom ruky a tí tak mohli lepšie zamieriť cieľ. Ešte v 15. storočí sa začalo používať drážkovanie hlavne, ktoré rotovalo strelu, čím sa zvýšila presnosť zásahu. Významným prínosom bolo aj vytvorenie palebných tabuliek matematika Niccola Tartagliu, ktorý ich empiricky zostavil pre všetky vtedajšie kanóny. Tabuľky umožňovali určenie ideálnych uhlov a množstiev strelného prachu pre presné zasiahnutie cieľa. Tento objav je považovaný za vytvorenie balistiky ako vedy.

S postupom času sa naďalej vyvíjali mechanické zapáľovania zbraní rovnako ako aj ich veľkosť. Ručné zbrane, pištoly, sa začali bežne používať na začiatku 18. storočia. V 19. storočí boli vytvorené prvé náboje pozostávajúce zo strely, nábojnice, strelného prachu a zápalky, rozvinuli sa ručné zbrane, hlavne viacranové revolvery, ktoré mali náboje umiestené v otočnom valci. Na konci 19. storočia bola vytvorená prvá poloautomatická zbraň Luger P.08 – Parabellum. Počas 20. storočia vznikli prvé automatické zbrane, guľomety a samopaly, niektoré sa využívajú v nezmenenej podobe dodnes. [1], [2]

S rozvojom a dostupnosťou strelných zbraní vzrástla aj trestná činnosť, ktorá vyžadovala identifikáciu z nich vystrelených nábojníc a guľiek. S určitosťou je možné tvrdiť, že vzniknuté povýstrelové stopy a ich skúmanie viedli k vytvoreniu špecializovaného odvetvia kriminalistiky vychádzajúceho z balistiky – kriminalistická (forenzná) balistika. Jedná sa interdisciplinárnu vedu opierajúcu sa poznatky matematiky, fyziky, chémie, biológie, strojárstva, náuky o zbraniach a strelive ako aj o vlastné vedecké metódy pomáhajúce pri riešení špecifických kriminalistických prípadov.

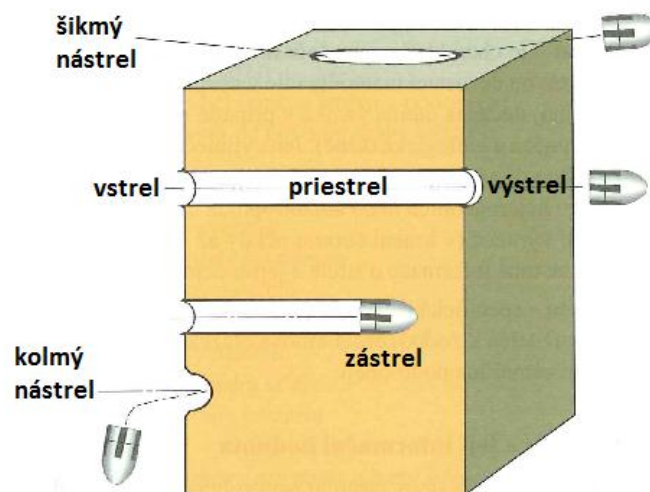
„Kriminalistická balistika je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá skúmaním zbraní, streliva a jeho súčastí, vedľajších produktov výstrelu, objektov so stopami zásahu alebo účinku striel, vnútornou, prechodovou, vonkajšou a terminálnou balistikou s cieľom určiť

skupinovú príslušnosť a vykonať vlastnú identifikáciu zbrane za súčasného objasnenia príčin a podmienok, za ktorých došlo k výstrelu a k poškodeniu objektu streľbou.“ [3]

Z definície vyplýva, že kriminalistická balistika sa zaoberá rôznorodými objektmi. Hlavným predmetom skúmania sú rôzne druhy strelných zbraní. Strelnú zbraň je možné definovať ako špeciálne usposobený predmet, v ktorom je pomocou nahromadenej energie do pohybu uvádzaná strela slúžiaca k deštrukcii vzdialeného cieľa. V praxi sa najčastejšie skúmajú ručné palné zbrane, ostatné typy palných zbraní majú len okrajový význam. Ďalšiu skupinu objektov skúmania tvorí strelivo všetkých druhov, najmä však strely, nábojnice a zápalka, ktoré sú nositeľmi zbraňou vytvorených stôp pri výstrele. Poslednú skupinu objektov tvoria predmety zasiahnuté strelou a povýstrelové splodiny vznikajúce horením prachovej a zápalkovej zložky náboja. Tieto zložky sa konštrukčnými netesnosťami zbrane dostávajú na ruky a odev strieľajúcej osoby ako aj na predmety v blízkosti streľby. [4]

Hlavným cieľom skúmania vystrelených nábojníc a striel je identifikácia zbrane, z ktorej boli vystrelené. V prípade, že sa na mieste činu nenachádza použitá zbraň, je možné ich dôkladnou analýzou určiť typ, druh a model zbrane, takzvané typovanie zbrane. Ďalším cieľom skúmania zbraní a streliva je taktiež určenie ich funkčnosti, príčin zlyhania, takisto aj možnosti modifikácií a opráv častí zbrane alebo streliva. Pri zasiahnutí objektu je dôležité posúdenie druhu a energie projektilu spolu s určením jeho vlastnej dráhy letu. Rozborom povýstrelových splodín je možné určiť vzdialenosť streľby, identifikovať strieľajúcu osobu alebo priestor, v ktorom sa streľba udiala. Napomáha aj k určeniu vstrelových a výstrelových otvorov zasiahnutých predmetov, na ktorých sa obyčajne nachádzajú:

- *vstrel* – miesto vniknutia strely
- *výstrel* – miesto, kde strela predmet opustila
- *priestrel* – strelný tunel spájajúci vstrel a výstrel
- *zástrel* – miesto, kde strela v predmete uviazla
- *nástrel* – miesto, kde sa projektil od predmetu odrazil [5]



Obr. 1. Vstrelové a výstrelové otvory v zasiahnutom predmete [5]

1.1 Rozdelenie kriminalistickej balistiky

Podľa etáp pohybu strely sa balistika delí na štyri základné celky a to: vnútorná, prechodová, vonkajšia a terminálna balistika. Pre potreby kriminalistickej balistiky nie je takéto rozdelenie dostačujúce, pretože sa často zaujíma aj o deje, ktoré prebiehajú ešte pred samotným výstrelom, podobne ako aj relevantné deje prebiehajúce po prestrelení cieľa, teda po terminálnej balistike. Z praktického hľadiska sa k základnému rozdeleniu pridali ďalšie dve oblasti – prenatálna a postterminálna balistika. [5]

1.1.1 Prenatálna balistika

Opisuje deje, ktoré vznikajú pred samotným výstrelom, zanechávajúce na zbrani alebo náboji stopy významné pre kriminalistickú expertízu. Stopy môžu vznikať napríklad úmyselným zmenením časti zbrane, čím by sa sťažila alebo úplne znemožnila jej individuálna identifikácia alebo poruchami pri nabíjaní ako aj medzi dvoma výstrelmi. Patria sem stopy vývodiek zásobníka, známky prebehu záveru na nábojnici a pod. Prenatálna balistika sa zaujíma aj o mechanizmy zhotovovania továrenských alebo podomácky vyrobených a prebíjaných nábojov, spoločne so skúmaním postupov použitých pri sériovej, domácej výrobe a nelegálnej úprave zbraní. [5]

1.1.2 Vnútorná balistika

Zaoberá sa štúdiom dejov, ktoré prebiehajú vo vnútri hlavne zbrane. Ide o deje od okamihu vznietenia prachovej náplne v nábojnici až po opustenie hlavne strelou. V tejto časti

výstrelu vzniká väčšina stôp vedúcich k individuálnej identifikácii zbrane. Ide najmä o stopy na nábojnici z mechanizmov zbrane a stopy na strele spôsobené vývrtom hlavne.

V zbrani je strelný prach obmedzený nábojnicou a strelou, ktoré ďalej podporujú nábojová komora a záver zbrane. Keď úderník udrie do zápalky, prudko sa vznieti zápalková zložka a vytvorí tak plameň s vysokou teplotou okolo 2000°C, ktorý cez úzky kanálik zapáli strelný prach v nábojnici. Strelný prach horí veľkou rýchlosťou, čím vytvára veľké množstvo plynov, ktorých tlak sa neustále zvyšuje, až kým nie je dostatočný na akceleráciu strely vývrtom hlavne. Čím je strela ťažšia, tým má väčší odpor, tým sa priamoúmerne zvyšuje aj tlak plynu a intenzita horenia strelného prachu. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim intenzitu horenia je pomer objemu nábojnice k objemu obsiahnutého strelného prachu. Čím vyšší je tento pomer, tým je viac prázdneho miesta v nábojnici, čo spôsobuje nižšiu počiatočnú intenzitu horenia.

Počas horenia sa väčšina strelného prachu premení na plyn, oxid uhličitý a vodnú paru. Na začiatku je tlak plynov v nábojnici v každom mieste rovnaký. Hneď ako sa projektil uvedie do pohybu, začne klesať tlak v závislosti na objeme priestoru, v ktorom sa rozpína. V moderných strelných prachoch je možné tento tlak ovplyvňovať hlavne veľkosťou prachových zŕn, pridávaním rozličných chemických látok, obalovaním a prevrtávaním zŕn. Výsledkom týchto zmien je spomalenie poklesu tlaku po tom, ako sa strela začne pohybovať. Dôležité je zaistiť, aby prachová náplň zhorela tesne predtým, ako náboj opustí hlavneň. Pri nez horení všetkého strelného prachu sa zníži efektívnosť výstrelu, nežiaduci je aj plameň vychádzajúci z hlavne, ktorý môže počas nočných podmienok zničiť strelcov noktovízor.

Dôležitým dejom v priebehu výstrelu je aj spätný ráz zbrane, ktorého veľkosť závisí od dĺžky času strely v hlavni zbrane. Počas výstrelu pôsobí v zbrani veľmi vysoký tlak, ktorý tlačí projektil smerom dopredu a zbraň opačným smerom. Tento tlak pôsobí v zbrani pokiaľ sa strela nachádza v hlavni, po vyústení strely z hlavne hodnota tlaku prudko klesá. Tento fakt uľahčuje streľbu z palných zbraní. Spätný ráz neovplyvňuje len pohyb zbrane smerom od strely. Keďže sa hlavneň nachádza nad rukou, teda nahor od osi otáčania zápästia, spôsobuje spätný ráz pohyb zbrane smerom nahor. Znamená to, že strelec zasiahne miesto nad tým, kam mierila hlavneň počas stlačenia spúšte.

Vnútorňa balistika sa zoberá aj inými dejmi, ako sú napríklad: rýchlosť vystreleného projektilu, energia spätného rázu alebo meranie veľkosti tlaku v hlavni počas výstrelu. [6]

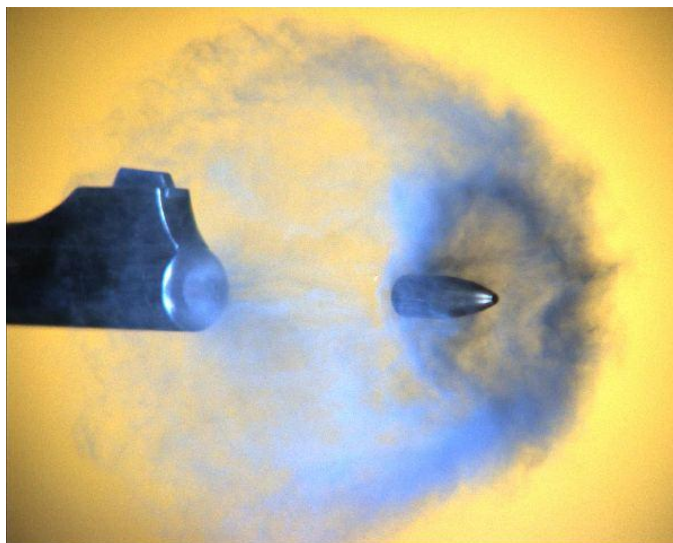
1.1.3 Prechodová balistika

Zaoberá sa dejmi, ktoré sa uskutočňujú pred hlavňou zbrane v dôsledku vychádzajúcich hnacích plynov. Tieto plyny pôsobia na strelu, ktorú dokážu ešte značne urýchliť. Ich expanzia spôsobuje turbulencie pred hlavňou, čím vzniká balistická vlna, vnímaná ako zvuk výstrelu.

Tok plynu počas výstrelu je možné rozdeliť na dve skupiny:

- *pred výstupom projektilu z hlavne (primárne tlakové pole)* - pohybujúca sa strela tlačí pred sebou vzduch obsiahnutý v hlavni zbrane ako aj hnacie plyny, ktoré prebehli projektil. Toto zhustenie vytvára pred hlavňou guľovitú primárnu tlakovú vlnu nasledovanú malou fľaškovou vlnou, ktorá sa s narastajúcou rýchlosťou vzduchového stĺpca zväčšuje.
- *po výstupe strely z hlavne (sekundárne, hlavné tlakové pole)* - po výstupe strely z hlavne nastáva prudké rozťahovanie hnacích plynov do okolitého prostredia, dochádza tak k vytvoreniu sekundárnej tlakovej vlny. Plyny tejto tlakovej vlny majú väčšiu rýchlosť ako je rýchlosť projektilu, tým spôsobujú tlakový ráz na dne projektilu a zvyšujú jeho rýchlosť z ústovej na maximálnu, t.j. v rozpätí 1 – 2%. Tento jav prebieha vo vzdialenosti 20-krát väčšej ako je kaliber zbrane.

Táto časť balistiky zahŕňa aj skúmanie priestorového šírenia splodín a ich prípadné vnikanie do cieľa pri strelbe z bezprostrednej blízkosti. Ďalej sa zaoberá účinkami a stopami po zariadeniach ako sú napríklad rôzne druhy tlmičov alebo eliminátorov zdvihu zbrane spätným rázom. [7]



Obr. 2. Strela opúšťajúca hlavňu zbrane [8]

1.1.4 Vonkajšia balistika

Analyzuje deje súvisiace s letom strely od jej opustenia hlavne až po zasiahnutie cieľa. Najviac sledované veličiny pri lete projektilu sú dráha, energia a rýchlosť strely. Ide o veľmi komplikovaný proces, ktorý v dnešnej dobe spracovávajú výkonné počítače. Aby bolo možné určiť dráhu strely čo najpresnejšie, je nutné poznať ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú konečnú dráhu.

Hlavnými faktormi ovplyvňujúcimi dráhu strely sú:

- gravitačné pole Zeme
- rýchlosť strely po opustení hlavne
- uhol zdvihu hlavne
- tvar strely

Projektil takmer nikdy neletí priamočiara na cieľ, čo je spôsobené vývrtom hlavne, ktorý projektilu udeľuje veľkú rotáciu. Príliš veľká rotácia je pravdepodobne príčinou špirálovitého pohybu strely, ktorá zároveň rotuje okolo vlastnej pozdĺžnej osi, vytvárajúc akýsi kužeľ. S narastajúcou vzdialenosťou strely od ústia hlavne sa tento efekt vytráca.



Obr. 3. Rotácia strely počas letu [9]

Spomenuté zákonitosti majú významnú úlohu pri rekonštrukcii dráhy strely, určovaním vzdialenosti strelby a pozície strelca. [6]

1.1.5 Terminálna balistika

Terminálna balistika sa zaoberá správaním projektilu v zasiahnutom cieľi a jeho vplyvom na tento cieľ. Je charakterizovaná rýchlym sledom udalostí, vysokými tlakmi a veľkými intenzitami deformácií. Strela musí mať značnú kinetickú energiu na to, aby dosiahla cieľ, prenikla doň a spôsobila tak veľkú škodu. Kinetická energia strely je definovaná jej hmotnosťou a rýchlosťou:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

- Kde m je hmotnosť a v je rýchlosť projektilu

Rýchlosť má pri definovaní veľkosti kinetickej energie väčšiu váhu ako hmotnosť. Pri dvojnásobnej veľkosti hmotnosti projektilu sa kinetická energia zväčší dvakrát, ale pri zdvojnásobení rýchlosti sa kinetická energia zväčší až štyrikrát.

Terminálnu balistiku je možné rozdeliť na dve časti, jedna časť sa zaoberá penetračným potenciálom projektilu a druhá časť skúma vplyv zásahu strely do živého organizmu.

1.1.5.1 Penetračný potenciál strely

Skúšobná penetrácia rôznych materiálov môže byť veľmi nápomocná pri vyšetrowaní strelných incidentov. V minulosti sa na definovanie penetračného potenciálu využívali borovicové drevené dosky rôznej hrúbky, čo dnes nemá žiadne uplatnenie kvôli veľkej nepresnosti výsledkov. V dnešnej dobe sa na testovanie a simuláciu následkov strelných poranení využívajú štandardizované balistické gély, ktoré majú hustotu a viskozitu veľmi podobnú ľudským svalom, takže dokážu veľmi presvedčivo napodobniť ich vlastnosti.

Ako príklad je uvedený penetračný potenciál strely, ktorá prešla do rozdielnej hĺbky uvedených materiálov. Jedná sa o 11,2 g celoplášťový projektil kalibru 7,82 mm (.30-06 Springfield), ktorý bol vystrelený rýchlosťou približne 825 m/s do vzdialenosti 180 m. Táto strela penetrovala do hĺbky:

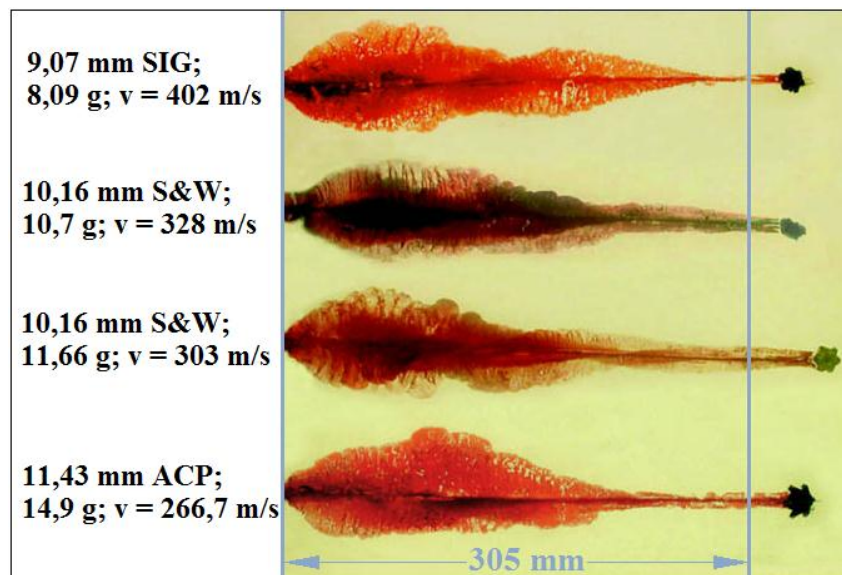
- 6,35 mm pancierovej platne
- 102 mm betónu
- 114 mm tehly
- 812 mm dubového dreva [6]

1.1.5.2 Ranivá balistika

Táto časť terminálnej balistiky úzko nadväzuje na súdno-lekársku prax týkajúcu sa strelných poranení. Predstava mnohých ľudí pri zasiahnutí človeka strelou je, že projektil prejde celým telom ako vrták cez drevenú dosku, zanechávajúc za sebou dieru priestorom, ktorým prešiel. Toto presvedčenie je však mylné. Keď strela prechádza živým organizmom, predáva mu časť alebo celú svoju kinetickú energiu. Navyše zo svojej dráhy radiálne odhadzuje tkanivo, čo vytvára dočasný ranivý kanál, ktorého veľkosť je niekoľkonásobne väčšia ako je priemer strely. Vďaka elasticite ľudského tkaniva tento kanál vibruje asi 10 ms a potom zaniká. Steny kanála prudko expandujú a kontrahujú, majúc tak vysoký ranivý potenciál. Poranenia vznikajú aj v okolitých žilách, orgánoch a nervoch i keď neboli priamo zasiahnuté strelou. Po zániku dočasného kanála

zostáva v tele permanentný kanál, ktorý vytvorila strela samotným zničením tkaniva pri prechode organizmom.

Závažnosť strelného poranenia determinovaná veľkosťou dočasného ranivého kanála priamo súvisí s veľkosťou kinetickej energie, ktorá bola tkanivu predaná, nie s celkovou veľkosťou kinetickej energie, ktorú mala strela. Pokiaľ projektil vnikne do organizmu a neprejde ním, celá jeho kinetická energia bola použitá na sformovanie zranenia. Na druhej strane, pokiaľ strela prejde celým telom a vyletí z neho von, tak sa na vytvorení rany podieľala len časť kinetickej energie strely. Z tvrdení vyplýva, že strela, ktorá preletí celým organizmom, nemá aj pri dvojnásobnej kinetickej energii také ranivé účinky ako strela, ktorá v organizme uviazne. [10]



Obr. 4. Dočasné ranivé kanály spôsobené celoplašťovými strelami rôznych kalibrov s expanznou dutinou v špičke [11]

1.1.5.3 Typy strelných poranení

Obet' môže byť zasiahnutá strel'bou z rôznych vzdialeností od ústia hlavne. Podľa vzdialenosti strel'by môžeme strelné poranenia rozdeliť do piatich skupín:

- *Strel'ba z kontaktnej vzdialenosti (0 – 1 cm)* – stopy na povrchu a zasiahnutých cieľoch sú poznamenané účinkami úst'ových plynov. Koža pri tomto type zranenie býva cípovito roztrhnutá. Vstrelový otvor nesie známky vysokej teploty, splodiny vytvárajú sýte obrazce v jeho okolí.

- *Strel'ba z bezprostrednej vzdialenosti (1 cm – 10 cm)* – môže zanechať na povrchu tela rovnaké stopy ako kontaktná strel'ba. Typickými znakmi sú popáleniny úst'ovým plameňom, obrazec očadenia a viditeľné nezhorené zrná strelného prachu v okolí vstreľu.
- *Strel'ba z malej vzdialenosti (10 – 200 cm)* – jednotná strela zanecháva jednoznačný vstreľový otvor. Obrazce splodín výstreľu je možné nájsť v širšom okolí od vstreľového otvoru, hustotou a veľkosťou ukazujú na vzdialenosť hlavne od cieľa.
- *Strel'ba zo strednej vzdialenosti (2 – 50 m)* – úst'ové plyny už na cieľ nedosiahnu. Stopy zásahu korešpondujú s tvarom strely.
- *Strel'ba z veľkej vzdialenosti (50 – 3000 m)* [5]

1.1.6 Postterminálna balistika

Skúma deje, ktoré prebiehajú po zasiahnutí prekážky alebo cieľa. Ide čisto o experimentálnu vedu, ktorá posúva hranice klasickej balistiky. Zaoberá sa prípadmi ako sú napríklad účinky striel po prestrelení okna alebo karosérie vozidla, problematika sekundárnych striel, zasiahnutie dvoch osôb jednou strelou a pod. [5]

2 DRUHY STRELNÝCH ZBRANÍ A STRELIVA

V predchádzajúcej kapitole bola definovaná strelná zbraň ako špeciálne usposobený predmet, v ktorom je pomocou nahromadenej energie do pohybu uvádzaná strela slúžiaca k deštrukcii vzdialeného cieľa.

2.1 Druhy strelných zbraní

Podľa zdroja energie, ktorá je strele udelená rozdeľujeme strelné zbrane na:

- *Mechanické zbrane* – k výstrelu využívajú nahromadenú mechanickú energiu.
- *Plynové zbrane* – k výstrelu využívajú pneumatickú energiu vzduchu alebo iného stlačeného plynu. Vzduch môže byť stlačený vopred v tlakovej komore alebo je stlačený piestom v okamžiku výstrelu.
- *Palné zbrane* – k výstrelu využívajú okamžité uvoľnenie energie horením strelného prachu, prípadne samotnej zápalkovej zložky. [3]

Mechanické zbrane nemajú v kriminalistickej balistike takmer žiadny význam, aj keď môžu byť použité k poraneniu, usmrteniu alebo zničeniu cieľa. V prípade identifikácie zbrane sa vyhodnocuje dopadová energia strely a jej deštrukčné účinky, z ktorých sa určia technické parametre zbrane a následne aj skupinová príslušnosť. Patria sem napríklad rôzne praky, kuše, luky atď.

Plynové zbrane nemajú nábojnicu, ale majú hlaveň, ktorou je vystrelený spravidla olovený projektil. Využívané strely sú guľovitého tvaru – broky alebo majú špeciálny tvar – strely Diabolo. Na individuálne určenie zbrane je možné použiť strely, ktoré však v mnohých prípadoch bývajú po dopade veľmi deformované, takže je proces identifikácie nemožný. Plynové zbrane využívajú energiu stlačeného vzduchu, ktorý je stlačený v určitej časti zbrane pred každým výstrelom – vzduchovky alebo je umiestnený v zásobníku, ktorý umožňuje vystrelenie niekoľkých rán bez dopĺňovania vzduchu – vetrovky.

Palné zbrane tvoria najvýznamnejšiu skupinu zbraní v oblasti skúmania kriminalistickej balistiky. Majú hlaveň a využívajú jednotný náboj tvorený nábojnicou, strelou, strelným prachom a zápalkou, a preto sú plne spôsobilé k individuálnej identifikácii zbrane podľa striel a nábojníc. Do tejto skupiny patria aj upravené alebo podomácky vyrobené zbrane. Ich zhotovovanie je často nelegálne. Palné zbrane je možné rozdeliť aj podľa ďalších kritérií, z ktorých pre kriminalistiku najvýznamnejšie je delenie podľa spôsobu ovládania

na lafetové a ručné zbrane. Lafetové zbrane tvoria guľomety, delá, mínomety a ďalšie. Ručné zbrane sa ďalej delia na krátke – pištole a revolvery a dlhé – pušky a samopaly. [4]



Obr. 5. Strelné zbrane – guľomet, vzduchovka, pištoľ s laserovým zameriavačom, revolver, útočná puška, pištoľová kuša, samopal, kresadlová pištoľ, podomácky vyrobená pištoľ s tlmičom [5]

2.2 Strelivo

História streliva využívajúceho strelný prach siaha až do 15. storočia, kedy sa vyskytli prvé kamenné gule, ktoré sa nabíjali spredu hlavne. Takéto delené strelivo, ktorého časti sa nabíjali do zbrane jednotlivito, bolo využívané približne do polovice 19. storočia. V druhej polovici 19. storočia sa postupne presadil jednotný náboj, ktorý zefektívnil streľbu z palných zbraní. Strojársky priemysel podmienil masový rozvoj výroby zbraní a streliva na rôzne účely – poľovníctvo, šport a pod.



Obr. 6. Strelivo pre poloautomatické pištole a samopaly [12]

2.2.1 Jednotný náboj

Jednotný náboj tvoria spravidla štyri základné prvky:

- *Nábojnica* – slúžiaca ku kompletizácii náboja, pri výstrele utesňuje nábojovú komoru
- *Strela* – zaručuje účinok v cieľi
- *Hnacia zlož* – spravidla strelný prach udeľujúci strele potrebnú energiu
- *Zápalka* – zapáli po dopade úderníka zbrane hnaciu zlož



Obr. 7. Prierez jednotným nábojom [13]

2.2.1.1 Nábojnica

Nábojnica je časť náboja, ktorá chráni zápalnú zlož od vonkajších vplyvov. Spája všetky časti náboja do jedného celku. Pomocou nábojnice sa zaisťuje poloha náboja v nábojovej komore a takisto zabezpečuje utesnenie spalných plynov vzniknutých pri výstrele pred únikom nesprávnym smerom. Vyrobená je z kovu, najčastejšie s mosadze, hliníka a ocele, ale môže byť zhotovená aj z nekovových materiálov, príkladom sú plastové nábojnice pre hromadné strely. Nábojnice majú najčastejšie valcovitý, fľaškový alebo kónický tvar, na spodnej časti sú vybavené okrajom (strelivo do revolverov) alebo drážkou pre vyťahovač, prípadne majú dosadací krúžok.

Z kriminalistického hľadiska sú produkty horenia zápalkovej zlože veľmi dôležitou stopou. Tieto splodiny sú vymetené z okienka vyhadzovača a zachytia sa na ruke alebo oblečení páchatel'a. V mnohých prípadoch dokázali prítomnosť páchatel'a v mieste činu. [5]

2.2.1.3 Hnacia zlož

Bezpochyby prvú hnaciu zlož strelných zbraní tvoril čierny strelný prach. Jeho hlavnými zložkami sú dusičnan draselný (75%), hnedé uhlie (15%) a síra (10%), ktoré tvoria zmes drobných zrn. Percentuálne zastúpenie jednotlivých zložiek nie je pevne stanovené, závisí hlavne na druhu zbrane a účele použitia. Dusičnan draselný poskytuje do reakcie kyslík, hnedé uhlie zásobuje reakciu uhlíkom a ďalšími zložkami, síra znižuje teplotu horenia, čím zväčšuje prudkosť vznietenia celej zmesi (cca pri 260°C). Nevýhodou čierneho strelného prachu je jeho nízka efektivita oproti moderným zložiam, približne 44% jeho hmotnosti sa premení na plyny a až 54% sú pevné látky vytvárajúce hustý biely dym. Navyše má aj vysoké korozívne vlastnosti. V súčasnej dobe sa využíva už len ako súčasť pyrotechniky alebo v zberateľských historických zbraniach. [10]

V dnešných jednotných nábojoch hnaciu zlož tvoria väčšinou jednozložkový alebo dvojzložkový bezdymový strelný prach. Jednozložkový prach je tvorený nitrocelulózou, ktorá sa rozpustí v zmesi éteru a alkoholu. Po vyschnutí sa zo zmesi stane pevná, stabilná a ľahko spracovateľná látka. Dvojzložkové prachy sú tvorené nitrocelulózou, ktorá je rozpustená v nitroglyceríne. K zmesi sa pridáva ešte vazelína, ktorá pôsobí ako stabilizátor. Najznámejším dvojzložkovým bezdymovým strelným prachom je kordit, ktorý obsahuje 58% nitroglycerínu, 37% nitrocelulózy a 5% vazelíny, rozpúšťadlom je acetón. Výhodou súčasných strelných prachov oproti čiernemu prachu je ich vyššia efektivita, využiteľnosť pre široké spektrum zbraní a zanedbateľné množstvo vytváraných splodín. [6]

V náboji sa zlož nachádzajú vo forme zrn rôznych tvarov a veľkostí. Rýchlosť horenia je približne 6 m/s a v krátkej dobe dokážu vyvinúť veľké množstvo vysokotlakých plynov. Pridaním rôznych chemických látok (dinitrotoluén, grafit – spomaľovače horenia, dusičnan bárnatý, dusičnan draselný – urýchľovače horenia) a tvarom zrn je možné ovplyvňovať rýchlosť vznietenia prachu a tým meniť aj balistické vlastnosti náboja.

Pri výstrele nie vždy zhorí všetok strelný prach. Zrná prachu je možné nájsť v mechanizmoch zbrane a prípadne v blízkosti zasiahnutého cieľa, ak sa jednalo o streľbu z krátkej vzdialenosti. Morfológia nespálených zrn môže poslúžiť pri druhovej

identifikácií, ak sa preukáže zhoda zrn nájdených na zbrani s tými v okolí zasiahnutia cieľa. [5]

2.2.1.4 *Strela*

Zo začiatku sa využívali guľaté strely, ktoré boli vhodné do zbraní s hladkou hlavňou. V modernej balistike je guľatý tvar projektilu nevyhovujúci z dôvodu rýchlej straty rýchlosti. Spolu s drážkovaním hlavne sa vyvinuli strely majúce tvar lomeného oblúka, ktorých celková dĺžka je dvojnásobkom ich vlastného priemeru. Tieto vlastnosti poskytujú strele stabilitu, presnosť a vhodné aerodynamické vlastnosti. Hlavným technickým údajom strely (náboja) je kaliber – priemer strely vyjadrený v milimetroch alebo v anglických palcoch. Táto hodnota sa v palných zbraniach pohybuje v hodnotách od 4,32 po 15,24 mm (0.17 – 0.60 palca).

Strely je možné rozdeliť do štyroch základných skupín:

- *Jednotné strely*
- *Hromadné strely*
- *Plynové strely*
- *Špeciálne strely*

Jednotné strely môžu byť kompaktné, vytvorené z jedného materiálu alebo konštrukčne zložitejšie, vytvorené z plášťa a jadra. Mäkké olovené strely svojou pevnosťou nevyhovujú vyšším rýchlostiam a preto museli byť obalené do plášťa z pevnejšieho materiálu, používa sa napríklad meď, oceľ alebo iné zliatiny. Plášť strely udeľuje strele väčšiu odolnosť pri prenikaní materiálmi, teda zvyšuje jej priebojné účinky. Na druhej strane môže strela obsahovať expanznú dutinu, ktorá zaisťuje veľkú deformovateľnosť a maximálne predanie energie v cieľi. Tento typ strely sa využíva hlavne k loveckým účelom.

V dnešnej dobe majú strely veľké množstvo tvarov, sú vyrobené z rôznych materiálov a spĺňajú tak rôzne požiadavky na využitie, čo na druhej strane spôsobuje veľkú variabilitu a kvalitu stôp na ich povrchu a sťažuje tak proces individuálnej identifikácie zbrane.

Hromadné strely sú tvorené drobnými projektilmi, ktorých účelom je zasiahnutie cieľa s väčšou pravdepodobnosťou ako pri jednotnej strele. Typickým príkladom sú náboje do brokovnic tvorené olovenými sférickými brokmi. Existujú ale aj pištoľové alebo revolverové náboje s hromadnou strelou tvorenou olovenými brokmi, ktoré sú umiestnené v plastovom puzdre.



Obr. 10. Hromadná strela do brokovnice [16]

Hromadná strela býva málokedy vyžívaná k individuálnej identifikácii zbrane. Väčšinou sa náboje s hromadnou strelou používajú v zbraniach bez vývrtu hlavne, kde je identifikácia takmer nemožná.

V plynových strelách býva látka uložená vo forme aerosólu alebo ako kryštalická chemická látka v nábojke. Po vystrelení sa látka dostane do plynného skupenstva a vo forme oblaku sa šíri vystreleným smerom. Pre tieto účely sa využívajú napríklad slzotvorné látky (chlórbenzalmalondinitrilom) alebo technické korenice.

Špeciálne strely – sú konštruované tak, aby mali špeciálny účinok na cieľ. Patria sem napríklad rôzne špeciálne strely s expanznými dutinami, taktické strely alebo strely pre osobnú ochranu. Príkladom sú aj projektily typu Short-stop. Strela je tvorená plastovým klobúčikom, pod ktorým sa nachádza zrolovaná hrubá kruhová textília, tesne za ňou sú ešte olovené broky. Po výstrele sa táto tkanina rozmotá a zasiahne páchatel'a naplocho, čím sa rozloží jej energia a strela tak nespôsobí smrteľné zranenia. [5]



Obr. 11. Špeciálna strela typu Short-stop [17]

3 VZNIK BALISTICKÝCH STÔP

Z funkcie palných zbraní vyplýva, že po stlačení spúšte sa uvoľní úderník, ktorý udrie do zápalky na dne náboja. V zápalky sa vznieti traskavina, ktorá zapáli výmetnú zložku náboja. Horením výmetnej zložky vznikajú plyny, ktoré expandujú v nábojovej komore a tlačia strelu smerom von z hlavne, nábojnica je natlačená opačným smerom do lôžka pre nábojnici. Posúvaním záveru smerom dozadu je nábojnica ťahaná rovnakým smerom pomocou vyťahovača, neskôr nábojnica narazí na vyhadzovač a vyletí von jeho okienkom. Uvedenými procesmi vznikajú na strele a nábojnici charakteristické znaky, pretože každá funkčná časť zbrane, ktorá prichádza do styku so strelou alebo nábojnicou, má jedinečný a neopakovateľný mikrorelief spôsobený strojárskym obrábaním, vzniknutým opotrebovaním, neodbornou manipuláciou alebo zlou údržbou zbrane. Znaky po vzájomnom kontakte jednotlivých častí zbrane a streliva sú rozhodujúcim faktorom pre individuálnu identifikáciu zbrane.

Funkčná časť zbrane vytvárajúca stopu	Miesto výskytu stopy
vývrt hlavne	plášť strely po celom obvode
úderník	zápalka nábojnice
háčik vyťahovača	hrana obruby a drážka nábojnice
vyhadzovač	dno nábojnice pri hrane obruby
lôžko pre dno nábojnice	dno nábojnice vrátane zápalky
nábojová komora	predná časť okraja nábojnice, valcová časť nábojnice
hrana vyhadzovacieho okienka	valcová časť nábojnice
hrana záveru	okraj dna nábojnice
vývodka zásobníka	valcová časť nábojnice

Tab. 1. Stopy na strele a nábojnici vytvorené výstrelom

Tabuľka je zostavená podľa relevantnosti a počtu výskytu stôp. Je treba podotknúť, že niektoré druhy zbraní nemusia mať všetky uvedené funkčné časti a naopak, pri iných zbraniach môžu vzniknúť ešte ďalšie minoritné stopy. [18], [6]

3.1 Stopy na strele

Pušky, revolvery a pištole majú väčšinou drážkovanú hlavň, ktorá strele udeľuje rotáciu a tým zvyšuje jej stabilitu počas letu. Drážkovanie pozostáva zo zárezov z vnútornej strany

hlavne a vytvára dve časti: drážky a polia. Drážky sú tie časti, ktoré z hlavne vyrezala fréza a polia sú vlastne miesta, ktorých sa fréza nedotkla. Ich počet sa pohybuje v rozmedzí od 1 až po 24. Ak je drážok viac ako 5, ich prínos sa zdá byť viac teoretický ako praktický. Charakteristickým znakom vývrtu hlavne na strele je počet vytvorených drážok, ich šírka, hĺbka, smer rotácie drážok a stupeň rotácie, teda uhol stôp drážok voči osi strely.

Stopy z vývrtu hlavne sa nachádzajú na vodiacej časti strely. Najviac využívané a najspoľahlivejšie sú šikmé stopy polí, ktoré sú ohraničené odtlačkom zaťaženej a odľahčenej hrany. Šikmé stopy zárezov nie sú jednoznačne ohraničené a obsahujú odtlačky, ktorých výraznosť je priamo závislá na skutočnom priemere strely. Obe časti zahrňujú aj mikroskopické odtlačky, ktoré boli na zbrani náhodne a nepravidelne vytvorené výrobným procesom. Sú neopakovateľné a svojou jedinečnosťou sa štatisticky približujú takmer až k odtlačkom prstov.



Obr. 12. Drážkovanie na povrchu vystrelených striel [5]

3.2 Stopy na nábojnici

Nábojnice bývajú častou stopou, ktorú kriminalisti nachádzajú na mieste činu. Páchatelia väčšinou z tohto miesta uniknú spolu so zbraňou, ktorá v mnohých prípadoch tvorí jedno z mála pojítok medzi delikventom a miestom činu. Z nájdenej nábojnice sú extrahované markanty, ktoré zanechali funkčné časti zbrane. Tie sú porovnané so stopami, ktoré zanechala na nábojnici podozrivá zbraň. Prípadné zhody markantov z nábojníc sú jasnými dôkazmi použitia podozrivej zbrane vo vyšetrovanom čine.



Obr. 13. Nábojnica 9 mm Luger vystrelená z pištole Glock 17

3.2.1 Stopy úderníka

Predpokladom výstrelu je uderenie úderníka zbrane do zápalky náboja. Po vzájomnom kontakte zanecháva úderník v zápalku odtlačok. Na nábojnici vystrelenej zo zbrane Glock 17 je možné nájsť dvojaké stopy účinku úderníka. Prvý markant je spôsobený statickým kontaktom, tlakom, medzi nástrojom a povrchom. Tento znak sa prejaví ako malá jamka v zápalku náboja. Druhým znakom sú drobné ryhy, ktoré sú vytvorené relatívnym pohybom medzi dvoma povrchmi. Je možné tvrdiť, že vonkajší tvar a veľkosť plochy, na ktorej sú vytvorené ryhy po úderníku, sa môže na nábojniciach líšiť i keď boli vystrelené z rovnakej zbrane. Na druhej strane, detail rýh a škrabancov ostáva rovnaký. Ďalším znakom odtlačku je aj jeho relatívna poloha v zápalku, ktorá môže pomôcť pri identifikácii zbrane. [19]



Obr. 14. Jamka a ryhy vytvorené úderníkom zbrane Glock 17

Významným faktom pri optickom skúmaní rýh po úderníku na dvoch nábojniciach je správny typ použitého osvetlenia. Detaily rýh sú skúmané na základe lesku a tieňov, ktoré

vytvárajú. Je veľmi dôležité, aby svetlo dopadajúce na povrch škrabancov dopadalo v oboch prípadoch pod rovnakým uhlom a s rovnakou intenzitou, inak môžu totožné ryhy na nábojniciach pôsobiť rozdielne.

Význam markantov vytvorených úderníkom je veľmi významná stopa, ktorá veľmi pomáha pri individuálnej identifikácii zbrane. Dôležitosť takto spôsobených markantov znásobuje možnosť, kedy sa ostatné významne stopy, ako napríklad stopa po vyhadzovači alebo vyťahovači, správne neodtlačia alebo znehodnotia, takže strácajú zmysel pri identifikácii. Najväčšiu váhu má hlavne vtedy, ak páchatel použil už niekoľkokrát vystrelené nábojnice, teda vymenil zápalku a skompletizoval náboj, tzv. prebíjanie. V tomto prípade sú na nábojnici mnohé stopy, z ktorých je takmer nemožné zistiť novo vytvorené markanty. [20]

3.2.2 Stopy vyťahovača a vyhadzovača

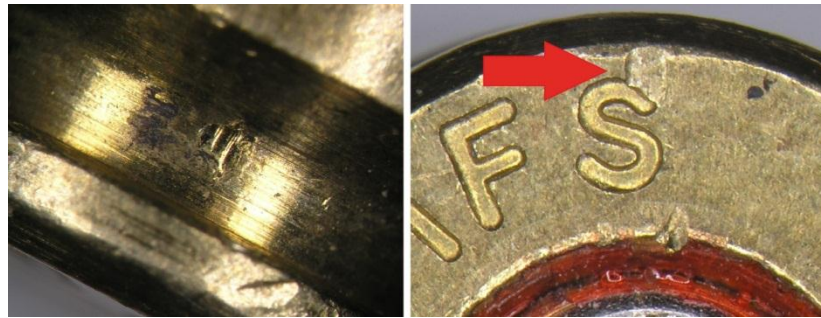
Vyťahovač je funkčný mechanizmus zbrane, ktorým je po vystrelení vytiahnutá nábojnica z nábojovej komory.

Rozdeľujú sa podľa tvaru do troch základných skupín na:

- *vyťahovače nepravidelného tvaru,*
- *vyťahovače v tvare písmena J a*
- *vyťahovače eliptické.*

Stopa po kontakte vyťahovača sa obvykle nachádza v drážke náboja a na vnútornej strane obruby nábojnice. Z tvaru a umiestnenia tejto stopy je možné určiť aj typ použitej strelnej zbrane.

Vyhadzovač je v podstate malý kolík, na ktorý narazí nábojnica keď je vyťahovačom ťahaná von z nábojovej komory. Stopy po vyhadzovači je možné nájsť na troch rozdielnych miestach. Nachádzajú sa bližšie k obrube nábojnice, medzi obrubou a zápalkou alebo blízko pri zápalke. Markant vytvorený vyhadzovačom patrí medzi jednu z najdôležitejších stôp umožňujúcu určenie druhu zbrane. [21]



Obr. 15. Stopy po vytáhovači a vyhadzovači zbrane Glock 17

3.2.3 Ostatné stopy na nábojnici

Záver zbrane má za úlohu uzatvoriť náboj v nábojovej komore. Časť záveru, o ktorú sa opiera spodná strana náboja sa nazýva lôžko pre dno nábojnice. Počas výstrelu narazí nábojnica svojou spodnou stranou do lôžka, ktoré odtláči všetky svoje nerovnosti spôsobené výrobným procesom do zápalky alebo do samotnej nábojnice. Tieto odťahy môžu mať kruhový tvar, tvar horizontálnych alebo vertikálnych čiar, jednotlivé línie sa môžu krížiť alebo ich pozícia môže byť náhodná. [21]

Hrany a steny nábojovej komory zanechávajú na nábojnici stopy, pomocou ktorých je možné určiť typ zbrane, ale aj individuálnu zbraň. Steny nábojovej komory majú vnútorné vrúbkovanie rôznych tvarov, pozdĺžne vrúbky, špirálovité a pod. Ich hlavnou úlohou je napomáhanie extrakcie nábojnice z nábojovej komory. Stopy po vrúbkovaní je možné nájsť na valcovej časti nábojnice ako rovné čiary, prstence po obvode nábojnice a pod.

Stopy okienka vyhadzovača vznikajú na plášti nábojnice vtedy, keď sa otrie o ostrú hranu okienka vyhadzovača. Na nábojnici je ešte možné nájsť aj stopy vývodu zásobníka, ktoré sa nachádzajú na protiľahlých stranách plášťa nábojnice. Ich identifikačný význam je dôležitý len v ojedinelých prípadoch.



Obr. 16. Stopy od lôžka pre dno nábojnice [22]

Pre jednotlivé druhy a systémy palných zbraní je dôležitý nie len tvar stôp, ale aj ich vzájomná poloha. Napríklad uhol medzi stopou, ktorú zanechal vyhadzovač a vytáhovač a pod. [6]

3.3 Zisťovanie typu zbrane, skupinová a podskupinová príslušnosť

Identifikácia zbraní sa opiera o dve základné empirické hypotézy. Prvá hypotéza hovorí o konzistencii markantov pochádzajúcich z jednej zbrane. Druhá hypotéza hovorí o rozdieloch jednotlivých markantov pochádzajúcich z dvoch rozdielnych zbraní. Obe hypotézy sú dôležitým predpokladom pre dosiahnutie najdôležitejšieho výsledku balistického skúmania, t.j. individuálnu identifikáciu zbrane. [23]

V prípade, že si páchatel' z miesta činu zbraň odniesol, je dôležité vykonať typovanie zbrane – určenie druhu, typu a modelu zbrane na základe strely a nábojnice. Druhé rozlíšenie odpovedá hrubému triedeniu podľa veľkosti, vzhľadu a určenia zbrane. Ak sa na mieste činu nájde nábojnica z puškového náboja, je možné jasne vylúčiť použitie pištole. Signifikantnejším procesom je určenie skupinovej príslušnosti zbrane, ktoré sa vykonáva podľa tvaru a umiestnenia stôp funkčných častí zbrane na strele a nábojnici. Pre účely určenia skupinovej príslušnosti zbrane podľa vystrelených striel a nábojníc sa využívajú špecializované katalógy rôznych druhov zbraní, v ktorých sú vyznačené polohy a tvary jednotlivých markantov vytvorených pri výstrele. Tieto katalógy sú používané pri prvotnom posúdení nájdených striel a nábojníc. Účelom je zúženie skupiny použitých zbraní až na konkrétny model, na ktorý sa potom zamiera pátranie.

K úspešnému typovaniu zbrane sú potrebné bohaté skúsenosti, vzory striel a nábojníc zo známych zbraní a študijná zbierka zbraní. Výhodnou pomôckou sú aj typovacie počítačové systémy, ktoré sú súčasťou systémov IBIS – Integrated Ballistics Identification System.

Moderné technológie využívané pri výrobe zbraní sa vyznačujú nízkym opotrebením pracovnej časti nástroja a vysokou kvalitou výrobných procesov. Dôsledkom čoho môžu pri výrobnom procese vzniknúť súčiastky, ktoré majú rovnaký mikrorelief. Ak sa jedná o časť, ktorá zanechá stopy na nábojnici alebo strele, môže takýmto spôsobom dôjsť k chybnému určeniu individuálnej zhody zbrane. Tento problém sa najviac vyskytuje pri nových zbraniach. Neskorším opotrebením však zbrane získavajú rôzne individuálne znaky a toto riziko postupne klesá. Skúsený balistik by si mal všimnúť podozrivé oblasti, udeliť im nižšiu mieru významnosti a zamerať sa na iné markanty. Takýto prípad vedie

k stanoveniu podskupinovej príslušnosti zbrane. Znamená to, že sa nejedná o identickú zbraň, ale o dve zbrane rovnakého modelu, ktoré boli vyrobené rovnakou technológiou a väčšinou disponujú blízko po sebe idúcim výrobným číslom. [5]

3.4 Individuálna identifikácia zbrane (stotožnenie zbrane)

Stotožnenie zbrane je najdôležitejší výsledok balistického skúmania, ktorý je použiteľný pri súdnom procese. Množstvo markantov na strelách a nábojniciach vytvára pomerne široké pole prekážok pre proces identifikácie. Jedná sa o veľmi náročnú a zložitú úlohu, ktorá vyžaduje množstvo skúseností a aj talentu, pretože nie každý má dobrú vizuálnu predstavivosť a pamäť.

Pri individuálnej identifikácii zbrane sa vychádza z faktu, že akékoľvek dve zbrane, aj keď sa jedná o zbrane rovnakého modelu, nezanechajú na strele a nábojnici rovnaké markanty. Pokiaľ sa markanty na strele a nábojnici nájdených na mieste činu zhodujú s markantmi na strelách a nábojniciach skúšobne vypálených z podozrivej zbrane, je možné konštatovať, že podozrivá zbraň bola použitá na mieste činu.

Výsledok procesu individuálnej identifikácie je možné vyjadriť v päťstupňovej škále (1 – 5 alebo A - E). Niektoré krajiny Európskej únie však využívajú štvorstupňovú škálu (Slovensko), prípadne trojstupňovú (Francúzsko). [5]

Stupeň zhody	Zhoda
1	individuálna zhoda – strela/nábojnica bola vystrelená z predloženej zbrane
2	individuálna zhoda pravdepodobná - strela/nábojnica bola s veľkou pravdepodobnosťou vystrelená z podozrivej zbrane
3	individuálnu zhodu nie je možné potvrdiť ani vylúčiť
4	individuálnu zhodu je možné s veľkou pravdepodobnosťou vylúčiť – strela/nábojnica nebola s veľkou pravdepodobnosťou vystrelená z predloženej zbrane
5	individuálnu zhodu je možné vylúčiť – strela/nábojnica nebola vystrelená z predloženej zbrane

Tab. 2. Vyjadrenie stupňa zhody individuálnej identifikácie zbrane

3.5 Metódy a technológie použité pri identifikácii

Mnohé markanty vzniknuté na nábojnici alebo strele je možné vidieť voľným okom. Pre potreby stotožnenia zbrane je ale vlastný zrak nedostačujúci, pretože rozdiely alebo zhody, ktoré rozhodujú o pozitívnej identifikácii zbrane, tvoria hlavne mikroryhy a malé detaily voľným okom neviditeľné. Preto sa v dnešnej dobe vo forenznej balistike využívajú rôzne zariadenia umožňujúce vizualizáciu nevyhnutnú pre potreby individuálnej identifikácie. Rozvoj počítačovej, zobrazovacej a automatizačnej techniky veľmi podporil a zefektívnil prácu forezných balistikov. Jedná sa hlavne o systémy, ktoré dokážu automaticky zozbierať, porovnať, analyzovať a uchovať dáta v dvoj alebo trojrozsmernej podobe. I keď mnohé technológie denno-denne zefektívňujú a uľahčujú ich prácu, ľudský faktor je aj naďalej nevyhnutný.

3.5.1 Komparačný mikroskop a jeho využitie

Komparačný mikroskop je pravdepodobne najrozšírenejším a najdôležitejším vedeckým zariadením, ktoré sa nachádza vo foreznom balistickom laboratóriu. Prvý komparačný mikroskop použitý pri kriminalistickej expertíze navrhol Albert Osborn niekedy okolo roku 1910, využíval ho na skúmanie dokumentov. O neskoršie používanie komparačného mikroskopu vo forenznej balistike sa zaslúžil Calvin Goddard, keď v roku 1925 publikoval článok, ktorý opisoval jeho využitie a prínos do foreznej vedy. [24]

Komparačný mikroskop sa skladá z dvoch mikroskopov so zhodnou optikou, aby poskytovali rovnaké zväčšenie. Oba mikroskopy sú spojené optickým mostom, ktorý pozostáva z optických hranolov. Tento most umožňuje vidieť obrazy z oboch mikroskopov cez jeden okulár. Výsledný obraz je zvislou čiarou rozdelený na dve časti, každá časť reprezentuje obraz z vlastného mikroskopu. Pri komparácii dvoch nábojníc alebo striel je dôležité, aby na obe časti dopadalo svetlo s rovnakou intenzitou a pod rovnakým uhlom. Najlepšie je svetlo dopadajúce kolmo na pozorovaný objekt, aby nevznikali nežiaduce tieň. V tomto prípade sa využívajú osvetľovacie prvky v tubuse objektívu a ihneď pri vonkajšom okraji šošovky.



Obr. 17. Komparačný mikroskop a porovnávané nábojnice [25], [26]

Mikroskopy bývajú vybavené aj fotografickým systémom na zachytenie detailov a markantov. Fotografické systémy sú vhodné na fotenie stôp na plochých častiach, v prípade fotografovania obvodových alebo zakrivených povrchov je zachytená len malá zaostrená časť. Preto niektoré moderné systémy využívajú kamery, monitor a nahrávacie zariadenie. Takýmto systémom je možné zachytiť stopy po celom obvode strely alebo nábojnice. [6]

3.5.2 Základná metóda porovnávania a získavania testovacích objektov

Základný proces získavania relevantných markantov je pomerne jednoduchý. Všetky komponenty munície, pre jednoduchosť napr. strely, sú navzájom porovnané, až pokým sa nenájde jedna s typickými markantmi, ktorá bude použitá ako referenčná strela. Táto je potom použitá na porovnávanie s projektilmi z miesta činu. Ak sa nájdu rovnaké markanty medzi týmito strelami, musí byť projektil z miesta činu porovnaný aj s ostatnými testovacími projektilmi, aby bola zhoda nepochybne potvrdená. [6]

3.5.2.1 Získavanie testovacích nábojníc a striel

Pred vystrelením z podozrivej zbrane je potrebné odstrániť všetky zvyšky po predchádzajúcich výstreloch, pretože by mohli spôsobiť vznik nežiaducich rýh. V prípade samonabíjajúcich pištolí je nevyhnutné očistiť aj lôžko pre dno nábojnice, aby sa jeho mikrorelief mohol správne odtlačiť na zápalku náboja.

Po správnom vyčistení by mali byť zo zbrane vystrelené minimálne štyri náboje rovnakého výrobcu a typu, pretože i najmenšie rozdiely v použiteľnom strelive môžu výrazne ovplyvniť vznik markantov. Komponenty náboja by mali byť potom postupne zozbierané v poradí akom boli vystrelené, pretože na funkčných častiach zbrane môžu vznikať postupné

zmeny. Pri nábojniciach je ich zozbieranie jednoduché, problém ale nastáva s vystrelenými projektilmi, ktoré treba zachytiť tak, aby sa čo najmenej deformovali a zachovali tak markanty na strele.

Na tento účel sa využívajú veľké nádrže s vodou, do ktorej sa vstreľujú projektily. Uhol, pod ktorým vstupuje projektil do vody je približne 30° a bol určený tak, aby sa strela čo najmenej deformovala. Ďalšou možnosťou je využitie textílií, napríklad vaty. Vata sa vloží do oceľovej konštrukcie, ktorá ma tvar dutého pravidelného štvorbokého hranola s odnímateľnými stenami. Z prednej strany hranola sa do konštrukcie vstreľuje strela a po odstránení stien je možné hľadať vystrelený projektil vo vate. Nevýhodou je, že vata musí byť pomerne často menená a navyše niekedy trvá veľmi dlho, kým sa v nej strela nájde. [6]

3.5.3 Moderné balistické systémy

Vo všeobecnosti umožňujú moderné balistické vizualizačné systémy automatické zobrazovanie nábojníc a striel, ale taktiež je možné vytvoriť aj ich trojrozmerný model. Systém sa nezameriava len na plošné zobrazenie, ale umožňuje zobrazit' celý obvod strely alebo nábojnice. Obrázky a modely nábojníc a striel sú uložené na disk a dajú sa spätne otvoriť, ak je to potrebné. Takisto tieto systémy disponujú možnosťou simulácie komparačného mikroskopu, pomocou ktorého môže operátor skúmať vzorky, prípadne porovnávať so vzorkami, ktoré sú uložené v počítači. Najväčšia výhoda tohto systému je však jeho pripojenie k databáze naskenovaných objektov. Systémy umožňujú uložiť, nahráť, vyhľadať a porovnať pomocou vstavaných algoritmov objekty navzájom medzi sebou. To znamená vyhľadávanie medzi veľkým množstvom vzoriek, ktoré by človek nedokázal osobne preskúmať. Výstupom je potom tabuľka striel a nábojníc s možnými percentuálne vyjadrenými vzájomnými zhodami, ktoré musí kriminalista osobne preveriť. Analýzou pri hľadaní zhodných stôp môže systém spojiť dva prípady, v ktorých bola použitá rovnaká zbraň. Táto informácia môže byť dôležitá pre vyšetrovateľov, pretože poukazuje na fakt, že spáchaný čin zahŕňa jedného páchatel'a, prípadne dvoch páchatel'ov, ktorí sú spojení prenosom jednej zbrane. Dalo by sa povedať, že moderné balistické vizualizačné systémy nie sú identifikačnými systémami v pravom slova zmysle, ale presnejšie sa jedná o počítačovo-asistenčný systém, ktorý napomáha pri individuálnych identifikáciách zbraní. [24], [6]

Potenciál týchto systémov sa zvyšuje s vytvorením rozsiahlej národnej databázy zbraní a k nim korešpondujúcich vystrelených striel a nábojníc. Prípadne by bolo možné databázu

rozšířit o zbrane, ktorými nebol spáchaný trestný čin. Teda naskenovať mikrorelief zbrane, vystrelené strely a nábojnice, ktoré majú v osobnom vlastníctve držiteľa zbrojného preukazu. Navyše evidovať aj náhradné súčiastky, ktoré sú funkčnými časťami zbrane a prichádzajú do kontaktu so strelou alebo nábojnicou. Národné databázy by bolo možné spojiť do nadnárodnej až celosvetovej databázy zbraní a ich vystreleného streliva za účelom efektívnejšej identifikácie zbraní pri páchaní trestných činov.



Obr. 18. 3D povrch dna nábojnice vytvorený systémom Lucia BalScan [27]

Komerčne využívaným systémom v tejto oblasti je napríklad systém LUCIA BalScan™ od českej firmy Laboratory Imaging, ktorý zahŕňa všetky vyššie spomenuté hlavné funkcie. Tento systém je využívaný Kriminálnym ústavom Praha na archiváciu vzoriek zakladaných do Ústrednej zbierky balistických stôp z neobjasnených činov spáchaných na území Českej republiky. [28]

Ďalšie celosvetovo využívané systémy sú:

- *ARSENAL*, Rusko
- *CIBLE*, Francúzsko
- *BALISTIKA*, Turecko
- *FIREBALL*, Austrália
- *IBIS BULLETRAX-3D* - Integrated Ballistic Identification System, Kanada
- *TAIS* – Trace Automated Identification System, Rusko [6]

4 ZOBRAZOVACIE METÓDY POVRCHU VZORIEK

K zobrazovaniu reliéfu povrchov sa využívajú rôzne metódy, ktoré sa líšia hlavne použitým fyzikálnym princípom, možným rozlíšením, spôsobom zobrazenia a presnosťou. Voľba metódy je závislá na vlastnostiach skúmaného objektu a požiadavkách zobrazenia.

4.1 Optická mikroskopia

Optický mikroskop patrí medzi najrozšírenejšie prístroje moderného vedeckého skúmania. I keď je známy už niekoľko storočí, najväčší rozvoj dosiahli mikroskopy práve v posledných sto rokoch. Ich hlavnou úlohou je verné a kvalitné zobrazenie charakteristík pozorovaných predmetov, ktoré nie je možné vidieť voľným okom.

Základnou časťou optických mikroskopov je centrovaná optická sústava skladajúca sa z dvoch zložených spojných šošoviek. Predná šošovka (objektív) má veľmi malú ohniskovú vzdialenosť 1,6 mm až 40 mm. Zadná šošovka (okulár) má ohniskovú vzdialenosť 10 mm až 50 mm. Obe šošovky sa v moderných systémoch skladajú z viacerých opticky-korigovaných šošovkových elementov. [29]

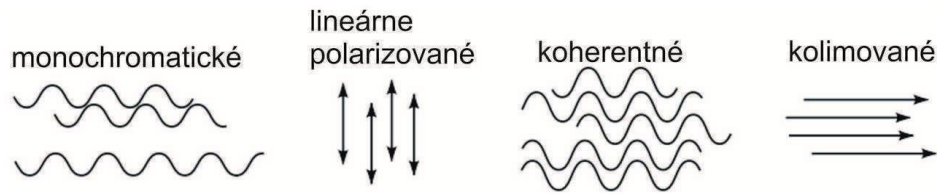
Pri skúmaní predmetov pomocou optickej (svetelnej) mikroskopie sa využíva elektromagnetické vlnenie s vlnovou dĺžkou približne 180 nm až 1300 nm. Pri interakcii vzorky a elektromagnetického vlnenia dochádza zmenám charakteristických vlastností žiarenia ako sú amplitúda, polarizácia, fáza a vlnová dĺžka. Pomocou rôznych mikroskopovacích techník je potom možné získanie dôležitých informácií o pozorovanom predmete. Kvalita týchto informácií je priamo závislá na kvalite optických systémov mikroskopu. [30]

4.1.1 Kvalita použitého svetla

Pre analytické pozorovanie vo svetelnej mikroskopii je dôležitým faktorom použitý druh alebo kvalita svetla definovaná jednotnosťou žiarenia svetelných lúčov. Druhy svetla môžeme rozdeliť na:

- *Monochromatické* – vlny kmitajú na jedinej frekvencii (rovnaká farba).
- *Polarizované* – vlny, ktorých vektor intenzity kmitá v jednom smere a v navzájom paralelných rovinách.
- *Koherentné* – vlny danej vlnovej dĺžky, ktoré si udržiajú vzájomne rovnakú fázu (laser).

- *Kolimované* – vlny majú koaxiálne (súosé) dráhy šírenia bez zbiehania alebo rozbiehania, ale nemusia mať rovnakú vlnovú dĺžku alebo fázu. [31]



Obr. 19. Druhy svetla využívané vo svetelnej mikroskopii [31]

Svetlo dopadajúce na vzorku interaguje s jej materiálom rôznymi spôsobmi. Môže byť ním absorbované, odrážané, ohýbané a pod. Svetlo môže byť napríklad absorbované a potom znova emitované vo viditeľnom spektre alebo ako teplo, prípadne môže byť zmenené na iný druh energie. Objekty alebo molekuly, ktoré dočasne absorbujú svetlo a potom ho emitujú v dlhších vlnových dĺžkach, sa nazývajú fluorescenčné. Takisto sa svetlo môže ohýbať, lámať alebo rozptylovať pri prechode transparentnými objektami. Táto difrakcia svetla malými štrukturálnymi časťami pozorovaného prvku je hlavným procesom, ktorý umožňuje vytváranie obrazu v optických mikroskopoch. [31]

4.1.2 Metóda fázového kontrastu

Hlavne biologický materiál predstavuje pre svetelnú mikroskopiu závažný problém, vďaka svojej transparentnosti a nízkemu kontrastu sú pozorované predmety veľmi zle viditeľné. Aj keď transparentné objekty spôsobujú fázové posuny prechádzajúceho svetla vďaka difrakcii a rozptylu, ľudské oko nedokáže tieto zmeny detekovať.

Metóda fázového posunu spočíva v transformácii rozdielnych fáz vlnového poľa na rozdiely v jeho amplitúde. Tieto zmeny sa prejavujú zvýšením kontrastu transparentnej vzorky. [31]

4.1.3 Metóda temného pola

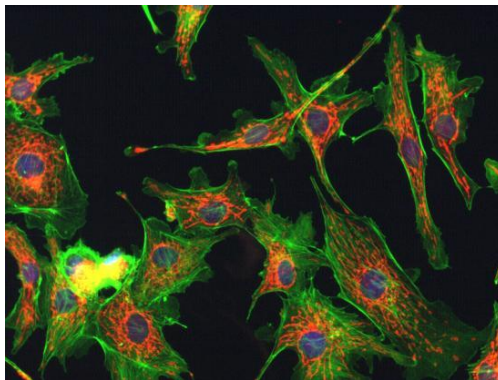
Táto metóda spočíva v zobrazení len difragovaných a rozptýlených svetelných lúčov, zatiaľ čo nedifragované lúče sa na vytváraní obrazu vzorky vôbec nepodieľajú. Táto technika je veľmi citlivá, pretože obraz vytvárajú len odrazené lúče od pozorovaných objektov, tie sú na veľmi tmavom pozadí dobre viditeľné [31]

4.1.4 Polarizačná mikroskopia

Tento typ mikroskopie sa využíva pri látkach, ktoré majú opticky anizotropný charakter, tzn. že sa ich optické vlastnosti líšia podľa smeru, ktorým v nich svetlo prechádza. Ich ďalšou podstatnou vlastnosťou je, že rozdeľujú prechádzajúci lúč svetla na dve časti, sú teda dvojlomé. Mikroskop je vybavený dvoma polarizátormi. Tie sú nastavené v priepustnej polohe tzn. roviny, do ktorých sa stáča svetlo sú navzájom rovnobežné. Ak medzi tieto polarizátory vložíme dvojlomý objekt, potom sa nám tento objekt javí v rôznych miestach rozdielne zafarbený v závislosti na tom, aký veľký je dvojlom v danom mieste. [30]

4.1.5 Fluorescenčná mikroskopia

Fluorescencia je jav, pri ktorom niektoré látky pri ožiarení elektromagnetickým vlnením s určitou vlnovou dĺžkou emitujú elektromagnetické vlnenie spravidla s nižšou energiou a s väčšou vlnovou dĺžkou. Príkladom je vzorka, ktorá je ožiarená vlnením v ultrafialovom spektre, ktoré je neviditeľné pre ľudské oko. Časti vzorky počas ožarovania emitujú vlnenie vo viditeľnom spektre, takže ich je možné vidieť. Tento jav je základom fluorescenčnej mikroskopie, ktorá má uplatnenie hlavne v medicíne a v prírodných vedách. [30]



Obr. 20. Zobrazené bunky fluorescenčnou mikroskopiou [32]

4.1.6 Ďalšie metódy optickej mikroskopie

Ďalšou metódou mikroskopovania je viacfarebná mikroskopia, kde sa používajú rôzne farebné filtre. Preparát je potom zafarbený inou farbou ako jeho pozadie. Iné využívané metódy sú napríklad metóda šikmého osvetlenia, Hoffmanov modulačný kontrast, farbenie preparátov, interferenčný kontrast a iné. [30]

4.1.7 Stereomikroskop

Stereomikroskop je špeciálne optické zariadenie, ktorým sa pozoruje preparát súčasne dvoma samostatnými optickými systémami. Do každého oka sa tak dostáva obraz z trocha iného uhla, čo zabezpečuje trojrozmerný, plastický obraz. Tieto mikroskopy dosahujú maximálne 120-násobné zväčšenie, pretože sú limitované relatívne malou hĺbkou ostrosti.



Obr. 21. Stereomikroskop od firmy Olympus využívaný pri optickom porovnávaní nábojov [33]

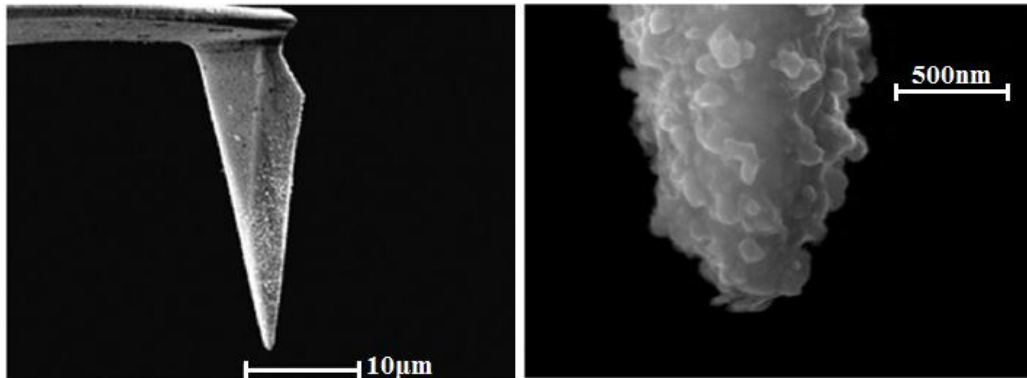
4.2 Mikroskopia skenujúcou sondou (SPM - Scanning Probe Microscopy)

Mikroskopia skenujúcou sondou zahŕňa techniky, ktoré poskytujú meranie vlastností a topografií povrchov na úrovni jednotlivých atómov. Metódy umožňujú zobrazovať trojrozmerný obraz častí vzoriek v rozmedzí stoviek mikrometrov až po jednotky nanometrov.

SPM nemusí byť použitá výhradne len na zobrazovanie reliéfu povrchov, ale aj na ich modifikáciu na atomárnej úrovni. Napríklad mechanické odstraňovanie, manipulácia s jednotlivými molekulami alebo atómami a pod. [34]

Všetky metódy SPM zdieľajú rovnaký koncept skenovania. Veľmi tenký hrot ($\text{\O}3 - 50 \text{ nm}$) je umiestnený na malom pružnom nosníku, ktorý dovoľuje hrotu kopírovať povrch skúmaného objektu. Keď sa hrot pohybuje v blízkosti skúmaného objektu, sily interakcie

medzi hrotom a povrchom majú za následok pohyb nosníka. Tieto pohyby sú detekované selektívnymi senzormi. V závislosti na mechanike hrotu môžu byť skúmané rôzne druhy interakcií medzi hrotom a povrchom. [35]



Obr. 22. Hrot využívaný pri metóde SPM [36]

Každý mikroskop patriaci do tejto skupiny pozostáva z nasledujúcich častí:

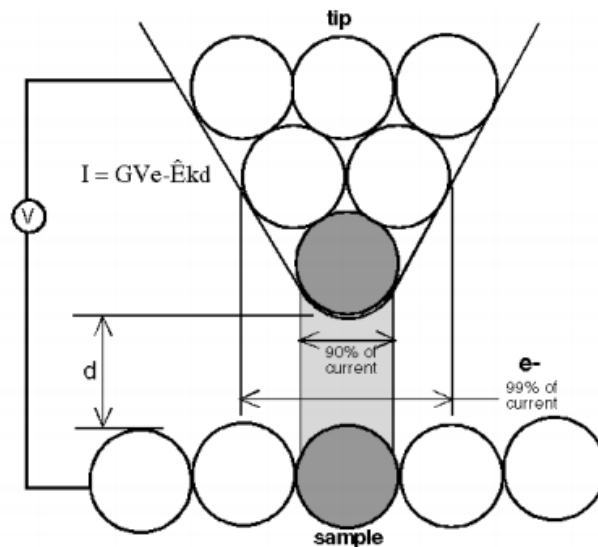
- *Skener* – piezokeramické pohybové členy, ktoré vytvárajú merací raster a zároveň približujú a oddiaľujú sondu.
- *Sonda* – na pružnom nosníku umiestnený ostrý hrot, ktorý interaguje s povrchom skúmaného objektu, líši sa podľa typu mikroskopie.
- *Detektor* – sníma meranú veličinu, niekedy je priamo sondou, inokedy potrebuje aktívnu časť - laser.
- *Obvody spätnej väzby* – riadiaca elektronika, napájanie, záznam a vizualizácia dát.
- *Platforma* – upevnenie a manipulácia so vzorkou.
- *Optický systém* – presná orientácia nad vzorkou.
- *Pomocné časti* – tlmenie vibrácií, generátory magnetického poľa atď. [37], [38]

4.2.1 Rastrová tunelovacia mikroskopia (STM – Scanning Tunneling Microscopy)

Metóda rastrovej tunelovej mikroskopie sa podarila zrealizovať v roku 1981 ako vôbec prvá metóda z SPM. Autori o 5 rokov neskôr získali za jej objav Nobelovu cenu.

Tento druh mikroskopie je založený na monitorovaní prúdu, ktorý pretečie medzi vodivým hrotom a vodivou vzorkou, ktoré sa fyzicky vôbec nedotýkajú. Pokiaľ je hrot umiestnený rádovo nm nad vzorku, sú elektróny „tunelované“ z hrotu na povrch vzorky a naopak. Veľkosť a typ interakcie medzi hrotom a povrchom závisí exponenciálne od ich vzájomnej vzdialenosti. Dosiaditeľné rozlíšenie je dané šírkou tunelovacej medzery, ktorá sa rádovo

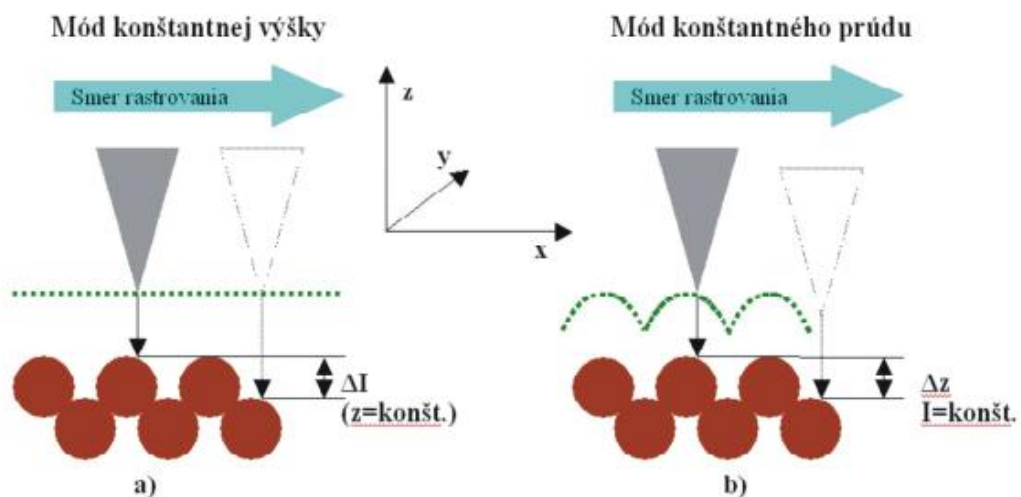
pohybuje v jednotkách pikometrov. Taktiež je ovplyvnené veľkosťou skenovacieho hrotu ako aj minimálnou veľkosťou kroku skenovania. [34]



Obr. 23. Princíp metódy STM [39]

Pri vlastnom meraní sa najprv mechanicky priblíži hrot k povrchu vodivej vzorky v smere Z-ovej osi. Potom sa vloží medzi hrot a povrch napätie, aby mohol prechádzať prúd. Jemným posuvom sa vzorka pohybuje smerom k hrotu, až pokým bude možné zmerať prechádzajúci prúd, potom sa približovanie zastaví. Skenovanie prebieha skokovým posuvom hrotu v rastrí, ktorý určujú X-ová a Y-ová os. Spravidla hrot prechádza riadok po riadku v zadanom rastrí. Výstupom merania je matica, ktorej indexy označujú polohu bodu a hodnoty sú veľkosti nameraného signálu. Signál môže byť dvojaký v závislosti na metóde merania: [40, s. 13]

- *Mód s konštantnou výškou* – pri tomto meraní sa udržiava nemenná výška skenovacieho hrotu. V dôsledku nerovností povrchu sa mení nameraný prúd, pomocou týchto zmien je potom možné vytvoriť trojrozmernú mapu pozorovaného materiálu. Nevýhodou tohto režimu je, že hodnota meraného prúdu môže v dôsledku veľkej vzdialenosti klesnúť až pod detekovateľnú úroveň.
- *Mód s konštantným prúdom* – v tomto prípade prístroj zachováva konštantný prúd medzi vzorkou a hrotom. Z toho vyplýva, že sa musí meniť poloha hrotu v Z-ovej osi, ktorá je definovaná zmenou napätia na piezokryštále a mení sa vďaka spätnej väzbe viazanej na tunelový prúd. [29]

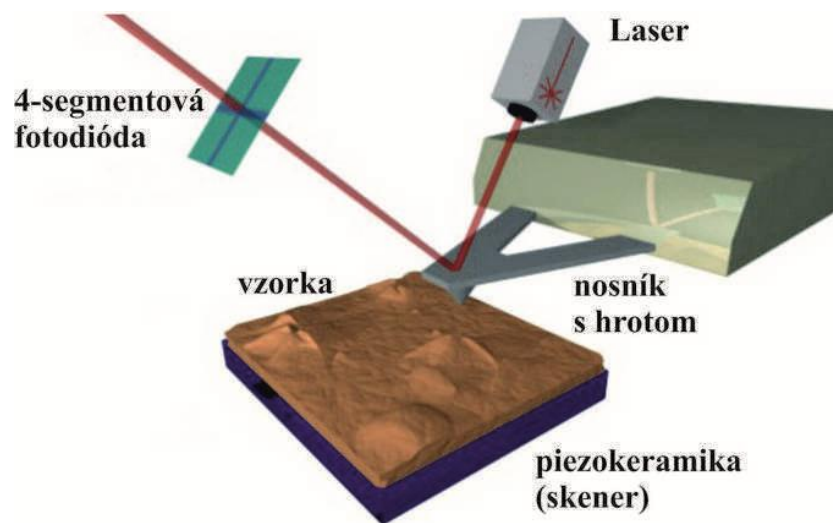


Obr. 24. Dva módy metódy STM [29]

4.2.2 Mikroskopia atomárných síl (AFM – Atomic Force Microscopy)

V prípade priblíženia hrotu na veľmi malé vzdialenosti k povrchu meranej vzorky sa medzi nimi začnú uplatňovať medziatomárne sily. Najprv pôsobia príťažlivé sily, ale po ďalšom približovaní sa začnú prejavovať sily odpudivé. Tento jav je základom AFM.

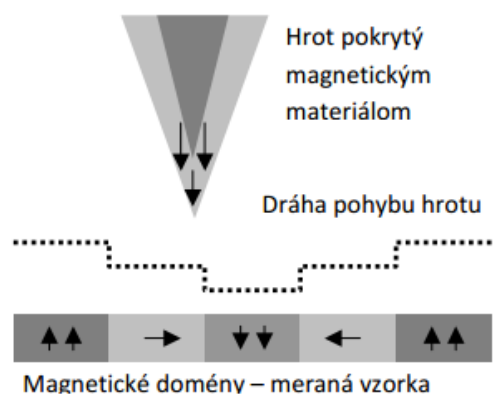
Na pružnom nosníku je umiestnený tenký hrot, ktorý sa pohybuje po povrchu vzorky. Tesným priblížením hrotu a povrchu medzi nimi začnú pôsobiť medziatomárne sily, ktoré ohýbajú nosník. Ohyb je snímaný laserom, ktorý je zaoštrorený na zadnú stranu voľného konca nosníka. Laserový lúč je potom odrazený od nosníka na štvorsegmentovú fotodiódu. K vytvoreniu obrazu je nutné, aby boli všetky segmenty diódy rovnomerne osvetlené. Tvarom snímaného povrchu je nosník ohýbaný z referenčnej hodnoty, čím mení aj polohu odrazeného laserového lúča na fotodióde. Signály generované fotodiódou sú potom navzájom porovnané, pomocou nich sa určí vychýlenie v Z-ovej osi. Keďže fotodióda je rozdelená na 4 segmenty, je možné zároveň detekovať aj torziu nosníka, ktorá sa prejaví vychýlením odrazu do strán. [38]



Obr. 25. Schéma skenovacieho zariadenia AFM mikroskopie [41]

4.2.3 Mikroskopia magnetických síl (MFM – Magnetic Force Microscopy)

Tento druh mikroskopie umožňuje zobrazit' priestorové rozloženie magnetických síl na povrchu vzorky, ktorá je vytvorená z magnetických materiálov. Hrot je umiestnený na pružnom nosníku, navyše je pokrytý tenkou magnetickou vrstvou. Detekcia funguje na základe zmeny rezonančnej frekvencie nosníka, ktorú spôsobuje magnetické pole vzorky. Toto pole je závislé na vzájomnej vzdialenosti hrotu a povrchu vzorky. Výsledný obraz obsahuje informácie o topografii povrchu spolu s jeho magnetickými vlastnosťami. [40, s. 19], [42]



Obr. 26. Princíp metódy MFM [29]

4.2.4 Mikroskopia laterálnych síl (LFM – Lateral Force Microscopy)

Mikroskopia laterálnych síl meria laterálne ohyby (vykrúcanie) nosníka, ktoré sú výsledkom naň pôsobiacich síl počas horizontálneho pohybu po povrchu vzorky. Veľkosť ohybu je daná koeficientom trenia povrchu, jeho topografiou a smerom pohybu nosníka.

Táto metóda je veľmi účinná pri študovaní povrchu, ktorý pozostáva z nehomogénnych zložiek. Taktiež sa využíva na zvýšenie kontrastu okrajov výstupkov na povrchu vzorky alebo na definovanie hranice medzi dvoma prvkami. [43]

4.2.5 Mikroskopia modulovaných síl (FFM - Force Modulation Microscopy)

Mikroskopia modulovaných síl je rozšírenie metódy AFM. Podobne ako pri LFM a MFM poskytuje topografické ako aj materiálové vlastnosti skúmaného povrchu.

Pri tomto meraní hrot pracuje rovnako ako pri metóde AFM, navyše je však periodický signál, ktorý je aplikovaný do hrotu alebo vzorky. Amplitúda kmitu nosníka, ktorá je dôsledkom periodického signálu, závisí na mechanických vlastnostiach skúmaného povrchu. [37]

4.2.6 Ďalšie skenovacie metódy

- *Mikroskopia detekcií fázových posunov* (PDM – Phase Detection Microscopy)
- *Mikroskopia elektrostatických síl* (EFM – Electrostatic Force Microscopy)
- *Skenovacia kapacitná mikroskopia* (SCM – Scanning Capacitance Microscopy)
- *Skenovacia teplotná mikroskopia* (SThM – Scanning Thermal Microscopy)
- *Skenovacia optická mikroskopia v blízkom poli* (NSOM - Near-Field Scanning Optical Microscopy) [37]

5 SYSTÉM SKENOVACEJ MIKROSKOPIE

V rámci realizácie tejto metódy bola použitá technika podobná SPM. Meranie bolo vykonané stacionárnym hrotom pomocou digitálneho multimetra. Na pohyb vzorky boli použité kompaktné servomotory Mercury M-110, ktoré zaisťovali pohyb v X-ovej, Y-ovej aj v Z-ovej osi. Všetky použité prístroje boli ovládané pomocou vývojového prostredia MatLab R2009b.

5.1 Použité prístroje a meracia technika

5.1.1 Mercury M-110 1DG - Micro Translation Stages

Mercury M-110 sú kompaktné servomotorové platformy firmy Physik Instrumente, ktoré umožňujú lineárny pohyb v rozsahu 5 mm. Ich minimálny možný posuv je menší ako 0,5 μm a maximálna rýchlosť je 1000 $\mu\text{m/s}$. Obrovskou výhodou mikroposuvov je možnosť ich spojenia tak, aby každý motor vykonával pohyb v jeden z osí X, Y alebo Z. Takéto spojenie umožňuje využitie vo viacerých aplikáciách ako napríklad metrológia, testovanie zariadení, mikroopracovávanie a pod. Pre riadenie činnosti mikroposuvov je potrebný krokový ovládač. [44]



Obr. 27. Servomotor M-110[40]

1. telo servomotora
2. pohyblivá platforma
3. kábel pre pripojenie krokového ovládača
4. servomotor

5.1.2 C-862 Mercury DC-Motor Controller

C-862 Mercury je miniaturizovaný servo-ovládač zameraný na kontrolu pohybu malých polohovacích servomotorov, ktoré sa využívajú vo výskumných a priemyselných aplikáciách. Tento krokový ovládač využíva spätnoväzobný kvadratický enkodér signálu na určenie pozície. V závislosti na enkodérovej stupnici je možné dosiahnuť presnosti až 0,05 μm . [45]

Pri použití troch mikroposuvov je potrebné využiť aj tri servo-ovládače. Ovládače sú medzi sebou a spolu s mikroposuvmi prepojené pomocou sériovej linky (RS-232), takisto sa toto pripojenie využíva aj na spojenie s počítačom. Krokové ovládače sa adresujú jednotlivo, pri posielaní príkazu je nutné špecifikovať adresu konkrétneho ovládača.

5.1.3 Digitálny multimeter HP 34401A

Multimeter od firmy Hewlett Packard slúži v systéme hlavne na automatizáciu softwarového algoritmu a na celkové spresnenie procesu merania. K počítaču je pripojený rozhraním GPIB (GPIB – General Purpose Interface Bus) a navzájom komunikujú pomocou protokolu VISA (Virtual Instrument Software Architecture). Ovládaný je pomocou prostredia Matlab. [46]

Matlab (MATrix LABoratory) je programovacie prostredie na vývoj algoritmov, analýzu dát, vizualizácie a numerické výpočty. Využíva sa v rôznych aplikáciách ako napríklad spracovávanie signálov a obrázkov, finančné modelovanie, testovanie a meranie a pod. [47]

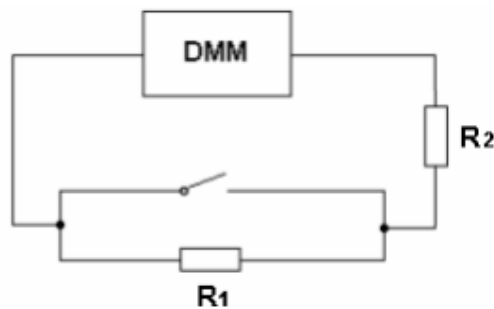
5.1.4 Výsledná meracia aparátúra

K počítaču boli cez rozhranie RS-232 pripojené tri krokové ovládače C-862, ktoré boli pomocou rovnakého rozhrania prepojené navzájom. K nim boli pripojené tri servomotorové platformy, z ktorých každá zabezpečuje pohyb v inej osi. Multimeter bol k počítaču zapojený cez rozhranie GPIB.

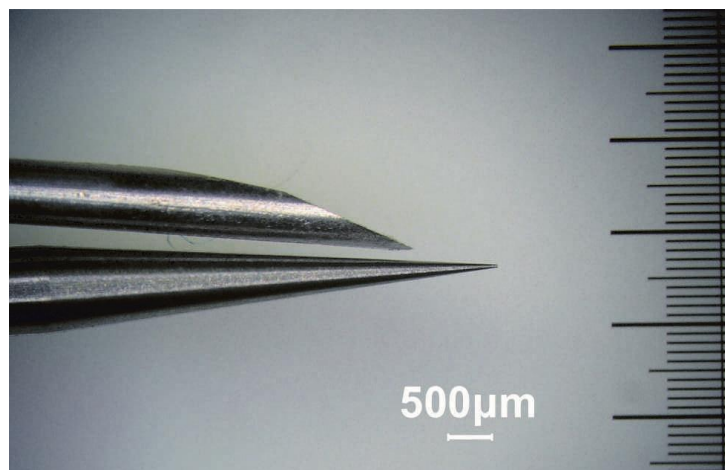
5.1.4.1 Použitá skenovacia metóda

Pri skenovaní vzoriek sa v danom prípade použila kontaktná metóda, pri ktorej multimeter meria odpor vedenia podľa nasledujúceho obrázka (Obr. 28.). Zobrazený spínač predstavuje pevný skenovací hrot a vodivý prvok, v tomto prípade vystrelenú nábojnicu. Paralelne k spínaču je pripojený rezistor R_1 . Pri kontakte hrotu a vzorky dôjde k zopnutiu

spínača a k poklesu odporu vo vedení na hodnotu rovnú odporu R_2 . Hodnota rezistorov bola zvolená $R_1 = 1\text{M}\Omega$ a hodnota $R_2 = 100\Omega$. [42], [40]



Obr. 28. Schéma merania odporu vedenia [40]



Obr. 29. Hrot (dolu) používaný na skenovanie v porovnaní so 0,7 mm injekčnou ihlou (hore)

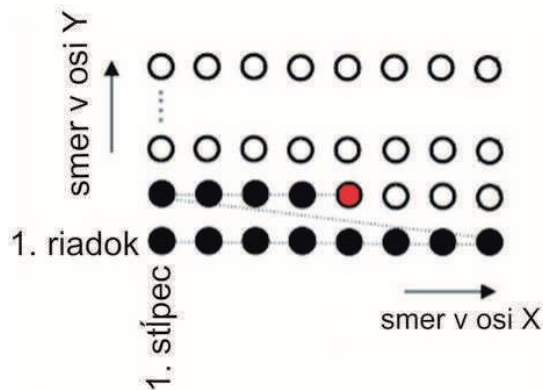
5.1.4.2 Skenovanie

Zostavený systém posuvov slúži na trojrozmerný pohyb v osiach X, Y a Z. V smere Z-ovej osi sa pohybuje vzorka smerom k stacionárnemu hrotu. V X-ovej a Y-ovej osi sa vzorka premiestňuje medzi jednotlivými bodmi skenovacieho rastra. Detailnosť a presnosť výsledku závisí na počte bodov rastra ako aj na jemnosti približovacieho kroku. Čím väčší počet bodov v rastrovi a zároveň menší približovací krok, tým je výsledok detailnejší, ale na druhú stranu narastá doba skenovania. Z daného dôvodu je dôležité zvoliť adekvátnu veľkosť krokov tak, aby boli dosiahnuté optimálne výsledky. [40]

5.1.4.3 Skenovací raster

Vyššie spomenuté skenovanie sa vykonáva v pravidelnom rastrovi. Sieť bodov vytvára vzájomná poloha vzorky a hrotu. Pri skenovaní sa najprv vykonáva posuv medzi

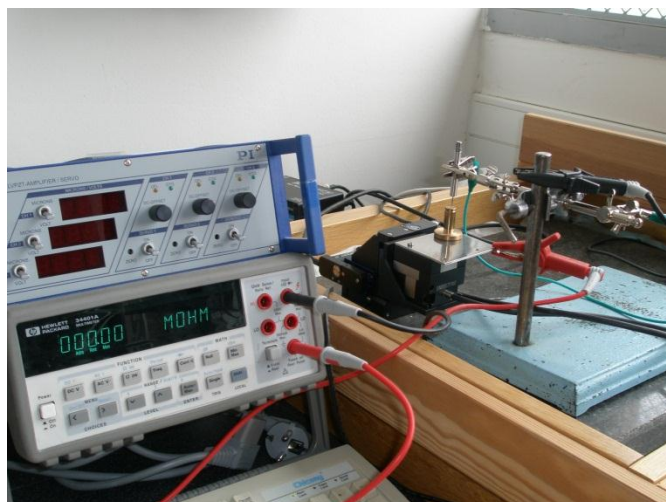
jednotlivými bodmi v prvom riadku, v smere X-ovej osi. Po dokončení zadaného počtu bodov riadka sa hrot premiestni na začiatok nového riadka a celý proces sa opakuje až pokým program takto nezmeria všetky zadané riadky rastra. [40]



Obr. 30. Skenovací raster [40]

5.1.4.4 Program pre riadenie a zber dát

Program bol vytvorený v prostredí Matlab a skladá sa z troch vzájomne previazaných cyklických funkcií. Prvá funkcia zabezpečuje pohyb v riadku v smere osi X, druhá v stĺpci v smere osi Y a tretia zabezpečuje kontakt medzi vzorkou a hrotom v smere osi Z. Ak nastane kontakt vzorky a hrotu, program vypíše aktuálne súradnice jednotlivých posuvov v tvare „{hodnota X, hodnota Y, hodnota Z}“. Tieto dáta sú neskôr použité v programe Mathematica, ktorý slúži na ich vizualizáciu. Po zapísaní aktuálnych dát sa vzorka oddiaľuje až na základnú hodnotu a posúva sa na ďalší bod riadka. Po dokončení daného riadka prechádza na začiatok nového. Po naskenovaní všetkých bodov rastra sa vzorka oddiali od hrotu a meranie je ukončené. [42]



Obr. 31. Systém skenovacej mikroskopie

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

6 ZAMERANIE PRAKTICKEJ ČASTI DIPLOMOVEJ PRÁCE

V praktickej časti tejto práce sú pomocou systému skenovacej mikroskopie vizualizované nábojnice, ktoré boli vystrelené z pištoľí Glock 17. Z každej z troch typovo rovnakých zbraní boli vystrelené tri nábojnice. Nie je však známe, aké bolo časové rozpätie medzi výstrelmi v rámci jednej zbrane. Pomocou vytvoreného systému skenovacej mikroskopie boli naskenované odtlačky úderníkov, ktoré sa nachádzajú v zápalke náboja. Zozbierané dáta boli vizualizované v programe Mathematica 8.

Pri komunikácií so servomotormi sú zadávané hodnoty posuvov v relatívnych jednotkách - krokoch. Pre zrozumiteľnosť získaných dát je nutný ich prepočet na jednotky metrickej sústavy. Vzájomný vzťah bol experimentálne dokázaný študentom Jozefom Koudělkom v jeho bakalárskej práci, 1 krok = 0,02 μm . [40, s. 46]

Všetky nábojnice boli naskenované približne rovnakým počtom rastrových bodov, v rozmedzí od 7000 – 8000b. Rozmery medzi jednotlivými bodmi rastra boli 20 μm (1000 krokov), približovanie vzorky smerom k hrotu bolo stanovené na 4 μm (200 krokov). Skenovania trvali približne 42 až 48 hodín. Na niektorých vizualizáciách je možné vidieť artefakty skenovania, ktoré sa prejavujú špičkami v kladnom alebo zápornom smere Z-ovej osi. Spôsobujú ich rôzne nečistoty, ktoré zamedzujú vodivému kontaktu medzi vzorkou a stacionárnym hrotom. V prípade artefaktov, ktoré značne degradovali zobrazenie úderníkovej jamky, bolo nutná ich eliminácia. Hodnota Z-ovej súradnice bodu artefaktu, bola nahradená priemernou hodnotou vypočítanou z ôsmich okolitých bodov.

Jednotlivé zbrane boli označené číslami 1, 2 a 3, vystrelené nábojnice boli označené rovnako. Výsledné vizualizácie sú reprezentované ako dvojica čísel X.Y, kde X znamená číslo zbrane a Y je číslo vystrelenej nábojnice.

6.1 Vizualizácia a analýza jednotlivých odtlačkov úderníka pištoľí Glock

17

Všetky skúmané odtlačky majú typický podlhovastý, konkávny tvar s malou okrúhlou plochou v strede dna, ktorú spôsobuje špička úderníka. Tieto, ale aj iné drobné nerovnosti a plôšky, sú výsledkom individuálneho opotrebenia každého úderníka, preto by mali byť na každej zbrani jedinečné a tým pádom významné pri individuálnej identifikácii zbrane.

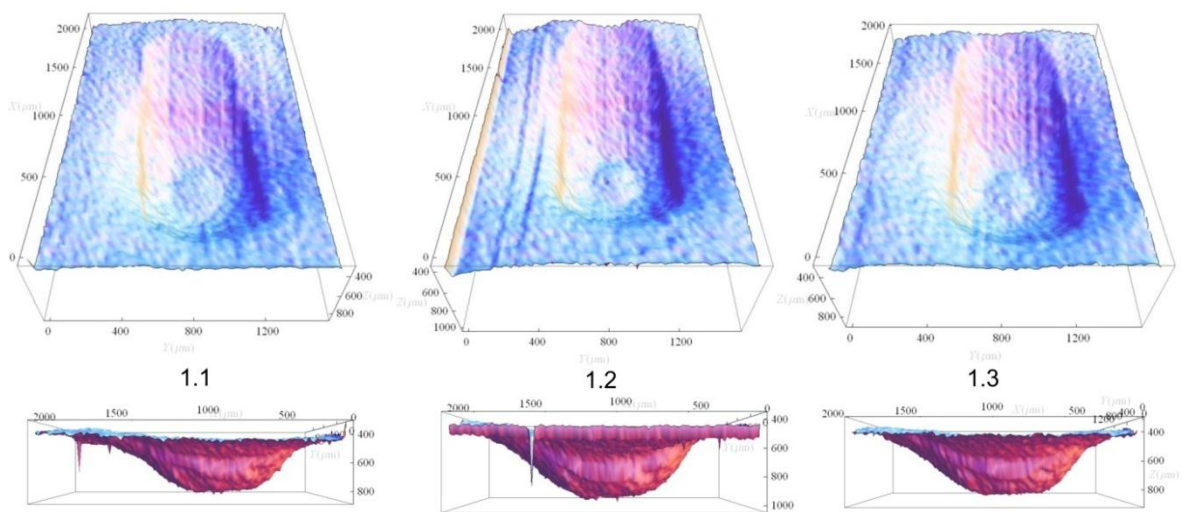


Obr. 32. Špička úderníka pištole Glock 17

Z dostupnej literatúry bolo zistené, že tvary odtlačkov sa môžu mierne líšiť i keď pochádzajú z rovnakej zbrane, na druhej strane si však zachovávajú detaily, ktoré sú pre danú zbraň typické. Tento fakt je možné vidieť aj v sériách naskenovaných odtlačkov úderníka. Veľmi dôležitou stopou v prípade pištole Glock sú ryhy spôsobené relatívnym pohybom medzi dvoma povrchmi, teda zápalkou a úderníkom. Táto významná stopa však nemohla byť pomocou skenovacej mikroskopie zachytená z dôvodu veľkosti špičky skenovacieho hrotu, ktorá je príliš veľká na zachytenie jemných detailov rýh.

6.1.1 Odtlačky vytvorené zbraňou č. 1

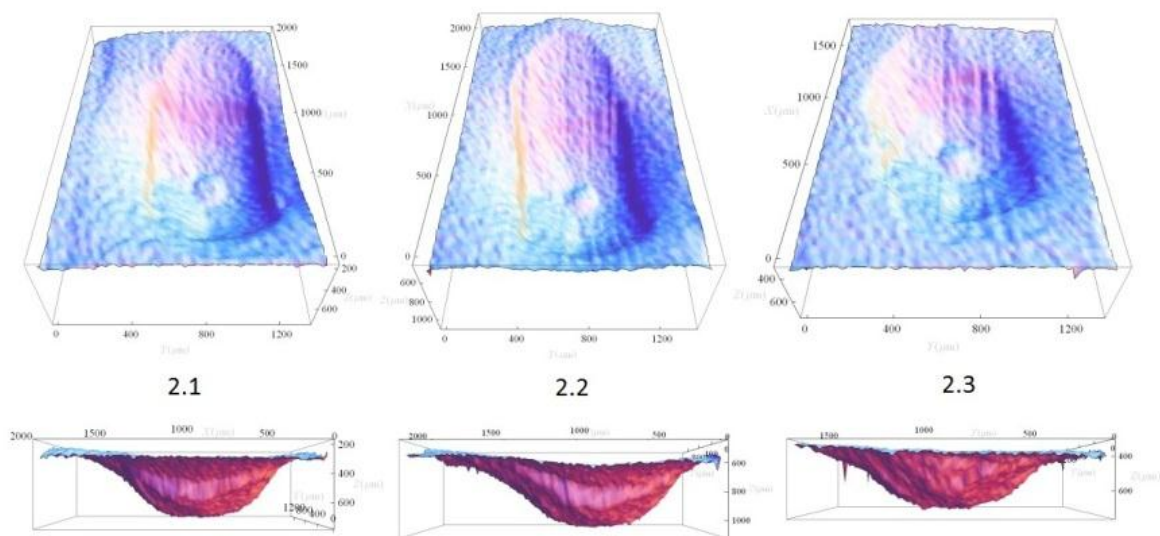
Odtlačky úderníka z prvej zbrane sa vyznačujú typickým podlhovastým tvarom ako aj malou okrúhlou plochou na dne. Na ľavo od tejto plochy je možné vidieť určitú jemne vystúpenú nerovnosť, ktorá sa vyskytuje vo všetkých nábojniciach. Pri pohľade z ľavého boku na odtlačky je možné vidieť ich zhodný tvar. Rozdiely je možné vidieť na nábojnici 1.2, ktorá sa vyznačuje o niečo väčšou hĺbkou ako ostatné, čo môže byť spôsobené mnohými faktormi ako napríklad silou úderu úderníka, zalisovaním zápalky, polohou náboja v nábojovej komore a pod. Tieto faktory mohli takisto ovplyvniť aj tvar odtlačku nábojnice 1.1, do ktorej úderník udel akoby pod iným uhlom než v prípade ostatných.



Obr. 33. Vizualizácie odlačkov úderníka prvej zbrane, pohľad spredu a zľava

6.1.2 Odtlačky vytvorené zbraňou č. 2

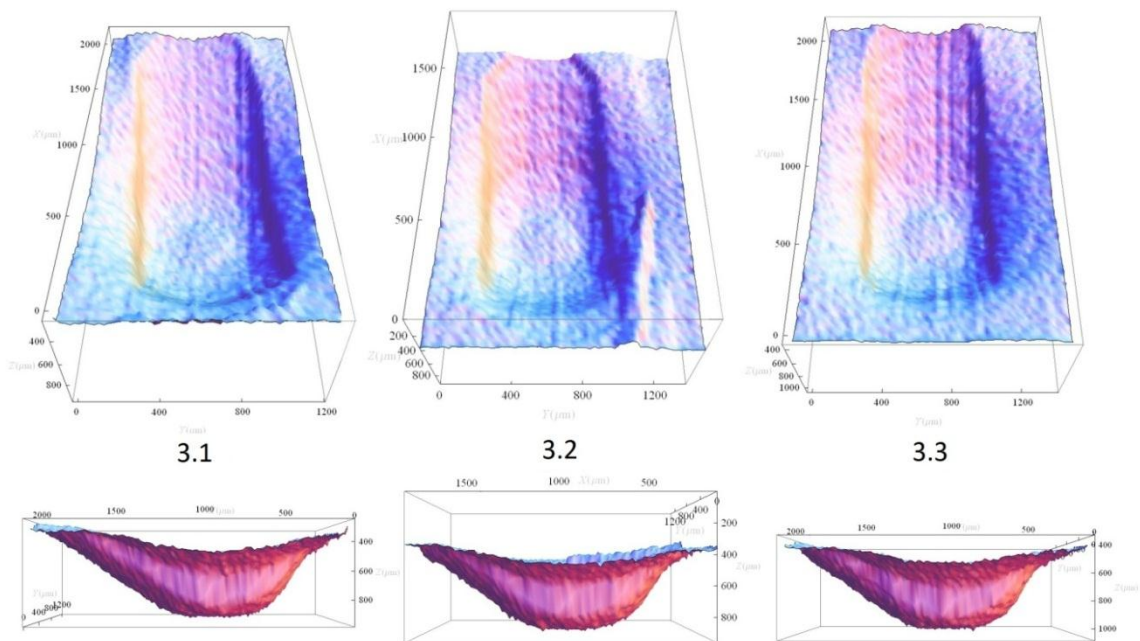
Odtlačky zo zbrane č. 2 tvarovo zodpovedajú predchádzajúcim, rozdiel je možné vidieť v prípade nábojnice 2.3, ktorej odtlačok je značne zdeformovaný. Na druhej strane je však nositeľom rovnakých markantov ako ostatné nábojnice. Tieto markanty je možné vidieť na dne odlačku v podobe okrúhleho vystupujúceho stredu, ktorý v spojení s dvoma plochami na ľavo predstavuje dôležitú a jasnú stopu, ktorá môže byť veľmi nápomocná pri stotožnení zbrane. Hĺbka v prípade nábojníc 2.1 a 2.2 je rovnaká, v nábojnici 2.3 je približne o 100 μm menšia, čo môžu mať na svedomí mnohé už predtým spomínané faktory.



Obr. 34. Vizualizácie odlačkov úderníka druhej zbrane, pohľad spredu a zľava

6.1.3 Odtlačky vytvorené zbraňou č. 3

Celkový tvar odtlačkov z tejto zbrane je samozrejme korešpondujúci s predchádzajúcimi. Odtlačky sú navzájom rovnaké, či už tvarom, hĺbkou alebo vystupujúcou plochou na dne. Zaujímavý a nevysvetliteľný znak je možné vidieť na nábojnici 3.2 v podobe vystúpeného pásu tiahnuceho sa na pravej strane odtlačku. Pri optickom pozorovaní nebol tento znak spozorovaný, takže nebolo možné určiť jeho pôvod.



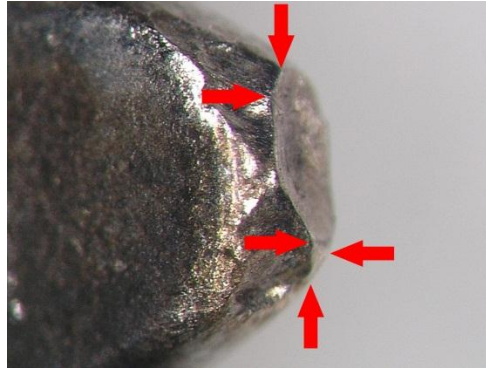
Obr. 35. Vizualizácie odtlačkov úderníka tretej zbrane, pohľad spredu a zľava

6.1.4 Celkové porovnanie nábojníc

Všetky nábojnice vystrelené zo zbraní Glock 17 majú charakteristický obdĺžnikový tvar, ktorý svojou hĺbkou pripomína trup lode. Každá séria nábojníc je nositeľom typických znakov, ktoré ich odlišujú od ostatných. Prvá séria sa vyznačuje stredne veľkou vystúpenou plochou na dne odtlačku ako aj drobnou nerovnosťou na jej ľavej strane. Druhá séria sa vyznačuje malou vystúpenou plochou na dne, ale v spojení s plochami na ľavo predstavuje jasný znak patriaci len jednej zbrani. Tretiu sériu predstavujú odtlačky, ktoré disponujú najväčšou stálosťou tvaru a znakov. Typickým znakom je ich rovnaký tvar a pomerne veľká vystúpená plocha na dne odtlačku.

Niektoré odtlačky však disponujú aj čiarami vedúcimi v pozdĺžnom smere odtlačku. Pri opotrebovávaní úderníka vzniká na jeho špičke polygonálna plocha. Hrany a ich spoločné vrcholy, ktoré túto plochu ohraničujú, s veľkou pravdepodobnosťou samotné čiary aj

spôsobujú. Toto vysvetlenie je však len domnienkou, takisto ako aj ich vytvorenie posunom vzorky pri skenovaní, chybou pri kontakte, prachovými nečistotami v odtlačku, apod.



Obr. 36. Vrcholy plochy úderníka, ktoré môžu spôsobovať čiary v odtlačkoch

Ak by boli všetky skúmané vystrelené nábojnice pomiešané a bolo by nutné ich pomocou systému skenovacej mikroskopie priradiť k jednotlivým zbraňam, s určitou istotou je možné tvrdiť, že na základe dosiahnutých výsledkov je táto úloha stopercentne splniteľná i keď by bola časovo pomerne náročná, keďže skenovanie jednej nábojnice trvalo v priemere 45 hodín.

V kriminalistickej praxi je najdôležitejšie určenie individuálnej zhody medzi vystrelenými nábojnícami a strelnou zbraňou. V dnešnej dobe je nutné dosiahnuť minimálne rozlíšenie 3 – 5 μm , aby bolo možné zobrazit' aj drobné ryhy, ktoré sú nevyhnutné pri stotožnení zbrane. Vytvorené vizualizácie majú najmenší rozlišovací krok rastra 20 μm , čo je pri individuálnej identifikácii nedostačujúce.

Ak by sme chceli dosiahnuť rozlíšenie vhodné na stotožnenie zbrane, bude meranie limitované dvoma faktormi. Prvý faktor je čas, ktorý sa pri skenovaní s rozlíšením 5 μm (200 krokov) a citlivosťou približovania vzorky 1 μm (50 krokov) bude rádovo pohybovať v týždňoch. Druhý faktor je skenovací hrot, ktorého špička je príliš hrubá na to, aby mohla zachytiť takéto jemné detaily. Z toho vyplýva, že individuálna identifikácia so súčasným stavom skenovacieho systému je prakticky nemožná. Určenie skupinovej príslušnosti by bolo možné v prípade, že by boli spolu so odtlačkom úderníka zobrazené aj iné stopy na nábojnici, ako napríklad stopa po vyťahovači a iné. Na základe vytvorených vizualizácií je možné posúdiť iba tzv. druhovú zhodu.

6.2 Optická metoda identifikácie

Pomocou vytvorenej skenovacej mikroskopie nebolo možné zobrazit' jemné detaily rýh, ktoré patria medzi najdôležitejšie stopy na vystrelených nábojniciach. Na porovnávanie týchto stôp bola využitá optická mikroskopia, ktorej zväčšenie poskytlo dostačujúce detaily na určenie zhody ryhovaní. Všetky skúmané vzorky boli zdokumentované digitálnym fotoaparátom a po úprave použité v nasledujúcej časti.

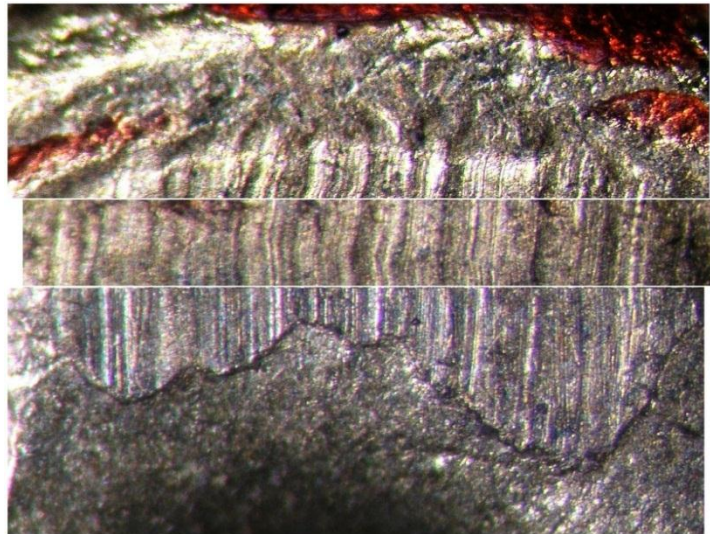
Na optické porovnávanie stôp úderníka na nábojniciach bol využitý optický stereomikroskop od firmy Olympus, dostupný v jednom z univerzitných laboratórií. Stereomikroskop umožňuje 8 až 56-násobné zväčšenie. Na analýzu bolo vo väčšine prípadoch využité maximálne (x56) zväčšenie. Pri pozorovaní s maximálnym priblížením je nevýhodou mikroskopu relatívne malá hĺbka ostrosti, takže je možné súvislé pozorovanie len rovinných predmetov. Tento jav je ešte vo väčšej miere viditeľný pri zachytení snímaného obrazu integrovaným digitálnym fotoaparátom. Pri zázname snímok veľmi pomáhalo osvetlenie mikroskopu, ktoré umožňuje nastavenie rôznych intenzít a polôh osvetlenia. Získanými zmenami svetelných podmienok bolo možné vidieť detaily rýh na nábojnici, ktoré boli vytvorené relatívnym pohybom medzi úderníkom a zápalkou náboja.

6.2.1 Ryhy na nábojnici

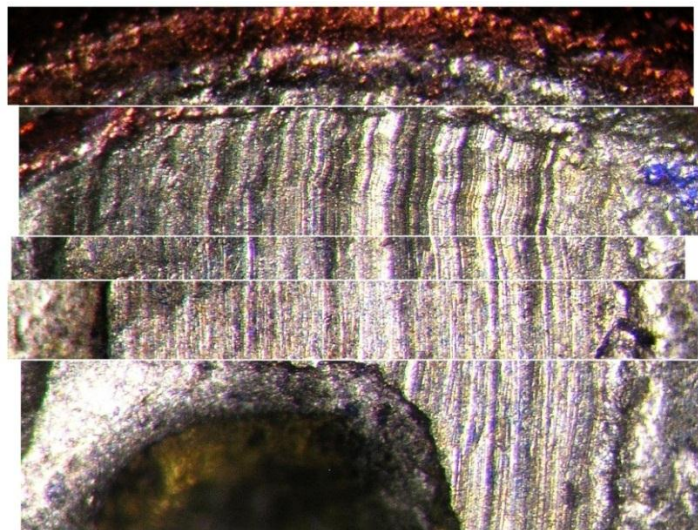
Ryhy na nábojnici vznikli relatívnym pohybom medzi dvoma povrchmi, v tomto prípade úderníkom a zápalkou. Vonkajší tvar a veľkosť plochy, na ktorej sa nachádzajú ryhy, sú odlišné pri jednotlivých nábojniciach i keď boli vystrelené z rovnakej zbrane. Avšak detaily rýh a škrabancov zostávajú rovnaké a nemenné v priebehu mnohých výstrellov. Pištoľ Glock 17, z ktorej boli skúmané nábojnice vystrelené, zanecháva typický obdĺžnikový tvar odtlačku úderníka. Ryhy sa nachádzajú navzájom proti sebe na okraji vytvorenej jamky. Pri analyzovaní bola použitá horná časť odtlačku rýh z dôvodu väčšej stálosti rozmerov plochy, na ktorej sa nachádzajú.

Nábojnice boli pozorované a zdokumentované pri zväčšení x56. Boli zaznamenané pri rôznych uhloch dopadajúceho svetla, aby bolo možné vidieť všetky detaily rýh. Následne boli v grafickom programe jednotlivé zhodné snímky vzájomne skombinované, aby bolo možné zobrazit' čo najväčšie množstvo detailov. Ďalším procesom bola kombinácia nábojníc z rovnakej zbrane a vytvorenie kvázi referenčnej nábojnice. Touto metódou bolo

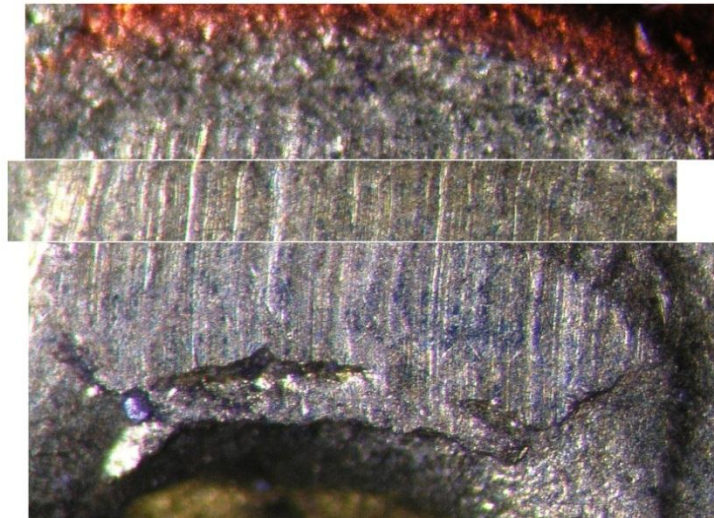
empiricky dokázané, že nábojnice vystrelené z rovnakej zbrane majú rovnakú stopu ryhovania.



Obr. 37. Zhodné stopy ryhovania vytvorené prvou zbraňou

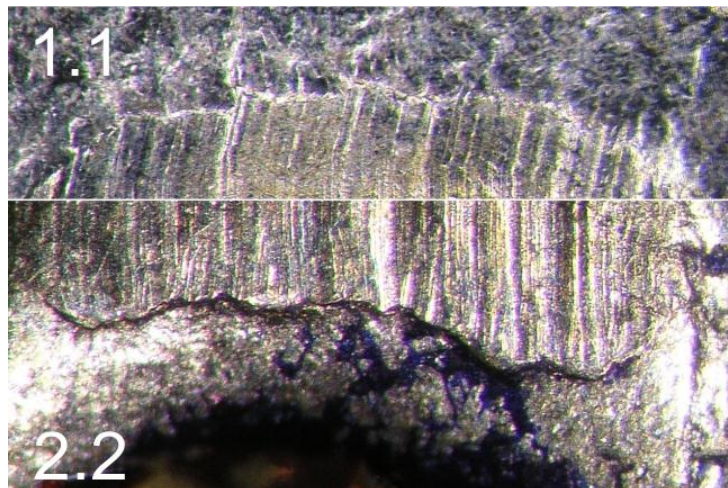


Obr. 38. Zhodné stopy ryhovania vytvorené druhou zbraňou



Obr. 39. Zhodné stopy ryhovania vytvorené treťou zbraňou

Ďalej bola zisťovaná aj vzájomná zhoda medzi všetkými nábojnicami. Táto metóda vychádza z už získaných skombinovaných fotografií, na ktorých bolo ryhovanie vodorovnou čiarou rozdelené na dve časti, vrchnú a spodnú. Celkovo teda vzniklo 18 snímok, ktoré boli vzájomne kombinované a porovnávané, vrchné časti so spodnými a naopak. Táto metóda mala simulovať porovnávanie komparačným mikroskopom. Výsledok potvrdzuje teoretické poznatky, čo znamená, že nebola nájdená žiadna zhoda medzi nábojnicami vystrelenými s rôznych zbraní.



Obr. 40. Príklad dvoch nezhodných ryhovaní z dvoch rozdielnych zbraní

6.3 Výhody a nevýhody použitej skenovacej mikroskopie

Medzi výhody skenovacej mikroskopie patria:

- *Vysoká presnosť a jemnosť pohybu* – vďaka vysokej citlivosti a jemnosti pohybu, rádovo v stotínach μm , je tento systém vhodný nie len v skenovacej mikroskopii, ale napríklad aj v metrológii a iných aplikáciách.
- *Jednoduché ovládanie a konfigurácia celého systému* – celý systém je riadený algoritmom, v ktorom sa jednoducho zadávajú počty bodov rastra, ich vzájomné medzery a hodnota približovacieho kroku. V prípade nového algoritmu je navyše potrebné pevné nastavenie hodnoty, o ktorú sa posunie vzorka pri prechode medzi bodmi rastra. Táto hodnota by mala vyplývať z konkrétneho skúmaného povrchu a jeho nerovností.

Medzi nevýhody systému patria:

- *Časová náročnosť skenovania*
- *Skenovací algoritmus - posuv po vyhodnotení kontaktu*
- *Skenovací hrot*
- *Možnosť skenovania len vodivých vzoriek*

6.3.1 Časová náročnosť skenovania

V prípade skenovania nábojníc bolo nutné zvoliť adekvátne veľký skenovací raster, ktorý pokryje celú záujmovú oblasť, vybrať vhodné rozlíšenie, teda počet bodov skenovacieho rastra a ich vzájomné vzdialenosti a samozrejme zvoliť aj primeranú veľkosť približovacieho kroku smerom k skenovaciemu hrotu. Všetky vyššie spomenuté faktory spolu s morfológickými vlastnosťami povrchu vplyvajú na celkovú dĺžku skenovania.

Aby bolo možné dosiahnuť optimálny výsledok vhodný na ďalšiu analýzu, musel skenovací raster pozostávať približne z 8000 bodov, ktoré mali vzájomnú vzdialenosť 1000 krokov (20 μm). Približovací krok bol stanovený na hodnotu 200 krokov (4 μm). Dĺžka merania sa pri takto definovaných parametroch pohybovala okolo 45 hodín. Ak by sa zmenšila vzájomná vzdialenosť bodov na polovicu, teda z 1000 na 500 krokov (10 μm) a zároveň by sa zmenšil o polovicu aj približovací krok (2 μm), tak by sa dĺžka merania predĺžila približne na úroveň 168 hodín.

Skúmaný odtlačok úderníka nie je rovinný, jeho hĺbka sa v nábojniciach pohybuje okolo 500 μm . Práve skenovanie hĺbky (pohyb v Z-ovej ose) odtlačku zaberá v zobrazovacom

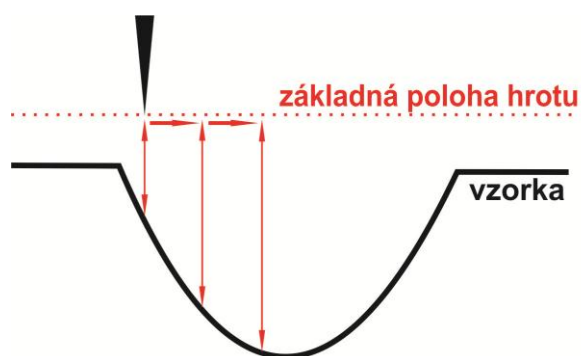
procesu najviac času. Spôsobuje to najmä jemnosť kroku v tomto smere, ktorá je nevyhnutná pri zobrazení rozdielov povrchu, ako aj riadiaci, vyhodnocovací program.

6.3.2 Skenovací algoritmus – posuv po vyhodnotení kontaktu

Riadiaci program bol vytvorený vo vývojovom prostredí MatLab i keď k ovládaniu mikromotorov bol dodaný užívateľský software. Ten však nebol pre danú aplikáciu dostatočne flexibilný, vzhľadom na nemožnosť vytvárania podmienok posuvov na základe vyhodnotených dát z multimetra.

Program je využitý na ovládanie servomotorov a zozbieranie nameraných dát. Jednoducho sa v ňom definuje počet bodov rastra, ich vzájomná vzdialenosť a krok posuvu smerom k hrotu.

Nevýhodou však predstavuje návrat posuvu v Z-ovej ose do pôvodnej polohy po pozitívnom vyhodnotení kontaktu. Znamená to, že v prípade vyhodnotenia kontaktu sa vzorka vráti do základnej polohy („0“), potom nastane posun v danom riadku na ďalší bod, prípadne nový riadok a začína sa meranie nového bodu. Práve vrátenie vzorky do základnej polohy a meranie ďalšieho i keď takmer rovnako položeného bodu má za následok predĺženie celkovej doby skenovania. Ďalšou nevýhodou tohto algoritmu je narastajúca nepresnosť, ktorá je priamoúmerná počtu vykonaných krokov. Teda, čím viac krokov je nutné vykonať na zmeranie bodu, tým bude väčšia aj nepresnosť. Tento fakt je viditeľný hlavne v Z-ovej osi a prejavuje sa ako členitosť i relatívne hladkého povrchu.

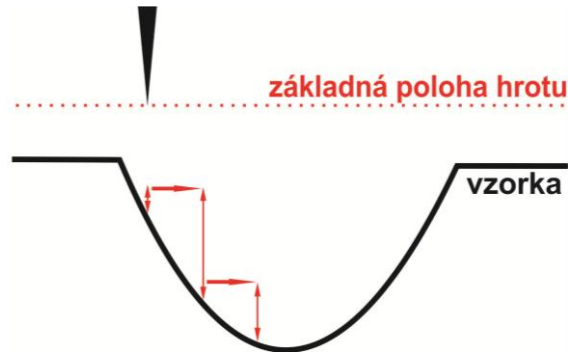


Obr. 41. Súčasný postup vzorky pri skenovaní

6.3.2.1 Nový algoritmus skenovania

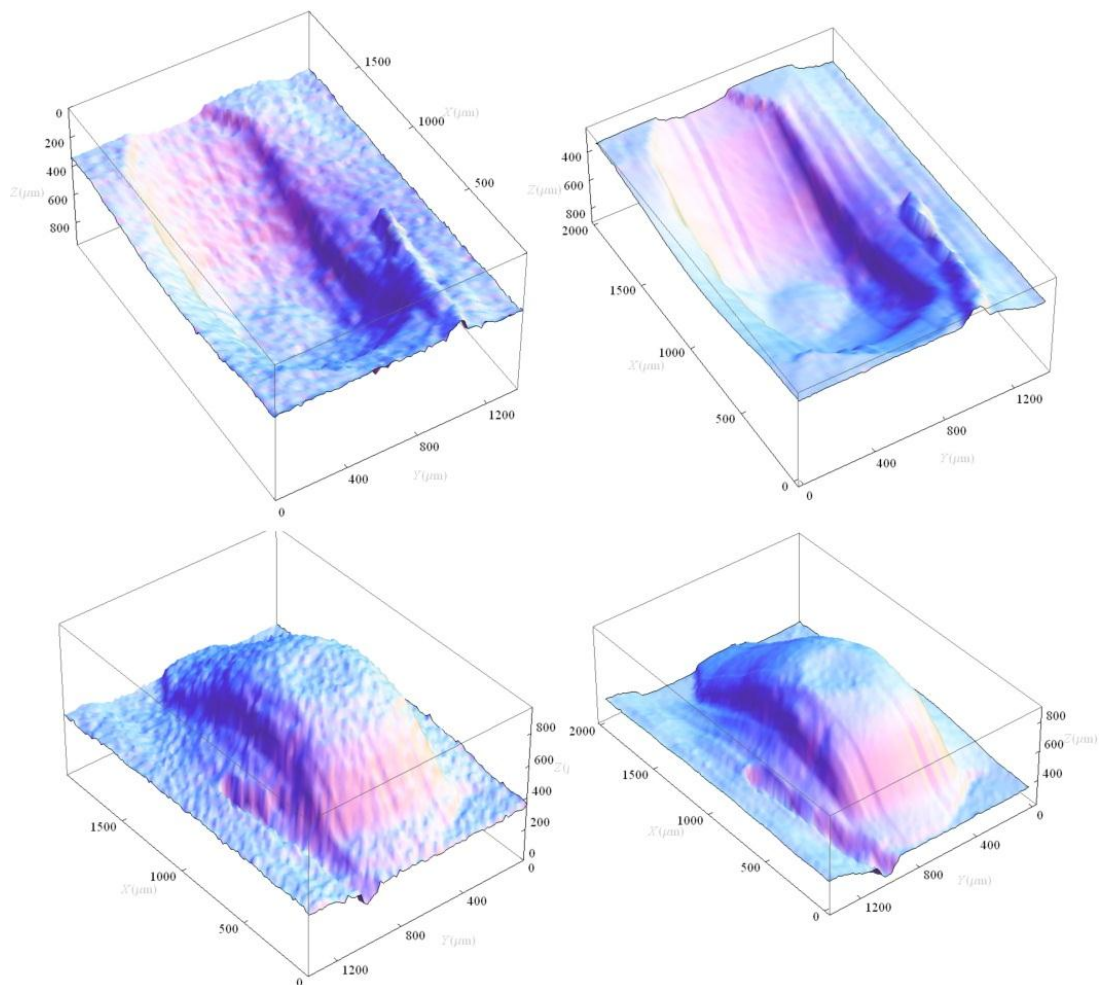
Aby bolo možné zefektívniť skenovací proces, bolo nutné pozmeniť skenovací algoritmus. Hlavným dôvodom zmeny bola celková časová náročnosť skenovania ako aj eliminácia nepresností vznikajúcich zbytočným vrátením vzorky do pôvodnej polohy.

Vytvorený algoritmus funguje tak, že po odmeraní niektorého z bodov sa vzorka posunie nie do základnej polohy, ale len o určitú pevne stanovenú hodnotu tak, aby sa mohla bez kolízie s hrotom presunúť na ďalší bod riadka.



Obr. 42. Postup vzorky pri novom skenovacom algoritme

Zmenený algoritmus bol skúšaný na jednej nábojnici, ktorá bola za rovnakých podmienok skenovaná oboma algoritmami. Starým algoritmom trvalo skenovanie približne 40 hodín, pomocou nového algoritmu bola nábojnica skenovaná približne 18 hodín, navyše sa však podarilo eliminovať aj nepresnosti spôsobené starým algoritmom. Nový algoritmus poskytuje oveľa presnejšiu informáciu o morfológii povrchu, pretože sa medzi skenovanými bodmi nevracia vzorka do pôvodnej polohy, ale posúva sa len o krátku vzdialenosť, na ktorej sa neprejavia nepresnosti v takej miere. Takéto zobrazenie je bez nerovností a znázorňuje skutočný povrch odtlačku úderníka.



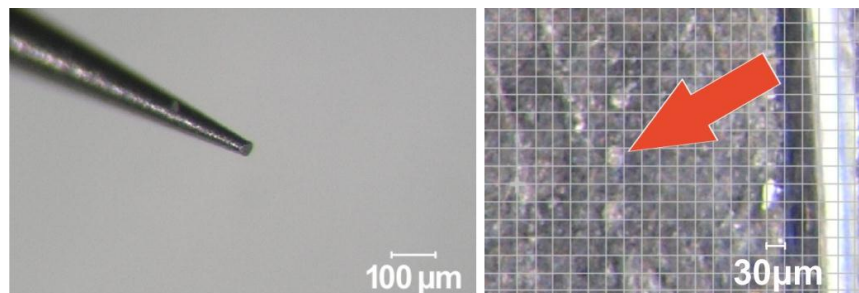
Obr. 43. Porovnanie vizualizácií odtlačkov úderníka na jednej nábojnici, starý algoritmus (vľavo) a nový algoritmus (vpravo)

6.3.3 Skenovací hrot

Veľmi dôležitou časťou pri skenovaní vzoriek je stacionárny hrot. Hlavné požiadavky nevyhnutné na zodpovedajúce zobrazenie skúmanej štruktúry znamenali vytvorenie najmenej novej styčnej plochy hrotu a vyhotovenie mechanizmu, ktorý by zabráňoval poškodeniu vzorky alebo samotného hrotu.

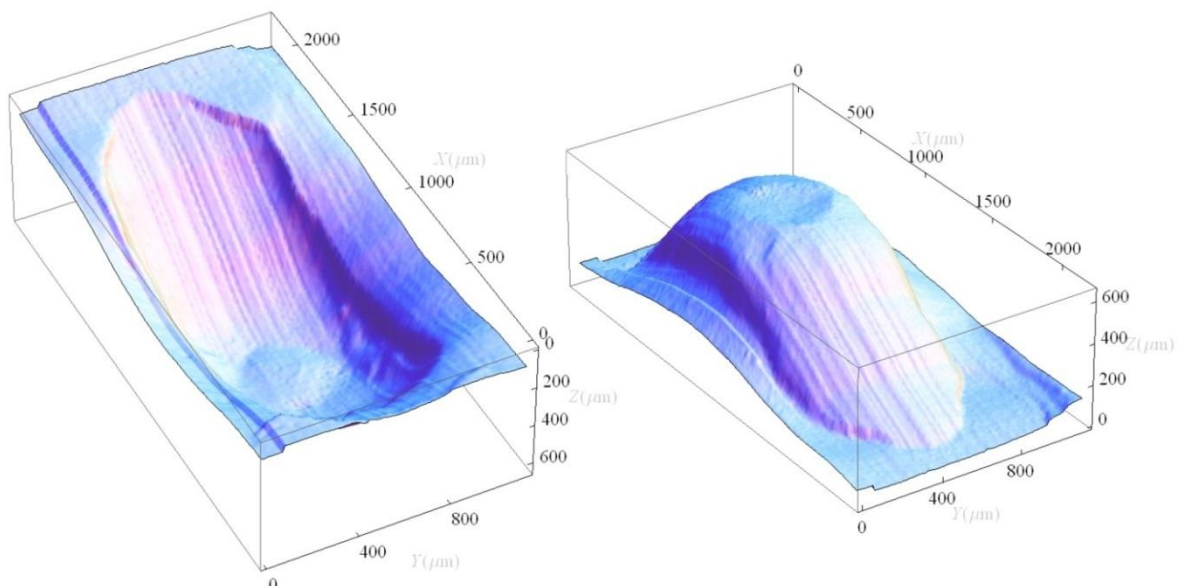
Hrot bol vytvorený špeciálne na skenovanie nerovinných povrchov, teda na skenovanie odtlačkov úderníka v zápalke náboja. Vyznačuje sa úzkym tvarom a veľmi malou plochou špičky, ktorej veľkosť bola pomocou stereomikroskopu a príslušného software-u stanovená na 30 μm . Veľkosť plochy špičky je dôležitá pri stanovení minimálnej vzdialenosti medzi bodmi skenovacieho rastra. Podľa aplikácie Shannon-Kotelnikovho teorému, by mala byť vzájomná vzdialenosť bodov rastra minimálne dvojnásobne väčšia ako je plocha špičky

hrotu. V tomto prípade to znamená, že by minimálna vzdialenosť medzi bodmi rastra mala byť $60\ \mu\text{m}$ (3000 krokov), ak by bola plocha hrotu kolmo vzhľadom ku skenovanej vzorke.

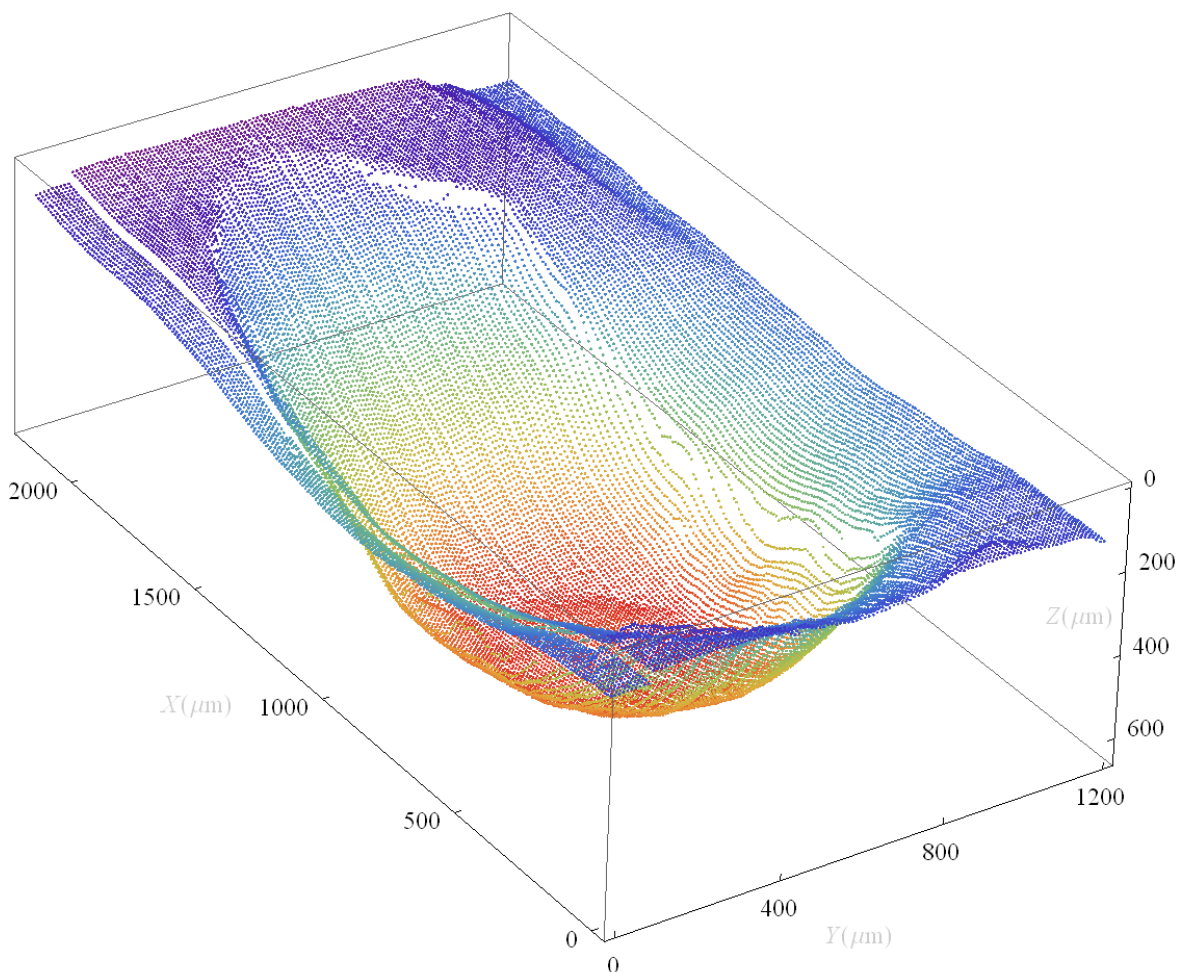


Obr. 44. špička hrotu a jej odtlačok

Prakticky bolo ale dokázané, že skenovanie je možné aj v rozlíšení $10\ \mu\text{m}$ (500 krokov). To znamená, že špička hrotu nie je rovnobežne s povrchom vzorky, ale pod určitým uhlom, takže sa nedotýka vzorky celou plochou, ale len jej hranou. V tomto prípade môže byť skutočná plocha kontaktu niekoľkonásobne menšia ako hodnota zistená pomocou optickej mikroskopie. Nasledujúci obrázok bol naskenovaný novým algoritmom s rozlíšením rastra $10\ \mu\text{m}$ (500 krokov) a približovacím rozlíšením $2\ \mu\text{m}$ (100 krokov). Meranie trvalo približne 70 hodín a obsahovalo 26400 rastrových bodov.



Obr. 45. Vizualizácia odtlačku nábojnice 3.3 s rozlíšením $10\ \mu\text{m}$



Obr. 46. Zobrazenie jednotlivých bodov skenovacieho rastra nábojnica 3.3

Ak pri fyzickom kontakte hrotu a vzorky nedôjde k detekcii zmeny odporu, posúva servomotor neustále vzorku proti hrotu. Ak by bol hrot pevne uchytený, mohlo by v tomto prípade dôjsť k jeho poškodeniu alebo k poškodeniu vzorky. Z tohto dôvodu bol hrot umiestnený v pevne uchytenom vodiacom puzdre, ktoré umožňuje hrotu voľný pohyb vo vertikálnom smere a eliminuje tak prípadné škody. Dôležité je zabezpečiť, aby sa hrot v puzdre vrátil vždy do rovnakej polohy, pretože inak by bol výsledok značne skreslený a nepoužiteľný.

6.3.3.1 Nevýhody skenovacieho hrotu

Najväčšou nevýhodou skenovacieho hrotu je jeho špička, ktorá je príliš široká na dosiahnutie detailov, ktoré by viedli k individuálnej identifikácii zbrane. V súčasnej kriminalistickej balistike je potreba získania rozlíšenia 3 - 5 μm , ktoré by v tomto prípade muselo byť reprezentované vzdialenosťami medzi jednotlivými bodmi rastra.

6.3.4 Skenovanie vodivých vzoriek

Pomocou vytvorenej skenovacej mikroskopie je možné skenovať iba vodivé vzorky, pretože táto metóda detekuje pokles odporu vo vedení, čo znamená kontakt vzorky s hrotom. V prípade skenovania nevodivých štruktúr by museli byť využité iné fyzikálne princípy ako pri tejto mikroskopii. Príkladom je použitie piezoelektrickej metódy a metódy elektromagnetickej indukcie, ktoré však pri skenovaní nedosahovali požadovanú kvalitu zobrazenia. [42]

6.4 Budúce využitie systému skenovacej mikroskopie

V prípade analyzovania nábojníc pomocou systému skenovacej mikroskopie bolo dokázané, že je možné túto metódu využiť v zobrazení povrchu odtlačku úderníka i keď s nedostatočným rozlíšením vhodným pre kriminalistickú prax. Najväčším problémom skenovania je práve jeho časová náročnosť, ktorá degraduje efektívnosť tejto metódy. Dovolím si tvrdiť, že pomocou nového skenovacieho algoritmu bolo v tomto smere dosiahnuté maximum a nie je možné už ďalšie časové skrátenie. Ak by sa na skenovanie použilo viacero hrotov, prípadne jedna línia vedľa seba umiestnených pružných sond, ktoré by kopírovali povrch a bola by detekovateľná ich zmena ohnutia spôsobená štruktúrou vzorky, tak verím, že je možné tento čas ešte skrátiť. Na druhej strane si však len ťažko viem predstaviť technické riešenie takto náročného systému.

Odporúčam využitie tohto systému v metrológii, pretože mikroposuvy disponujú veľmi presným a stabilným krokováním, ktorého jednotky je po prevode možné definovať aj v metrickej systéme. Prípadne by bolo vhodné rozvíjať aj možnosť presnej modifikácie povrchu materiálov alebo mikroopracovávanie.

ZÁVER

Hlavným cieľom kriminalistickej balistiky je spojiť stopy nájdené na mieste činu so zbraňou, ktorá ich vytvorila, tzv. stotožnenie zbrane. Experti analyzujúci vytvorené stopy na strelách a nábojniciach pomáhajú tento cieľ naplniť aj s pomocou rôznych zariadení, či už sú to komparačné mikroskopy alebo vyspelé automatizované balistické systémy.

V tejto práci bol testovaný experimentálny, čiastočne automatizovaný systém skenovacej mikroskopie a jeho využitie v analýze jednej z hlavných stôp vytvorených výstrelom na nábojnici a to odtlačkov úderníka zbrane. Z troch zbraní typu Glock 17 boli vystrelené tri nábojnice, ktoré poslúžili ako vzorky. Tie boli pomocou skenovacej mikroskopie naskenované za účelom potvrdenia teoretických poznatkov týkajúcich sa zhodnosti markantov vytvorených jednou zbraňou, na druhej strane aj rozdielností medzi jednotlivými zbraňami. Navyše boli zisťované aj limitné schopnosti realizovaného skenovacieho systému.

Empiricky bolo dokázané, že pomocou tejto skenovacej mikroskopie je možné zobrazit' odtlačky úderníka, avšak s nedostatočným rozlíšením pre kriminalistickú prax. V dnešnej dobe je vyžadované minimálne rozlíšenie 3 - 5 μm , aby bola možná individuálna identifikácia zbrane. Dosiahnuť takýto výsledok pomocou skúmaného systému by bol veľmi časovo náročný proces i keď by využíval upravený skenovací algoritmus. Čas skenovania vytvoreného systému by sa pohyboval rádovo v týždňoch. Ďalším limitom by v tomto prípade bol aj skenovací hrot, ktorého kontaktná plocha je príliš veľká a pri skenovaní v tomto rozlíšení by nespĺňala Shannon-Kotelnikov teorém, podľa ktorého by vzájomná vzdialenosť bodov rastra mala byť minimálne dvakrát väčšia ako samotná kontaktná plocha hrotu.

Skenovacia metóda sa preukázala ako neefektívna a preto si myslím, že pokračovanie v tomto smere by neprineslo lepšie výsledky. Ak by sme chceli získať lepšie výsledky, bolo by nutné skonštruovať úplne nový systém. Odporúčam rozvíjať systém mikroposuvov na aplikáciu v metrológii, prípadne v mikropracovávaní povrchov a vytváranie mikrometrových a submikrometrových štruktúr. Je možné konštatovať, že optická mikroskopia je pre vyššie uvedené aplikácie nenahraditeľná.

CONCLUSION

The main objective of forensic ballistics is to link traces found at the crime scene with a gun that created it – individual firearm identification. Experts analyzing these traces formed on the cartridge cases and projectiles help to meet this goal with the assistance of various devices, whether these are comparative microscopes or advanced automated ballistics systems.

In this thesis experimental, partly automated scanning microscopy system was tested and its application to the analysis of one of the main marks created by firing on the cartridge cases, the firing pin impressions. From three Glock 17 pistols were fired three cartridge cases, which were used as samples. These were scanned using scanning microscopy system to confirm the theoretical knowledge concerning the persistence of the marks produced by one pistol, on the other hand differences between individual pistols. In addition limits of scanning microscopy system were also determined.

It was empirically shown by using this scanning microscopy that it is able to display the firing pin impressions, but with insufficient resolution for the forensic practice. Nowadays minimal resolution of 3 -5 microns is required to enable individual firearm identification. To achieve such result with this scanning system would be very time consuming process even if it used modified scanning algorithm. Time of scanning for required resolution would be couple of weeks. Another limit in this case would be the scanning tip, whose contact area is too large for scanning in this resolution. It would not meet the Shannon-Kotelnikov theorem according to which the mutual distance of grid points should be at least twice as a single contact point area.

Scanning method has proved to be ineffective and therefore I think that the continuation in this direction would not produce better results. If we want to get better results, it would be necessary to construct a completely new system. I recommend to advance micro translation system for metrology applications or in micro machinery of surfaces and the creation of micrometric and submicrometric structures. It can be concluded that optical microscopy is for the above mentioned applications irreplaceable.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] *American Firearms Institute* [online]. 2009 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: <http://www.americanfirearms.org/history.php>
- [2] ANDERSON, James. *A Historical Perspective On Ballistics*. Canberra, 2002. Dostupné z: <http://www.pems.adfa.edu.au/~s9471553/level1/Teaching/SpecialTopics/Ballpaper.pdf>
- [3] STRAUS, Jiří. *Kriminalistická technika*. 2. rozš. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2008, 431 s. ISBN 978-807-3800-529.
- [4] PORADA, Viktor. *Kriminalistika: (úvod, technika, taktika)*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007, 309 s. ISBN 978-807-3800-383.
- [5] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Plzeň Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010, 660 s. ISBN 978-807-3800-369.
- [6] HEARD, Brian J. *Handbook of firearms and ballistics: examining and interpreting forensic evidence*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2008, 402 s. ISBN 04-706-9460-2.
- [7] KUCHYŇKA, Antonín. *Tichá smrt: tlumiče zvuku ručních palných zbraní*. Reklamní agentura D-D, 1998, 43 s.
- [8] ImageShack: media hosting company. *ImageShack* [online]. 2003 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://img184.imageshack.us/img184/7551/bulletim1.jpg>
- [9] *The Internet Pathology Laboratory for Medical Education* [online]. 1994 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://library.med.utah.edu/WebPath/TUTORIAL/GUNS/GUNBLST.html>
- [10] DI MAIO, Vincent J. *Gunshot wounds: practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c1999, 402 s. ISBN 08-493-8163-0
- [11] Gomez Training International. *Gomez Training International* [online]. 2010 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://gomez-training.com/articles/1-wound-ballistics-101/>
- [12] World Guns: Modern Firearms Ammunition. *World Guns* [online]. 1999 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://world.guns.ru/ammunition/gallery-patrons-e.html>
- [13] How Stuff Works. *How Stuff Works* [online]. 1998 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/metralhadora.htm>

- [14] Wikipedia. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://fr.wikipedia.org/wiki/Balistique_judiciaire
- [15] Wikipedia. *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berdan_vs_boxer.jpg
- [16] Gun Shop. *Gun Shop: zbrane, strelivo, optika, prebijanie streliva* [online]. 2006 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://shop.vmcustom.cz/?pg=zbrane>
- [17] CartridgeCollectors.com. INTERNATIONAL AMMUNITION ASSOCIATION. *CartridgeCollectors.com* [online]. 2001 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://cartridgecollectors.org/cmo/cmo08aug.htm>
- [18] MUSIL, Jan, Zdeněk KONRÁD a Jaroslav SUCHÁNEK. Kriminálnístika. 2., přeprac. a dopl.vyd. Praha C. H. Beck, 2004, 606 s. ISBN 80-717-9878-9.
- [19] SHARMA. Firing Pin Scrape Marks and the Identification of Firearms. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*. 2008, 365 - 367. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/1140740>
- [20] SHARMA. The Importance of Firing Pin Impressions in the Identification of Firearms. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*. 2008, 378 - 380. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/1141000>
- [21] LIN a CHEN. A correlative demonstration of various tool-marks of 9 mm auto-loading pistols on the spent cartridge cases based upon the formulation mechanism. *Forensic Science Journal*. 2004, 3., č. 1, 13 - 22. Dostupné z: <http://fsjournal.cpu.edu.tw>
- [22] Firearm Examiner Training. NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. *Firearm Examiner Training* [online]. 2010 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://www.nij.gov/training/firearms-training/module09/fir_m09_t07.htm
- [23] *AFTE Journal: Toolmark Reproducibility on Fired Bullets and Expended Cartridge Cases*. Illinois: AFTE Journal, 2008, 40., 1. Dostupné z: www.afte.org
- [24] CORK, ROLPH, MEIERAN a PETRIE. *Ballistic imaging*. 2nd printing with corr. Washington, DC: National Academies Press, 2008. ISBN 03-091-1724-0. Dostupné z: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12162
- [25] Microscope International. NEW YORK MICROSCOPE CO. [online]. 2011 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://microscopeinternational.com/>
- [26] The Gun Zone. *The Gun Zone* [online]. 2004 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.thegunzone.com/glock/casehead-comp.html>

- [27] Laboratory Imaging. LABORATORY IMAGING S.R.O. *Laboratory Imaging: Imaging pro kriminalisty* [online]. 2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: http://www.lim.cz/files/File/forensic/files/Brochures/Other/3D_Scanning_cze.pdf
- [28] *Kriminalistika: časopis pro kriminalistickou teorii a praxi*. Praha: Odbor vydavatelství a tisku MV ČR, 2005, roč. 2005, č. 1. ISSN 1210-9150. Dostupné z: http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/casopisy/kriminalistika/2005/01/planka_info.html
- [29] KOLEKTÍV AUTOROV. *Moderná mikroskopia a digitálne spracovanie obrazu*. Bratislava, 2008. ISBN 978-80-89186-37-2. Dostupné z: www.mikroskopia.sk/materials/skripta_mikroskopia.pdf str. 7
- [30] MIKŠ, Antonín. *Mikroskopy: Mikroskopické metody*. [online]. [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.mikroskop-mikroskopy.cz/mikroskopicke-metody/>, NIKON. *Základní metody světelné mikroskopie*. Brno, 2004. Dostupné z: http://www.are.cz/documents/ZAKLADNI_METODY_SVETELNE_MIKROSKOPIE.pdf
- [31] MURPHY, Douglas B. *Fundamentals of light microscopy and electronic imaging*. New York: Wiley-Liss, c2001, 368 s. ISBN 04-712-5391-X
- [32] Liquidarea.com. *Liquidarea.com* [online]. 2009 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.liquidarea.com/2009/07/arriva-cellscope-per-diagnosi-col-cellulare/>
- [33] Olympus. OLYMPUS. *Olympus: Your Vision, Our Future* [online]. 2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.olympus.co.jp/jp/news/2003b/nr030930sxx7trj.cfm>
- [34] UNIVERZITA PALACKÉHO OLOMOUC, *Mikroskopie skenující sondou* [online]. 2003 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://atmilab.upol.cz/mss/mss.pdf>
- [35] CROSS, John. *Scanning probe microscopy* [online]. 2007 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.mobot.org/jwccross/spm/>
- [36] American Laboratory. *American Laboratory* [online]. 2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://americanlaboratory.com/>
- [37] HOWLAND a BENATAR. *A practical guide to scanning probe microscopy* [online]. 2000 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://raman.plmsc.psu.edu/~manias/MatSc597/docs/pract_guide.pdf,
- [38] HAWKES, P a John C SPENCE. *Science of microscopy*. New York: Springer, c2007, 2 v. (xviii, 126526. ISBN 03-872-5296-7.
- [39] Theory and Simulation of STM. *Theory and Simulation of STM* [online]. 1997 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://invsee.asu.edu/nmodules/spmmod/stm.html>

- [40] KUDEĚLKA. *Metrologické zabezpečení mikronových a submikronových posuvů*. Zlín, 2011. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalárska práca. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesálek CSc
- [41] University of Wisconsin. *University of Wisconsin* [online]. 2008 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://mrsec.wisc.edu/Edetc/nanoquest/afm/index.html>
- [42] MARTÍNEK. *Impedanční skenovací mikroskopie*. Zlín, 2011. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalárska práca. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesálek CSc,
- [43] NANOWERK. *Nanowerk: Nanotechnology and nanoscience* [online]. 2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.nanowerk.com/>
- [44] PHYSIC INSTRUMENTE. *M-11x Micro-translation stage: User Manual* [pdf]. 2011. vyd. [cit. 24-3-2012]. Dostupné z: <http://www.physikinstrumente.com/en/solutions/supportserver.htm>
- [45] HEINZ, Roman. *Návrh detekčního uzlu pro mikrovlnný mikroskop*. Zlín, 2005. Diplomová práca. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická
- [46] KOUDEĚLKA a MARTÍNEK. *Studium a vytváření struktur v submikrometrové oblasti*. Zlín, 2010. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/akce/2011/stoc2011/proceedings/13.pdf>. Studentská tvůrčí a odborná činnost. Univerzita Tomáše Bati v Zlíně, Fakulta aplikované informatiky
- [47] MathWorks: Accelerating the pace of engineering and science. MATHWORKS, Inc. *MathWorks* [online]. 2012 [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

°C	Stupeň Celzia – jednotka teploty
AFM	Atomic Force Microscopy
EFM	Electrostatic Force Microscopy
E_k	Kinetická energia
FFM	Force Modulation Microscopy
g	Jednotka hmotnosti
GPIB	General Purpose Interface Bus
HP	Hewlett Packard
IBIS	Integrated Ballistics Identification System
LFM	Lateral Force Microscopy
m	Hmotnosť
m	Jednotka dĺžky (rovnako ako mm, μm , nm)
m/s	Jednotka rýchlosti (rovnako ako $\mu\text{m/s}$)
MFM	Magnetic Force Microscopy
ms	Jednotka času
NSOM	Near-Field Scanning Optical Microscopy
PDM	Phase Detection Microscopy
RS-232	sériová linka je komunikačné rozhranie osobných počítačov a inej elektroniky
SCM	Scanning Capacitance Microscopy
SPM	Scanning Probe Microscopy
SThM	Scanning Thermal Microscopy
STM	Scanning Tunneling Microscopy
TAIS	Trace Automated Identification System
v	Rýchlosť
VISA	Virtual Instrument Software Architecture

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. Vstrelové a výstrelové otvory v zasiahnutom predmete [5]	13
Obr. 2. Strela opúšťajúca hlavň zbrane [8]	15
Obr. 3. Rotácia strely počas letu [9]	16
Obr. 4. Dočasné ranivé kanály spôsobené celoplášťovými strelami rôznych kalibrov s expanznou dutinou v špičke [11].....	18
Obr. 5. Strelné zbrane – guľomet, vzduchovka, pištoľ s laserovým zameriavačom, revolver, útočná puška, pištoľová kuša, samopal, kresadlová pištoľ, podomácky vyrobená pištoľ s tlmičom [5]	21
Obr. 6. Strelivo pre poloautomatické pištoly a samopaly [12]	21
Obr. 7. Prierez jednotným nábojom [13]	22
Obr. 8. Rôzne druhy nábojníc [14]	23
Obr. 9. Zápalky typu Boxer a Berdan [15]	23
Obr. 10. Hromadná strela do brokovnice [16]	26
Obr. 11. Špeciálna strela typu Short-stop [17].....	26
Obr. 12. Drážkovanie na povrchu vystrelených striel [5].....	28
Obr. 13. Nábojnica 9 mm Luger vystrelená z pištoly Glock 17	29
Obr. 14. Jamka a ryhy vytvorené úderníkom zbrane Glock 17	29
Obr. 15. Stopy po vytáhovači a vyhadzovači zbrane Glock 17	31
Obr. 16. Stopy od lôžka pre dno nábojnice [22]	31
Obr. 17. Komparačný mikroskop a porovnávané nábojnice [25], [26]	35
Obr. 18. 3D povrch dna nábojnice vytvorený systémom Lucia BalScan [27]	37
Obr. 19. Druhy svetla využívané vo svetelnej mikroskopii [31]	39
Obr. 20. Zobrazené bunky fluorescenčnou mikroskopiou [32]	40
Obr. 21. Stereomikroskop od firmy Olympus využívaný pri optickom porovnávaní nábojov [33]	41
Obr. 22. Hrot využívaný pri metóde SPM [36]	42
Obr. 23. Princíp metódy STM [39].....	43
Obr. 24. Dva módy metódy STM [29].....	44
Obr. 25. Schéma skenovacieho zariadenia AFM mikroskopie [41].....	45
Obr. 26. Princíp metódy MFM [29].....	45
Obr. 27. Servomotor M-110[40].....	47
Obr. 28. Schéma merania odporu vedenia [40]	49

Obr. 29. Hrot (dolu) používaný na skenovanie v porovnaní so 0,7 mm injekčnou ihlou (hore).....	49
Obr. 30. Skenovací raster [40].....	50
Obr. 31. Systém skenovacej mikroskopie.....	50
Obr. 32. Špička úderníka pištole Glock 17.....	53
Obr. 33. Vizualizácie odtlačkov úderníka prvej zbrane, pohľad spredu a zľava.....	54
Obr. 34. Vizualizácie odtlačkov úderníka druhej zbrane, pohľad spredu a zľava.....	54
Obr. 35. Vizualizácie odtlačkov úderníka tretej zbrane, pohľad spredu a zľava.....	55
Obr. 36. Vrcholy plochy úderníka, ktoré môžu spôsobovať čiary v odtlačkoch.....	56
Obr. 37. Zhodné stopy ryhovania vytvorené prvou zbraňou.....	58
Obr. 38. Zhodné stopy ryhovania vytvorené druhou zbraňou.....	58
Obr. 39. Zhodné stopy ryhovania vytvorené treťou zbraňou.....	59
Obr. 40. Příklad dvoch nezhodných ryhovaní z dvoch rozdielnych zbraní.....	59
Obr. 41. Súčasný postup vzorky pri skenovaní.....	61
Obr. 42. Postup vzorky pri novom skenovacím algoritme.....	62
Obr. 43. Porovnanie vizualizácií odtlačkov úderníka na jednej nábojnici, starý algoritmus (vľavo) a nový algoritmus (vpravo).....	63
Obr. 44. špička hrotu a jej odtlačok.....	64
Obr. 45. Vizualizácia odtlačku nábojnice 3.3 s rozlíšením 10 μm	64
Obr. 46. Zobrazenie jednotlivých bodov skenovacieho rastra nábojnice 3.3.....	65

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. Stopy na strele a nábojnici vytvorené výstrelom.....	27
Tab. 2. Vyjadrenie stupňa zhody individuálnej identifikácie zbrane	33

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA 1: Naskenovaná nábojnica 1.1 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 2: Naskenovaná nábojnica 1.2 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 3: Naskenovaná nábojnica 1.3 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 4: Naskenovaná nábojnica 2.1 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 5: Naskenovaná nábojnica 2.2 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 6: Naskenovaná nábojnica 2.3 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 7: Naskenovaná nábojnica 3.1 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 8: Naskenovaná nábojnica 3.2 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 9: Naskenovaná nábojnica 3.3 v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 10: Nábojnica 3.2 naskenovaná novým algoritmom v súbore programe
MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 11: Nábojnica 3.2 naskenovaná novým algoritmom s rozlíšením 10 μm
v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)

PRÍLOHA 12: Nábojnica 3.2 naskenovaná novým algoritmom s rozlíšením 10 μm ,
zobrazené body rastra v súbore programu MATLAB 2009b (na CD)