

Uplatnění skenovací mikroskopie v mechanoskopické analýze

Use of Scanning Microscopy in
Mechanoscopic Analysis

Bc. Pavel Rolenc

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel ROLENC**
Osobní číslo: **A11296**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Uplatnění skenovací mikroskopie
v mechanoskopické analýze**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s vybraným zařízením 3D mikroposuvů firmy Physik Instrumente v laboratoři FAI UTB a již navrženou měřicí metodou.
3. Optimalizujte již vytvořený software v Matlabu, a to z hlediska časové náročnosti.
4. Provedte celkové zhodnocení metody a popište její základní limity.
5. Připravte vzorky různých typů nábojnic a provedte jejich 3D zobrazení pomocí skenovacího mechanismu.
6. Stejnou metodu použijte pro analýzu mechanoskopických stop vyhazovače nábojnice.
7. Provedte analýzu získaných zobrazení s cílem objevení markantů přiřaditelných k jednotlivým typům zbraní, případně k individuálním zbraním.
8. Navrhnete případné další postupy výzkumu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HAWKES, P a John C SPENCE. Science of microscopy. New York: Springer, c2007, 2 v. (xviii, 1265, 126 p.). ISBN 03-872-5296-7.
2. PORADA, Viktor. Kriminalistika: stopy a identifikace. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 93 s.
3. PIEZO NANO POSITIONING. PHYSIK INSTRUMENTE. Product Overview: Piezo Systems, Precision Motion Control, Micro & Nanopositioning [online]. 2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: <http://www.physikinstrumente.com/en/index.php>
4. MARTÍNEK, Tomáš. Impedanční skenovací mikroskopie. Zlín, 2011. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.
5. KUDĚLKA, Josef. Metrologické zabezpečení mikronových a submikronových posuvů. Zlín, 2011. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.
6. POLLÁK, Roman. Skenovací mikroskopie a její uplatnění v mechanoskopické analýze stop úderníku střelných zbraní. Zlín, 2012. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

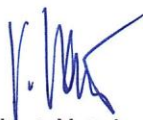
Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2013

Ve Zlíně dne 8. února 2013



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá objekty zkoumání kriminalistické balistiky. Jsou zde popsány stopy vznikající při výstřelu s důrazem na stopy na povrchu nábojnice, které jsou předmětem zkoumání v praktické části. V praktické části jsou pomocí systému skenovací mikroskopie naskenované a vizualizované stopy úderníku a vyhazovače. Nábojnice pro tento účel byly získány výstřelem ze zbraně Glock 17, Glock 17 Gen4 a Glock 19. Jednotlivé vizualizace jsou zde analyzovány a jsou nalezeny markanty přiřaditelné k jednotlivým zbraním. Dále se práce věnuje zhodnocení systému a případnému dalšímu využití.

Klíčová slova: kriminalistická balistika, identifikace podle vystřelených nábojnic, stopa úderníku, stopa vyhazovače, skenovací mikroskopie

ABSTRACT

This thesis deals with the object of studying forensic ballistics. There are described traces generated during the shot with emphasis on traces on the surface of the cartridge, which are examined in the practical part. In practical part are using a system scanning microscopy scanned and visualized marks firing pin and ejector. Cartridges for this purpose were obtained by firing from the gun Glock 17, Glock 17 Gen4 and Glock 19. Visualizations are analyzed and are found minutiae attributable to individual weapons. The thesis further concentrates evaluation the system and possible further use.

Keywords: forensic ballistics, shot cartridge identification, firing pin impression mark, ejector mark, scanning microscopy

Chtěl bych zde poděkovat svému vedoucímu Ing. Milanu Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, za konzultace, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval během zpracování mé diplomové práce. Také bych rád poděkoval svým rodičům a blízkým za veškerou podporu a poskytnuté potřebné zázemí.

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 ČÁST	10
1 BALISTIKA	11
1.1 ROZDĚLENÍ KRIMINALISTICKÉ BALISTIKY	12
1.1.1 Prenatální balistika	13
1.1.2 Vnitřní balistika.....	13
1.1.3 Přechodová balistika	14
1.1.4 Vnější balistika.....	15
1.1.5 Terminální balistika	16
1.1.5.1 Penetrační potenciál střely	16
1.1.5.2 Ranivá balistika.....	17
1.1.6 Postterminální balistika	18
2 OBJEKTY BALISTICKÉHO ZKOUMÁNÍ	19
2.1 STŘELNÁ ZBRANĚ.....	19
2.1.1 Mechanické zbraně.....	19
2.1.2 Plynové zbraně	20
2.1.3 Palné zbraně	21
2.2 STŘELIVO	22
2.2.1 Jednotný náboj.....	22
2.2.1.1 Nábojnice	23
2.2.1.2 Střela	24
2.2.1.3 Zápalka.....	25
2.2.1.4 Hnací slož	26
3 IDENTIFIKACE ZBRANÍ	27
3.1 TYPOVÁNÍ ZBRANĚ.....	28
3.2 IDENTIFIKACE PODLE VYSTŘELENÝCH NÁBOJNIC	29
3.2.1 Stopa úderníku	30
3.2.2 Stopa vytahovače a vyhazovače	31
3.2.2.1 Stopa vytahovače	31
3.2.2.2 Stopa vyhazovače.....	32
3.2.3 Ostatní stopy na nábojnici	33
3.3 IDENTIFIKACE PODLE VYSTŘELENÝCH STŘEL	34
3.4 INDIVIDUÁLNÍ IDENTIFIKACE ZBRANĚ	35
3.4.1 Komparační mikroskop	36
3.5 ZÍSKÁNÍ TESTOVACÍCH NÁBOJNIC A STŘEL	37
4 METODY ZOBRAZENÍ POVRCHU VZORKU	38
4.1 OPTICKÁ MIKROSKOPIE.....	38
4.2 MIKROSKOPIE SKENUJÍCÍ SONDOU (SPM - SCANNING PROBE MICROSCOPY)	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	41

5	POUŽITÉ PŘÍSTROJE A MĚŘÍCÍ TECHNIKA.....	42
5.1	SERVOMOTOR MERCURY M-110 1DG	42
5.2	KROKOVÝ OVLADAČ MERCURY C-862	43
5.3	DIGITÁLNÍ MULTIMETR AGILENT 34410A	43
5.4	SESTAVENÁ MĚŘÍCÍ APARATURA	44
5.4.1	Použitá skenovací metoda	45
5.4.2	Skenovací rastr	45
5.4.3	Program pro řízení a sběr dat	46
6	ZAMĚŘENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	47
6.1	SKENOVACÍ ALGORITMUS	47
6.2	VIZUALIZACE A ANALÝZA STOP PISTOLE GLOCK	49
6.2.1	Vizualizace a analýza stop úderníku	49
6.2.1.1	Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 1 (Glock 17)	49
6.2.1.2	Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 2 (Glock 17 Gen 4).....	51
6.2.1.3	Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 3 (Glock 19)	52
6.2.1.4	Srovnání otisků úderníků	53
6.2.2	Vizualizace a analýza stop vyhadzovače.....	53
6.2.2.1	Otisk vyhadzovače vytvořený zbraní č. 1 (Glock 17).....	53
6.2.2.2	Otisk vyhadzovače vytvořený zbraní č. 2 (Glock 17 Gen 4)	54
6.2.2.3	Otisk vyhadzovače vytvořený zbraní č. 3 (Glock 19).....	55
6.2.2.4	Srovnání otisků vyhadzovačů	55
6.2.3	Závěrem.....	55
6.3	VÝHODY A NEVÝHODY POUŽITÉ SKENOVACÍ MIKROSKOPIE.....	56
6.3.1	Časová náročnost skenování	57
6.3.2	Skenovací hrot.....	57
6.3.3	Skenování pouze vodivých vzorků	58
6.4	BUDOUCÍ VYUŽITÍ SYSTÉMU SKENOVACÍ MIKROSKOPIE.....	59
	ZÁVĚR	61
	CONCLUSION	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

Zbraně vždy byly a jsou součástí naší společnosti. Dříve je však lidé využívali převážně k lovu nebo ke své obraně. Postupem času se začali zdokonalovat a tím přibývalo i trestných činností s použitím zbraně. Tuto situaci bylo potřeba řešit, a tak se začaly zbraně podrobněji zkoumat. Ke zbraním však patří i střelivo, tedy nábojnice a střely byly též předmětem zkoumání. Pro úspěšné odsouzení těchto pachatelů bylo nutné předložení nezpochybnitelných důkazů. Nepochybně bylo tedy nutné spojit nalezenou střelu, případně nábojnici s použitou zbraní. Postupem času se zjistilo, že každá zbraň zanechává rozdílné stopy na nábojnici a střele. Všechny střely a nábojnice vypálené z jedné zbraně jsou tak nositelem stejných stop. Toto zjištění vedlo k velkému pokroku kriminalistické balistiky.

Diplomová práce je rozdělena na dvě části. Teoretická část se v první kapitole zaměřuje na literární rešerši kriminalistické balistiky, která je zde rozdělena na prenatální, vnitřní, přechodovou, vnější, terminální a postterminální balistiku. Další část práce se věnuje základním druhům střelných zbraní a střelivu. Následuje stěžejní část teoretické části diplomové práce, kterou je identifikace zbraní podle vystřelených nábojnic a střel. Jsou zde uvedeny stopy, které vznikají na nábojnici a střele při výstřelu. Tyto stopy jsou významné při kriminalisticko-balistické expertize. Důležitou částí jsou zejména stopy vznikající na nábojnici, z kterých jsou některé předmětem zkoumání v praktické části této práce. V další kapitole jsou popsány dva způsoby zobrazení morfologie povrchu vzorků. Jde o optickou mikroskopii a mikroskopii skenující sondou.

V praktické části práce jsou nejprve popsány použité přístroje spolu s metodou, která byla použita pro zobrazení otisků úderníků a vyhazovačů na nábojnicích. Je zde popsán i použitý skenovací algoritmus a jeho případné zlepšení. Dále praktická část obsahuje vizualizaci jednotlivých otisků. Jejich analýzou je pak definována jejich případná shoda a přiřazení k příslušné zbraní. V praktické části jsou popsány i výhody a nevýhody použitého skenovacího systému. Poslední část se věnuje možnostem budoucího využití daného systému.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BALISTIKA

Název balistika pochází z řeckého slova "*balistra*", které popisovalo antickou střelnou zbraň schopnou vystřelovat projektily na velkou vzdálenost. Významným objevem pro vznik balistiky byl vynález střelného prachu mezi 7. a 9. stoletím v Číně. Střelný prach byl předpokladem pro vznik nových zbraní.

Historická data:

- 13. stol. - Průnik střelného prachu do Evropy
- 15. stol. - Začátek používání spirálově rýhované hlavně (Leonardo da Vinci)
- 1664 - Angličan Hill, patent na revolver, ruční poloautomatickou zbraň
- 19. stol. - První náboje skládající se z nábojnice, střely, střelného prachu a zápalky
- 1835 - Samuel Colt, patent na bubínkový revolver
- 1883 - Hiram Stevens Maxim sestrojil kulomet s využitím zpětného rázu pro opětovné nabití zbraně [8]

S rozvojem střelných zbraní se zvětšil i počet trestných činností. To si vyžádalo identifikaci vystřelených nábojnic a střel. Zkoumání povýstřelových stop vedlo k vytvoření nového odvětví kriminalistiky vycházejícího z balistiky - kriminalistická (forenzní) balistika. Jedná se o interdisciplinární vědu, která se opírá o poznatky matematiky, fyziky, chemie, biologie, strojírenství, medicíny, nauky o zbraních a střelivu. Disponuje mnoha vlastními vědeckými metodami, které pomáhají při řešení specifických kriminalistických případů.

Kriminalistická balistika je vědní disciplína, která se zabývá zkoumáním objektů a případně dat, které souvisí se střelbou nebo jiné použití zbraně pachatelem trestného činu. Jedná se tedy o zkoumání střelných zbraní, jejich součástí, střeliva všeho druhu, kde se nejvíce zajímá o zkoumání střely, nábojnice a zápalky, které jsou nositelem stop střelby. Dále se jedná o zkoumání předmětů, které byly zasažené střelou. V neposlední řadě se zabývá povýstřelovými zplodinami, které vznikají vlivem hoření prachové a zápalkové složky náboje. Tyto zplodiny se díky konstrukčními netěsnostmi zbraně dostávají na předměty v blízkosti střelby a lze je tak po výstřelu nalézt jednak na zbraní, ale i na oděvu a rukách osoby, která střílela nebo byla v dostatečné blízkosti.

Kriminalisticky balistická zkoumání hrají důležitou roli i při odhalování dosud neobjasněných kriminálních činů. Prověřuje se, jestli danou zbraní nebyl spáchán ještě jiný trestný čin. K porovnání slouží Ústřední sbírka balistických stop vedená Kriminalistickým ústavem Praha.

1.1 Rozdělení kriminalistické balistiky

Z hlediska pohybu střely členíme balistiku do čtyř základních odvětví a to na balistiku vnitřní, přechodovou, vnější a terminální (koncovou) s cílem určit skupinovou příslušnost a vykonat vlastní identifikaci zbraně. Pro kriminalistickou praxi je toto rozdělení ale nedostačující, protože se velmi často také zabývá obdobím před samotným výstřelem, jako je například plnění zásobníku náboji, nebo dopravení náboje ze zásobníku do nábojové komory. Řeší se otázky kolem vzpříčení náboje apod. Také se řeší otázky spojené s ději, které nastávají poté co střela prostřelí cíl. Odlišují se tak další dvě oblasti - balistika prenatální a balistika postterminální.

Jednotlivé etapy můžeme stručně popsat následovně:

- ***Prenatální balistika***
Popisuje děje probíhající ještě před samotným výstřelem
- ***Vnitřní balistika***
Zabývá se ději probíhající v hlavní zbraně
- ***Přechodová balistika***
Zkoumá probíhající děje před hlavní zbraně (působení plynů)
- ***Vnější balistika***
Zkoumá děje letu střely vzduchem
- ***Terminální balistika***
Zabývá se průběhem vnikání střely do cíle
- ***Postterminální balistika***
Zkoumá děje po prostřelení cíle (překážky)

1.1.1 Prenatální balistika

Prenatální balistika popisuje děje, které probíhají ještě před samotným výstřelem. Tyto děje zanechávají na náboji nebo zbrani stopy, které jsou významné pro kriminalistiku.

Mezi tyto děje patří například:

- Úmyslné změnění částí zbraně, kterými by se její individuální identifikace ztížila nebo úplně znemožnila
- Vzpříčení náboje v nábojišti, stopy vývodek zásobníku
- Stopy od přeběhu závěru na nábojnici

Dále se zajímá také i o problematiku mechanismu továrně a podomácku vyrobených a přebíjených nábojů. Zajímá se jak o postupy použité při sériové výrobě, tak i o podomácku vyrobené nebo nelegálně upravované zbraně.

1.1.2 Vnitřní balistika

Jedná se o nauku, která se zabývá zákony, jimiž se střela řídí uvnitř hlavě zbraně. Přesněji jde o děje od okamžiku vznícení prachové náplně v nábojnici až do okamžiku, kdy střela opustí hlaveň. Tato fáze má v kriminalistické balistice význam zejména v tom, že zde vzniká na nábojnici a střele většina stop, které posléze vedou k individuální identifikaci zbraně. Na nábojnici se jedná o stopy vzniklé od mechanismů zbraně a na střele o stopy způsobené vývrtem hlavně. Také se věnuje analýze anomálních dějů, při kterých může při výstřelu dojít k destrukci zbraně (např. překážka v hlavni), rychlostí vystřeleného projektilu, energie zpětného rázu aj.

V okamžiku, kdy úderník udeří do zápalky náboje, dojde k prudkému vznícení zápalkové složky. Vznícením zápalkové složky vzniká plamen s teplotou okolo 2000 - 3000°C, který zapálí střelný prach v nábojnici. Hořením střelného prachu se vytváří velké množství plynů. Tlak vzrostlých prachových plynů neustále roste až do okamžiku, kdy je dostatečný na akceleraci střely vývrtem hlavně. V okamžiku uvedení projektilu do pohybu se začne tlak snižovat v závislosti na objemu prostoru, v kterém se rozpíná. Tento tlak lze ovlivnit velikostí prachových zrn, změnou chemického složení prachové směsi, tvarem zrn a jejich povrchovou úpravou. Výsledkem je zpomalení poklesu tlaku. Podstatné je také zajištění shoření prachové směsi předtím, než projektil opustí hlaveň. To z toho důvodu, že při

neshoření veškerého střelného prachu se sníží efektivita výstřelu. Nežádoucí je i plamen vycházející z hlavně, který může při nočních podmínkách ovlivnit střelcův noktovizor.

Intenzitu hoření střelného prachu můžeme ovlivnit poměrem objemu nábojnice k objemu obsaženého střelného prachu. Čím vyšší je tento poměr, tím vyšší je i množství prázdného místa v nábojnici. Větší objem prázdného místa v nábojnici způsobuje nižší počáteční intenzitu hoření.

1.1.3 Přechodová balistika

Zabývá se ději probíhající bezprostředně poté, co střela opustí hlaveň až do okamžiku, kdy na střelu přestanou působit vycházející plynné produkty výstřelu. V okamžiku, kdy střela opustí ústí hlavně, na ni zpočátku působí tyto plyny, které vychází z hlavně zbraně vyšší rychlostí než je rychlost střely. Tyto plyny tak ještě dodatečně střelu urychlují, avšak po velmi krátkou dobu. Jejich expanze způsobuje turbulence před hlavní zbraně, tím vzniká balistická vlna, kterou vnímáme jako zvuk výstřelu. Střela se v této fázi urychlí přibližně o 1 - 2 % a délka přechodové balistiky je 10 - 20 ráží zbraně. Přechodová balistika tedy řeší dodatečné působení prachových plynů.

Také se zabývá i prostorovým šířením zplodin, které vznikají vlivem hoření prachové a zápalkové složky náboje. Tyto zplodiny se díky konstrukčním netěsnostem zbraně dostávají na předměty v blízkosti střelby a lze je tak po výstřelu nalézt jednak na zbrani, ale i na oděvu a rukách osoby, která střílela nebo byla v dostatečné blízkosti. Podle nalezených zplodin pak můžeme určit přítomnost osoby při trestné činnosti. Dále jde o zkoumání účinků a stop způsobených různými zařízeními, mezi které můžeme zařadit například různé druhy tlumičů.



Obr. 1 Střela při opuštění hlavně [7]

1.1.4 Vnější balistika

Vnější balistika analyzuje děje související s letem střely ve volném prostoru poté, co na ni přestanou působit plyny vytékající z hlavně až do okamžiku, kdy zasáhne cíl. Zabývá se pohybem střely za ideálních podmínek i podmínek, kdy je střela ovlivňována řadou rušivých elementů. Mezi nejvíce sledované veličiny zde patří dráha, energie a rychlost střely. Také se sledují i různé průvodní jevy (akustické, tepelné a jiné). Pro určení dráhy střely co nejpřesněji musíme znát další faktory, které ovlivňují konečnou dráhu střely.

Mezi hlavní faktory ovlivňující dráhu střely řadíme:

- Gravitační pole Země
- Rychlost střely po opuštění hlavně
- Úhel zdvihu hlavně
- Tvar střely [6]

Pokud známe konečné účinky střelby, můžeme buď empiricky, nebo i výpočtetně určit další údaje střelby, jako je rekonstrukce dráhy střely, určení vzdálenosti střelby a stanoviště střelce.

1.1.5 Terminální balistika

Terminální balistika analyzuje pohyb střely v cíli (živém i neživém) ve spojení s ničivými účinky střely. Střela musí mít pro dosažení cíle, její proniknutí a způsobení tak škody dostatečnou kinetickou energii. Kinetická energie střely je definována její hmotností a rychlostí, přesněji:

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

Kde:

- E_k je kinetická energie střely; [J]
- m je hmotnost projektilu; [kg]
- v je rychlost projektilu; [m/s]

Rychlost projektilu má zde větší váhu než hmotnost. Pokud zdvojnásobíme velikost hmotnosti projektilu, kinetická energie se zvětší dvakrát, ale při zdvojnásobení rychlosti se kinetická energie zvětší až čtyřikrát.

Nepravděpodobné je těžké ublížení na zdraví střelou s energií do 20 J. V případě střely s energií v rozmezí od 20 do 50 J lze o těchto účincích již uvažovat. Závažné poranění pak můžeme uvažovat jako velmi pravděpodobné u střely s energií vyšší než 50 J. [14]

Terminální balistiku můžeme rozdělit na dvě části. První část zkoumá penetrační potenciál projektilu a druhá část vliv zásahu projektilu do živého organismu. Oblast zabývající se účinkem zasažení živého organismu nazýváme ranivá balistika.

1.1.5.1 Penetrační potenciál střely

Testování penetrace různých materiálů může být přínosem při vyšetřování střelných incidentů (např. posuzování hloubky penetrace střely do různých materiálů).

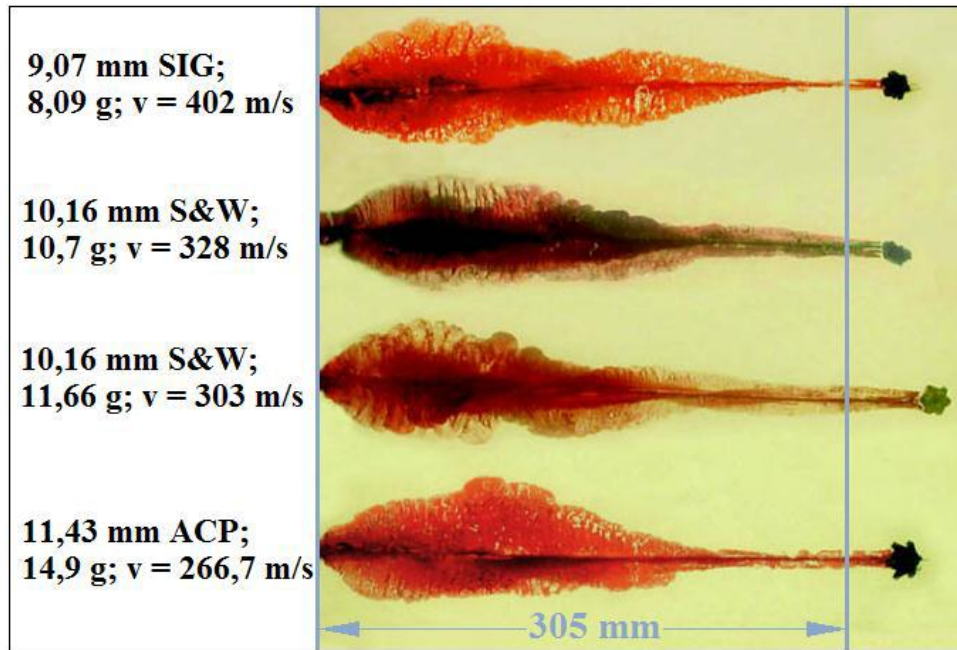
V minulosti se pro testování a simulaci následků střelby využívali dřevěné desky s různou tloušťkou, to bylo ale značně nepřesné. V dnešní době se na simulaci následků střelných poranění používají balistické gely. Tyto gely se svojí hustotou a viskozitou přibližují lidským svalům a lze tak poměrně velmi přesně napodobit tyto účinky na organismus.

1.1.5.2 Ranivá balistika

Studuje účinky při zasažení živého cíle. Ranivá balistika úzce navazuje na soudně lékařskou praxi týkající se střelných poranění. Střela předává živému organismu při průchodu část nebo celou svou kinetickou energii.

Střela svým účinkem na živý organismus způsobuje poškození tkání, orgánů a vytváří dočasný ranivý kanál o velikosti několikanásobně větší, než je průměr střely. Tento kanál díky elasticitě lidského tkaniva vibruje po dobu asi 10 ms a poté zaniká. Poranění vzniká i v okolních žilách, orgánech a nervech dočasného ranivého kanálu i přesto, že nebyli přímo zasaženi střelou. Po zániku dočasného kanálu zůstává v těle permanentní kanál vytvořený střelou při průchodu organismem.

U zasaženého organismu vyvolává toto poranění pocit bolesti a v závislosti na místě zasažení dochází k následným reakcím po poškození zasažených orgánů, jako je krvácení, zhoršení dýchání, ochrnutí, poruchám vědomí, smrti apod. Od smrti zasaženého pak také záleží na celkovém fyzickém, zdravotním a psychickém stavu zraněného, kde například u vystresovaného člověka, který se bojí a stále vnímá riziko smrti, může už jen samotný výstřel přivodit srdeční selhání. Závažnost střelného poranění souvisí s velikostí kinetické energie předanou tkanivu nikoliv však celkovou kinetickou energií střely. Při vniknutí projektilu do organismu a jeho uvíznutím v něm je celá kinetická energie použita na vytvoření poranění. Pokud však střela při průletu skrz organismus v něm neuvízne a vyletí tedy ven, pak je na poranění použita jen část kinetické energie střely. Střela, která tak proletí skrz celý organismus a neuvízne v něm, má i při dvojnásobné kinetické energii menší ranivé účinky jako střela, která v něm uvízne.



Obr. 2 Dočasné ranivé kanály způsobené celoplášťovými střelami různých kalibrů s expanzní dutinou ve špičce [17], [6]

1.1.6 Postterminální balistika

Zkoumá děje, které probíhají poté, co střela prostřelí cíl (překážku). Jde často o experimentální vědu, která posouvá hranice klasické balistiky. Uplatňuje se především u případů, jako jsou například:

- Účinky střely po prostřelení okna nebo karosérie vozidla
- Problematika sekundárních střel (projektilů)
 - *Fragment střely* – např. úlomek pláště
 - *Fragment cíle* – např. úlomek ploché kosti
- Zasažení více osob jednou střelou atd.

Příkladem může jít situace, kdy při odrazu střely od skleněné tabule (dopad na tabuli pod malým úhlem) může dojít k proražení skla, kde skleněná tříšť je pak v podobě sekundárních projektilů vymetena za okno. Tyto projektily pak mohou být zdrojem vážného poranění. [19]

2 OBJEKTY BALISTICKÉHO ZKOUMÁNÍ

Mezi objekty balistického zkoumání patří:

- střelné zbraně všeho druhu - vyrobené továrně i podomácku
- střelivo všeho druhu
- předměty zasažené střelou
 - *vstřel* – místo vniknutí střely do předmětu
 - *výstřel* – místo, kde střela opustila předmětu
 - *průstřel* – střelný kanál, který spojuje místo vstřelu a výstřelu
 - *zástřel* – místo uvíznutí střely v předmětu
 - *nástřel* – místo odražení střely od předmětu
- předměty se stopami vedlejších produktů výstřelu – plamen, dým, atd. [18]

2.1 Střelná zbraň

Za střelnou zbraň považujeme předmět, který za pomoci uvolněné nahromaděné energie uvádí do pohybu střelu určenou k destrukci cíle. Podle zdroje této energie, která je udělena střele, rozdělujeme zbraně do tří základních skupin:

- *Zbraně mechanické* - využívají nahromaděnou mechanickou energii k výstřelu.
- *Zbraně plynové* - využívají pneumatickou energii vzduchu, případně jiného stlačeného plynu k výstřelu. Tento plyn je mechanicky stlačený předem v tlakové komoře nebo pomocí pístu v okamžiku výstřelu.
- *Zbraně palné* - využívají okamžité uvolnění chemické energie vznikající hořením střelného prachu, případně zápalkové složky k výstřelu.

2.1.1 Mechanické zbraně

V kriminalistické balistice mají mechanické zbraně jen okrajový význam a to i přesto, že mohou způsobit poranění i usmrcení člověka. Individuální identifikace podle vystřelených střel zde není možná. Vyhodnocením dopadové energie a destruktivních účinků střely lze určit technické parametry zbraně a následně pak skupinovou příslušnost. Střela je zde

vypuštěna uvolněním mechanické energie, a to zpravidla uvolněním napnuté pružiny. Řadíme sem různé luky, praky, kuše atd.



Obr. 3 Kuš [9]

2.1.2 Plynové zbraně

V kriminalistické balistice mají z hlediska individuální identifikace větší význam než zbraně mechanické. Plynové zbraně nemají nábojnici, ale mají střelu protlačovanou hlavní zbraně při výstřelu. Střely mají nejčastěji kulovitý tvar - broky, nebo mají speciální tvar - Diabolo. V některých případech lze k individuální identifikaci použít střely. V mnoha případech jsou však při dopadu značně zdeformované nebo jsou stopy technicky nekvalitní. K výstřelu používají stlačeného vzduchu, případně jiného plynu. Stlačený vzduch se získá manipulací se zbraní před výstřelem - vzduchovky, nebo je umístěný v zásobníku umožňujícího více výstřelů bez doplnění vzduchu - větrovky. Další možností je využít stlačený oxid uhličitý - plynovky.



Obr. 4 Vzduchovka [10]

2.1.3 Palné zbraně

V kriminalistické balistice jsou palné zbraně nejvýznamnější skupinou. Mají hlaveň a využívají většinou jednotného náboje, který se skládá z nábojnice, střely, zápalky a prachové náplně. Tato skupina je způsobilá pro individuální identifikaci zbraně díky stopám na nábojnici a střele. Střela je uváděna do pohybu pomocí chemické energie vznikající hořením střelného prachu. Řadíme sem i palné zbraně vyrobené nebo upravené podomácku včetně zbraní kamuflovaných (např. ve vycházkové holi).

Palné zbraně můžeme rozdělit podle různých kritérií, kde pro kriminalistiku je nejvýznamnější dělení podle ovladatelnosti při střelbě na lafetové a ruční zbraně. Mezi lafetové zbraně, které kvůli jejich vysoké hmotnosti umísťujeme na podstavec nebo lafetu řadíme např. děla, těžké kulomety, minomety a další. V kriminalistické balistice se tak s lafetovými zbraněmi většinou nesetkáme. Na druhou stranu významnější jsou ruční zbraně, které dále dělíme na krátké – ovládání jednou rukou a dlouhé – k ovládání používáme obě ruce. Mezi krátké řadíme pistole a revolvery. Mezi dlouhé pak pušky, samopaly, brokovnice apod. Dalším možným kritériem rozdělení palných zbraní je podle účelu – civilní (sportovní, lovecké, obranné), vojenské a zvláštní (např. signální, poplašné, podomácku vyrobené). Dále pak podle vývrtu hlavně, druhu náboje, počtu hlavních, stupně automatizace mechanismu a konstrukce.



Obr. 5 Pistole Glock 17 [11]

2.2 Střelivo

U prvních palných zbraní se využívaly kamenné koule, které se spolu se střelným prachem nabíjely do hlavně odděleně. Prachová složka se pak zapálila z vnějšku za pomoci malého množství prachu a doutnáku (později křesného kamínku). Jednotný náboj, jak jej známe dnes, složený z nábojnice, střely, zápalky a hnací složky vznikl v druhé polovině 19. Století.

Střelivem se rozumí souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do zbraní. Střelivo máme např. spotřební nebo přebíjené. Spotřební střelivo je sériově vyráběné a je určené pro sportovní, lovecké nebo průmyslové využití. Střelivo přebíjené využívá z ekonomických již použité nábojnice.



Obr. 6 Střelivo pro poloautomatické pistole a samopaly [12]

2.2.1 Jednotný náboj

Jde o celek určený k nabíjení do zbraní a vymetení střely z hlavně. Obsahuje všechny součásti střeliva potřebné pro jeden výstřel.

Skládá se ze čtyř základních částí:

- *Nábojnice* - spojuje ostatní části náboje v jeden celek
- *Střela* - způsobuje destrukční účinek v cíli
- *Zápalka* - po dopadu úderníku zapálí hnací slož
- *Hnací slož (výmetná náplň)* - zpravidla střelný prach, který uděluje střele potřebnou energii



Obr. 7 Řez jednotným nábojem [13]

2.2.1.1 Nábojnice

Nábojnice spojuje všechny části náboje v jeden celek. Slouží k zajištění polohy náboje v nábojové komoře. Úkolem nábojnice je také zabezpečení toho, aby spalné plyny vznikající při výstřelu neunikaly nesprávným směrem. Jde o nádobu, ve které je uložena hnací slož a chrání jí tak před vnějšími vlivy. Ve dně nábojnice se nachází lůžko pro zápalku. U dna nábojnice se též nachází drážka, která slouží pro drápek vytahovače umožňující snadné vytažení prázdné nábojnice, případně celého náboje z nábojové komory, nebo je průměr dna větší než průměr pláště. Nábojnice může mít různou velikost i tvar (válcovitý, lahvový, kuželovitý). Je vyrobená z kovu, nejčastěji s mosazi, hliníku nebo oceli. Jako materiál se též používají nekovové materiály, kde můžou jít příkladem plastové nábojnice pro hromadné střely.



Obr. 8 Různé druhy nábojnic [15]

2.2.1.2 *Střela*

Jde o objekt, který je střelnou zbraní vymrštěn směrem k cíli, předává mu svou kinetickou energii a tím ho deformuje. Původní střely měly tvar koule a byly vystřelovány ze zbraní s hladkou hlavní. Tyto střely byly však nepřesné a měly krátký dostřel. V současnosti mají střely tvar lomeného oblouku a využívá se i drážkovaného vývrtu hlavní. Střela pak díky tomu při letu rotuje kolem své osy. Tyto vlastnosti střele poskytují větší stabilitu, přesnost a dostřel.

Základním technickým údajem střely je ráže. Ráží se rozumí průměr střely v milimetrech, případně u střeliva zámořského původu se ráže často vyjadřuje v setinách nebo tisícinách anglického palce). Ráže se u palných zbraní pohybuje v rozmezí 4,32 až 15,24 mm nebo analogicky vyjádřená v anglických palcích (např. označení .25 znamená 0,25 anglického palce).

Střely můžeme rozdělit do skupin:

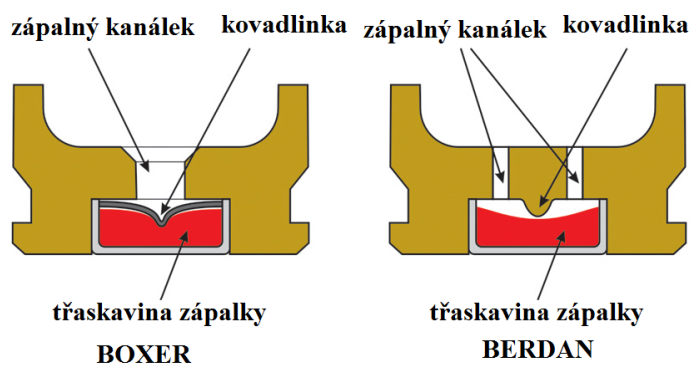
- *Jednotné střely* – mohou být vytvořené z jednoho materiálu nebo konstrukčně složitější (jádro a plášť) – celoplášťové, poloplášťové, bezplášťové, případně s expanzní dutinou. Plášť střely poskytuje střele větší odolnost při průniku materiálem. Expanzní dutina pak zvýší deformační účinky střely.
- *Hromadné střely* – tvořené množstvím broků stejného průměru (např. náboje do brokovnice). Plášť střely je zpravidla tvořen plastovým kontejnerem, který je naplněný broky.

- *Plynové střely* – obsahují látku např. ve formě aerosolu. Při výstřelu se pak šíří ve formě oblaku směrem výstřelu. Používají se například slzotvorné látky.
- *Speciální střely* – používají se kvůli jejich speciálnímu účinku na cíl. Příkladem může být střela typu Short-stop, která obsahuje srolovanou kruhovou textilií a broky. Při výstřelu dojde k rozmotání tkaniny, tím dochází při zásahu k rozložení energie a nezpůsobení tak smrtelného zranění.

2.2.1.3 Zápalka

Jak již bylo řečeno, zápalka se nachází ve dně nábojnice (spodní část náboje). Slouží k zapálení výmetných náplní. Obsahuje zápalkovou slož, která se nárazem úderníku na zápalku vznítí a zapálí tak výmetnou náplň. Iniciací je řešená středovým nebo okrajovým zápalem. Ve většině ručních zbraní převládá středový zápal, u kterého využíváme dva typy zápalek: Berdan a Boxer.

U středového zápalu je zápalka zhotovena jako samotný celek, který je umístěn v dolní části nábojnice. U okrajového zápalu je zápalková slož zalisována v dolním okraji nábojnice, případně pokrývá i dno nábojnice.



Obr. 9 Zápalky typu Boxer a Berdan [16]

Jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 9), zápalka typu Boxer obsahuje vlastní kovadlinku a ve dně nábojnice je jeden větší zápalný kanálek, který vede k výmetné složi. Na druhou stranu u zápalky typu Berdan je kovadlinka vylisovaná přímo na dně nábojnice. V okolí této kovadlinky se nachází dva úzké kanálky vedoucí k výmetné složi. Nábojnice se zápalkou Berdan nejsou příliš vhodné na přebíjení, a to z důvodů životnosti kovadlinky.

Zplodiny vznikající hořením zápalkové složi jsou vymetené ven ze zbraně a zachycují se tak na ruce nebo oblečení pachatele a jsou tak důležitou stopou pro kriminalistiku.

2.2.1.4 Hnací slož

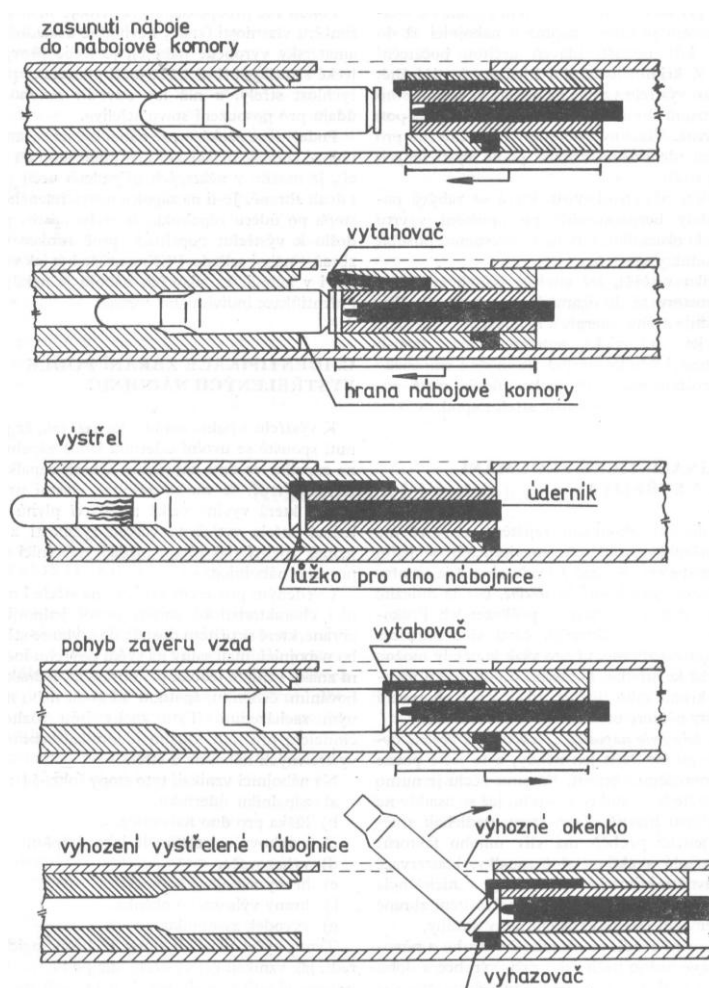
Pro účely hnací složky střelných zbraní se jako první používal černý střelný prach. Střelný prach tvoří směs drobných zrn a nejčastěji se používá poměru 75% dusičnanu draselného, 15% hnědého uhlí a 10% síry. Tento poměr není však pevně stanovený, závisí na druhu zbraně a účelu použití. Každá tato složka má v reakci svůj účel. Dusičnan draselný poskytuje reakci kyslík, hnědé uhlí má za účel poskytovat reakci uhlík a další složky, síra pak snižuje teplotu hoření a tím zvyšuje prudkost vznícení celé směsi. Nevýhodou černého střelného prachu je však jeho efektivita, kde se přibližně 44% jeho celkové hmotnosti přemění na plyny a až 54% jsou pevné látky vytvářející hustý bílý dým. Jeho použití je v dnešní době už jen jako součást pyrotechniky, případně se používá ve sběratelských historických zbraních. [30]

V současnosti se zpravidla jedná o jednosložkový bezdýmný střelný prach na bázi nitrocelulózy nebo dvousložkový prach nitroglycerinový. U jednosložkového prachu se nitrocelulóza rozpustí ve směsi éteru a alkoholu, kde po vysušení vzniká pevná, stabilní a lehce zpracovatelná látka. Dvousložkové střelné prachy tvoří rozpuštěná nitrocelulóza v nitroglycerínu a vazelína, která působí jako stabilizátor. Příkladem může být kordit, který využívá aceton jako rozpouštědlo a obsahuje 58% nitroglycerínu, 37% nitrocelulózy a 5% vazelíny. Oproti černému střelnému prachu mají vyšší efektivitu a využitelnost pro široké spektrum zbraní. [31]

Hnací složka je umístěná v nábojnici ve formě zrn, které mají různý tvar i velikost. Jde o pevné látky, které hořením uvolňují plyny o vysoké teplotě a tlaku. Při výstřelu předává svou energii střele a uvádí jí tak do pohybu. Rychlost vznícení prachu a balistické vlastnosti náboje můžeme ovlivňovat přidáním různých chemických látek, tvarem a velikostí prachových zrn.

3 IDENTIFIKACE ZBRANÍ

Mezi jednu z nejdůležitějších částí kriminalistické balistiky patří identifikace palných zbraní podle vystřelených nábojnic a střel. Většina významných stop vzniká při výstřelu. Výstřel začíná stisknutím spouště, kdy uvolněný úderník úderem do zápalky náboje způsobí vznícení jejího obsahu. Vznícená zápalková slož zažehne výmetnou slož, která vyvine velké množství plynů. Tyto plyny pak tlačí střelu směrem ven z hlavně, nábojnici přitlačí zpětný tlak plynů do lůžka pro dno nábojnice. Pohybem závěru vzad je nábojnice za pomoci vytahovače tažena stejným směrem, nárazem na vyhazovač vyletí ven okénkem.



Obr. 10 Schéma vzniku stop na nábojnici při výstřelu [18]

Uvedeným procesem vznikají na nábojnici i střele charakteristické znaky. Jednotlivé části zbraně, které se dostanou do styku se střelou nebo nábojnici mají na svém povrchu individuální znaky vznikající obráběním, opotřebováním, neodbornou manipulací nebo špatnou údržbou. Tyto znaky jsou pak rozhodujícím faktorem pro individuální identifikaci zbraně podle vystřelených nábojnic a střel.

V následující tabulce jsou uvedené funkční části zbraně a příslušné místo výskytu stop. Ne každá zbraň má všechny uvedené funkční části, u některých zbraní mohou vznikat i další stopy, ale jejich význam je však pro identifikaci zbraně většinou podřadný. Tabulka je sestavena podle významu a četnosti výskytu stop.

Funkční část zbraně	Místo výskytu stopy
vývrt hlavně	plášť střely po celém obvodu
úderník	zápalka nábojnice
drápek vytahovače	hrana obruby a drážka nábojnice
vyhazovač	dno nábojnice poblíž hrany obruby
lůžko pro dno nábojnice	dno nábojnice včetně zápalky
hrana nábojové komory	přední část okraje nábojnice
hrana výhozného okénka	válcová část nábojnice
hrana závěru	okraj dna nábojnice
vývodky zásobníku	válcová část nábojnice

Tab. 1 Stopy na střele a nábojnici vzniklé při výstřelu [21]

Pro jednotlivé druhy a systémy palných zbraní jsou charakteristické nejen tvary a velikosti uvedených stop, ale i vzájemná poloha některých z těchto stop (např. úhel mezi stopu vyhazovače a vytahovače).

3.1 Typování zbraně

Pokud na místě činu není nalezena střelná zbraň, tak se provádí typování zbraně – určení skupinové příslušnosti zbraně (určení typu – druhu a modelu zbraně) na základě nábojnice a střely. Druhovým rozlišením střelných zbraní se myslí hrubé třídění podle velikosti, vzhladu, ráže a určení zbraně. Balistik tak může podat informaci, že pachatel použil při činu pušku, pistoli, brokovnici, revolver nebo například vzduchovku. Tedy při nález brokového náboje je možné vyloučit použití pistole. Při pátrání po zbraní je však zapotřebí většího upřesnění, tedy určení modelu, případně modifikace zbraně, kterou pachatel použil.

Druhy a modely zbraní se od sebe liší vnějším vzhledem, uspořádáním a provedením jednotlivých součástek. Určení skupinové příslušnosti zbraně se tak vykonává na základě umístění a tvaru stop od funkčních částí zbraně na nábojnici a střele. K tomuto účelu slouží specializované katalogy, ve kterých jsou vyznačené polohy a tvary jednotlivých stop.

Pro typování zbraně podle vystřelené nábojnice se vychází zejména z polohy vytahovače a vyhazovače. Nábojnice se nejdříve zorientuje do základní polohy (poloha, v jaké byla v nábojové komoře v okamžiku výstřelu), poté se poloha jednotlivých stop udává vůči kruhové ploše dna nábojnice, ve smyslu hodin na ciferníku (12. hodina nahoře). [20]

K úspěšnému typování zbraně jsou důležité rozsáhlé zkušenosti, vzorky střel a nábojnic vystřelených ze známých zbraní a znalostí studijní sbírkou zbraní. Vhodnou pomůckou jsou i moderní počítačové systémy. Účelem je co nejvíce zúžit skupinu zbraní, nejlépe až na konkrétní model, na který se posléze zaměřuje pátrání.

3.2 Identifikace podle vystřelených nábojnic

Pachatelé si většinou z místa činu střelnou zbraň odnesou. Často jsou však nalezeny nábojnice, které obsahují tzv. markanty. Tyto markanty zanechávají funkční části zbraně a slouží pro identifikaci zbraně. Případné prokázání shody markantů na nábojnici z místa činu a nábojnici pokusně vystřelené z podezřelé zbraně je jasným důkazem použití podezřelé zbraně ve vyšetřovaném činu.

Problémy při zkoumání nábojnic mohou nastat při posuzování stáří některých stop. Některé nábojnice mohou mít na svém povrchu stopy historie náboje (náboj mohl být nabit před výstřelem v několika zbraních, a to i vícekrát). Další problém může nastat u přebíjeného náboje, který k výrobě používá jednou nebo vícekrát vystřelenou nábojnici. Na nábojnici se tak nacházejí i staré stopy výstřelu, ze kterých je téměř nemožné zjistit nově vytvořené markanty.

Jak již bylo zmíněno výše, na nábojnici se nalézají několik stop od funkčních částí zbraně. Mezi ty nejvýznamnější patří stopa od úderníku, vytahovače a vyhazovače. Dále zde můžeme nalézt stopy od lůžka pro dno náboje, nábojové komory, výhozného okénka aj.



Obr. 11 Nábojnice 9 mm Luger vystřelená z pistole Glock 17

3.2.1 Stopa úderníku

Stopu zanechanou úderníkem zbraně v zápalce můžeme označit za nejdůležitější. Význam této stopy je pak ještě větší v případě, kdy se ostatní významné stopy na nábojnici správně neotisknou nebo jsou znehodnoceny, a tak ztrácí smysl použití takovýchto stop při identifikaci (např. stopa vyhazovače a vytahovače). Příkladem může jít přebíjený náboj, u kterého nábojnice obsahuje několik stop výstřelu a zjištění z nich nově vytvořených je téměř nemožné.

Při výstřelu zanechává úderník zbraně úderem do zápalky náboje v zápalce svůj otisk. Stopa úderníku vykazuje specifické nerovnosti, které vzniknou při výrobě nebo opotřebením. Pro identifikaci zbraně je důležitý jak tvar a velikost, tak i umístění této stopy na dně nábojnici, zejména úhel, který svírá s vytahovačem, případně vyhazovačem.

Stopy úderníku můžou být svým tvarem řazeny na:

- kruhové
- obdélníkové

V případě pistolí Glock 17 & 19, které byly použity pro účely praktické části, se jedná o stopu obdélníkového tvaru. Můžeme zde nalézt dvojí stopy účinku úderníku. První markant je způsobený statickým úderem úderníku a projevuje se jako malá jamka v zápalce náboje.

Relativním pohybem mezi dvěma povrchy vzniká druhý markant, který je vnímán jako drobné rýhy.



Obr. 12 Jamka a rýhy vytvořené úderníkem pistole Glock 17

3.2.2 Stopa vytahovače a vyhazovače

Vytahovač a vyhazovač plní funkci vyhození prázdné nábojnice ze zbraně. Pohybem závěru vzad je nábojnice za pomoci vytahovače tažena stejným směrem, nárazem na vyhazovač vyletí ven okénkem. Důležitý je nejen jejich tvar a poloha na nábojnici, ale také jejich vzájemné umístění, tedy úhel, který svírají mezi sebou.

3.2.2.1 Stopa vytahovače

Stopa vytahovače se většinou nachází v drážce a na předním okraji dna nábojnice. Z tvaru a umístění této stopy můžeme určit i typ použité střelné zbraně.

Drápkem vytahovače je po výstřelu tažena prázdná nábojnice ven z nábojové komory střelné zbraně.

Podle tvaru je rozdělujeme do tří základních skupin na:

- nepravidelného tvaru
- tvar písmene J
- eliptické [22]



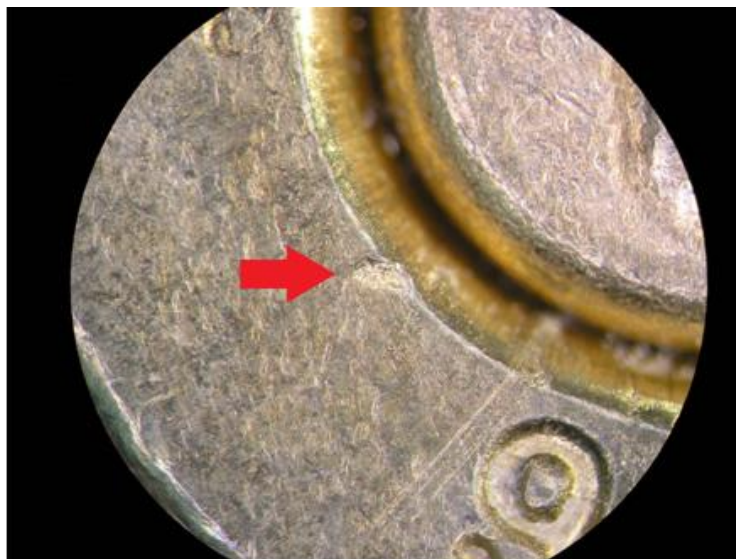
Obr. 13 Stopa po vytahovači pistole Glock 17

3.2.2.2 *Stopa vyhazovače*

Stopa vyhazovače se nachází na dně nábojnici a může být nalezena na třech odlišných pozicích. Nachází se blízko u zápalky, mezi zápalkou a obrubou nebo poblíž hrany obruby. Tvar a poloha stopy vyhazovače je jednou z nejdůležitějších stop na nábojnici, která umožňuje určení druhu zbraně. Některé pistole neobsahují vyhazovač a pro tento účel jim slouží úderník, který vyčnívá z otvoru lůžka pro dno nábojnice.

Stopy vyhazovače mohou být různého typu:

- vějířovité
- bodové
- přímé
- kruhové
- trojúhelníkové
- lineární [22]



Obr. 14 Stopa po vyhazovači pistole Glock 17

3.2.3 Ostatní stopy na nábojnici

Další stopy nalezené na nábojnici mohou být ty, které zanechávají na nábojnici hrany nábojové komory. Tyto stopy vznikají na nábojnici po jejím doražení do nábojové komory a je možné je nalézt na válcové části nábojnice. Můžou posloužit pro určení typu zbraně, ale i k individuální identifikaci zbraně.

Na nábojnici jsou i stopy od lůžka pro dno nábojnice. Závěr zbraně uzavírá náboj v nábojové komoře. Při výstřelu spodní strana nábojnice narazí do části závěru nazývaného lůžko pro dno nábojnice. Při tomto nárazu se všechny jeho nerovnosti otisknou do zápalky případně i do samotné nábojnice. Tyto stopy mohou mít kruhový tvar, tvar horizontálních i vertikálních čar a jejich pozice může být náhodná.

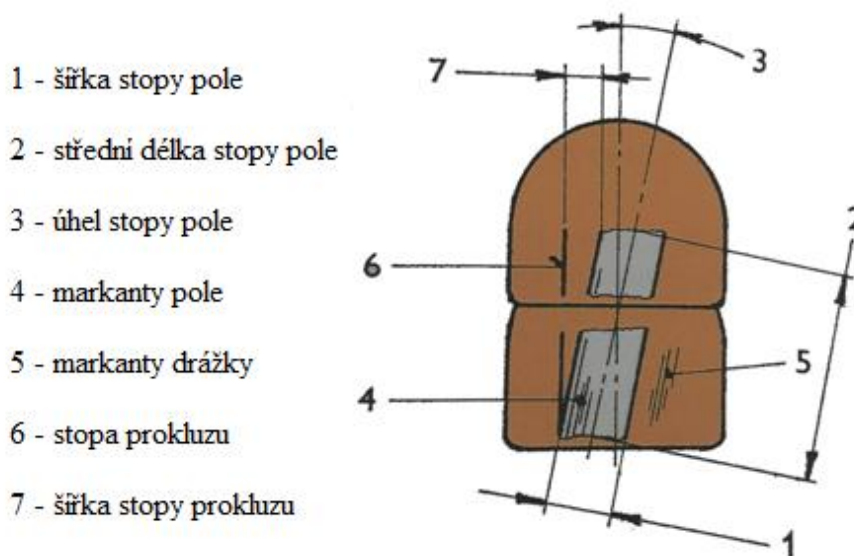
Stopy od výhozného okénka mohou vzniknout na plášti nábojnice v případě, že se nábojnice otře o ostrou hranu okénka. Dále můžeme na nábojnici nalézt stopy vývodek zásobníku, které lze nalézt na protilehlých stranách pláště nábojnice. Vznikají už při nabíjení zásobníku, ale i v okamžiku, kdy je nábojnice vytlačována ze zásobníku. Identifikační význam mají však jen ve výjimečných případech.

3.3 Identifikace podle vystřelených střel

Na místě činu může pracovník nalézt střelu vypálenou z hlavně. Pistole, revolvery a pušky mají většinou drážkovanou hlaveň, která udělí střele rotaci a zvýší tak její stabilitu při letu. Drážkování hlavně je individuální a lze tak ztotožnit vystřelené střely s konkrétní hlavní, a tedy i se zbraní. Střely se však často při nárazu deformují, takže vzniklé stopy mohou zaniknout. Při nálezu střely na místě činu se vyhodnocuje zejména druh, ráže, délka, tvar, hmotnost a výrobní materiál dané střely.

Drážkování hlavně se skládá ze dvou částí, těmito částmi jsou drážky a pole. Drážky jsou ty části, které jsou v hlavni vyfrézované a vystouplé části, kterých se fréza nedotkla, se nazývají pole. Jejich počet je různý a pohybuje se v rozmezí od 1 do 24. Pro zkoumání má pak zásadní význam počet vytvořených drážek, jejich šířka, hloubka, směr rotace drážek (pravotočivý, levotočivý) a úhel stoupání drážek.

Na plášti střely se při průchodu vývrtem hlavně odrážejí mikronerovnosti povrchu hlavně, jejichž specifické projevy považujeme také za markanty. Nejvíce využívané jsou šikmé stopy polí, které jsou ohraničené stopou zatíženou (opěrnou) a odlehčenou hranou. Tyto pole zobrazují jednotlivé markanty nejspolehlivěji. Šikmé stopy drážek nejsou jednoznačně ohraničeny a výraznost markantů je přímo závislá na skutečném průměru střely. Stopy prokluzu vznikají na plášti střely v době, kdy se střela zařezává do vývrtnu ještě neroztočená. Vyskytují se u odlehčené hrany a v průběhu průchodu střely hlavní mohou zaniknout - jsou „přemazány“ stopami šikmých drážek. [20]



Obr. 15 Stopy na střele (názvosloví) [20]

3.4 Individuální identifikace zbraně

Nejdůležitějším výsledkem balistického zkoumání je individuální ztotožnění zbraně, které pak lze použít jako důkaz před soudem. Jde o velmi náročnou úlohu, která pro řešení vyžaduje rozsáhlé zkušenosti a talent.

Individuální identifikace je založena na faktu, že jakékoliv dvě zbraně nezanechávají na nábojnici a střele stejné markanty. Případné prokázání shody markantů na nábojnicích a střelách z místa činu s nábojnici a střelami pokusně vystřelenými z podezřelé zbraně je jasným důkazem použití této zbraně ve vyšetřovaném činu.

Výsledek individuální identifikace můžeme vyjádřit v pětistupňové škále. Nejvhodnější je tuto škálu používat ve formě číselného vyjádření 1 až 5 (případně označení A až E). V praxi je někdy zapotřebí širší škály a uplatňují se tak i mezistupně (např. stupeň jedna mínus, tedy stupeň mezi 1 a 2). [20]

škála	slovní vyjádření	procentuální vyjádření
1	individuální shoda, střela/nábojnice byla vystřelena z předložené zbraně	100 %
2	individuální shoda pravděpodobná, střela nábojnice byla s velkou pravděpodobností vystřelena z předložené zbraně	75 %
3	individuální shodu nelze potvrdit ani vyloučit	50 %
4	individuální shodu lze s velkou pravděpodobností vyloučit, střela/nábojnice nebyla s velkou pravděpodobností vystřelena z předložené zbraně	25 %
5	individuální shodu lze vyloučit, střela/nábojnice nebyla vystřelena z předložené zbraně	0 %

Tab. 2 Vyjádření stupně individuální shody [20]

Pro porovnání jednotlivých markantů na nábojnici nebo střele pouhé lidské oko nestačí. Některé markanty sice můžeme pozorovat pouhým okem, ale pro potřeby ztotožnění zbraně je toto porovnání však nedostačující. Markanty rozhodující o výsledku identifikace zbraně tvoří hlavně mikrorýhy a malé detaily, které nelze pouhým okem pozorovat.

Rozvojem počítačové, zobrazovací a automatizační techniky se zefektivnila práce forenzních balistiků. I když tyto technologie ulehčují tuto práci, lidský faktor je stále potřebný. Pro potřeby porovnání markantů na nábojnicích a střelách z místa činu s nábojnicemi a střelami pokusně vystřelenými z podezřelé zbraně se využívá např. komparačního mikroskopu.

Moderních balistické systémy umožňují nejen plošné zobrazení, ale i vytvoření trojrozměrného modelu střely nebo nábojnice. Jednotlivé obrázky a modely nábojnic a střel je možné uložit na disk a v případě potřeby kdykoliv v budoucnu zpětně otevřít. Systém je připojen k databázi naskenovaných objektů a umožňuje ukládat, vyhledávat a porovnávat pomocí vestavěných algoritmů jednotlivé objekty mezi sebou. Disponuje také možností simulace komparačního mikroskopu. Systém prohledává a porovnává velké množství objektů, které by člověk nedokázal osobně prozkoumat. Výstupem je pak soubor jen několika objektů s možnými procentuálně vyjádřenými shodami, které pak kriminalista osobně prověří. Příkladem může jít komerčně využívaný systém LUCIA BalScan™ od české firmy Laboratory Imaging.

3.4.1 Komparační mikroskop

Komparační mikroskop umožňuje pozorovat dva objekty v jednom zorném poli. Konstrukčně se skládá ze dvou identických mikroskopických soustav tvořených dvěma objektivy a stolky, kde obraz je opticky spojen v jediném okuláru. Okuláry jednotlivých soustav jsou svedeny k sobě v rozestupu lidských očí. Výsledný obraz je rozdělen svislou čarou na dvě části. Každá polovina zorného pole pak přísluší jedné soustavě. Tímto způsobem tak můžeme pozorovat dva podobné objekty zároveň. Stolky nejsou pevně uchyceny, ale lze s nimi pohybem docílit návaznosti detailů jednotlivých objektů v dělicí rovině zorného pole. Při komparaci je důležité, aby na oba objekty dopadalo světlo se stejnou intenzitou a pod stejným úhlem, nejlépe kolmo dopadající světlo na pozorovaný objekt.

Mikroskop je většinou vybaven i fotografickým systémem pro případné zachycení markantů. Fotografické systémy se však hodí spíše na focení plochých částí objektu, neboť u oválných objektů je zachycena jen malá zaostřená část. Pro zachycení stop např. na obvodě střely využívají moderní systémy kamery a záznamové zařízení, tím můžeme zachytit stopy po celém obvodu střely bez rizika poškození.



Obr. 16 Komparační mikroskop a porovnání nábojnice [26], [27]

3.5 Získání testovacích nábojnic a střel

Testovací nábojnice a střely se získávají výstřelem z podezřelé zbraně. Pro dokonalé otisknutí stop na nábojnici a střele je zapotřebí před výstřelem z podezřelé zbraně očistit všechny její funkční části od nečistot, které by svou přítomností mohli způsobit vznik nežádoucích rýh.

Získání nábojnic je poměrně jednoduché. Problém nastává u střel, které se nárazem můžou značně zdeformovat. Střely musíme tedy zachytit tak, aby se co nejméně zdeformovaly. K tomuto účelu můžou posloužit nádrže s vodou (tzv. vodní tank), případně střelbou do textilií (např. vata). Při střelbě do vody vstupuje projektil do vody pod úhlem přibližně 30° . V případě střelby do vaty je nevýhodou to, že musí být často měněná a někdy nalezení projektilu ve vatě trvá poměrně dlouho. Ze zbraně by pak měly být vystřeleny minimálně čtyři náboje pro následnou komparaci. Tyto nábojnice nebo střely jsou porovnány mezi sebou a je vybrána jedna s typickými markanty, která je použita jako referenční pro porovnání s nábojnici nebo střelou z místa činu. V případě shody je porovnána i s ostatními testovacími nábojnicemi nebo střelami.

4 METODY ZOBRAZENÍ POVRCHU VZORKU

Pro zobrazení povrchu vzorku se využívají různé metody. Tyto metody se liší hlavně v použitém fyzikálním principu, rozlišovací schopnosti, způsobu zobrazení a přesností. Při výběru metody vycházíme z vlastností skenovaného materiálu a požadavků na zobrazení. Vliv na výběr metody může mít také složitost realizace a ekonomická stránka. Máme bezkontaktní metody, které využívají optické přístroje, nebo kontaktní a bezkontaktní, které využívají měření určité veličiny na skenovací sondě.

4.1 Optická mikroskopie

Optické mikroskopy patří mezi nejrozšířenější přístroje, které jsou využívány v širokém spektru vědních a technických aplikací, umožňující několikanásobné zvětšení. Pro zkoumání vzorku touto metodou se používá elektromagnetické záření o vlnové délce přibližně 180 nm až 1 300 nm. Při zkoumání vzorku dochází ke změně charakteristických vlastností používaného záření, jakými jsou např. amplituda, fáze, polarizace či frekvence (vlnová délka). Rozlišovací schopnost daného zařízení závisí na kvalitě použitých optických soustav. Vzorek pak lze pozorovat různými metodami. [23]

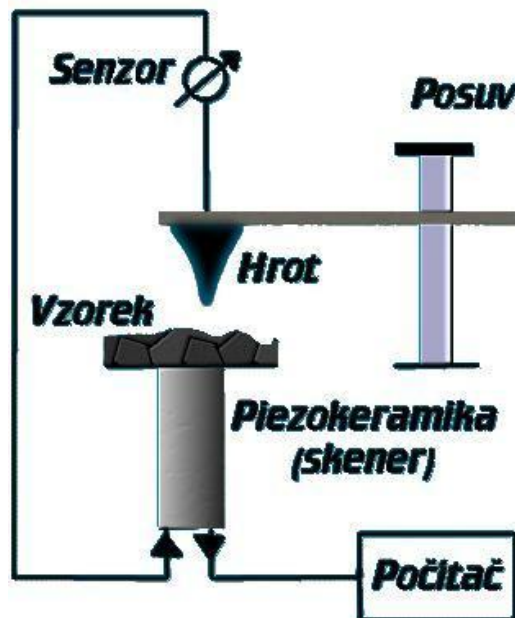
4.2 Mikroskopie skenující sondou (SPM - Scanning Probe Microscopy)

Jde o soubor experimentálních metod, které jsou určeny ke stanovení struktury povrchu až se subatomárním rozlišením. Metody umožňují zobrazovat trojrozměrný obraz vzorku, je však nutné provádět postupná měření ve více bodech. Klade nároky na mechanickou stabilitu a řízení pohybu – může dojít k poškození vzorku. Tohoto SPM někdy využívá k modifikaci povrchu vzorku až na úrovni jednotlivých atomů. Jsou různé metody SPM, které našly uplatnění především ve fyzice povrchů, biologii nebo v technologii testování integrovaných obvodů. [24]

Metoda využívá mechanické sondy, která se přibližuje v kolmém směru k povrchu vzorku. Sonda pak může mít při zkoumání buď přímý kontakt s povrchem vzorku, nebo je jen v jeho těsné blízkosti.

Metoda umožňuje zobrazovat části vzorku v rozmezí od stovek mikrometrů až do jednotek nanometrů, pro nejmenší oblasti až se subatomárním rozlišením. Z principu metody vyplývá různé rozlišení v rovině skenování (povrch vzorku) a ve směru kolmém k povrchu

(osa Z). Rozlišení v rovině skenování záleží zejména na velikosti sondy a měřících rozestupů. Ve směru kolmém pak na charakteru interakce a mechanické stabilitě mikroskopu. V nejlepších případech jejich rozlišení dosahuje hodnot setin až tisícín nanometrů. [24]



Obr. 17 Obecné schéma mikroskopu se skenující sondou [24]

Každý mikroskop SPM se skládá z následujících částí:

- *Skener* – piezokeramické pohybové členy, které vytvářejí měřicí rastr, přibližují a oddalují sondu
- *Sonda* – umístěna v držáku, tvořená zpravidla ostrým hrotem, který interaguje s povrchem vzorku, liší se dle typu mikroskopie
- *Senzor* – snímá měřenou veličinu, někdy je přímo sondou, někdy potřebuje aktivní část (např. LASER)
- *Obvod zpětné vazby* – určené k řízení měření, záznamu a vizualizaci dat
- *Platforma* – stolek pro upevnění a manipulaci se vzorkem
- *Optický systém* – pro orientaci nad vzorkem
- *Pomocné části* – tlumení vibrací, generátory magnetického pole atd.
- *Napájecí zdroj* [24]

Mezi metody vycházející z SPM patří například:

- Rastrová tunelovací mikroskopie (STM – Scanning Tunneling Microscopy)
- Mikroskopie atomárních sil (AFM – Atomic Force Microscopy)
- Mikroskopie magnetických sil (MFM – Magnetic Force Microscopy)
- Mikroskopie laterálních sil (LFM – Lateral Force Microscopy)
- Mikroskopie modulovaných sil (FMM – Force Modulation Microscopy)
- Mikroskopie elektrostatických sil (EFM – Electrostatic Force Microscopy) [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A MĚŘÍCÍ TECHNIKA

V rámci realizace byla použita metoda podobná SPM. Měření bylo prováděné stacionárním skenovacím hrotem za pomoci digitálního multimetru (DMM - Digital Multimeter) Agilent 34410A. Pro zajištění posuvu vzorku v osách X, Y a Z byly využity tři servomotory Mercury M-110 1DG. Pomocí vývojového prostředí MatLab R2009b pak byly tyto použité přístroje ovládány.

5.1 Servomotor Mercury M-110 1DG

Servomotory jsou zařízení vyznačující se vysokou přesností pohybu. V rámci realizace této práce byly využity servomotory Mercury M-110 1DG od firmy Physik Instrumente (PI) umožňující lineární posuv v rozsahu 5 mm s minimálním možným posuvem menším než 0,5 μm . Maximální rychlost je 1 mm/s. Jejich velkou výhodou je i možnost zkombinovat více M-110 a vytvořit tak možnost posuvu ve více osách. Každý servomotor pak vykonává pohyb v jedné ose (X, Y nebo Z). Pro řízení mikroposuvů je zapotřebí krokového ovladače. [3]



Obr. 18 Servomotor M-110 1DG [32]

1. tělo servomotoru
2. pohyblivá plošina
3. kabel pro připojení krokového ovladače
4. servomotor

5.2 Krokový ovladač Mercury C-862

Krokový ovladač Mercury C-862 slouží k flexibilnímu řízení pohybů servomotorů. Na určení pozice využívá zpětnovazební kvadratický enkodér signálu. V závislosti na enkodérové stupnici můžeme dosáhnout přesnosti pohybu až $0,05 \mu\text{m}$. Každý ovladač však může ovládat pouze jeden motor, tedy při použití třech mikroposuvů je zapotřebí použít i tři krokové ovladače. Krokové ovladače jsou mezi sebou a s mikroposuvy propojené pomocí sériové linky (RS-232). Výsledná soustava je tím samym způsobem propojena s počítačem. Každý krokový ovladač se pak adresuje jednotlivě, při poslání příkazu je nutné specifikovat adresu konkrétního ovladače, tedy zvolit pro jaký ovladač je daný příkaz určen. [4], [5]



Obr. 19 Krokový ovladač C-862 [33]

5.3 Digitální multimetr Agilent 34410A

Pro automatizaci a zpřesnění celého procesu měření byl využit digitální multimetr Agilent - 34410A. K počítači byl připojený prostřednictvím rozhraní GPIB (General Purpose Interface Bus) a ovládán pomocí vývojového prostředí MatLab. [4]

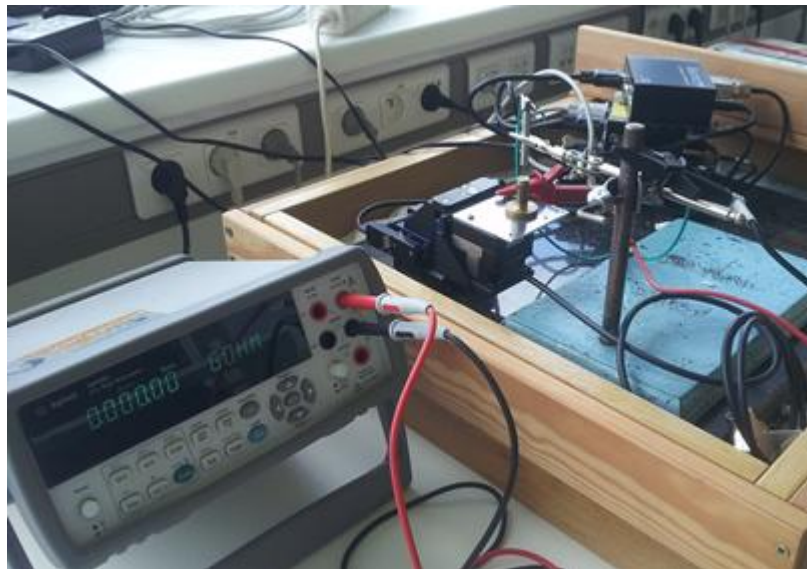


Obr. 20 Přední panel multimetru Agilent 34410A [28]

5.4 Sestavená měřící aparatura

Prostřednictvím rozhraní RS-232 byly k počítači připojené tři krokové ovladače C-862. Ke každému z nich byl připojen jeden servomotor M-110 1DG rovněž přes rozhraní RS-232. Každý servomotor pak zajišťoval pohyb v jedné ze tří os.

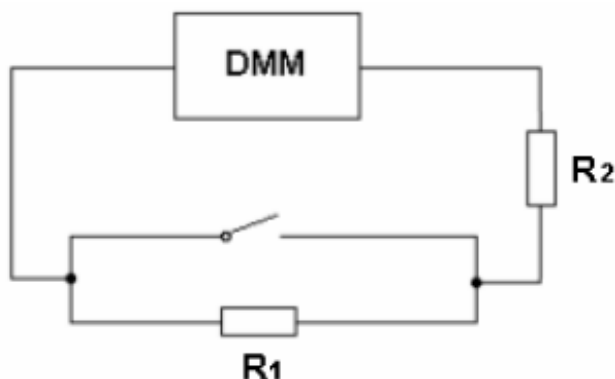
Sestavený systém posuvů slouží na pohyb v osách X, Y a Z. V ose X a Y se vzorek přemísťuje mezi jednotlivými body skenovacího rastru. V ose Z se pak vzorek přibližuje k stacionárnímu hrotu. Přesnost a detailnost výsledku skenování závisí jednak na vzdálenosti jednotlivých bodů rastru, jednak na velikosti posuvu při přibližování v ose Z. Čím menší je vzdálenost jednotlivých bodů (větší počet bodů v rastru) a zároveň menší přibližovací krok, tím je výsledek přesnější a detailnější, ale narůstá tak doba skenování. Je proto nutné zvolit optimální velikost posuvu. [5]



Obr. 21 Systém skenovací mikroskopie

5.4.1 Použitá skenovací metoda

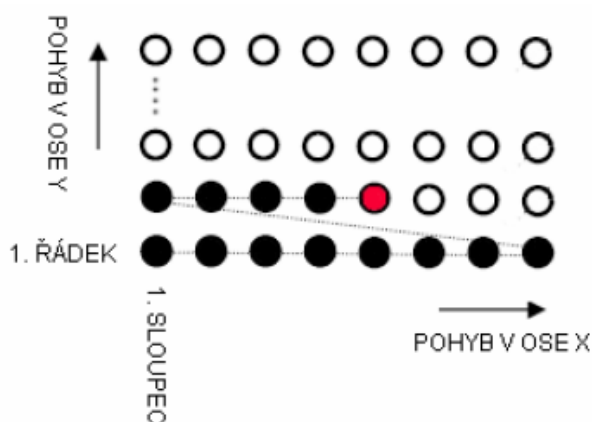
Pro skenování vzorek byla použita kontaktní metoda. Multimetr zde měří odpor vedení podle následujícího schématu. Zobrazený vypínač je realizován stacionárním skenovacím hrotem a zkoumaným vodivým vzorkem (v našem případě nábojnice). Paralelně k vypínači je připojený rezistor R_1 . Při kontaktu hrotu se vzorkem dojde k sepnutí vypínače, tím dojde k poklesu odporu v obvodu. Hodnota rezistorů byla zvolena $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 100 \Omega$. [5]



Obr. 22 Schéma měření na hrotu [4]

5.4.2 Skenovací rastr

Skenování se vykonává v pravidelném rastru. Síť bodů vytváří vzájemná poloha vzorku a hrotu. Při skenování je nejprve vykonáván posuv mezi jednotlivými body prvního řádku (ve směru osy X). Po dokončení požadovaného počtu bodů daného řádku se vzorek přemístí tak, aby se hrot dostal na další řádek, kde se celý proces opakuje. Toto probíhá až do okamžiku, kdy se změří všechny zadané řádky rastru. [5]



Obr. 23 Skenovací rastr [5]

5.4.3 Program pro řízení a sběr dat

Program byl vytvořený v prostředí MatLab. Princip programu je jednoduchý. V podstatě jde o tři vzájemně provázané cyklické funkce. První funkce zajišťuje pohyb po řádcích (ve směru osy X), druhá ve sloupcích (ve směru osy Y) a třetí zajišťuje kontakt mezi vzorkem a skenovacím hrotem (pohyb ve směru osy Z). Vzorek se po krocích přibližuje k hrotu a při vyhodnocení kontaktu vzorky s hrotem program vypíše aktuální souřadnice jednotlivých posuvů ve formátu „{hodnota X, hodnota Y, hodnota Z},” pro pozdější zpracování v programu Wolfram Mathematica. Po uložení aktuálních dat se vzorek oddálí od hrotu a pokračuje na další bod v řádku rastru. Po dokončení všech bodů daného řádku přechází na začátek dalšího řádku rastru. Po změření všech řádků (všech bodů zadaného rastru) se vzorek oddálí od hrotu a měření je ukončené. [4]

Hodnoty jednotlivých posuvů jsou zadávané v relativních jednotkách - tzv. krocích. Získaná data jsou pak tedy v krocích. Pro lepší srozumitelnost je však vhodné je přepočítat na jednotky metrické soustavy. Vztah pro tento převod experimentálně stanovil student Josef Kudělka ve své bakalářské práci, tedy $1 \text{ krok} \approx 0,02 \mu\text{m}$. [5]

6 ZAMĚŘENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část se zaměřuje na vizualizaci některých stop na nábojnici za pomoci systému popsaného v kapitole 5. Jde jednak o stopu zanechanou úderníkem v zápalce náboje, jednak o stopu zanechanou vyhazovačem. Nábojnice byly vystřeleny ze tří různých pistolí Glock. Z každé této zbraně (Glock 17, Glock 17 Gen 4 a Glock 19) byly vystřeleny tři nábojnice, které byly naskenované vytvořeným systémem skenovací mikroskopie. Získaná data byly vizualizované v programu Mathematica 8.

6.1 Skenovací algoritmus

Řídící program byl vytvořený ve vývojovém prostředí MatLab R2009b. K ovládání servomotorů a krokových ovladačů je sice dodáváný i software, ten však nebyl pro potřeby dané aplikace dostatečně flexibilní, neumožňoval vytvářet podmínky posuvů na základě dat z multimetru. [4]

Program slouží pro ovládání servomotorů a na sběr naměřených dat. V programu se definuje počet bodů rastru, jejich vzájemná vzdálenost, krok posuvu vzorku k hrotu a velikost oddálení vzorku od hrotu po vyhodnocení kontaktu.

Původní program vytvořil student Tomáš Martínek v rámci své bakalářské práce. Princip programu je jednoduchý (viz kap. 5.4.3). Nevýhodu však představoval návrat posuvu v ose Z do výchozí polohy po pozitivním vyhodnocení kontaktu. Poté nastalo měření dalšího téměř stejně položeného bodu. To značně prodlužovalo dobu skenování. Zlepšení programu provedl student Roman Pollák ve své diplomové práci a to tak, že se již vzorek po vyhodnocení kontaktu v ose Z nevrací do výchozí pozice, ale pouze o předem nastavenou pevnou hodnotu (takovou hodnotu, aby při posuvu na další bod rastru nedošlo ke kolizi vzorku s hrotem). Nastavení této hodnoty pak záleží hlavně na morfologii skenovaného vzorku. V našem případě, u skenování nábojnic, byla pevně nastavena na hodnotu 5 000 kroků (100 μm). [4], [6]

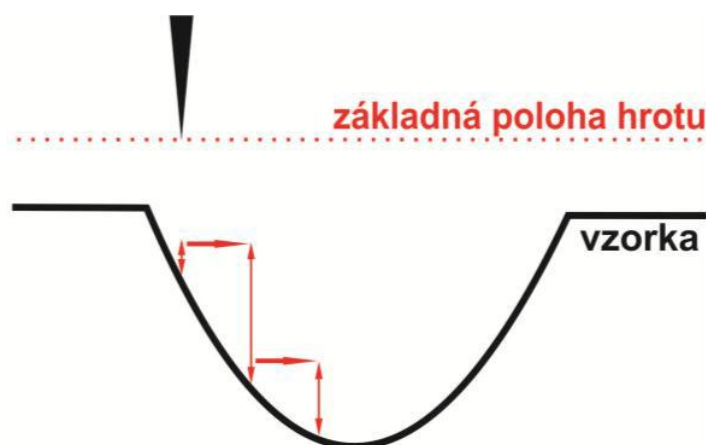
Svým zlepšeným algoritmem pak Roman Pollák naskenoval jednu nábojnici s následujícím nastavením. Počet bodů rastru byl 7 000, vzdálenost mezi jednotlivými body rastru 1 000 kroků (20 μm) a přiblížení vzorku směrem k hrotu 200 kroků (4 μm). Měření pak trvalo přibližně 18 hodin. [6, s. 52, s. 62]

Algoritmus však obsahuje pevně nastavené pauzy - čas, který program čeká dokud se nedokončí posuv oddálení vzorku od hrotu nebo posuv k dalšímu bodu rastru. Tyto intervaly však mohou zbytečně prodlužovat dobu skenování.

Pauzy byly sníženy a při skenování rastru, který obsahoval 7 500 bodů s velikostí mezer mezi jednotlivými body 1 000 kroků (20 μm) a přiblížení vzorku k hrotu s krokem 100 (2 μm), měření trvalo přibližně 10 a půl hodiny. Měření rastru se 7 000 body, s mezery 1 000 kroků (20 μm) a s velikostí přiblížení 200 kroků (4 μm) pak trvalo přibližně 6 hodin.

Tyto časové intervaly (pauzy) jsou však stále pevně nastavené. Jejich snížení na minimum by bylo možné například s využitím příkazu pro krokový ovladač. K tomuto účelu by mohl posloužit příkaz TS (Tell Status), který vrací informaci o stavu - hexadecimální číslo, u kterého jednotlivé bity značí určitou informaci o aktuálním stavu servomotoru. Je zde i bit, který značí informaci o dokončené trajektorii, tedy zdali je motor v pohybu či stojí. S využitím této informace a podmínky *WHILE* by se dal tento časový interval zkrátit. Podmínka *WHILE* by v určitém minimálním časovém intervalu stále kontrolovala daný bit a to až do doby, kdy by byl roven hodnotě stanovující informaci o dokončené trajektorii. Teprve po skončení podmínky *WHILE* by se pokračovalo v následujícím příkazu programu (například posun k dalšímu bodu rastru po oddálení vzorky od hrotu).

Realizace tohoto vylepšení se mi však nepodařila. Podmínka, i když dle mého měla, nefungovala tak, jak měla. Stav podmínky byl náhodný a vykazoval stav - motor stojí, i když byl stále v pohybu. To mohlo být způsobeno samotnou komunikací, přehlcení ovladače příkazem TS či jiný pro mě neznámý důvod.



Obr. 24 Postup vzorku při skenování [6]

6.2 Vizualizace a analýza stop pistole Glock

Výsledné vizualizace jsou označeny dvojicí čísel, kde první číslo značí číslo zbraně a druhé číslo vystřelenou nábojnici z dané zbraně (např. 1.2 značí druhou nábojnici vystřelenou z první zbraně).

Jednotlivé značení zbraní je následující:

1. Glock 17
2. Glock 17 Gen 4
3. Glock 19

Všechny nábojnice byly naskenované stejným způsobem s přibližně stejným počtem rastrových bodů v rámci dané stopy. U úderníku měl skenovací rastr rozměry až 110 x 75 bodů, počet bodů rastu tak dosahoval hodnot až 8 250. Skenovací rastr u vyhazovače měl rozměry přibližně 100 x 50 bodů (5 000 rastrových bodů). Mezery mezi jednotlivými body rastu byly v obou případech (u úderníku i vyhazovače) stejné - 1 000 kroků, tedy 20 μm . Nastavení přibližovacího kroku (přiblížení vzorku k hrotu) bylo 100 kroků (2 μm). Skenování jedné stopy pak při snížených časových intervalech trvalo přibližně 10 až 12 hodin.

6.2.1 Vizualizace a analýza stop úderníku

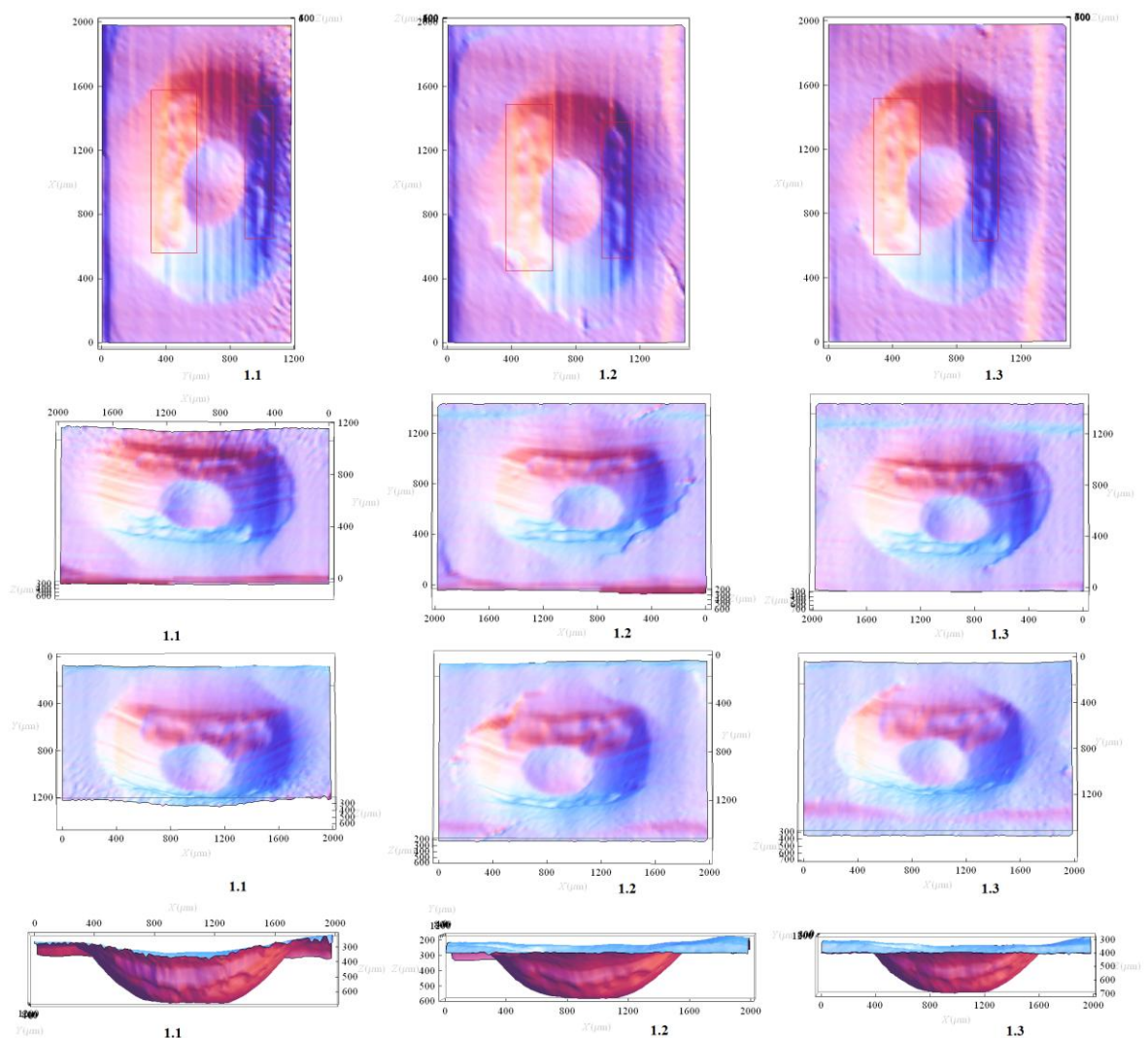
Stopy úderníku zkoumaných zbraní mají podlouhlý tvar s malou kulatou plochou ve středu dna. Drobné nerovnosti jsou pak výsledkem individuálního opotřebení každého úderníku, které mohou posloužit při individuální identifikaci zbraně. Tvary otisku úderníku se můžou v zásadě mírně lišit i v případě, že byly vystřeleny z jedné zbraně, na druhou stranu si však zachovávají detaily, které jsou dány její individualitou.

V případě skenovaných pistolí Glock jsou důležitou stopou i rýhy způsobené relativním pohybem mezi zápalkou a úderníkem. Tato stopa však nemohla být naskenována z důvodu velikosti špičky skenovacího hrotu, která je příliš velká na zachycení detailů rýh.

6.2.1.1 Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 1 (Glock 17)

Jak můžeme vidět, otisk úderníku z první zbraně se vyznačuje oválným tvarem s oválnou plochou na dně jamky. Tvar jamky se u jednotlivých nábojnic mírně lišil, na druhou stranu

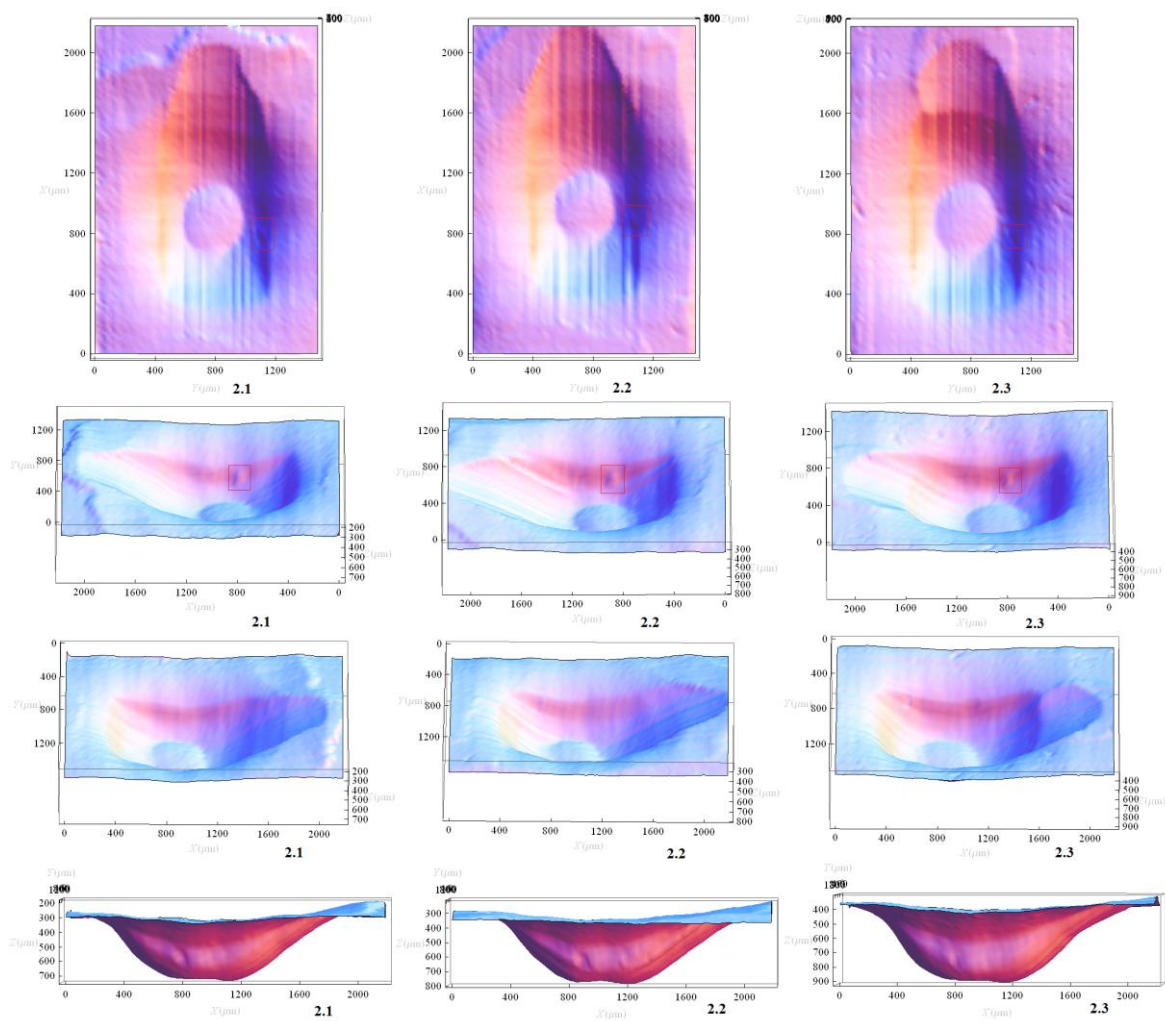
však obsahují markanty, které jsou pro danou zbraň typické. Prvním markantem může být velikost a tvar vystouplé plochy na dně jamky, jako i její drobná nerovnost v horní části. Na stranách této plochy můžeme vidět podlouhlé vystouplé nerovnosti (vyznačeny ve vizualizaci červenými obdélníky), které se též vyskytují ve všech nábojnicích (dané zbraně). Při pohledu na pravý výběžek si můžeme všimnout jeho přepůlení přibližně v polovině, tento jev je nejlépe pozorovatelný při pohledu shora. Při pohledu zprava na levý výstupek nám vynikne lépe jeho tvar, zejména pak jeho pravá část. Dalším znakem vyskytujícím se v každé nábojnici je drobný bodový výběžek, který se vyskytuje při pohledu shora nad pravým podlouhlým výčnělkem. Při pohledu z boku (pohled na pravý bok) můžeme vidět shodný tvar i hloubku jamky.



Obr. 25 Vizualizace otisku úderníku první zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku

6.2.1.2 Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 2 (Glock 17 Gen 4)

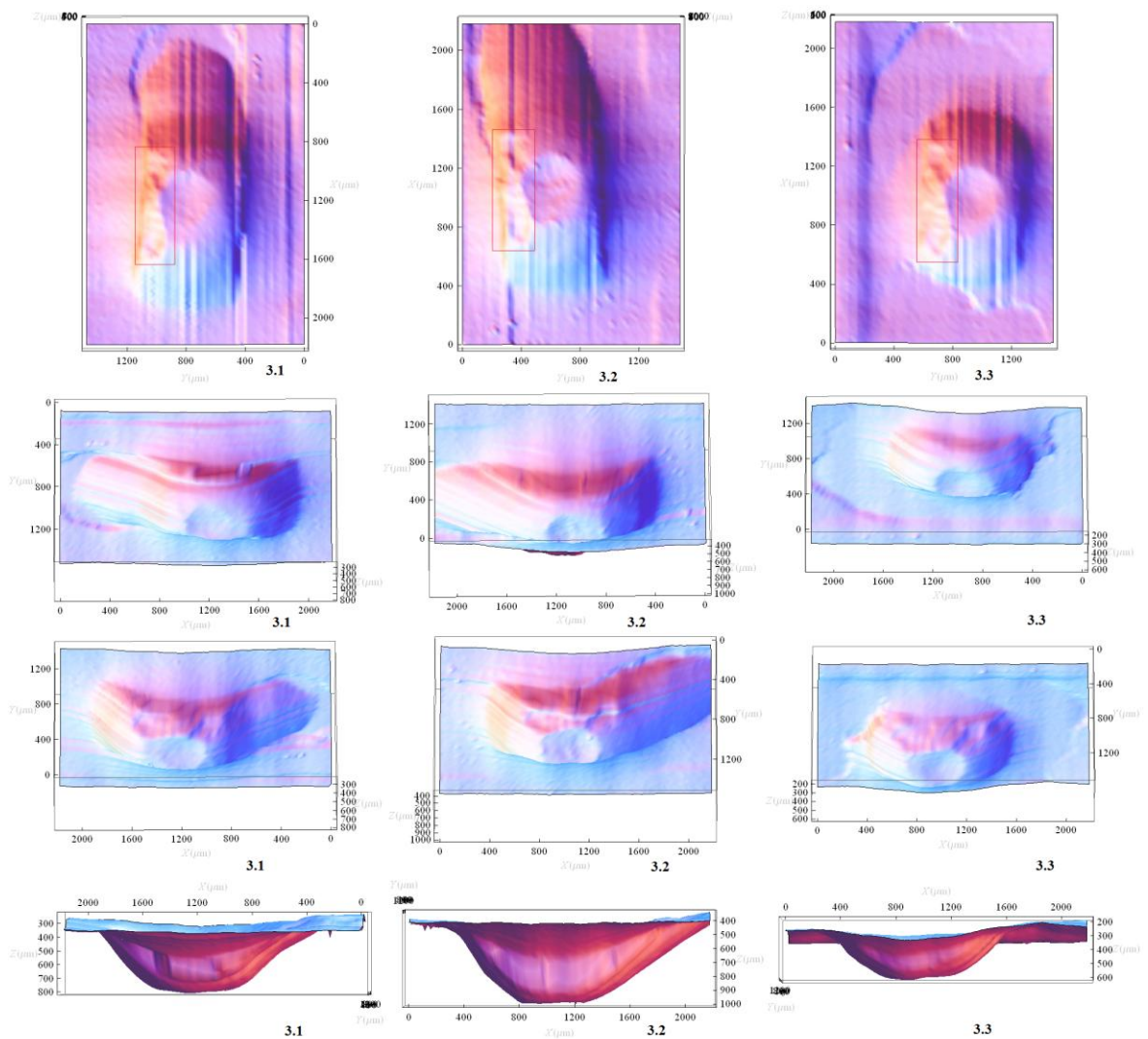
Otisk úderníku druhé zbraně se vyznačuje typickým podlouhlým tvarem s oválnou plochou na dně jamky. Mezi společné znaky pro tyto nábojnice, a tedy i zbraň je tvar a velikost ony oválné plochy na dně jamky, která je zde oproti použití první zbraně více dokulata. Také si můžeme povšimnout její drobné nerovnosti v levé horní části a mírně protažené spodní části. Lépe viditelný markant je bodový výběžek v pravé části jamky (vyznačený ve vizualizaci červeným čtverečkem), který je nejlépe pozorovatelný při pohledu zleva. Při pohledu z boku (pohled na pravý bok) pak můžeme vidět jejich shodný tvar i hloubku.



Obr. 26 Vizualizace otisku úderníku druhé zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku

6.2.1.3 Otisk úderníku vytvořený zbraní č. 3 (Glock 19)

Otisky úderníku se v případě třetí zbraně od sebe lišily tvarem i velikostí více než v předchozích případech, na druhou stranu si však i přesto zachovávají stejné markanty. Tyto markanty můžeme vidět na dně otisku v podobě kruhové vystouplé plochy s dvěma plochami po levé straně. Při pohledu zprava na tyto plochy můžeme vidět jejich shodný tvar. Při pohledu z boku si můžeme všimnout různé hloubky jednotlivých otisků, zejména u nábojnice 3.2 a 3.3, to mohlo být způsobeno například rozdílnou silou úderu úderníku, polohou náboje v nábojové komoře a pod. Tyto faktory mohly rovněž ovlivnit i tvar otisku. U nábojnice 3.1 si při pohledu shora může v pravé části povšimnout mírné podélné nerovnosti, která byla pravděpodobně způsobena mírným posuvem vzorku při skenování.



Obr. 27 Vizualizace otisku úderníku třetí zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku

6.2.1.4 Srovnání otisků úderníků

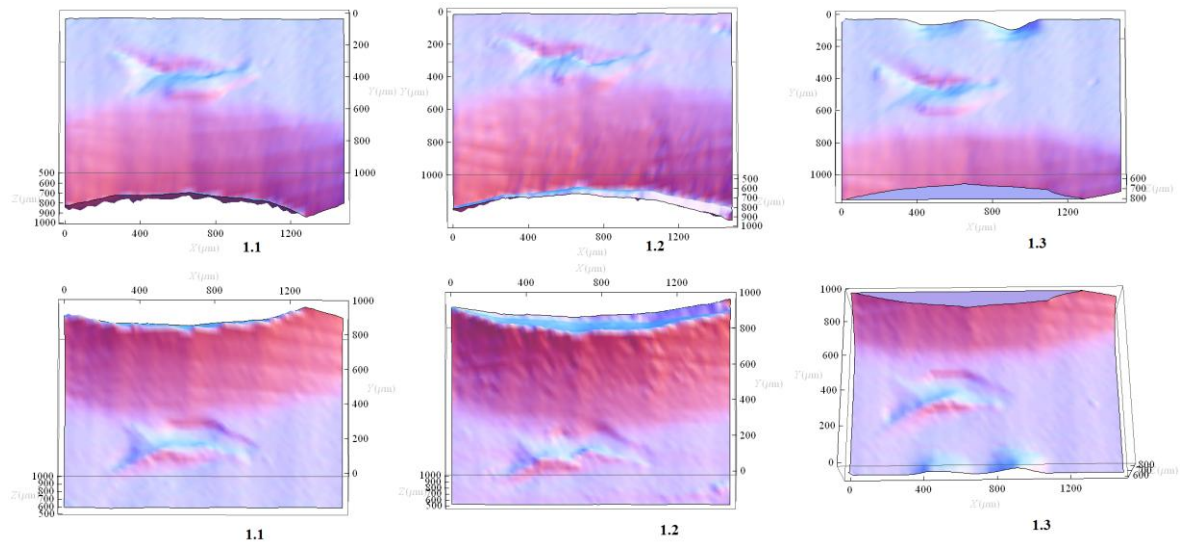
Všechny naskenované nábojnice mají podélný tvar s oválnou plochou na dně. Každá naskenovaná série stop úderníků je však nositelem typických znaků, které je odlišují od ostatních. Příkladem zde může být otisk úderníku zbraně č. 1 a 3, kde jednotlivé vizualizace obsahovaly v levé části jisté výběžky. V rámci rozdílných zbraní se však svým tvarem i velikostí lišily.

6.2.2 Vizualizace a analýza stop vyhazovače

Tvar a poloha této stopy umožňuje určení druhu zbraně. K tomuto účelu slouží specializované katalogy, ve kterých jsou vyznačené polohy a tvary jednotlivých stop. Důležité je disponovat rozsáhlými zkušenostmi, vzorky střel a nábojnic vystřelených ze známých zbraní a znalostí studijní sbírkou zbraní. Vhodnou pomůckou jsou i moderní počítačové systémy.

6.2.2.1 Otisk vyhazovače vytvořený zbraní č. 1 (Glock 17)

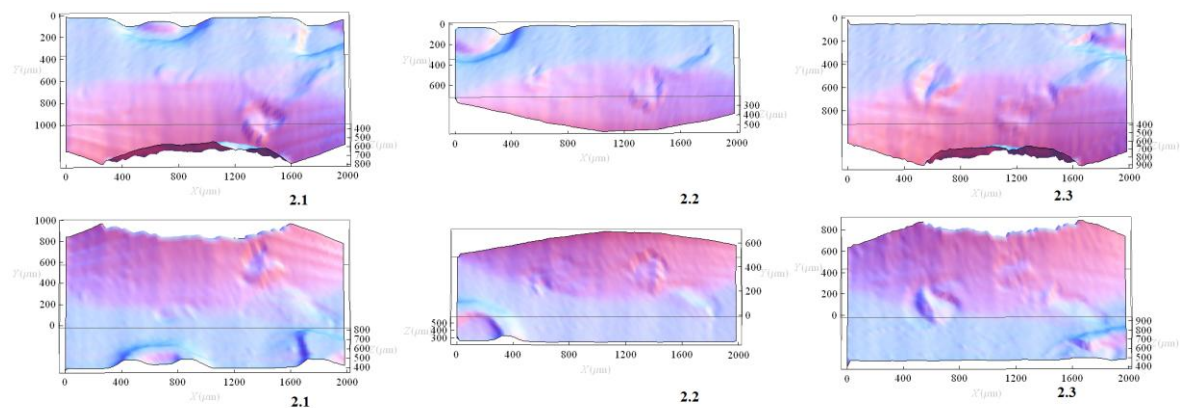
Jak můžeme vidět tvar stopy vyhazovače první zbraně se vyznačuje malou jamkou s výstupkem na boku. U nábojnice 1.2 pak můžeme vidět mírnou odlišnost od ostatních, to mohlo být způsobeno například rozdílnou silou úderu, polohou náboje v nábojové komoře a pod. Jednou z výhod skenovacího systému může být mimo jiné možnost dívat se na strukturu povrchu naskenovaného vzorku (zobrazenou vizualizací) nejen shora, k čemuž nám může posloužit i optická metoda, ale případně se na danou strukturu podívat i z vnitřní strany vzorky. V některých případech by tak mohly lépe vyniknout některé znaky. Jak při pohledu shora, tak při pohledu z druhé strany (vnitřní) můžeme vidět jejich shodný tvar.



Obr. 28 Vizualizace otisku vyhazovače první zbraně, horní pohled, pohled z vnitřní strany nábojnice a z boku

6.2.2.2 Otisk vyhazovače vytvořený zbraní č. 2 (Glock 17 Gen 4)

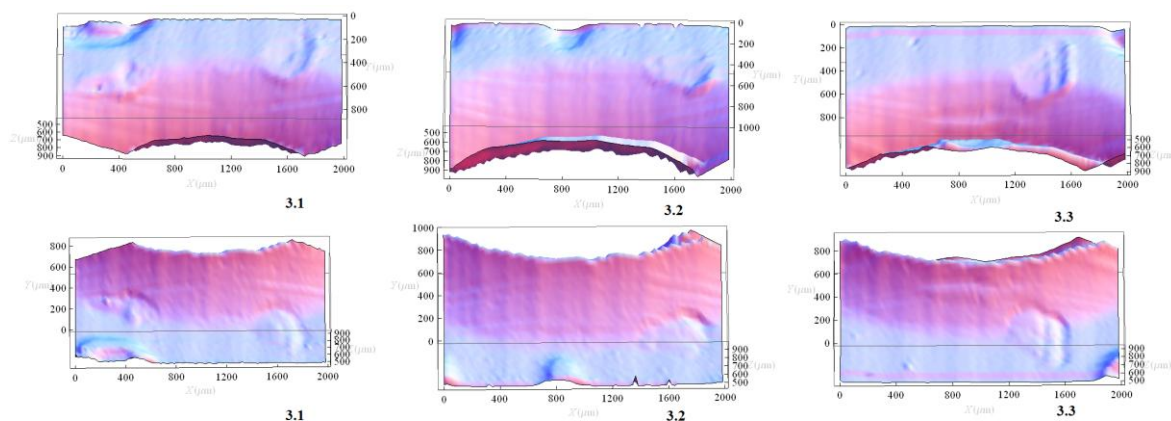
V případě otisku vyhazovače druhé zbraně můžeme vidět mírnou odlišnost u jednotlivých nábojnic, což mohl mít na svědomí některý z již výše zmiňovaných faktorů. Na druhou stranu si však můžeme všimnout mírně zaobleného výstupku (nejlépe pozorovaný u nábojnice 2.1) ve spojení s malou jamkou pod ním. Tento útvar se vyskytuje, i když v mírné odlišnosti i ve vizualizaci 2.2 a 2.3.



Obr. 29 Vizualizace otisku vyhazovače druhé zbraně, horní pohled a pohled z vnitřní strany nábojnice

6.2.2.3 Otisk vyhazovače vytvořený zbraní č. 3 (Glock 19)

Jak v případě druhé zbraně, tak i zde je možné vidět rozdíl v dané sérii naskenovaných nábojnic. Stopa vyhazovače se zde svým tvarem blížila stopě z druhé zbraně. Opět zde byl k vidění jistý zaoblený výběžek, ale již bez spojení s malou jamkou ve spodní části. U nábojnice 3.3 lze vidět zaoblený výběžek s dalším, jakoby vodorovným výběžkem, který se mírně jeví i u nábojnice 3.1.



Obr. 30 Vizualizace otisku vyhazovače třetí zbraně, horní pohled a pohled z vnitřní strany nábojnice

6.2.2.4 Srovnání otisků vyhazovačů

Tvar stopy vyhazovače se u rozdílných použitých zbraní lišil. V případě vyhazovače je však důležitá i jeho pozice na dně nábojnice, která může být blízko u zápalky, mezi zápalkou a obrubou nebo poblíž hrany obruby. Stopa vyhazovače se v případě použitých pistolí nacházela v blízkosti zápalky na pozici mezi 8 - 9 hodinou (viz. kapitola 3.1) tedy tam, kde měla dle dostupné literatury být. V případě použití jiných zbraní by stopa vyhazovače mohla být nalezena jinde. Příkladem může jít pistole CZ 75B, kde se tato stopa sice vyskytuje mezi 8 - 9 hodinou, ale v blízkosti hrany obruby. Skenování takto položené stopy by pak za současného stavu skenovací mikroskopie mohlo být obtížné, případně by nebylo možné její celkové naskenování.

6.2.3 Závěrem

V případě promíchání zkoumaných nábojnic by bylo možné je touto metodou (pomocí systému skenovací mikroskopie) přiřadit k sobě, a tak i k jednotlivým zbraním. Na základě

dosažených výsledků lze tvrdit, že toho cíle lze dosáhnout se stoprocentní jistotou. Naskenování jednotlivých nábojnic je však poměrně časově náročné, v průměru se pohybuje kolem 11 hodin (při použitém nastavení), a tak by výsledky srovnání byly až v průběhu několika dní.

Použité skenovací rozlišení (20 μm) je však v kriminalistické praxi pro individuální identifikaci nedostačující. Pro tento účel je nutné dosáhnout minimálně rozlišení 3 - 5 μm pro zobrazení i drobných rýh, které jsou důležité při ztotožnění zbraně.

Nevýhodou skenování s rozlišením například 5 μm (250 kroků) a malou velikostí přibližovacího kroku by byla hlavně časová náročnost. Čas potřebný na toto naskenování by se s použitím současného stavu skenovacího systému pohyboval řádově v několika dnech, ne-li týdnech. Dosažení tohoto rozlišení však použitý skenovací hrot neumožňuje (špička hrotu je příliš široká), a tak je za současného stavu skenovacího systému individuální identifikace prakticky nemožná.

6.3 Výhody a nevýhody použité skenovací mikroskopie

Mezi výhody skenovací mikroskopie můžeme zařadit:

- *vysoká přesnost a jemnost pohybu* - řádově v setinách mikrometru
- *jednoduché ovládání a konfigurace* - systém je řízený algoritmem, ve kterém se jednoduše zadá velikost skenovacího rastru, velikost mezery mezi jednotlivými body rastru, hodnota přibližovacího kroku a velikost posuvu vzorku v ose Z po vyhodnocení kontaktu
- *vytvoření matematického modelu* - možnost modely mezi sebou softwarově srovnávat
- *získání 3D modelu* - možnost zobrazení v řezu pro srovnání tvaru a hloubky

Mezi nevýhody skenovací mikroskopie můžeme zařadit:

- *časová náročnost skenování*
- *skenovací hrot*
- *skenování pouze vodivých vzorků*

6.3.1 Časová náročnost skenování

Nevýhodou systému může být jeho časová náročnost. Je to dáno tím, že se struktura povrchu vzorku snímá postupně, bod po bodu dle zvoleného skenovacího rastru, a ne naráz, jako je tomu u optické metody. Z toho vyplývá, že při zvolení většího skenovacího rastru (větší počet bodů rastru) bude skenování trvat déle. Na celkovou dobu měření má vliv počet bodů skenovacího rastru, velikost přibližovacího kroku, velikost oddálení po vyhodnocení kontaktu, struktura povrchu vzorku a zatím stále i samotný algoritmus v MatLabu.

6.3.2 Skenovací hrot

Nepostradatelnou částí při skenování je skenovací hrot. Důležitá je jeho velikost, přesněji velikost jeho špičky, která svou velikostí omezuje maximální možné rozlišení, kterého lze dosáhnout.

Vhodné je také uchytit hrot tak, aby měl možnost pohybu v ose Z. To z toho důvodu, že při fyzickém kontaktu vzorky a hrotu nemusí vždy dojít k vyhodnocení kontaktu (kontaktu brání například nečistota). To pak může způsobit jednak poškození hrotu, jednak poškození vzorku. Vzorek se totiž stále pohybuje směrem k hrotu dokud nedojde k detekci změny odporu. Musí se však zajistit, aby se hrot vždy vrátil do stejné polohy, jinak by výsledek byl značně zkreslený. Hrot byl tedy umístěn v pevně uchyceném vodičím pouzdře, které umožnilo hrotu případný volný pohyb ve vertikálním směru.

Použitý hrot se vyznačuje úzkým tvarem a malou plochou špičky, která byla pomocí stereomikroskopu stanovená přibližně na 35 μm . Velikost plochy špičky je důležitá pro stanovení minimální vzdálenosti mezi jednotlivými body rastru, která by měla být minimálně dvojnásobná této velikosti. V tomto případě by tak měla být vzdálenost mezi body rastru 70 μm (3 500 kroků), pokud bude hrot kolmo vzhledem ke skenovanému vzorku. Tato vzdálenost může být i menší, a to v případě, že bude hrot vzhledem ke skenovanému vzorku pod úhlem, tedy se bude dotýkat vzorku jen jeho hranou.

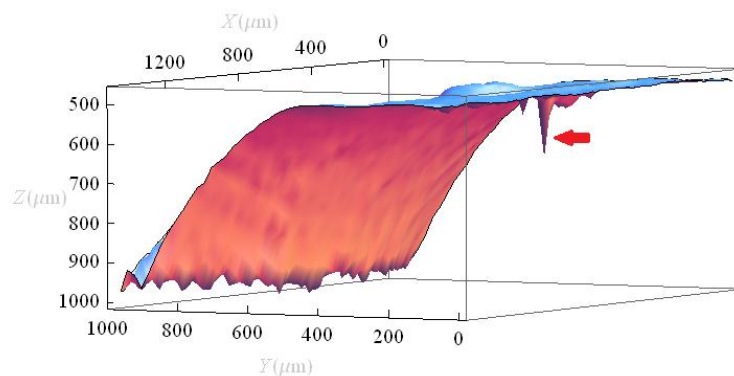


Obr. 31 Špička hrotu

6.3.3 Skenování pouze vodivých vzorků

Další nevýhodou může být samotný vytvořený systém skenovací mikroskopie, který umožňuje skenování pouze vodivých vzorků. Je to dáno tím, že metoda využívá detekci poklesu odporu ve vedení, tedy vodivý kontakt vzorky s hrotem. Pro skenování nevodivých struktur by se museli využít jiné fyzikální principy.

Důležitý je zde tedy vodivý kontakt vzorku s hrotem. V případě, že vodivému kontaktu zabrání nečistota, tak může vzniknout ve vizualizaci tzv. artefakt měření, který se projevuje špičkou ve směru osy Z. To pak může způsobit, jak již bylo popsáno výše, poškození vzorku nebo hrotu. Artefakty, které značně degradovaly výslednou vizualizaci byly nahrazeny průměrnou hodnotou vypočítanou z okolních bodů (v případě výskytu velkého počtu artefaktů bylo skenování provedeno znovu). Do programu byla přidána podmínka, která umí takovýto osamocený artefakt detekovat a snížit tak možnost poškození vzorku nebo hrotu.



Obr. 32 Artefakt měření

Úvahou by pak u nevodivých struktur mohlo být ještě využití skenovacího hrotu s možností pohybu v ose Z, který by se tak při fyzickém (nevodivém) kontaktu se vzorkem dále pohyboval současně s ním nahoru, kde by v určité vzdálenosti (výšce) došlo k vyhodnocení kontaktu - kontaktem s dalším pomyslným hrotem (změna odporu vedení). Toto měření by však bylo nejspíše značně nepřesné a mohlo by dojít k poškození vzorku nebo hrotu. Záleželo by zde i na struktuře horní plochy skenovacího hrotu, která by se dotýkala druhého pomyslného hrotu (např. plíšek s dokonale hladkou strukturou).

6.4 Budoucí využití systému skenovací mikroskopie

Doporučoval bych zaměřit se na následující:

- dále testovat realizovaný systém
- hledat nové možnosti jeho využití
- zajistit kvalitnější ostrý hrot který by umožnil vyšší rozlišení
- dále zlepšovat skenovací algoritmus
- použití metod pro skenování nevodivých struktur

Možnost se zde nabízí i ve vyřešení problému s použitím příkazu TS ke snížení doby měření. Další možností zlepšení algoritmu by mohlo být přidání podmínek pro snížení možnosti poškození vzorku. Do programu byla přidána pouze jedna podmínka, která může případnou jednu osamocenou chybu (větší odchylku) vyhodnotit a snížit tak možnost poškození vzorku. Dvě po sobě jdoucí odchylky však nevyhodnotí. Jde o to, že se po vyhodnocení kontaktu vzorek oddaluje pouze o určitou hodnotu, kde při nesprávném vyhodnocení kontaktu může být vzorek stále ve fyzickém kontaktu s hrotem i po tomto oddálení. V takovém případě pak může dojít při posuvu k dalšímu bodu rastru třením k poškození vzorku. Podmínka tak počítá s předcházející změřenou hodnotou a hodnotou oddálení vzorky od hrotu. Pokud je případná aktuální změřená hodnota větší než by měla přibližně být, tak se vzorek v ose Z oddálí do základní polohy (další bod rastru se tak měří z výchozí pozice v ose Z). V případě potřeby vyhodnocení více odchylek jdoucích za sebou, by bylo nutné počítat s více předcházejícími hodnotami. Možností by bylo provést oddálení do výchozí pozice už při náznaku odchylky měření či nastavení oddálení na určitou hodnotu a pokračování dalším bodem rastru.

Další možností je doplnění skenovacího systému o zařízení umožňujícího skenování i oválných vzorků. Jeho využití by pak mohlo být například pro skenování stop na plášti střely. Případná jiná aplikace systému (např. metrologie, mikroobrábění aj.).

ZÁVĚR

Cílem kriminalistické balistiky je spojit stopy z místa činu se zbraní, která je vytvořila. V teoretické části jsou uvedeny stopy, které vznikají při výstřelu. K následnému ztotožnění zbraně experti využívají různých zařízení (např. komparační mikroskop).

Pro účely praktické části byly ze zbraně Glock 17, Glock 17 Gen4 a Glock 19 vystřeleny tři nábojnice, které posloužily jako vzorky. Stopy úderníku a vyhazovače, které tyto zbraně zanechaly na nábojnici při výstřelu byly za pomoci systému skenovací mikroskopie dále vizualizovány. Cílem bylo provést analýzu těchto zobrazení a objevení markantů přiřaditelných k jednotlivým typům zbraní, tedy potvrzení teoretických poznatků tykajících se shodnosti markantů vytvořených jednou zbraní. Na druhou stranu i rozdílnosti mezi jednotlivými zbraněmi.

Na základě dosažených výsledků lze říci, že tohoto cíle je možné pomocí současného stavu použitého systému skenovací mikroskopie dosáhnout, ale s nedostatečným rozlišením pro kriminalistickou praxi. Ta vyžaduje pro individuální identifikaci minimální rozlišení 3 - 5 μm . Špička skenovacího hrotu by v ideálním případě pro dosažení takového rozlišení musela být menší než 5 μm . Na druhou stranu velkou nevýhodou tohoto skenování by byla časová náročnost. Počet bodů rastru by se u takového skenování pohyboval řádově v desetitisících. Čas skenování by pak byl řádově v týdnech. Tento čas je však jen odhad na základě doby měření jednotlivých vizualizací a ve finále by mohl být menší, kde při menší vzdálenosti mezi jednotlivými body rastru by bylo možné zmenšit i velikost oddálení vzorky od hrotu po vyhodnocení kontaktu. Zmenšení této hodnoty by vedlo ke snížení doby měření. Dále by se mohlo v kombinaci skenovacího systému se systémem optické mikroskopie dosáhnout lepšího umístění vzorku do výchozí pozice pod špičkou hrotu. Příkladem může být vizualizace 2.3 (úderníku), které byl skenují rastr zbytečně velký. Při dokonalém nastavení pozice vzorku a nastavení velikosti rastru tak, aby probíhalo skenování pouze jamky způsobené úderníkem by se počet bodů rastru snížil přibližně na polovinu. To by vedlo k podstatnému snížení doby skenování, na druhou stranu by však takovéto nastavení bylo nejspíše velmi obtížné. Domnívám se, že při realizaci všech výše zmíněných vylepšení by doba takového měření s rozlišením 5 μm byla menší než jeden týden.

Současný stav vytvořeného systému skenovací mikroskopie je v tomto oboru zatím neefektivní. To hlavně z toho důvodu, že nestačí porovnání nábojnice z místa činu s nábojnicí pokusně vystřelenou (srovnání dvou nábojnic), ale je nutné získat nejprve tzv. referenční nábojnicí (viz. kapitola 3.5), tedy i přes vše by v kriminalistické praxi individuální identifikace trvala řádově týdny.

S rozvojem technologií se začínají objevovat i další problémy, zejména u 3D tiskáren, kde si může střelnou zbraň doma vytvořit prakticky kdokoliv.

CONCLUSION

The objective of forensic ballistics is to link traces from crime scene with a gun that created it. In the theoretical parts are listed traces that arise when fired. For subsequent identification of weapons experts use different devices (eg comparative microscope).

For the purposes of the practical part were from the gun Glock 17, Glock 17 Gen4 and Glock 19 fired three cartridge cases, which were used as samples. Marks of the firing pin and ejector that these weapons left on the cartridge when fired were using the scanning microscopy further visualized. The aim was to analyze these views and discover marks attributable to the each type of weapons, thus confirming theoretical findings regarding the conformity of minutiae created one weapon. On the other hand, differences between individual pistols.

Based on the results we can say that this aim is possible with the current state of system scanning microscopy to achieve, but with insufficient resolution for forensic practice. It requires for the individual identification minimal resolution of 3 - 5 μm . The tip of the scanning apex should ideally to achieve such resolution had to be less than 5 microns. On the other hand, a major disadvantage would be time-consuming scanning this. Number of grid points would be at that scanning ranged in the order of tens of thousands. Time of scanning would then be in the order of weeks. This time, is however only estimate based on the measurement time of visualization and in final might be smaller where the smaller the distance between the grid points would be possible to reduce the size of delay samples from the tip after the evaluation of touch. Reducing this value would reduce the measurement time. Further could be combined the scanning system with optical microscopy to achieve better placement of the sample to the default position under the tip apex. Examples of visualization can be 2.3 (firing pin), which was scanned raster unnecessarily large. In a perfect positioning of the sample and setting the grid size to take place only scan hole caused by firing pin, the number of grid points decreased to about half. This would result in a substantial reduce the time scanning, on the other hand would be this setup probably very difficult. I believe that in the implementation of all these improvements, the period of such measurements with a resolution of 5 μm was less than one week.

The actual state of the created system by scanning microscopy is in this field yet ineffective. This is mainly because that's not enough compare cartridges from the scene with an experimental cartridge fired (compare two cartridge), but it is necessary to obtain a so-called reference cartridge (see section 3.5), that in spite everything would in forensic practice individual identification insisted order of weeks.

With the development of technology are starting to appear even more problems, especially with 3D printers, where can create a firearm at home practically anyone.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAWKES, P a John C SPENCE. Science of microscopy. New York: Springer, c2007, 2 v. (xviii, 1265, I26 p.). ISBN 03-872-5296-7.
- [2] PORADA, Viktor. Kriminalistika: stopy a identifikace. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 93 s.
- [3] PIEZO NANO POSITIONING. PHYSIK INSTRUMENTE. Product Overview: Piezo Systems, Precision Motion Control, Micro & Nanopositioning [online]. 2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: <http://www.physikinstrumente.com/en/index.php>
- [4] MARTÍNEK, Tomáš. Impedanční skenovací mikroskopie. Zlín, 2011. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.
- [5] KUDĚLKA, Josef. Metrologické zabezpečení mikronových a submikronových posuvů. Zlín, 2011. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.
- [6] POLLÁK, Roman. Skenovací mikroskopie a její uplatnění v mechanoskopické analýze stop úderníku střelných zbraní. Zlín, 2012. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Vojtěch Křesálek.
- [7] Gunshot in Slow Motion. *Photosfan* [online]. 2007 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.photosfan.com/bullet/>
- [8] *Kriminalistika* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://kriminalistika.eu/>
- [9] Reflexní kuš. *Luky a šípy - lukostřelecké potřeby* [online]. 2009 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.luky-sipy.cz/lukostrelecke-potreby/kuse-a-prislusenstvi/kuse/reflexni-kus-cerna-simple>
- [10] Vzduchovky Hatsan - Hatsan 60S 5,5. *VZDUCHOVKY.BIZ Váš pohodlný nákup na internetu* [online]. 2001 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.vzduchovky.biz/vzduchovky-podle-ceny/vzduchovky-do-5000-kc/hatsan-60s-55/>

- [11] Glock 17 - KP ARMY. *KP ARMY* [online]. 2010 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.kparmy.cz/?108,glock-17>
- [12] World Guns: Modern Firearms Ammunition. *World Guns* [online]. 2009 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://world.guns.ru/ammunition/gallery-patrons-e.html>
- [13] Nauka o zbraních. *Zbraně kvalitně* [online]. [2006] [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://zbrankvalitne.cz/zbrojni-prukaz/nauka-o-zbranich>
- [14] KOSTELNÍKOVÁ, Sandra. *Metodika vyšetřování trestných činů vraždy spáchaných střelnými zbraněmi*. Brno, 2009. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/134603/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce JUDr. Karel Meixner, CSc.
- [15] Nábojnice. *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1bojnice>
- [16] Berdan vs boxer. *Wikimedia Commons* [online]. 2011 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berdan_vs_boxer.jpg
- [17] Best Choices for Self Defense Ammo. *AR15.Com - Your Firearm Resource* [online]. © 1996-2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.ar15.com/ammo/project/Self_Defense_Ammo_FAQ/index.htm
- [18] PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistika*. Brno: CERM, 2001, 746 s. ISBN 8072041940.
- [19] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Praha: Kriminalistický ústav, 2008, 15 s. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/soubor/3-2008-2008-03-planka-pdf.aspx>
- [20] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010, 660 s. ISBN 9788073800369.
- [21] STRAUS, Jiří a kolektiv. *Kriminalistická technika*. 2., rozš. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2008, 431 s. ISBN 9788073800529.
- [22] 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/content/vol3.no.1/02-FSJ.pdf>
- [23] MIKŠ, Antonín. Zobrazovací metody v optické mikroskopii. In *Mikroskopické metody* [online]. Praha : České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra fyziky, c2008-2011 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.mikroskop-mikroskopy.cz/mikroskopicke-metody/>>.
- [24] MALACHA, Libor, et al. *Mikroskopie skenující sondou* [online]. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 2003 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://atmilab.upol.cz/mss/index.html>>.
- [25] MUSIL, Jan, Zdeněk KONRÁD a Jaroslav SUCHÁNEK. *Kriminalistika*. 2. vyd. Praha: C.H. Beck, 2004, 583 s. ISBN 80-7179-878-9.
- [26] Mikroskop komparační Leica FS C. *Mikro spol. s r.o.* [online]. © 1991-2010 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.mikro.cz/leica/mikroskopy-komparacni/mikroskop-komparacni-leica-fs-c>
- [27] The Gun Zone. *The Gun Zone* [online]. 2004 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.thegunzone.com/glock/casehead-comp.html>
- [28] Product Overview. Agilent Technologies. *Agilent 34410A Multimeter* [online]. 2007 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.home.agilent.com/en/pd-692834-pn-34410A/digital-multimeter-6-digit-high-performance?&cc=CZ&lc=eng>>.
- [29] Vývrt hlavně. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDvrt_hlavn%C4%9B
- [30] 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
- [31] 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.

- [32] MP41E M-11x *Micro-translation stage User Manual*. 4.0.0. Karlsruhe : Physik Instrumente, 2011. 52 s.
- [33] MS 74E *User Manual C-862 Mercury DC-Motor Controller*. 8.4.3. Karlsruhe : Physik Instrumente, 2005. 89 s.
- [34] Balistika. *Odstřelovač* [online]. 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://odstrelovac.wz.cz/index_soubory/Page393.htm
- [35] PLACHÝ, Radek. *Metody mikroskopie* [online]. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta lékařská, Ústav lékařské biologie, 22.2.2004 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://biologie.upol.cz/mikroskopie/>>.
- [36] PORADA, Viktor a kol. *Kriminalistika: (úvod, technika, taktika)*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007, 309 s. ISBN 9788073800383.
- [37] *Lucia Forensic* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.forensic.cz/cs/>
- [38] Střelivo. *Vojsko.net* [online]. © 2000-2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.vojsko.net/index.php/vyzbroj-pechoty/78-ostatni/221-strelivo>
- [39] Střelecká příprava. *Masarykova univerzita: fakulta sportovních studií* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/>
- [40] Technické faktory negativně ovlivňující identifikaci zbraní. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. © 2010 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/technicke-faktory-negativne-ovlivnujici-identifikaci-zbrani.aspx>
- [41] ŠIMOVČEK, Ivan et al. *Kriminalistika*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2011. 405s. ISBN 978-80-7380-343-8.
- [42] STRAUS, Jiří a Miroslav NĚMEC. *Teorie a metodologie kriminalistiky*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2009. 503s. ISBN 978-80-7380-214-1.
- [43] MARKUSÍK, Matyáš. *Kriminalistická balistika pro potřeby v PKB*. Zlín, 2010. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Jiří Pálka.

- [44] SEDLÁČKOVÁ, Alena. *Objekty zkoumání kriminalistické balistiky*. Zlín, 2009. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce JUDr. Vladislav Štefka.
- [45] KOTÍK, David. *Kriminalistická balistika a její význam v průmyslu komerční bezpečnosti*. Zlín, 2006. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing.
- [46] KALBÁČ, Martin. *Kriminalistická balistika krátkých palných zbraní a střeliva*. Zlín, 2007. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce JUDr. Vladislav Štefka.
- [47] HEINZ, Roman. *Návrh detekčního uzlu pro mikrovlnný mikroskop*. Zlín, 2005. Dostupné z: www.portal.utb.cz. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. RNDr. Vojtěch Křesálek.
- [48] *Sellier & Bellot* [online]. 2009 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.sellier-bellot.cz/cesky/>
- [49] ŠUJAN, Tomáš. *FYZIKA V KRIMINALISTICE*. Brno, 2011. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/209364/pedf_m/. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce RNDr. Jindřiška Svobodová.
- [50] KRAJSA, Jan. *Příčiny vzniku perikapilárních hemoragií v mozku při střelných poraněních*. Brno, 2009. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/132384/>. Disertační práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce prof. MUDr. Miroslav Hirt, CSc.
- [51] KOCOUREK, Jan. ARDENT BRNO , spol. s r.o. *OBOROVÁ PŘÍRUČKA: VÝVOJ, VÝROBA, OPRAVY, ÚPRAVY, PŘEPRAVA, NÁKUP, PRODEJ, PŮJČOVÁNÍ, USCHOVÁVÁNÍ, ZNEHODNOCOVÁNÍ, NIČENÍ ZBRANÍ, STŘELIVA, VÝBUŠNIN*. 2009, 121 s. Dostupné z: http://www.socr.cz/assets/aktivity/informacni-misto-pro-podnikatele/26_zbrane_a_strelivo.pdf
- [52] MathWorks: Accelerating the pace of engineering and science. MATHWORKS, Inc. *MathWorks* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AFM	Atomic Force Microscopy
DMM	Digital multimeter
EFM	Electrostatic Force Microscopy
FMM	Force Modulation Microscopy
GPIB	General Purpose Interface Bus
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LFM	Lateral Force Microscopy
MFM	Magnetic Force Microscopy
PI	Physik Instrumente
SPM	Scanning Probe Microscopy
STM	Scanning Tunneling Microscopy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Střela při opuštění hlavně [7].....	15
Obr. 2 Dočasné ranivé kanály způsobené celoplášťovými střelami různých kalibrů s expanzní dutinou ve špičce [17], [6]	18
Obr. 3 Kuš [9]	20
Obr. 4 Vzduchovka [10]	20
Obr. 5 Pistole Glock 17 [11].....	21
Obr. 6 Střelivo pro poloautomatické pistole a samopaly [12]	22
Obr. 7 Řez jednotným nábojem [13].....	23
Obr. 8 Různé druhy nábojnic [15]	24
Obr. 9 Zápalky typu Boxer a Berdan [16].....	25
Obr. 10 Schéma vzniku stop na nábojnici při výstřelu [18]	27
Obr. 11 Nábojnice 9 mm Luger vystřelená z pistole Glock 17.....	30
Obr. 12 Jamka a rýhy vytvořené úderníkem pistole Glock 17	31
Obr. 13 Stopa po vytahovači pistole Glock 17	32
Obr. 14 Stopa po vyhazovači pistole Glock 17.....	33
Obr. 15 Stopy na střele (názvosloví) [20].....	34
Obr. 16 Komparační mikroskop a porovnání nábojnice [26], [27]	37
Obr. 17 Obecné schéma mikroskopu se skenující sondou [24]	39
Obr. 18 Servomotor M-110 1DG [32]	42
Obr. 19 Krokový ovladač C-862 [33]	43
Obr. 20 Přední panel multimetru Agilent 34410A [28].....	43
Obr. 21 Systém skenovací mikroskopie.....	44
Obr. 22 Schéma měření na hrotu [4].....	45
Obr. 23 Skenovací rastr [5].....	45
Obr. 24 Postup vzorku při skenování [6].....	48
Obr. 25 Vizualizace otisku úderníku první zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku	50
Obr. 26 Vizualizace otisku úderníku druhé zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku	51
Obr. 27 Vizualizace otisku úderníku třetí zbraně, pohled shora, zleva, zprava a z boku	52

Obr. 28 Vizualizace otisku vyhazovače první zbraně, horní pohled, pohled z vnitřní strany nábojnice a z boku	54
Obr. 29 Vizualizace otisku vyhazovače druhé zbraně, horní pohled a pohled z vnitřní strany nábojnice	54
Obr. 30 Vizualizace otisku vyhazovače třetí zbraně, horní pohled a pohled z vnitřní strany nábojnice	55
Obr. 31 Špička hrotu	58
Obr. 32 Artefakt měření	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Stopy na střele a nábojnici vzniklé při výstřelu [21]	28
Tab. 2 Vyjádření stupně individuální shody [20]	35

SEZNAM PŘÍLOH

Na přiloženém CD lze nalézt následující přílohy. Jednotlivé naskenované data jsou uloženy a vizualizovány v souboru programu Wolfram Mathematica 8.0.

- PŘÍLOHA 1: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 1.1
- PŘÍLOHA 2: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 1.2
- PŘÍLOHA 3: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 1.3
- PŘÍLOHA 4: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 2.1
- PŘÍLOHA 5: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 2.2
- PŘÍLOHA 6: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 2.3
- PŘÍLOHA 7: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 3.1
- PŘÍLOHA 8: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 3.2
- PŘÍLOHA 9: Naskenovaná stopa úderníku z nábojnice 3.3
- PŘÍLOHA 10: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 1.1
- PŘÍLOHA 11: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 1.2
- PŘÍLOHA 12: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 1.3
- PŘÍLOHA 13: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 2.1
- PŘÍLOHA 14: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 2.2
- PŘÍLOHA 15: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 2.3
- PŘÍLOHA 16: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 3.1
- PŘÍLOHA 17: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 3.2
- PŘÍLOHA 18: Naskenovaná stopa vyhazovače z nábojnice 3.3