



Univerzita Tomáše Bati
Fakulta aplikované informatiky

Disertační práce

**Analýza rozptylových obrazců zplodin výstřelu
z expanzní pistole pro odhad vzdálenosti střelby**

**Analysis of Shot Patterns from the Expansion Pistol for the
Estimation of the Shooting Distance**

Autor: **Ing. Michal Gracla**

Studijní program: Inženýrská informatika (P3902)

Studijní obor: Inženýrská informatika (3902V023)

Školitel: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Konzultant: Ing. Zdeněk Maláník, Ph.D.

Zlín, 2024

© Michal Gracla

Publikace byla vydána v roce 2024.

Klíčová slova: *expanzní pistole, střelivo, nábojka, rozptylové obrazce zplodin výstřelu, povýstřelové zplodiny, odhad vzdálenosti střelby.*

Key words: *expansion pistol, ammunition, blank cartridge, shot patterns, gunshot residues, estimation of the shooting distance.*

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá odhadem vzdálenosti střelby z expanzní pistole založené na analýze rozptylových obrazců zplodin výstřelu. K vytvoření rozptylových obrazců zplodin výstřelu byla použita expanzní pistole s akustickými nábojkami. Na základě provedené rešerše lze konstatovat, že oblast expanzních zbraní není dostatečně publikována, kdy ve většině publikací je uveden pouhý fakt, že jsou podobné jako palné kulové zbraně. Cílem disertační práce je navrhnout matematický model ke stanovení odhadu vzdálenosti střelby z expanzní pistole. Za tímto účelem byla provedena měření a experimenty spočívající v analýze akustických nábojek a jejich výmetných náplní, vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu a spadu částic zplodin výstřelu vzniklých po výstřelu z expanzní pistole. Ke zpracování dat byl využit software Wolfram Mathematica. Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že pomocí analýzy rozptylových obrazců zplodin výstřelu lze odhadnout vzdálenost střelby z expanzní pistole s akustickými nábojkami. Tento odhad lze považovat za spolehlivý do vzdálenosti maximálně 120 mm, větší vzdálenosti střelby nelze vzhledem k nejistotě měření spolehlivě rozlišit.

ABSTRACT

The dissertation deals with the estimation of the shooting distance from an expansion pistol based on the analysis of the shot patterns. An expansion pistol with acoustic cartridges was used to create the shot patterns. Based on the literature review, it can be concluded that the area of expansion weapons has not been sufficiently published. In most publications, the mere fact that expansion weapons are similar to shooting weapons is stated. The aim of the dissertation is to propose a mathematical model to estimate the shooting distance from the expansion pistol. For this purpose, measurements and experiments were carried out consisting of the analysis of acoustic cartridges and their propellants, the resulting shot patterns, and the fallout of gunshot residues resulting from a shot from the expansion pistol. Wolfram Mathematica software was used for data processing. Based on the obtained results, it can be stated that by analysing the shot patterns, it is possible to estimate the shooting distance from the expansion pistol with acoustic cartridges. This estimate can be considered reliable up to a maximum distance of 120 mm, longer shooting distances cannot be reliably distinguished due to the uncertainty of the measurement.

PODĚKOVÁNÍ

Zde děkuji především svému školiteli, doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., za veškeré rady, připomínky a čas, který mi v průběhu doktorského studia věnoval. Dále děkuji konzultantovi Ing. Zdeňku Maláníkovi, Ph.D., za odborné rady při zpracování disertační práce a jeho připomínky. Velmi děkuji také Ing. Michaele Mikuličové, Ph.D., za její značnou pomoc, a Ing. Tomáši Kadavému, Ph.D., za pomoc se softwarem Wolfram Mathematica.

Mé poděkování rovněž náleží Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za možnost provádět experimenty přímo v laboratoři forenzních věd.

OBSAH

ÚVOD	7
1. STŘELNÉ ZBRANĚ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY	8
2. POUŽITÁ ODBORNÁ TERMINOLOGIE	12
2.1 Zbraně	12
2.2 Střelivo	13
2.3 Nábojky	17
2.3.1 Základní dělení nábojek podle účinku	17
2.3.2 Dělení nábojek podle konstrukce	18
2.3.3 Označování nábojek	20
2.3.4 Průzkum trhu	21
2.4 Balistika a související vědní obory	23
2.5 Výstřel a produkty výstřelu	24
2.5.1 Výstřel a fáze balistiky	24
2.5.2 Produkty výstřelu a jejich význam	29
3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	34
3.1 Metody analýzy zplodin výstřelu	34
3.1.1 Sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu	35
3.1.2 Komplexní metody analýzy zplodin výstřelu	36
3.2 Rozptylové obrazce zplodin výstřelu	39
3.3 Princip odhadu vzdáleností střelby	40
3.4 Softwarové vybavení a jeho potenciál	43
4. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	47
5. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	48
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	49
6.1 Laboratoř forenzních věd	49
6.2 Použité přístroje a pomůcky	50
6.3 Použité softwarové nástroje	55
6.4 Použité střelivo	56
6.5 Bezpečnost při provádění experimentů	56
6.6 Popis experimentů	57
6.6.1 Stanovení hmotností výmetných náplní vybraného střeliva	57

6.6.2	Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času	57
6.6.3	Tvorba rozptylových obrazců zplodin výstřelu a jejich převádění do digitální podoby	58
7.	VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ A EXPERIMENTŮ A JEJICH DISKUSE.....	61
7.1	Stanovení hmotností výmetných náplní vybraných nábojek	61
7.2	Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času	61
7.2.1	Spad zplodin výstřelu v přímém směru střelby	62
7.2.2	Spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění	66
7.2.3	Souhrnné zhodnocení	68
7.3	Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu	68
7.4	Výsledky ze softwaru Wolfram Mathematica	71
8.	PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....	79
	ZÁVĚR.....	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	97
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	98
	PŘÍLOHY	101
	PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA.....	105
	ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA.....	108

ÚVOD

Disertační práce se zabývá odhadem vzdálenosti střelby založené na analýze rozptylových obrazců zplodin výstřelu. Rozptylové obrazce zplodin výstřelu jsou tvořeny nespálenými a částečně spálenými částicemi výmetné náplně a dalšími materiály pocházejícími ze zbraně a střeliva, které po výstřelu vytvoří na cíli charakteristické obrazce či útvary. Z provedených výzkumů a kriminalistické praxe vyplývá, že na základě těchto rozptylových obrazců lze odhadnout vzdálenost střelby. Obecně lze konstatovat, že s rostoucí vzdáleností střelby se průměr rozptylového obrazce zplodin výstřelu zvětšuje a hustota částic ve vzniklém rozptylovém obrazci klesá. Rozptylové obrazce zplodin výstřelu spadají do vědní disciplíny balistika, resp. její subdisciplíny kriminalistická (forenzní) balistika. Ve vzniklých rozptylových obrazcích experti zjišťují přítomnost produktů výstřelu (povýstřelové zplodiny) za účelem určení jejich prvkového složení a následné identifikace použitého střeliva. Výzkumy založené na tomto principu jsou běžnou součástí balistiky jako vědního oboru, nicméně většina takovýchto výzkumů je zaměřena výhradně na palné kulové zbraně.

Přestože jsou expanzní zbraně v mnoha ohledech dosti podobné palným kulovým zbraním, existuje mezi nimi významný rozdíl. Expanzní zbraně mohou být používány k sebeobraně, ale také k páčání trestné činnosti se zbraní. Na rozdíl od palných kulových zbraní, expanzní zbraně nedokážou způsobit značná zranění na větší vzdálenost, neboť disponují menším balistickým výkonem. Z hlavně expanzní zbraně nevyletí střela a jejich ranivý potenciál či ranivý účinek je omezen pouze na obsah nábojky (výmetná náplň doplněná v některých případech o účinnou látku). Expanzní zbraně mají velmi devastující ranivý potenciál i ranivý účinek na kontaktní vzdálenost či bezprostřední vzdálenost. Odborných publikací na téma analýzy rozptylových obrazců zplodin výstřelu expanzních zbraní nicméně stále není mnoho. Většina odborných publikací na dané téma uveřejněných v databázích Web of Science či SCOPUS k tématu pouze uvádí, že charakteristiky expanzních zbraní jsou podobné palným kulovým zbraním, přičemž tato tvrzení nejsou podložena publikovaným výzkumem.

Vzdálenost střelby, pro kterou lze zaznamenat rozptylový obrazec zplodin výstřelu, se pro palné kulové zbraně a expanzní zbraně značně liší. Zatímco pro palné kulové zbraně je tato vzdálenost v řádu jednotek metrů, u expanzních zbraní jsou tyto vzdálenosti nejvýše v řádu desítek centimetrů. V této práci byly zkoumány rozptylové obrazce zplodin výstřelu vzniklé střelbou na vzdálenosti od 30 do 180 mm, což vyplynulo z možností použité expanzní pistole a střeliva (akustické nábojky).

1. STŘELNÉ ZBRANĚ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

V České republice (dále jen ČR) jsou střelné zbraně legislativně upraveny zákonem č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu, ve znění pozdějších předpisů (dále jen zákon o zbraních) [1]. Zákon o zbraních byl v průběhu let několikrát novelizován. Dosud nejzásadnější novelu představuje zákon č. 13/2021 Sb. [2], který uvádí zákon o zbraních do souladu se „*Směrnici Evropského parlamentu a rady (EU) 2017/853 ze dne 17. května 2017, kterou se mění směrnice Rady 91/477/EHS o kontrole nabytí a držení zbraní*“ [3], a nabyl účinnosti dne 30. ledna 2021. Tato novela je zásadní změnou zejména z důvodu úpravy kategorizace zbraní tak, aby tato byla v souladu s uvedenou evropskou legislativou. Srovnání kategorií zbraní před novelou zákona o zbraních účinnou od 30. ledna 2021 a po této novele je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Srovnání kategorizace zbraní dle zákona o zbraních před a po novele zákonem č. 13/2021 Sb. [1–3].

Kategorie zbraní před 30. 1. 2021	Rozdělení zbraní	Kategorie zbraní po 30. 1. 2021
Zbraně kategorie A	Zakázané zbraně a zakázané střelivo	Zbraně kategorie A (§ 4)
		Zbraně kategorie A-I (§ 4a)
Zbraně kategorie B	Podléhající povolení	Zbraně kategorie B (§ 5)
Zbraně kategorie C	Podléhající ohlášení	Zbraně kategorie C (§ 6)
		Zbraně kategorie C-I (§ 6a)
Zbraně kategorie D	Ostatní zbraně	Zbraně kategorie D (§ 7)

Zbraně, které jsou používány k experimentům v rámci této disertační práce, představují zbraně kategorie C-I. Tato kategorie je zákonem o zbraních definována takto (ust. § 6a zákona o zbraních, v platném znění):

- a) „zbraně zařazené do kategorie A, A-I, B nebo C, které byly znehodnoceny v souladu s přímo použitelným předpisem Evropské unie¹,
- b) expanzní zbraně, které splňují požadavky na dovolené výrobní provedení stanovené prováděcím právním předpisem,

¹ Prováděcí nařízení Komise (EU) 2015/2403 ze dne 15. prosince 2015, kterým se stanoví společné pokyny o normách a technikách znehodnocování palných zbraní k zajištění toho, aby znehodnocené palné zbraně byly nevratně neschopné střelby.

- c) *jednoranové nebo dvouranové palné zbraně určené pro dělené střelivo,*
- d) *palné zbraně určené pro náboje typu Flobert, náboje ráže 4 mm M20 nebo ústovou kinetickou energii střely srovnatelné střelivo určené pro výcvik ve střelbě,*
- e) *plynové zbraně s ráží vyšší než 6,35 mm, nejde-li o paintballové zbraně,*
- f) *palné zbraně pro soupeřský systém výcviku s ústovou energií střely nejvýše 20 J,*
- g) *signální zbraně pro použití signálních nábojů nejvýše ráže 16 mm,*
- h) *elektrický zneschopňující prostředek založený na principu střelné zbraně (taser)“ [2].*

Zbraně kategorie C-I může vlastnit, držet nebo nosit osoba starší 18 let. Tato osoba musí také být plně svéprávná a musí mít místo pobytu na území České republiky. K vlastnictví, držení nebo nošení zbraní kategorie C-I není nutné vlastnit zbrojní průkaz, přesto se manipulace se zbraněmi této kategorie musí řídit zákonem o zbraních (tato povinnost platí pro všechny zbraně upravené zákonem o zbraních) [1,2].

V České republice je v průměru zhruba více jak 310 000 obyvatel, kteří vlastní zbrojní průkaz [4], přičemž počty vlastníků zbrojních průkazů i registrovaných střelných zbraní neustále rostou (tab. 2). Osoby se zbrojním průkazem nejsou omezeny v počtu vlastněných střelných zbraní. Expanzní zbraně byly nově zařazeny do zbraní kategorie C-I, což znamená, že nové zbraně kategorie C-I je podle nových pravidel potřeba ohlásit na Policii České republiky. Evidence zbraní řazených do zbraní kategorie D (nyní zbraně kategorie C-I a D) před novelou zákonem č. 13/2021 Sb., neprobíhala. Vzhledem k této skutečnosti je celkový počet registrovaných zbraní kategorie C-I uveden samostatně mimo ostatní kategorie zbraní. V tab. 2 jsou u zbraní kategorie C-I uvedeny celkové počty ohlášených zbraní bez ohledu na vlastnictví zbrojního průkazu osobou, která zbraň ohlašovala.

V tab. 3 je uvedeno srovnání objasněných trestných činů (dále jen TČ) s jakoukoliv zbraní a se střelnou zbraní, přičemž statistika týkající se střelných zbraní je rozdělena na zbraně držené legálně a nelegálně. Důvodem velkého počtu TČ s legálně drženou střelnou zbraní je skutečnost, že zbraně kategorie D je téměř nemožné vlastnit nelegálně. Je však nutno poznamenat, že evidence TČ se zbraní podle kategorie zbraní nebyla upravena ve smyslu novely zákona o zbraních z roku 2021. Z e-mailové korespondence s Policejním prezidiem Policie České republiky [Příloha P-I] vyplývá, že i nadále je statistika TČ vedena pouze pro původní čtyři kategorie zbraní (zbraně kategorie A, B, C a D). Předposlední

řádek tab. 3 ukazuje, v kolika případech TČ nedošlo k určení typu střelné zbraně, přestože došlo k objasnění TČ.

Tab. 2: Porovnání počtu držitelů zbrojních průkazů s registrovanými zbraněmi v České republice v průběhu let 2019–2023 [upraven 4].

Položka	2019	2020	2021	2022	2023
Celkový počet držitelů zbrojního průkazu	305 452	307 372	308 990	314 039	316 859
z toho zbrojní průkaz skupiny E	248 278	250 342	252 245	257 446	260 277
z toho % zbrojních průkazů skupiny E	81,3 %	81,4 %	81,6 %	82,0 %	82,1 %
Celkový počet registrovaných zbraní kategorie A, A-I, B a C	875 292	900 087	933 432	980 406	1 016 786
z toho počet zbraní kategorie B	416 917	434 996	452 549	480 108	500 673
z toho % zbraní kategorie B	47,6 %	48,3 %	48,5 %	49,0 %	49,2 %
Celkový počet ohlášených zbraní kategorie C-I	-	-	2 635	8 942	15 874

Tab. 3: Srovnání objasněných TČ spáchaných se zbraní a jejich rozdělení v České republice v průběhu let 2019–2023 [upraven 4].

ROK	2019	2020	2021	2022	2023
TČ s použitím jakékoliv zbraně	1 717	1 555	1 483	1 680	1 862
TČ s použitím střelné zbraně	204	158	170	179	185
z toho se zbraní legálně drženou	149	102	104	106	116
zbraň kategorie B	29	23	17	14	14
zbraň kategorie D	99	73	78	82	88
z toho se zbraní nelegálně drženou	23	19	16	21	22
zbraň kategorie B	11	5	6	11	8
zbraň kategorie D	5	5	5	8	6
neurčená střelná zbraň	32	37	50	52	47
Jako zbraň použit dopravní prostředek	38	36	37	35	50

Z informací uvedených v tab. 2 a 3 je patrný vysoký počet TČ s použitím zbraní kategorie D (tj. včetně zbraní kategorie C-I), přičemž do této kategorie se řadí také expanzní zbraně. Tento typ zbraní je z odborného hlediska obvykle na okraji zájmu, a to přesto, že se prokazatelně nejedná o zbraně bez rizika či nebezpečí újmů na zdraví nebo majetku. V případě přiložení expanzní zbraně na tělo může dojít až ke smrtelnému střelnému zranění způsobenému tlakem plynů, které jsou schopny způsobit velké škody [5]. Je zřejmé, že také tyto zbraně jsou používány k páchání trestné činnosti, a tím vstupují mimo jiné do procesu vyšetřování TČ. Ne všechny skutečnosti platné pro zbraně ostatních kategorií (tj. zejména palné kulové zbraně ostatních kategorií) se vztahují také na zbraně expanzní, i přesto, že řada prvků, principů a jevů je společných. Z těchto důvodů byly expanzní zbraně, a především expanzní pistole, zvoleny pro zpracování této práce.

2. POUŽITÁ ODBORNÁ TERMINOLOGIE

Odborná terminologie z odvětví střelných zbraní, střeliva a kriminalistické balistiky, která je v této práci použita, vychází primárně z přijatého názvosloví civilních střelných zbraní a střeliva obsažených v normě ČSN 39 5002 (účinné od 09/2023) a z teorie (vědecké) balistiky. Část použitých pojmů je zcela svébytná, čímž odráží určitou výjimečnost těchto oborů [6,7]. V průběhu zpracování disertační práce bylo zjištěno, že některé dříve zaužívané odborné termíny byly nahrazeny jinými, což dokazuje neustálý vývoj oboru. I přesto nebývají nové termíny odbornou veřejností vždy zcela správně užívány a může docházet ke kombinaci původních a současných významů jednotlivých termínů. Bylo-li to možné, je příslušný pojem uveden také v anglickém názvosloví (převzatém z odborné literatury), aby byly eliminovány případné nesrovnalosti vůči zahraniční literatuře.

2.1 Zbraně

Pod pojmem **zbraň** (angl. *weapon* [5,9,10]) si lze představit jakoukoliv věc či prostředek, s jejichž pomocí lze učinit útok nebo obranu proti tělu člověka důraznější [5,8–10] a byla primárně zkonstruována k zabití.

Střelná zbraň (angl. *gun* [5]) je „*zbraň, jejíž funkce je odvozena od okamžitého uvolnění energie při výstřelu.*“ [6]. Je konstruována definovaným způsobem pro požadovaný účinek na definovanou vzdálenost s požadovaným účinkem v cíli [1,5,6,9]. Střelné zbraně se dle zdroje energie dělí na palné, plynové a mechanické zbraně [6].

Palná zbraň (angl. *firearm* [5,9,10]) se řadí pod střelné zbraně a její „*funkce je odvozena od okamžitého uvolnění chemické energie výmetné prachové náplně*“ [6]. Mezi palné zbraně se řadí kromě kulových, brokových a dalších zbraní i expanzní zbraně a expanzní přístroje [1,5,6,9].

Kulová zbraň (angl. *rifled gun* [5]) je palná zbraň určená pro střelbu kulovými náboji nebo kulovými střelami a může mít jednu nebo více hlavních. [1,5,6]

Expanzní zbraň (angl. *expansion weapon* [9]) je palná zbraň, která je „*zkonstruovaná výlučně pro použití střeliva určeného pro expanzní zbraně*“ [6] (nábojky). Konstrukce expanzních zbraní vylučuje použití jiného typu střeliva a jsou zpravidla kopiemi populárních modelů palných kulových zbraní [6,9,10]. Jednotlivé druhy expanzních zbraní dělených podle konstrukce a střeliva jsou v normě [6] definovány takto:

- **Akustická zbraň; signalizační zbraň:** „*expanzní zbraň s výšlehovým otvorem v ose hlavně² zkonstruovaná výlučně pro použití nábojek pro vyvolání akustického efektu (poplašné a startovací zbraně)*“.
- **Salutní zbraň:** „*expanzní zbraň upravená z jiné palné zbraně ke střelbě pouze s využitím nábojek nebo cvičných nábojů a určená pro použití při divadelních představeních, fotografování, při filmových a televizních záznamech, rekonstrukcích historických událostí, přehlídkách, sportovních akcích a výcviku*“.
- **Poplašná zbraň:** „*expanzní zbraň s výšlehovým otvorem mimo osu hlavně zkonstruovaná výlučně pro použití nábojek pro vyvolání akustického efektu*“.
- **Plynovka:** „*expanzní zbraň s výšlehovým otvorem v ose hlavně zkonstruovaná pro použití akustických nábojek a nábojek, které uvolňují dráždivý plyn a současně vytvářejí akustický efekt*“.
- **Zbraň na granule:** „*expanzní zbraň s výšlehovým otvorem v ose hlavně zkonstruovaná výlučně pro použití nábojek s granulami a střeliva pro plynovky a akustické zbraně*“.

2.2 Střelivo

Střelivo (angl. *ammunition* [5,9]) je „*souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do střelných zbraní*“ [1,6,9]. Do každé střelné zbraně je určeno konkrétní střelivo, tedy lze do zbraně nabít náboje nebo nábojky dané ráže.

Náboj (angl. *cartridge* [5,9,10]) je určený ke vkládání (nabíjení) do palných zbraní, signálních nebo zvláštních zbraní. Náboj je celek, který se skládá z nábojnice, zápalky (u středového zápalu) nebo zápalkové složky (u okrajového zápalu), výmetné (prachové) náplně a střely [5,6,9]. Náboj je dělený na 9 typů (jednotný, dělený, beznábojnicový, kulový, brokový náboj pro brokovnice, Flobertův, školní, cvičný a signální náboj) [6].

Kulový náboj se skládá z jednotné střely, nábojnice, výmetné (prachové) náplně, zápalky a je určen pro krátké i dlouhé ruční palné zbraně s drážkovou hlavní. Existují však i kulové náboje s jednotnou kulovou střelou určenou pro střelbu z brokovnice, tj. s hladkým vývrtem hlavně [6,9,11].

Brokový náboj se nejčastěji skládá z těla nábojnice, kování, hromadné střely (broky), zátky, krytky, výmetné prachové náplně, plastového toulce, pouzdra,

² V odborných publikacích [9,10] a v normě ČSN 39 5002-1 (znění platné do 09/2023) bylo uvedeno, že výšlehovému otvoru se nachází mimo osu hlavně.

zápalky, uzavírky ústí a je určen pro střelbu z palných zbraní s hladkým vývrtem hlavně (brokovnice). Existuje také brokový náboj s hromadnou střelou určený pro pistole a revolvery [6, 9,11].

Nábojka (angl. *blank cartridge* [5,9], *bagged cartridge* [9]) je určen do expanzních zbraní, expanzních pracovních přístrojů nebo zvláštních zbraní. Nábojky se skládají z nábojnice, zápalky nebo zápalkové složky a může obsahovat výmetnou (prachovou) náplň (bez střely) [5,6,9,10]. Některé nábojky navíc mohou být doplněny i o jiné látky, nejčastěji s chemicky dráždivou látkou, které jsou označovány jako účinné látky, nebo granule [5,6,9]. Rozdíl mezi nábojem a nábojkou spočívá v tom, že do ústí nábojnice náboje je částečně vtlačena pevná střela (projektil; viz obr. 1a), zatímco u nábojky je ústí nábojnice uzavřeno složením do hvězdice (dále jen zakončení do hvězdice, viz obr. 1b) nebo kontejnerem³ (dále jen zakončení kontejnerem, viz obr. 1c). Nábojky představují střelivo, které bylo použito k provedení experimentů popsanych v této práci, kdy jejich bližší popis je uveden níže.



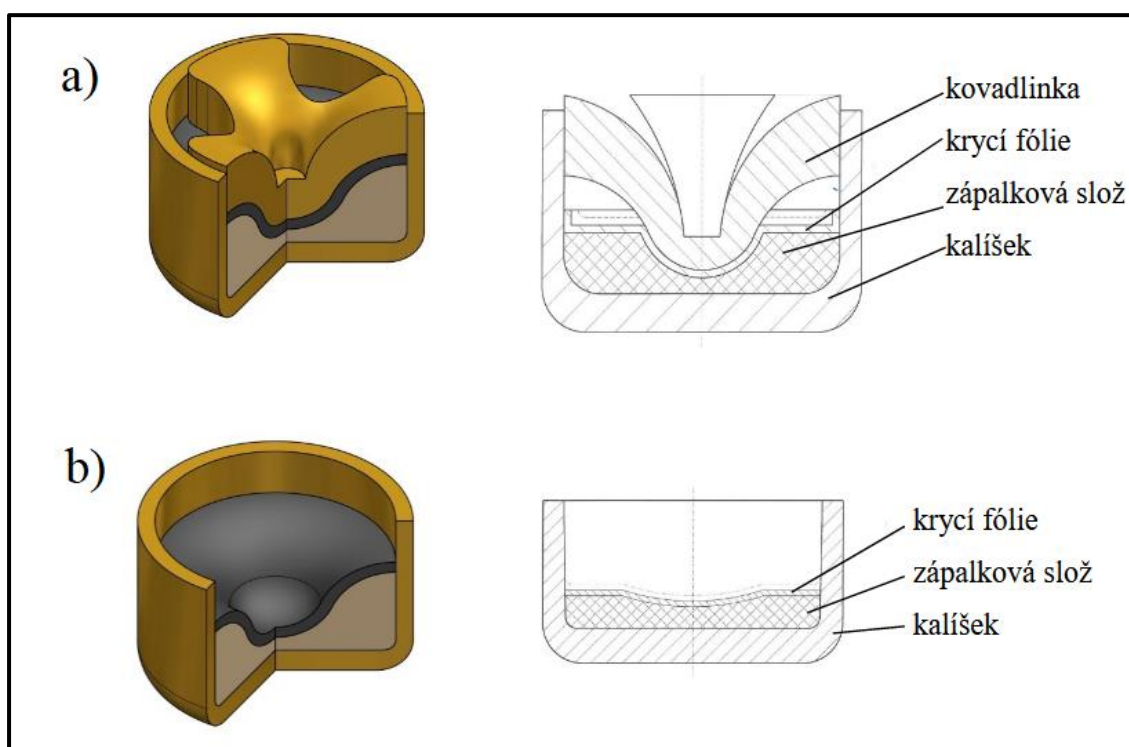
Obr. 1: Srovnání náboje a nábojek určené do pistolí: a) náboj ráže 9 mm Luger společnosti Sellier & Bellot, b) akustická nábojka ráže 9 mm × 19 Salve – Blank společnosti Fiocchi, c) akustická nábojka ráže 9 mm P.A.K. společnosti Walther.

³ Označení „kontejner“ je součástí normy ČSN 39 5002 od 09/2023. Dříve nebylo označení této části nábojnice zvlášť stabilizováno, používal se např. výraz „předfragmentovaná uzavírka“.

Zápalka (angl. *primer* [5,9,10]) je „iniciátor, který vytváří plamen po aktivaci nárazem zápalníku palné zbraně (zápalka s mechanickou aktivací), resp. po přivedení elektrického impulsu (elektrická zápalka); zápalky se používají v sestavách nábojů pro ruční palné zbraně k zážehu výmetné prachové náplně při odpálení.“ [6] Zápalková slož uvnitř zápalky se používá k zážehu výmetné prachové náplně při výstřelu (odpálení) [5,6,7,9]. Přesné složení zápalek se liší podle výrobce [12]. Zápalky jsou řešeny dvěma způsoby, kdy první způsob je s okrajovým a druhý se středovým zápalem [10].

Okrajový zápal přetrval především u sportovního a loveckého střeliva ráží .22 LR, .22 Short nebo u nábojů Flobert v ráži 6 mm. U okrajového zápalu se používá zápalková slož, která je umístěna v dutém okraji u dna nábojnice, která je neoddělitelnou součástí nábojnice [6,10].

Středový zápal v dnešní době převládá u většiny nábojů, kdy jsou využívány i u nábojek pro expanzní zbraně. Zápalka má tvar kovového kalíšku s mechanickou aktivací, jenž obsahuje zápalkovou slož citlivou k nárazu překrytou tenkou fólií, umístěnou v příslušném otvoru uprostřed dna nábojnice [5,9,10,12]. Pro středový zápal jsou používány tři základní druhy zápalek (Boxer, Berdan a W209) [6,10]. Nejčastěji používané jsou zápalky typu Boxer (obr. 2a) a Berdan (obr. 2b). Rozdíl mezi těmito typy spočívá v jejich mírně odlišné konstrukci, přičemž konstrukce zápalky Berdan znemožňuje její přebíjení.



Obr. 2: Popis komponentů zápalky typu: a) Boxer a b) Berdan [13].

Zápalková slož (angl. *primer composition* [9,10]) je směs malého množství třaskaviny citlivé na náraz schopné rychlého přechodu od výbuchového hoření k detonaci, která iniciuje střelný prach, a pomocných látek (např. okysličovadlo, hořlavina, zdrsňovadlo a pojivo), které aktivací explodují a zažehnou prachovou náplň [6,7,9,10]. Obvykle jde o směs na bázi tricinátu a tetrazenu. Zápalková slož je lisována do kalíšku zápalek nebo nábojnice s okrajovým zápalem [6,10]. Zápalková slož se nárazem (zápalníku, kohoutu) o dno zápalky vznítí a zažehne výmetnou (prachovou) náplň [5,7,9,10].

Střelný prach (angl. *propellant* [5,9], *powder* [9,10] nebo *powder charge* [9]), nazývaný též prach, prachová slož, výmetná slož, výmetná náplň, prachová náplň, hnací slož nebo střelivina. Je to směs chemických látek, při jejímž zahoření vzniknou prudce expandující plyny, které udělují rychlost k vymetení střely, rozevření zakončení do hvězdice nebo protržení kontejneru. Střelný prach je dělen na černý nebo bezdýmný prach [5–7,9,10].

Černý prach (angl. *black powder* [5,9,10] nebo *gun powder* [9]) je střelivina se znaky pyrotechnické slož vyrobená jako mechanická směs, která se obvykle skládá ze 75 % dusičnanu draselného (ledku), 15 % síry a 10 % dřevěného uhlí (palivo). Hořením černého prachu vzniká zejména oxid uhličitý (CO_2) a dusík (N_2), dále pak síran (K_2SO_4), uhličitán (K_2CO_3) a sulfid draselný (K_2S) tvořící pevné nespálené zbytky [5,9,10,14]. Černý prach se primárně používá do historických zbraní a v sestavě vojenské munice plní řadu specifických funkcí [9,10]. Černý prach produkuje více zbytků zplodin než bezdýmný prach, a proto může vytvářet větší vnější zónu prachových sazí [15]. V Evropě bylo složení černého prachu poprvé popsáno v roce 1250 Rogerem Baconem. Dnes se černý prach používá prakticky pouze u historických zbraní, pro jiná použití byl převážně nahrazen bezdýmným prachem [12]. Výjimkou je použití černého prachu v nábojích .45 long Colt.

Bezdýmný prach (angl. *smokeless propellant* [5,9] nebo *smokelles powder* [10]) je střelný prach vyráběný na bázi nitrocelulózy (střelecké bavlny) s přidáním těkavých a netěkavých rozpouštědel (želatinátorů). Nitrocelulóza je směs kyselin dusičné (HNO_3) a sírové (H_2SO_4). Jednotlivé složky bezdýmného prachu se lisují, výlisky se následně řežou na prachová zrna různých tvarů. Rozlišují se jednosložkové prachy, založené pouze na nitrocelulóze, nebo vícesložkové prachy, které navíc obsahují nitroglycerin a diglykol. Při hoření bezdýmného prachu vzniká oxid uhličitý (CO_2), oxid uhelnatý (CO) a sulfid draselný (K_2S), které vytvářejí specifické nespálené částice [5,9]. Dále také vznikají vodní páry (H_2O), vodík (H_2) a dusík (N_2) [16].

2.3 Nábojky

Nábojky se dle normy ČSN 39 5002 dělí podle účinku na akustické (poplašné), pracovní, plynové, nábojky s granulemi nebo speciální nábojky [5,6,9,10]. Další dělení výše zmíněná norma nezná. Z praktického hlediska se nábojky dají ještě rozdělit podle konstrukce (typu palné zbraně, do které jsou určeny a způsobu zakončení, tj. do hvězdice nebo kontejnerem) a označení případně ráže. Nábojky mohou být nabíjeny do palných kulových i expanzních zbraní a do expanzních přístrojů.

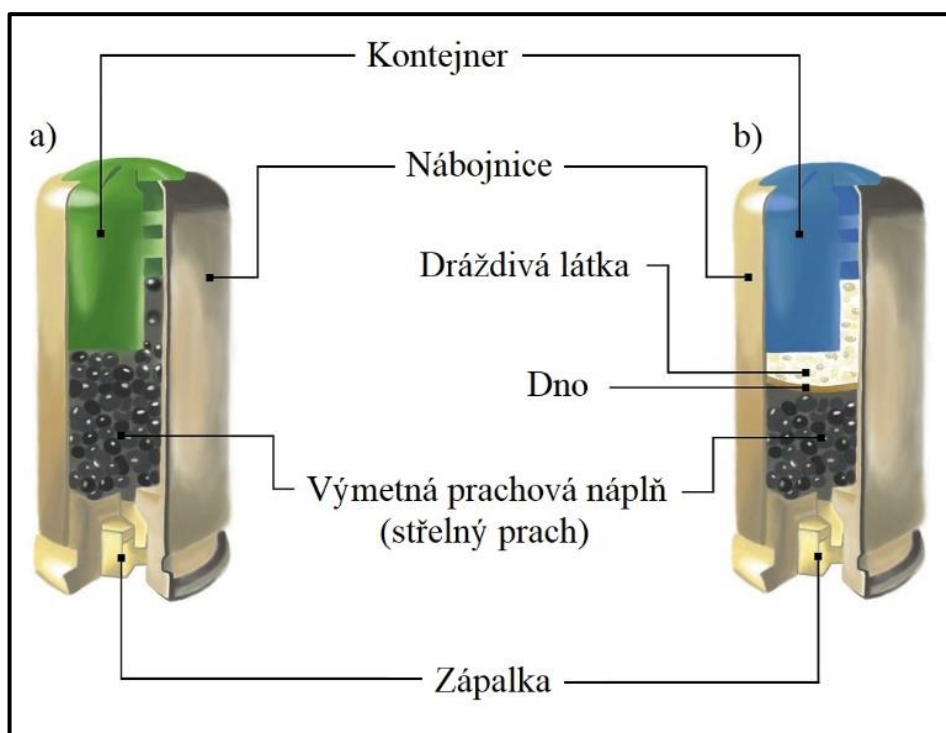
Při výstřelu z expanzní zbraně nesmí být z nábojky vrženy žádné částice, části nábojky nebo střeliviny, které by ve vzdálenosti 1,5 m od ústí hlavně expanzní zbraně prorazily list papíru s gramáží 100–115 g/m² o tloušťce $(0,12 \pm 0,02)$ mm, který je uchycený v rámu. Toto nařizuje nejen vyhláška č. 162/2021 Sb., podrobněji popsána níže, ale také norma ČSN 39 5001 o expanzních zbraních. [17,18].

2.3.1 Základní dělení nábojek podle účinku

Akustická (poplašná) nábojka (angl. *acoustic bag-cartridge* nebo *blank cartridge* [9]) se skládá „z nábojnice, zápalky nebo zápalkové složky, může obsahovat výmetnou náplň. Nábojka nesmí obsahovat pevné látky, které ve své původní podobě opouštějí hlaveň“ [6]. Na obr. 3a) jsou popsány komponenty akustické nábojky určené do expanzní zbraně. Akustická nábojka může být označována i jako startovací, poplašná, slepá nebo cvičná nábojka, v hovorové řeči (resp. laickou veřejností) bývá používáno označení „slepé náboje“. Do této kategorie jsou řazeny také akustické nábojky označované „Flash-Defence“; jedná se o akustické nábojky, u nichž je zvukový efekt doplněn o světelný výsledek (ohnivou kouli).

Pracovní nábojka je určena do pracovního expanzního přístroje [6], např. hřebíkovačka.

Plynová nábojka (angl. *tear gas cartridge* [9]) se skládá „z nábojnice, zápalky nebo zápalkové složky, látky (v pevném, kapalném nebo plynném skupenství), která se po výstřelu přemění v dráždivý nebo paralyzující plyn; může obsahovat výmetnou náplň“ [6]. Výmetná náplň a účinná látka jsou v tomto typu nábojek odděleny papírovým nebo korkovým dnem (obr. 3b). Obsah účinné látky v nábojkách je v ČR upraven vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č. 162/2021 Sb., o dovoleném výrobním provedení plynové zbraně a expanzní zbraně a o technických požadavcích na plynové nábojky pro expanzní zbraně [17]. Tato vyhláška rozlišuje pouze tři druhy nábojek s účinnou látkou, jimž stanovuje vybraná označení a charakteristiky – viz tab. 4. Není rozlišováno, zda se jedná o revolverové nebo pistolové nábojky. Barevné označení musí být provedeno na dně nábojnice, pokud průměr nábojnice neumožňuje uvedení zkratky [17].



Obr. 3: Popis komponentů nábojek určených do expanzních zbraní: a) akustické nábojky, b) nábojky s účinnou látkou [upraven 19].

Tab. 4: Základní barevné dělení s množstvím účinné látky nábojek dle vyhlášky [upraven 17].

Barva	Účinná látka	Zkratka	Množství účinné látky
Modrá	slzotvorná	CN	maximálně 300 mg
Žlutá	dusivá	CS	maximálně 80 mg
Hnědá	pepřová	PV, případně OC	maximálně 50 mg

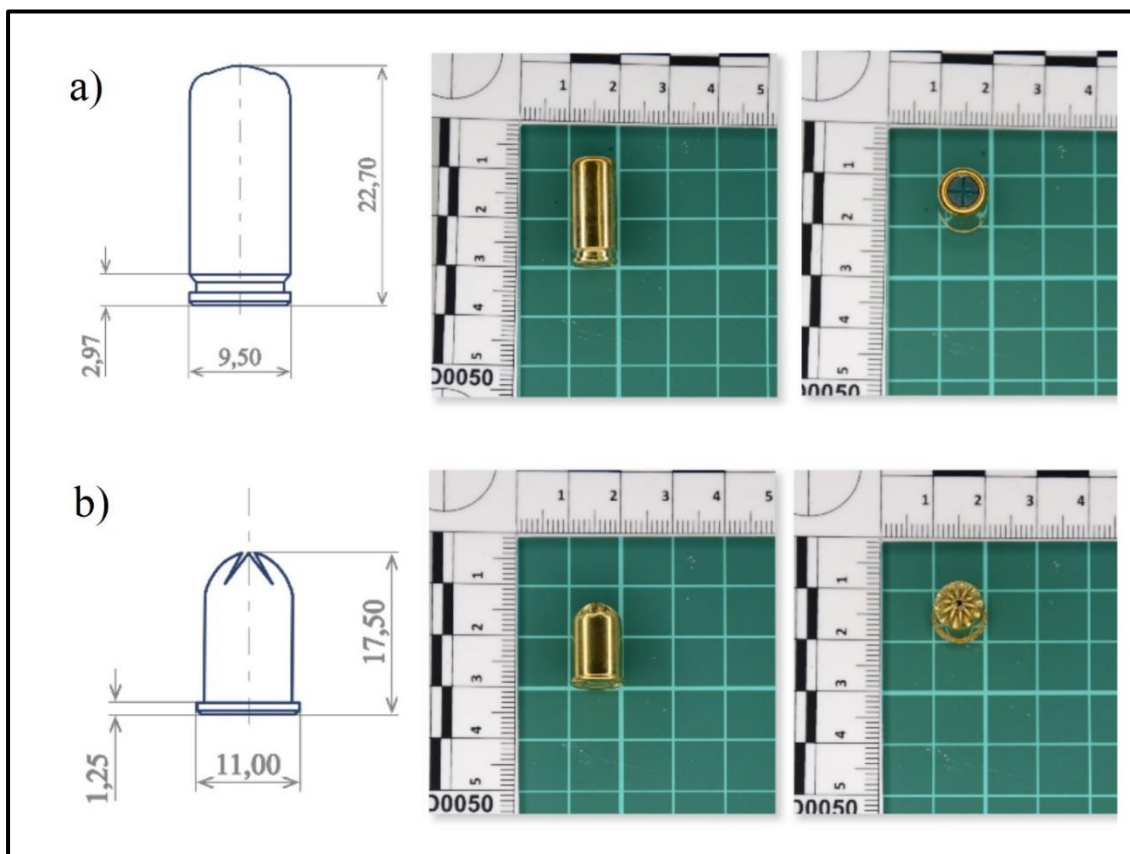
Nábojka s granulemi (angl. *cartridge with granules* [9]) se mimo jiné skládá z granulí, které mohou být promíseny s výmetnou náplní [6]. Dle e-mailového vyjádření pracovníka Českého úřadu pro zkoušení zbraní a střeliva (ČÚZZS) se jedná o nábojku pocházející z Německa a Itálie. Jednalo se o konstrukční pokus Německa, který byl vyzkoušen před rokem 1993, nicméně se postupně od těchto zbraní a střeliva upustilo [20, v plném znění v příloze P-II].

Speciální nábojka je nábojka se speciální konstrukcí [6].

2.3.2 Dělení nábojek podle konstrukce

Nábojky se rozlišují primárně podle palné zbraně, do níž jsou určeny (pistole, revolvery, dlouhé palné zbraně nebo expanzní přístroje), přičemž jejich základní dělení je označováno jako „pistolové“ (zpravidla do pistolí a dlouhých palných

zbraní, obr.4a) a „revolverové“ (zpravidla do revolverů a expanzních přístrojů, obr, 4b). Dělení nábojek na „pistolové“ a „revolverové“ představuje rozlišení podle způsobu konstrukce, jednotlivé nábojky jsou přizpůsobeny zbraním, do nichž jsou určeny. Revolverové nábojky se od pistolových nábojek tím, že nemají drážku u dna nábojnice pro vytahovač, ale mají rozšířené dno nábojnice, tak že přečnívá přes vnější průměr těla nábojnice (obr. 4). Nábojnice s okrajem je u revolverové nábojky z důvodu umožnění fixace nábojky ve válci.



Obr. 4: Příklad srovnání nábojek: a) pistolová zakončená kontejnerem a b) revolverová zakončená do hvězdice.

Nábojky se z hlediska konstrukce dále dělí podle způsobu zakončení na nábojky zakončené kontejnerem (viz obr. 4a, případně obr. 1c) a do hvězdice (viz obr. 4b, případně obr. 1b).

Způsob zakončení náboje či nábojky má vliv na chování střeliva po výstřelu. Pro všechny uvedené typy střeliva společně platí, že po stisku spouště vznikne v uzavřené nábojnici tlak. V případě náboje dojde k vymetení střely z nábojnice. V případě nábojky zakončené do hvězdice při výstřelu dochází pouze k rozevření hvězdicového zakončení tlakem, přičemž tvar a vzhled těchto nábojek po výstřelu z palné zbraně zůstávají téměř beze změny. V případě nábojky zakončené kontejnerem dojde po překonání tlaku potřebného k protržení kontejneru k jejímu řízenému protržení a vymetení zplodin výstřelu (obsahující povýstřelové zplodiny a zplodiny hoření zápalkové složky). U nábojky s účinnou (dráždivou) látkou je

vymetena také účinná látka, která se po výstřelu přeměňuje v dráždivý nebo paralyzující plyn (záleží na typu účinné látky obsažené v nábojce). Na ústí hlavně expanzní zbraně dojde k expanzi vytékajících spalných plynů.

Nábojka zakončená do hvězdice je typická pro akustické (cvičné) střelivo. Toto střelivo může být nabíjeno do palných kulových zbraní, expanzních revolverů nebo expanzních přístrojů (záleží na ráži). Některé nábojky zakončené do hvězdice jsou vhodné i do palných kulových zbraní určené primárně k nabíjení nábojů.

Nábojka zakončená kontejnerem je v porovnání s nábojem a předchozím typem nábojky menší a je zakončena kontejnerem různé barvy v místě, kde se u náboje nachází střela. Kontejner je nasunut do těla nábojnice, přičemž ústí nábojnice je zúženo tak, aby kontejner při výstřelu nevyklouzl z nábojnice a tím nepoškodil přepážky v hlavní expanzní zbraně nebo hlaveň dokonce neucpal. Další funkcí, kterou kontejner plní, je zabránění vysypání výmetné náplně, případně také účinné látky, pokud jsou v nábojce obsaženy. Kontejner je křížovým způsobem předfragmentován (částečně perforován) pro jeho snadnější protržení při výstřelu. Nábojka zakončená kontejnerem je určena především do expanzní pistole. Na trhu se vyskytují i méně rozšířené nábojky zakončené kontejnerem určené do expanzních revolverů.

2.3.3 Označování nábojek

V rámci rešerše bylo zjištěno, že obecné označení nábojek, na rozdíl od označení nábojů, není standardizované. Akustické nábojky lze tedy nalézt pod označeními *Knall*, *Blank*, *Blanc*, *P.A.* (zkratka výrazu *Pistol Acoustic*), *P.A.K.* (zkratka výrazu *Pistol Acoustic Knall*) nebo *RK* či *R Knall* (zkratky výrazu *Revolver Knall*). Označení nábojek je doplněno ráží a případně zkratkou účinné látky, která je v nábojce obsažena (např. 9 mm PA PV).

Označování nábojek obsahujících účinnou látkou je definováno vyhláškou č. 162/2021 Sb., [17] a je uvedeno v kapitole 2.3.1. Podle barvy kontejneru by mělo být na první pohled rozpoznatelné, o jakou nábojku se jedná, zda nábojka obsahuje účinnou látku, případně o jakou účinnou látku se jedná. Ačkoliv vyhláška [17] definuje pouze tři barevná označení (viz tab. 4), při rešerši byla dohledána tato další barevná rozlišení:

- a) **Akustické nábojky** – odstíny zelené barvy kontejneru (světle zelená, zelená a tmavě zelená),
- b) **Flash-Defence nábojky** – zlatá barva kontejneru,
- c) **Nábojky s účinnou látkou CN** – tmavě modrá barva kontejneru,
- d) **Nábojky s účinnou látkou CS** – žlutá barva kontejneru,
- e) **Nábojky s účinnou látkou PV** – odstíny červené (světle červená a červená) a hnědá barva kontejneru.

Dříve se na trhu objevovalo ještě více barevných variant, jako je bílá, černá, modrá, oranžová, světle modrá a tmavě hnědá.

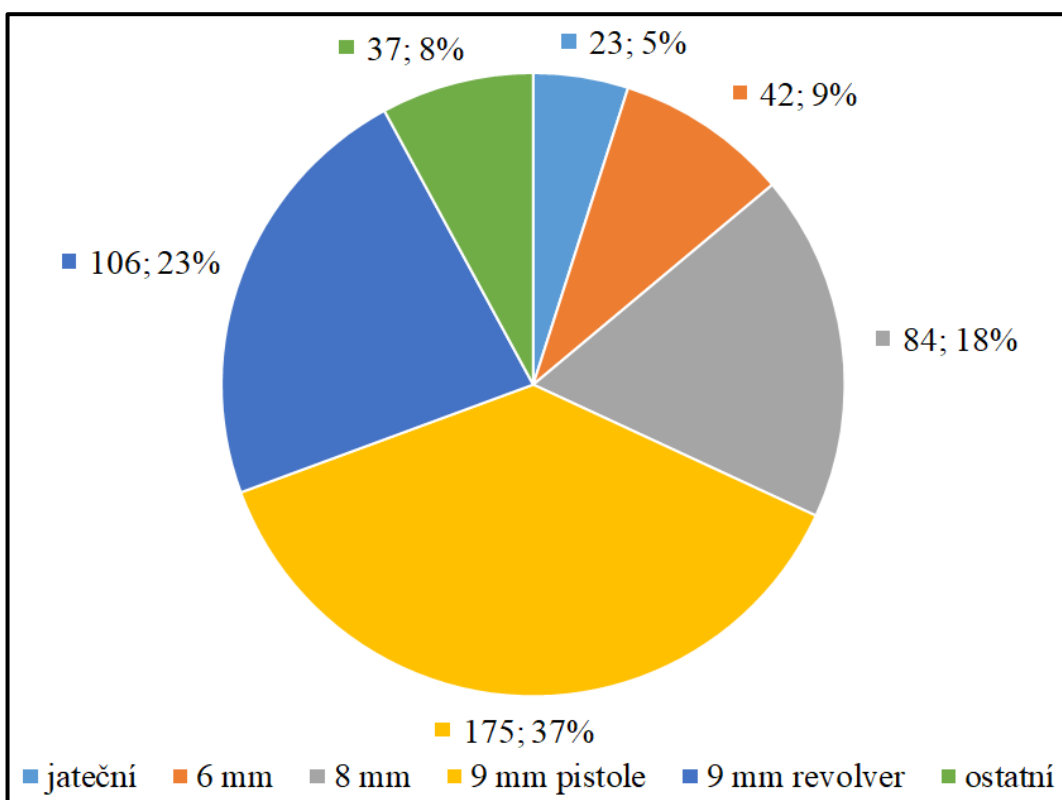
2.3.4 Průzkum trhu

V rámci rešerší pro tuto práci byl proveden průzkum současného trhu v oblasti nábojek. Celkem bylo prohledáno 22 webových portálů⁴ zabývajících se prodejem střeliva. V rámci této rešerše bylo dohledáno celkem 467 nábojek, přičemž převážná část těchto nábojek pocházela od šesti výrobců: Wadie, Walther (Umarex), Sellier & Bellot, POBJEDA Technology (dále jen Pobjeda), FIOCCHI a GECO. Německá společnost Wadie, jež se zabývá obrannými prostředky, výrobou nábojek s účinnou látkou, nabízí nejrozšířenější sortiment; pouze od této společnosti bylo dohledáno celkem 196 nábojek, což odpovídá 42 % všech dohledaných nábojek.

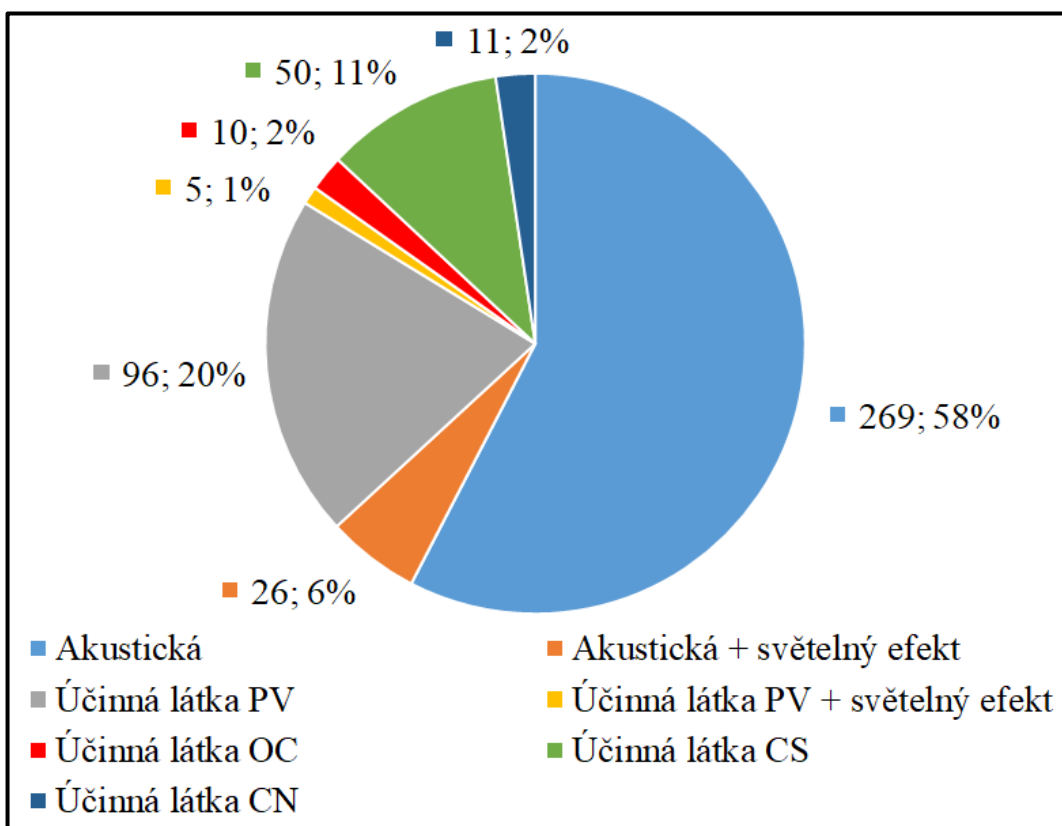
Na obr. 5 je uvedeno dělení nábojek podle ráže a jejich dohledaný počet vzhledem k celkovému počtu nábojek nalezených na webových portálech při rešerši. Nejčastěji nabízenými nábojkami jsou nábojky v ráži 9 mm, tvořící při součtu variant pro pistole a revolvery nadpoloviční většinu dohledaných nábojek. Nábojky v ráži 6 mm se používají např. do expanzních přístrojů výhradně pro průmyslové nebo technické účely (tzv. nastřelovací pistole do betonu nebo hřebíkovačky). Do kategorie „ostatní“ jsou zařazeny všechny nábojky, které nebyly zařazeny do definovaných ráží nábojek, nejčastěji se jednalo o akustické (cvičné) nábojky do dlouhých palných zbraní. Specifickými nábojkami jsou jateční nábojky, které jsou určeny do expanzních přístrojů k porážení zvířat.

Jak z obr. 6 vyplynulo, tak nejrozšířenějšími nábojkami jsou akustické nábojky. Následovány nábojkami s účinnou látkou PV (technický pepř). Na třetím místě jsou nábojky s účinnou látkou CS (slzotvorné) a na čtvrtém místě akustické nábojky se světelným výslehem (označovány jako Flash-Defence). Ostatní typy nábojek jsou zastoupeny v minimálním počtu. Výrobci a prodejci nábojek uvádějí, že všechny účinné látky jsou zdraví neškodné a nezanechávají trvalé následky. Nicméně upozorňují, že při střelbě z expanzní zbraně a jakékoliv nábojky na vzdálenost menší než 1 m (někde je uvedeno pouze 0,5 m) hrozí vážné střelné poranění.

⁴ Webové portály byly vybrány podle zaměření prodeje na náboje a nábojky, kdy prodejci nesprávně nábojky v některých případech označují jako náboje. Příkladem těchto webových portálů může být např. afg-obrana.cz, armed.cz, alfatactical.cz, armytrade.cz, armorum.cz, colosus.cz, gunshop.cz, kentaurzbrane.cz, zbrane-eshop.cz, zbraneostrava.cz, vzduchovky-levne.cz, zbrane-vzduchovky.cz, supra.cz, plynovepistole.cz či zbrane.esako.cz.



Obr. 5: Ráže nábojek dostupných na českém trhu [data použity z webových portálů].



Obr. 6: Účinné látky v nábojkách dostupných na českém trhu [data použity z webových portálů].

2.4 Balistika a související vědní obory

Balistika (angl. *ballistics* [5,9,10]) je vědní obor zkoumající dráhu letu vržených těles a jejich působením na cíl. Balistiku lze rozdělit na čtyři oblasti, a to podle čtyř základních dějů souvisejících s výstřelem a pohybem střely k cíli. Těmito oblastmi jsou vnitřní balistika (angl. *internal ballistics* [5,9]), přechodová balistika (angl. *transitory ballistics* [5,9]), vnější balistika (angl. *external ballistics* [5,9]) a terminální neboli koncová balistika (angl. *terminal ballistics* [5,9]), někdy označovaná také jako ranivá balistika – podrobněji viz kapitola 2.5.1. V některých zdrojích, např. [10], je balistika rozšířena ještě o preterminální a postterminální balistiku. V oblasti střelných zbraní se balistika zabývá všemi ději, jevy a produkty souvisejícími s výstřelem (zplodiny výstřelu, povýstřelové nebo zápalkové zplodiny) a pohybem střely. Balistika může být považována také za nauku o pohybu střel [5,6,9,10]. Balistika se také dělí podle oblasti využití a rozlišuje se balistika vojenská, kosmická, kriminalistická (soudní), lovecká, moderní apod. [9,10].

Kriminalistika (angl. *criminalistics* [7]) je dle Amerického panelu kriminalistiky (The American Board of Criminalistics) definována jako profese a vědecká disciplína zaměřená na rozpoznávání, identifikaci, individualizaci a vyhodnocení fyzických důkazů, aplikací fyzikálních a přírodních věd do právně vědních oblastí [21]. Jiná všeobecně platná definice kriminalistiky nebyla v odborné literatuře vyhledána, neboť kriminalistika bývá definována individuálně ve vztahu k řešenému tématu. Kriminalistika jako vědní disciplína vznikla jako výsledek společenské potřeby zahájení aktivního boje proti zločinu. Počátky vědecké kriminalistiky lze zasazovat do 19. století. Z mnoha odvětví kriminalistiky jsou s tématem disertační práce nejvíce spjaty kriminalistická chemie a kriminalistická balistika [7].

Kriminalistická chemie (angl. *forensic chemistry* [7]) se mimo jiné zabývá chemickým složením organických i anorganických látek ve všech skupenstvích a „zkoumáním technologických postupů, při kterých se mění chemická podstata zkoumaných látek (kriminalistických stop)“ [7]. Vzorky jsou zkoumány buď ve formě jednotlivých předmětů (střepey, úlomky, otěry látek), nebo jako jiné druhy kriminalistických stop (povýstřelové zplodiny, výbušniny a povýbuchové zplodiny, mikrostopy apod.). Předmětem zkoumání kriminalistické chemie jsou také všechny druhy zplodin produkovaných při výstřelu [7].

Kriminalistická balistika (angl. *forensic ballistics* [7]), označovaná také jako forenzní nebo soudní balistika, je interdisciplinární aplikovaná věda využívající poznatky z mnoha technických a přírodovědných oborů (matematika, fyzika, chemie, biologie, soudní lékařství, strojírenství a metalurgie, nauka o zbraních a střelivu a moderní obecná balistika). Kriminalistická balistika se mimo jiné zabývá zkoumáním ručních palných zbraní, střeliva nebo objektů zasažených střelou. Do oblasti zájmu kriminalistické balistiky náleží také problematika

rozptylových obrazců zplodin výstřelu s ohledem na určení palné zbraně či střeliva použitých ke střelbě, či odhadu vzdálenosti střelby [7,10].

2.5 Výstřel a produkty výstřelu

Od začátku vědního oboru balistiky byly vyvíjeny metody a terminologie, pomocí kterých lze zkoumat střelné zbraně a produkty výstřelů (povýstřelové zplodiny, vzniklé rozptylové obrazce zplodin výstřelu atd.). Produkty výstřelu lze použít k identifikaci palné zbraně a střeliva použitých ke střelbě, případně také k odhadu vzdálenosti, na kterou střelba proběhla. Aplikace těchto znalostí vyplývá především z potřeby získání průkazného materiálu pro trestní řízení a zjištění průběhu TČ. Takto lze určit, zda se jedná o sebevraždu, vraždu nebo nešťastnou souhru okolností, pozici střelce, vzdálenost (délku dráhy střelby), zbraň, ze které bylo střeleno a střelivo, které bylo ke střelbě použito.

Střelba je velmi specifický děj, do něhož vstupuje řada proměnných, které nelze zanedbat. Jednou z těchto proměnných je chemické složení směsí při výrobě střeliva, kdy plnicí stroje pracují s určitou nejistotou množství zápalkové složky a výmetné náplně. Na základě vstupních parametrů se následně liší i množství částic zplodin výstřelu, povýstřelových zplodin, a také vzniklé rozptylové obrazce zplodin výstřelu. Dle studií v článkách [22,23] se mohou jednotlivé rozdíly lišit až desetinásobně. Rozdíl ve vzniklých rozptylových obrazcích zplodin výstřelu za použití stejného střeliva, zbraně a vzdálenosti je patrný i v experimentech provedených v rámci této práce.

V dostupné literatuře (tj. odborné publikace, zejména uvedené v databázích Web of Science nebo SCOPUS) nebyl nalezen žádný podrobnější popis zabývající se jednotlivými fázemi balistiky u expanzních zbraní. Vždy byly popsány výzkumy s palnou kulovou zbraní, jež byly doplněny o poznámku, že toto platí také pro expanzní a plynové zbraně [10]. Konkrétní rozdíly mezi palnými kulovými zbraněmi a expanzními či plynovými zbraněmi nebyly uvedeny, což také potvrzuje výše uvedené zjištění, že veškeré dohledatelné výzkumy se primárně zabývají pouze palnými kulovými zbraněmi.

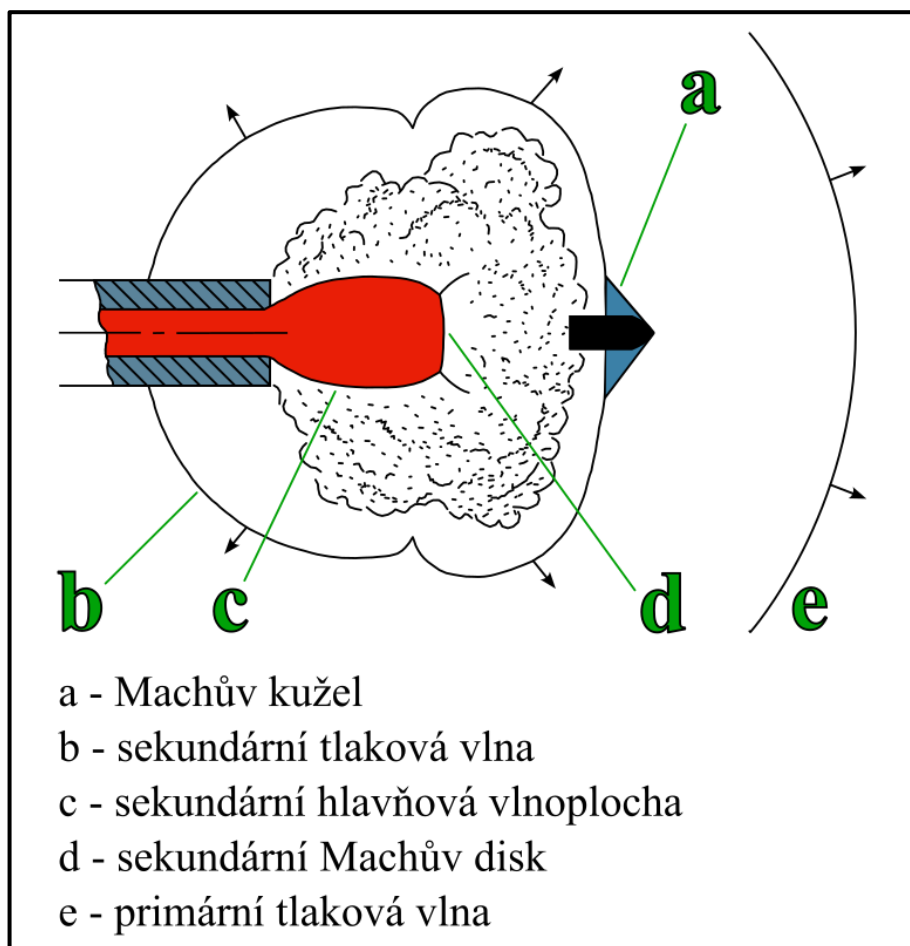
2.5.1 Výstřel a fáze balistiky

Výstřel (angl. *fire* [9], *round* [9,10], *discharge* [9] nebo *shot* [9,10]) je proces, kdy po stisku spouště palné zbraně dojde prostřednictvím mechanismů zbraně k iniciaci zápalky nábojky, čímž vznikne energie potřebná pro iniciaci zápalkové složky v zápalce a první rychlé zvýšení tlaku. Zapálené zápalkové složky následně svými žhavými částicemi a parami pronikají přes zátravku do nábojnice a zažehnou výmetnou náplň v nábojce (pokud ji nábojka obsahuje). V okamžiku, kdy směs zápalky zažehne výmetnou náplň v nábojce, dojde k druhému rychlému zvýšení tlaku a teploty. Zásadní je, aby výmetná náplň rychle shořela a vytvořila tak množství plynu uvnitř nábojnice nábojky dostatečné k protržení kontejneru nebo rozevření zakončení do hvězdice. Tím dojde k vymetení výmetné složky

(případně i účinné látky) z nábojnice nábojky. Plyny a prachové složky letí skrz hlaveň zbraně dále. Během tohoto procesu jsou částice ve směsi plynů a prachové složky vystaveny extrémní teplotě a tlaku s následným rychlým ochlazením. Tyto částice vytvářejí kapičky kapaliny, které následně tuhnou [12,24,25]. Všechny děje od okamžiku zahájení výstřelu po okamžik, kdy plyny a prachové složky opustí hlaveň, se zabývá **vnitřní balistika** [10,22].

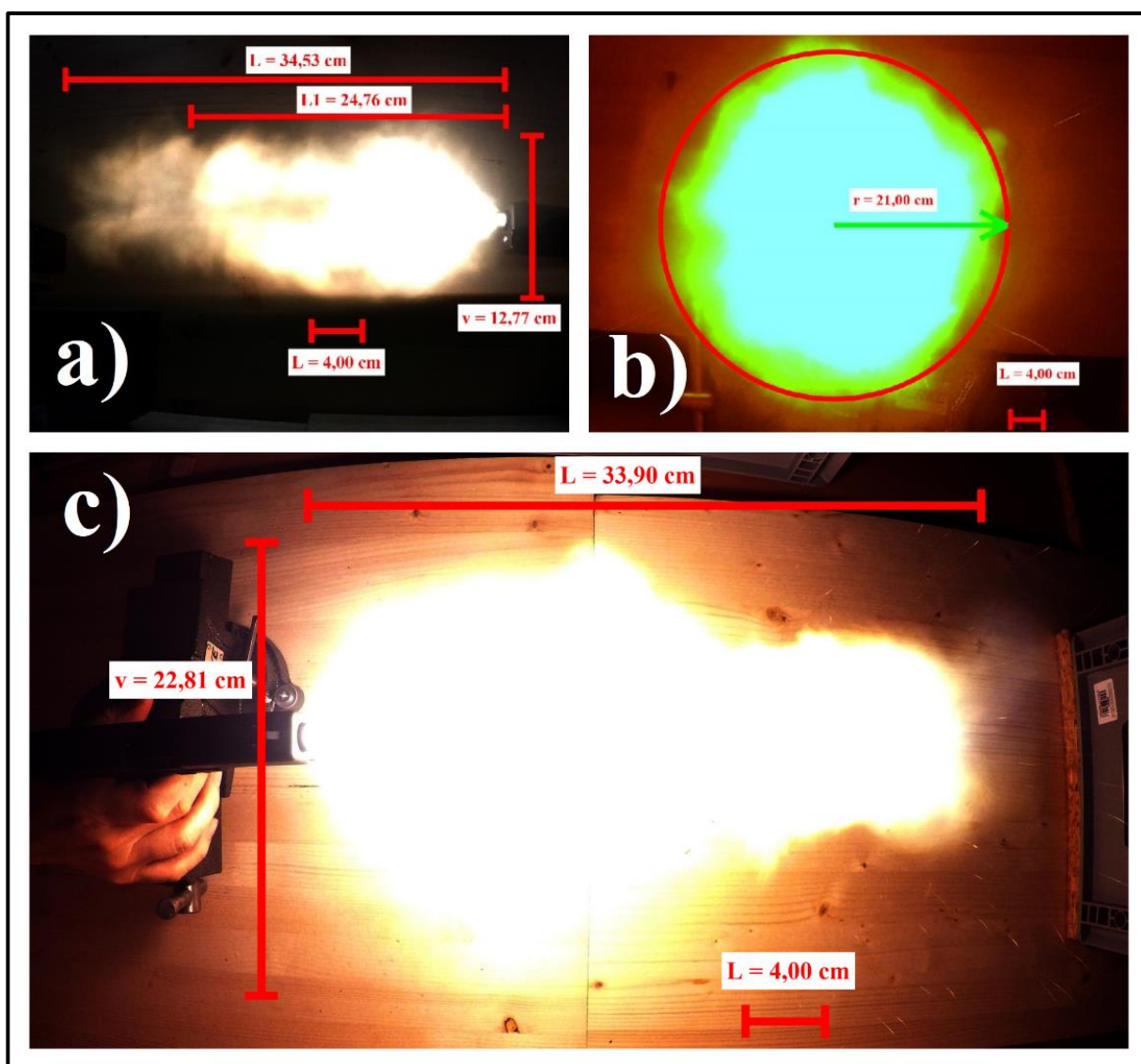
Přechodová balistika je tzv. druhou fází balistiky. Přechodová balistika bezprostředně navazuje na vnitřní balistiku, případně se s ní prolíná u ústí hlavně expanzní zbraně. Za přechodovou balistiku se považují jevy odehrávající se od ústí hlavně zbraně do vzdálenosti až 2 metrů [7,10,22]. Po výstřelu z expanzní zbraně je směs horkých prachových plynů, par a částicového materiálu (tj. zejména saze, spálené a částečně nespálené částice výmetné náplně a zápalkové složky) vytlačena z ústí hlavně, výhozného okénka, mezerami mezi hlavní/válcem nebo z otevřeného závěru. Tyto produkty výstřelu z palné zbraně se nazývají zplodiny výstřelu a jsou součástí balistických stop [10,25–27].

Úst'ový proud vysokého tlaku a vysoké teploty vylučující plazmu z otevřeného konce hlavně způsobí náhlé stlačení vzduchu následované zředěním, známé jako tlaková vlna, které se sféricky odchyluje od ústí hlavně zbraně [10,25]. Především úst'ové plyny jsou viditelné jako záblesk (plamen) a slyšitelné jako zvuk charakterizující výstřel. Děj jednotlivých fází balistiky je velmi rychlý a lze jej zaznamenat pomocí rychloběžných kamer, což umožňuje studovat vznik a vývoj tlakových polí (vln) v okolí ústí hlavně expanzních zbraní a popsat jejich jednotlivé fáze [10,25]. Jakmile ráz dosáhne hranice výmetné náplně, ohřeje okolní vzduch a vyvolá vzduchem přenášenou tlakovou vlnu. Tlaková vlna se začne šířit uvnitř hlavně zbraně rychlostí rázové vlny v pevné látce. Jak se tlaková vlna pohybuje (obr. 7), její rychlost šíření se asymetricky sníží na standardní hodnotu rychlosti zvuku ve vzduchu [25]. Na obr. 7 je vyobrazen princip expanze tlakového pole při výstřelu z palné kulové zbraně za použití náboje.



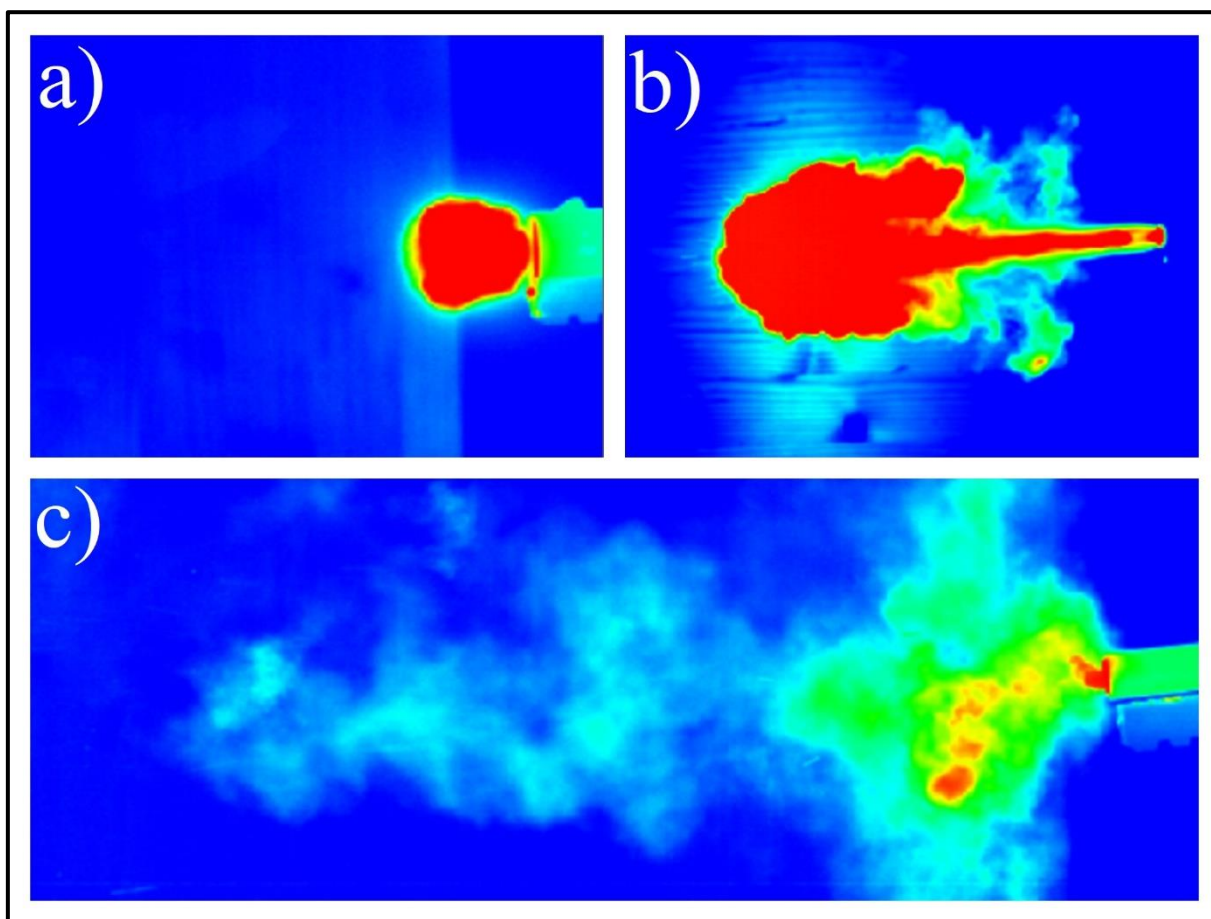
Obr. 7: Expanze hlavního tlakového pole vzniklé při výstřelu při přechodové balistice [překreslen 10].

Na obr. 8 je zachycena ukázka šíření expanze horkých plynů při výstřelu z různých směrů snímání a jejich velikost ve viditelné oblasti spektra. Toto šíření expanze horkých plynů se liší od použité nábojky a dalších proměnných specifických pro střelbu (výrobce, množství výmetné náplně, typ nábojky apod.). Na obr. 9 lze potom vidět ukázku šíření expanze horkých plynů vzniklých při výstřelu za pomoci vysokorychlostní termokamery v čase. Výstřel byl proveden v rámci experimentů v laboratorních podmínkách.



Obr. 8: Šíření expanze horkých plynů při výstřelu z různých směrů snímání: a) snímání z levé strany expanzní zbraně, b) snímání proti ústí hlavně expanzní zbraně, c) snímání shora.

Stejně jako většina výzkumů v oblasti balistiky je i výzkum šíření tlakové vlny zaměřen převážně na palné kulové zbraně, nikoliv na expanzní zbraně. Při rešerši autor nenalezl žádnou publikaci věnovanou šíření tlakových vln z expanzních zbraní. Rozdíly v šíření tlakových vln mezi palnými kulovými zbraněmi a expanzními zbraněmi jsou podstatné. Je to z toho důvodu, že u expanzních zbraní po překonání tlaku, k protržení zakončení kontejnerem nebo rozevření zakončení do hvězdice, se nevytváří další tlak v hlavní zbraně, jak je tomu u palných kulových zbraní vystřelující pevnou střelou. Vzhledem k tomu, že tlakové vlny nejsou cílem disertační práce, nebudou tyto úvahy dále rozváděny či ověřovány. Toto zjištění může být dobrým námětem pro další výzkumníky.

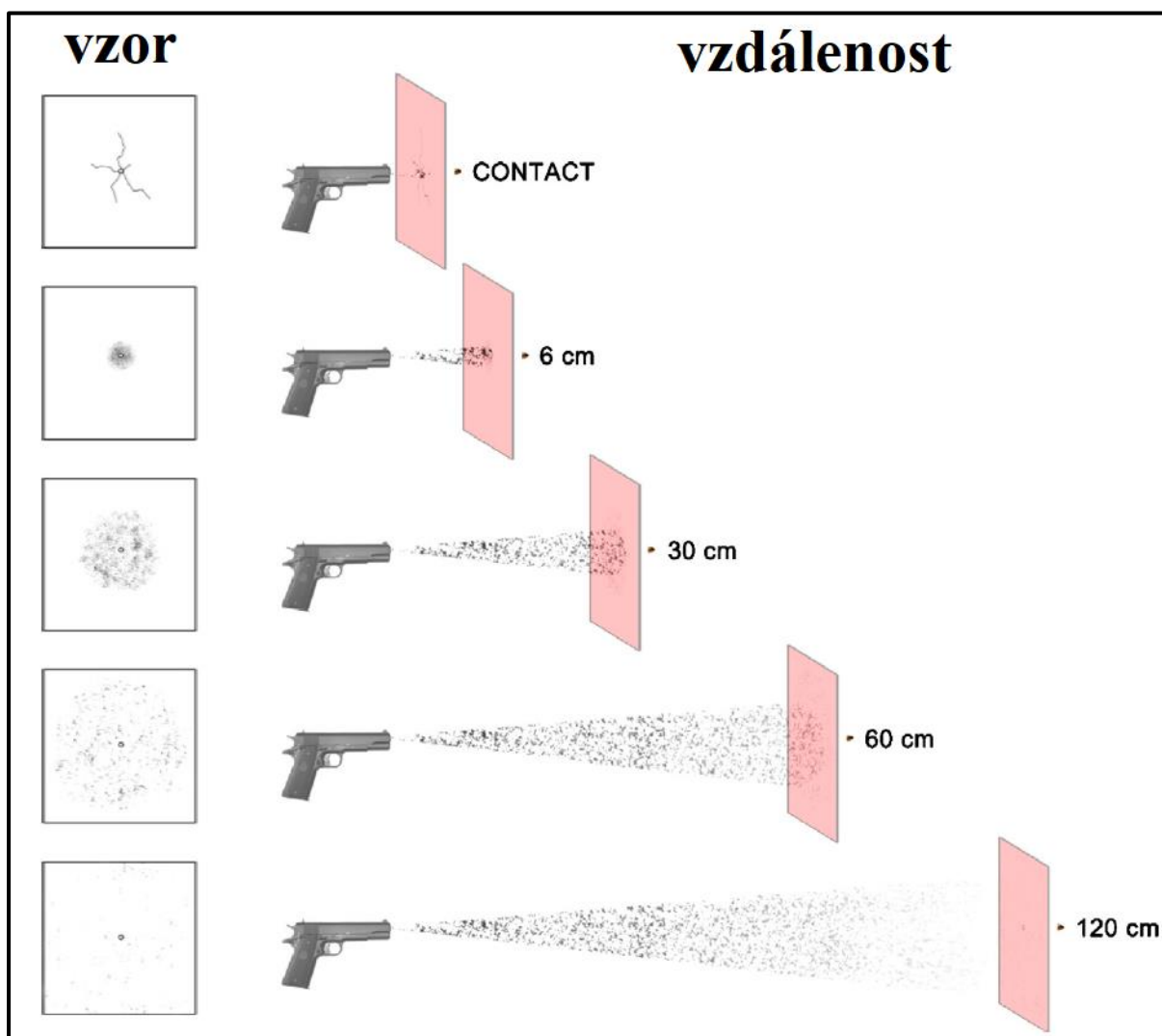


Obr. 9: Šíření expanze horkých plynů při výstřelu: a) u ústí hlavně, b) maximální vzdálenost od ústí hlavně, c) šíření zplodin výstřelu, z expanzní pistole za použití vysokorychlostní termokamery.

Další fází balistiky je **vnější balistika**, která se zabývá dráhou střely. Z pohledu balistických stop podle doby vzniku se zkoumají u vnější balistiky povýstřelové zplodiny, které mohou být na střelci, na oděvu či tělu oběti, na povrchu překážky a další. Dále se zabývá obrazovými informacemi (např. záznamem vrženého velkého projektilu či střel se stopovkou) nebo akustickými informacemi (např. akustickými vlnami nebo třeskem výstřelu jak subjektivním, tak ze záznamu). Na tuto fázi navazuje **terminální balistika**, která se zabývá nejčastěji stopami a účinkem v cíli nebo účinností střelby. V případě, že je cíl blízko ústí hlavně zbraně, tak se jednotlivé fáze balistiky prolínají, což je u expanzních zbraní téměř vždy [10].

Příklady rozptylových obrazců zplodin výstřelu jsou uvedeny na obr. 10. Při laboratorních podmínkách jsou tyto rozptylové obrazce zplodin výstřelu poměrně jasně zřetelné. Ovšem i u laboratorních podmínek je obtížné jednoznačně popsat morfologii (tvar, rozměry a další parametry) vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu, pomocí kterých by je šlo přesně charakterizovat. Do tohoto popisu vstupuje i faktor reálných (vnějších) podmínek a mnohdy pouze částečné (neúplné) rozptylové obrazce zplodin výstřelu. V praxi

se používají tzv. otisky rozptylových obrazců zplodin výstřelu z oděvu a dalších materiálů, u kterých se určuje především průměr takového rozptylového obrazce. Příklady reálných rozptylových obrazců zplodin výstřelů vzniklých v laboratorních podmínkách v rámci této práce jsou uvedeny v kapitole 7.3.



Obr. 10: Závislost rozptylového obrazce zplodin výstřelu na vzdálenosti střelby u palné kulové zbraně [upraven 27].

2.5.2 Produkty výstřelu a jejich význam

Téměř ve všech zahraničních publikacích uvedených v seznamu literatury byl zmíněn pojem GSR, což je zkratka z anglického GunShot Residues. Tento pojem bývá do češtiny překládán nejčastěji jako „povýstřelové zplodiny“ [5], respektive se v československé kriminalistické balistice a v oblasti forenzního fyzikálně-chemického zkoumání ustálil s označením „částice GSR“. Přesně definované české pojmy, jako jsou zplodiny výstřelu, povýstřelové zplodiny a zápalkové zplodiny však zpravidla nejsou v zahraniční literatuře rozlišovány. Anglické ekvivalenty těchto pojmů nebyly obsaženy ani v odborných českých publikacích [9,10], v nichž jsou obsaženy odborné česko-anglické slovníky. Teprve

z kontextu odborného anglického textu lze přibližně vyvodit podrobnější český ekvivalent.

Zplodiny výstřelu⁵ lze obecně definovat jako vedlejší (doprovodné či doplňkové) produkty výstřelu, které tvoří především horké produkty (plyny, mikro nebo makro částice, saze) vzniklé při výstřelu [5,9,10]. Tvoří je nespálené a částečně spálené částice výmetné náplně, čisticí produkty na zbraně, částice materiálu z povrchu nábojnice, částice materiálu z povrchu stěny hlavně (eroze) a částice dokumentující historii používání zbraně (nečistoty, koroze apod.) [5]. Z pohledu balistických stop zplodiny výstřelu vznikají u přechodové balistiky a mohou představovat balistické stopy ve formě očazení, tetováží, rozptylových obrazců na oděvu/tělu oběti nebo také střelci či na povrchu překážky. Při výzkumu či vyšetřování TČ pomáhají tyto zplodiny řešit rovnou několik balistických úloh, neboť mají pestré morfologické a chemické složení [10].

Zplodiny výstřelu vznikají při výstřelu ve zlomcích sekundy a jsou vymety z palné zbraně ve formě kuželovitého oblaku plynných a pevných částic, který postupně kondenzuje, a jednotlivé částice se usazují v okolí střelné zbraně. Zplodiny výstřelu unikají po výstřelu z různých otvorů zbraně; nejvíce zplodin uniká přes ústí hlavně, dalšími otvory pro únik jsou například výhozná okénka, prostor vzniklý při pohybu závěru a další [10,29].

Zplodiny výstřelu při dopadu na cíl vytvářejí díky hmotnějším částicím charakteristické obrazce svého rozptylu, přičemž tyto obrazce jsou viditelné pouhým okem (obr. 10). Na výsledném vzhledu obrazce se podílí termické změny cíle způsobené expandujícími horkými plyny a vysokým tlakem vzniklým při výstřelu [5]. Pomocí vzniklého obrazce lze zpravidla odhadnout vzdálenost střelby na základě jeho **morfologie (hustoty, tvaru a rozměrů)**, a to porovnáním rozptylového obrazce zplodin výstřelu zachyceného na místě činu s rozptylovými obrazci zplodin výstřelu vzniklými při zkušebních nástřelech [10]. Vzniklé obrazce jsou důležité zejména z hlediska soudně-lékařského nebo kriminalistického [5].

⁵ Anglický ekvivalent pojmu „zplodiny výstřelu“ nebyl v odborné literatuře nalezen. Při rešerši v publikaci [5] byly v souvislosti s pojmem „zplodiny výstřelu“ nalezeny anglické pojmy „*doplňkové faktory výstřelu; discharge products*“ (str. 24) a „*discharge residue*“ (str. 217). Tyto pojmy je možno volně přeložit jako „produkty výstřelu“ a „zbytky (rezidua) výstřelu“. Lze ovšem předpokládat, že při rozdělení pojmu „*GunShot Residues*“ může výraz „*Residues*“ představovat zplodiny výstřelu.

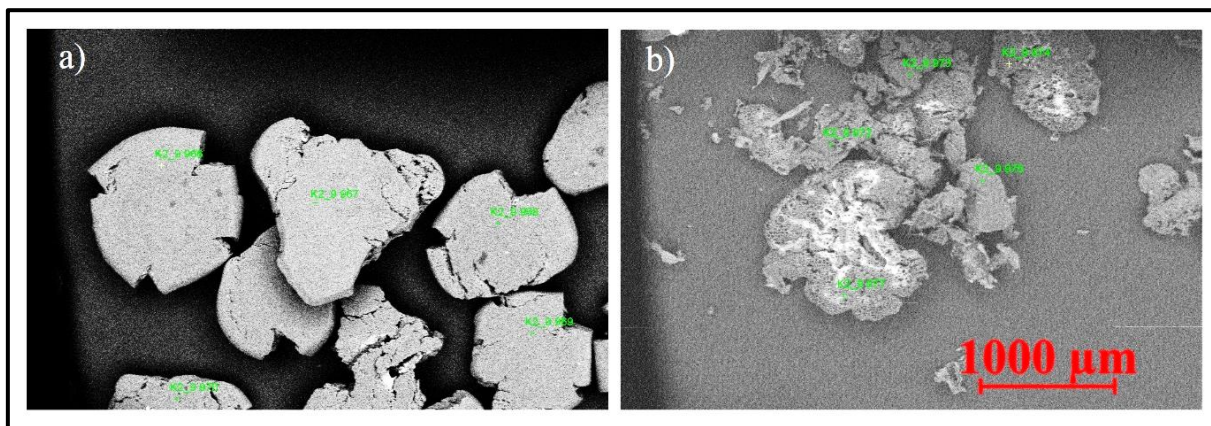
Zápalkové zplodiny, přesněji zplodiny zápalkové slože (angl. *primer-GSR*⁶, *pGSR*, *primer residues* nebo *primer gunshot residues* [28]) jsou zplodiny, které z hlediska časové osy výstřelu vznikají jako první shořením zápalkové slože po iniciaci zápalky nábojky [10]. Zápalkové zplodiny „jsou obsaženy v rychle kondenzujících kulovitých částicích povýstřelových zplodin o velikosti převážně v rozmezí od jednotek až do desítek mikrometrů (tj. 0,001 až 0,01 mm) a tedy jsou pouhým okem neviditelné“ [10]. Zápalkové zplodiny je možno identifikovat v povýstřelových zplodinách díky specifické skladbě chemických prvků. Chemické složení zápalkových zplodin se odvíjí od typu zápalky, které se liší podle výrobce střeliva. Pokud jsou ve zkoumaném vzorku nalezeny určité pevné (stabilní) kombinace prvků, lze s určitostí říct, že se jedná o prvky pocházející z určité zápalkové slože. Těmito kombinacemi jsou:

- a) Pb, Sb, Ba (v zahraničních člancích uváděno jako nejčastější kombinace),
- b) Pb, Sb, Ba, Sn,
- c) Pb, Sn, Ba, Ca, Si,
- d) Hg, Sb, Sn, Cl, K (Pb, Sn),
- e) Ti, Zn [5,10,30–34].

Povýstřelové zplodiny (angl. *Gun Shot Residues* [5,9], zkráceně a dále jen „částice GSR“) jsou chladnoucí, kondenzující zplodiny výstřelu, zahrnující zejména lehké částice obsažené ve zplodinách výstřelu palné zbraně. Po výstřelu se povýstřelové zplodiny šíří do okolí palné zbraně přes ústí a konstrukčními netěsnostmi zbraně, vznášejí se v prostoru střelby řádově v minutách po výstřelu a usazují se (ulpívají, sedimentují) v jeho okolí (na zbrani, střelci, okolních předmětech) [5,9,10]. Povýstřelové zplodiny jsou vymrštěny ve směru výstřelu a mohou být po výstřelu detekovány v prostoru blízkém epicentru výstřelu a v blízkém prostoru definovaném nejen směrem střelby [5] na vzdálenost až několika metrů (v závislosti na druhu a ráži palné zbraně) [7].

Částice GSR vznikají v důsledku rychlého ochlazení výmetné náplně a zápalkové slože s příměsí pevných látek pocházejících z částečně zreagovaných (neshořelých) složek zápalky, výmetné náplně a různých kovových i nekovových částic a nečistot uvolněných v průběhu výstřelu [7,35]. Průměrná velikost nalezených částic GSR se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 10 mikrometrů, ačkoli byly objeveny i velikosti okolo 100 mikrometrů (obr. 11) [29]. Větší částice GSR doletí na větší vzdálenost, jak ty menší, než jsou zastaveny odporem vzduchu [27,36,37].

⁶ Pojem „primer-GSR“ lze přeložit jako „zplodiny pocházející ze zápalky“, „zápalkové zplodiny“, „zplodiny zápalky“ či „zplodiny zápalkové slože“ [10], neboť „primer“ znamená „zápalka“ či „roznětka“ [28]. Jedná se o volný překlad autora.



Obr. 11: Ukázka velikosti zrn výmetné náplně z nábojky zobrazená mikroskopem SEM: a) zrna před hořením, b) zrna po hoření.

Částice GSR mohou ve vzduchu zůstat i několik minut po výstřelu a mohou ulpívat na předmětech či cíli při sedimentaci. Toto bylo experimentálně prokázáno například v článku [37]. Experiment proběhl za použití 3 různých palných zbraní s nabitými náboji a Petriho miskami o průměru 18 cm. Petriho misky byly naskládány na sebe (do komínku) a v určených intervalech snímány. V prostoru Petriho misky o vnitřním průměru 15 cm byly částice sejmuty olepením pomocí adhezních uhlíkových terčů. Následná analýza byla provedena pomocí metody SEM-EDX. Na základě těchto měření bylo možné určit velikost a prvkové složení částic ulpěných na Petriho miskách. V jiném článku [38] je uvedeno, že maximální počet částic GSR lze nalézt v pravém předním kvadrantu ve vzdálenosti 2–4 m vzhledem k poloze a směru střelby. Částice GSR byly dokonce nalezeny ve vzdálenosti 10 m od střelné zbraně. Také byl potvrzen významný vliv klimatických podmínek na distribuci částic GSR.

Zkoumání a analyzování částic GSR má význam při posuzování otázek spojených s přítomností střelce na místě činu [7]. V kriminalistické balistice jsou částice GSR řazeny mezi specifické balistické stopy [9,10] a identifikace částic GSR u podezřelých osob je jedním z nejdůležitějších testů jako důkaz výstřelu ze střelné zbraně, který je často zásadní pro řešení kriminálních případů [35]. Významný vliv klimatických podmínek na distribuci částic GSR byl prokázán v článku [38].

Zplodiny výstřelu jsou tvořeny organickými a anorganickými sloučeninami pocházejícími z výmetné náplně, zápalkové složky, nábojnice a různých maziv. Aby bylo možné identifikovat zplodiny výstřelu na různých předmětech, je potřeba určit jejich prvkové složení.

Organické sloučeniny zplodin výstřelu vznikají z každé části nábojky nebo také z výmetné náplně, zápalné směsi a maziv pro čištění a ošetřování střelných zbraní. Mají formu nespálených a částečně spálených částic výmetné náplně

[7,12,27,29,34,39–52]. Organické sloučeniny zplodin výstřelu lze identifikovat ještě až 4 hodiny po výstřelu [45].

Mezi organické sloučeniny zplodin výstřelu se nejčastěji řadí nitrocelulóza, nitroglycerin, difenylamin (DPA), dinitrotoluen (DNT), resorcinol, kresol a trinitrotoluen (TNT) [12].

Anorganické sloučeniny zplodin výstřelu vznikají při výstřelu ze zbraně ze směsí zápalky (jako dusičnany a dusitany), nábojnice, výmetné náplně a zbytků uložených uvnitř hlavně z předchozí střelby a jsou součástí zplodin výstřelu [7,12,27,29–32,34,39–60]. Podle [53] existují důkazy naznačující, že anorganické zplodiny výstřelu pocházejí výhradně ze zápalky a tvoří se ještě před zapálením výmetné náplně.

Mezi anorganické sloučeniny zplodin výstřelu se nejčastěji řadí sloučeniny jako Pb (dusičnan olovnatý), Ba (dusičnan barnatý), Sb (sulfid antimonitý) a také chemické prvky např. Zn, Ti, Cu a Fe [12]. Ve zplodinách výstřelu se mohou objevovat prvky, které se částečně shodují s prvky v zápalkových zplodinách a jsou to např. olovo (Pb), cín (Sn), antimon (Sb), baryum (Ba), rtuť (Hg), vápník (Ca), křemík (Si), chlor (Cl), draslík (K), hliník (Al), titan (Ti) nebo síra (S). Ve zplodinách výstřelu mohou být obsaženy také prvky pocházející z dalších komponentů jako je zbraň nebo použité střelivo, tj. např. měď (Cu), nikl (Ni), zinek (Zn), železo (Fe) a další [5,10,30–34].

Pro potřeby disertační práce jsou zplodiny výstřelu definovány jako vše, co vylétá ven z hlavně expanzní pistole při výstřelu, a to včetně čisticích prostředků (konzervování zbraní použitých při jejím čištění). Experimenty jsou prováděny se zplodinami výstřelu a s rozptylovými obrazci zplodin výstřelu. V práci nebyla provedena analýza metodou SEM/EDX, která umožňuje identifikaci částic GSR [37]; nebylo tedy zvláště zjišťováno, jaký je poměr částic GSR v rozptylových obrazcích zplodin výstřelu.

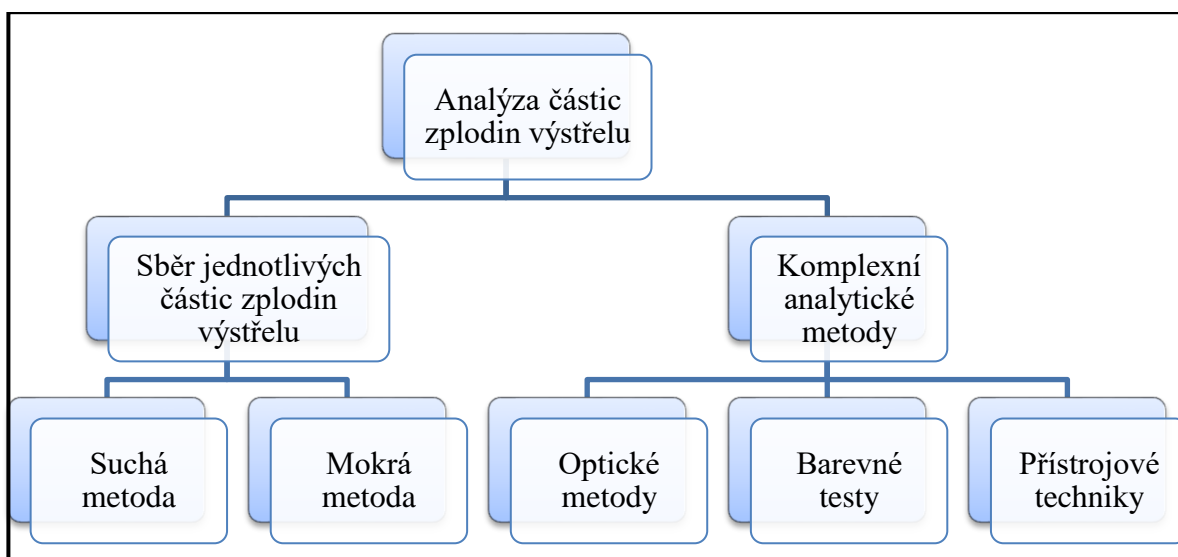
3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Ve třetí kapitole je uveden současný stav řešené problematiky související s tématem disertační práce. Jsou diskutovány především publikace řešící problematiku pro krátké palné kulové zbraně, tedy palné zbraně vystřelující pevné střely. Analýza zplodin výstřelu, povýstřelových zplodin a souvisejících produktů výstřelu expanzních zbraní jsou témata, která jsou v autorovi dostupných odborných českých i zahraničních časopisech a databázích publikovaná jen okrajově. Principy jsou dosti podobné, zásadní odlišnost spočívá v rozdílném balistickém výkonu palných kulových a expanzních zbraní, následkem čehož se odlišují vzdálenosti, na které je možno produkty výstřelů detekovat (řádově metry u palných kulových zbraní versus řádově desítky centimetrů u expanzních zbraní s akustickou nábojkou, resp. nejvíce do 2 metrů u nábojek s chemicky dráždivou látkou).

3.1 Metody analýzy zplodin výstřelu

Zplodiny výstřelu jsou neuspořádané částice obsahující i částice GSR ulpěné nejen v prostoru, ale i na oděvu nebo na kůži. Tyto částice je nutné sesbírat a určit, zda se opravdu jedná o částice GSR nebo nikoliv. K tomu jsou určeny metody sběru jednotlivých částic založené na suché nebo mokré metodě. Po sběru částic je potřeba provést analýzu pomocí zvolených optických, chemických (barevné testy) nebo přístrojových metod. Zplodiny výstřelu vytvářejí na cíli více či méně uspořádané struktury (obrazce), jež se nazývají „rozptylové obrazce zplodin výstřelu“ a jsou viditelné pouhým okem. Zplodiny výstřelu je možno analyzovat jak výše uvedenými postupy, tak z hlediska morfologie rozptylového obrazce zplodin výstřelu; tyto metody jsou podrobněji popsány v kap. 3.2.

Základem všech analýz by měl být základní postup zkoumání jakýchkoliv stop, tj. od optických metod po chemické a od nedestruktivních metod po destruktivní. U sesbíraných částic toto není podstatné, neboť je nelze analyzovat jinak než chemicky či přístrojově. V první řadě je nutno rozlišovat, na jakých materiálech a z jakého prostředí mají být částice analyzovány. Na obr. 12 je zobrazeno schéma analýzy zplodin výstřelu.



Obr. 12: Schéma analýzy částic zplodin výstřelu [upraven 29].

3.1.1 Sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu

Sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu je možno provádět dvěma postupy, označenými „suchá metoda“ a „mokrý metoda“.

Principem sběru pomocí **suché metody** je přenesení jednotlivých částic zplodin výstřelu na materiál určený pro sběr. Suchá metoda pro sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu je použita na předpokládané místo výskytu částic GSR tak, aby byly částice GSR na materiálu uchyceny a připraveny pro další analýzy. Sbírat částice GSR je možné také z rozptylových obrazců zplodin výstřelů a větších shluků zplodin výstřelu. Mezi suché metody sběru zplodin výstřelu se řadí:

- a) roztavený vosk (parafín) [27,29,40,49,50],
- b) acetát celulózy [29],
- c) nylonová vlákna [29],
- d) lepicí pásky/fólie a celofánové fólie [29,30,33,34,41,49,61].

Sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu pomocí **mokrý metody** spočívá v omytí rukou střelce v nádobě s roztoky tak, aby částice GSR zachycené na jeho ruce zůstaly v omývací nádobě. Roztoky, které se používají pro mokrý metody, jsou:

- a) zředěná kyselina octová a kyselina chlorovodíková [29,49,62,63],
- b) destilovaná voda [29,62].

I když je sběr jednotlivých částic zplodin výstřelu důležitý pro následnou analýzu částic GSR, již v této fázi se jedná o destruktivní metodu (v suché i mokrý variantě), neboť dochází k destrukci nebo změně polohy usazených zplodin výstřelu potažmo částic GSR.

3.1.2 Komplexní metody analýzy zplodin výstřelu

Komplexní analytické metody zplodin výstřelu jsou v této kapitole popsány v pořadí, v jakém by měly být prováděny při vyšetřování TČ, tj. pořadí od relativně nedestruktivních metod zachovávajících maximální množství stop v původní podobě po metody destruktivní, umožňující podrobnou analýzu stop i za cenu jejich částečné či úplné destrukce.

Optické metody

Podle obecného principu postupu vyšetřování by každé zkoumání zplodin výstřelu mělo začínat optickými metodami, popsány v [22,24,64–71]. Optické metody nejsou využívány v kriminalistice pouze v odvětví balistiky, ale uplatňují se i v jiných odvětvích, např. daktyloskopii, trasologii nebo mechanoskopii [24,26,72]. Optické metody je třeba provést ještě před sběrem jednotlivých částic zplodin výstřelu (s místem předpokládající částice GSR), aby nedošlo ke znehodnocení vzorků jejich manipulací či kontaminací [24].

Výhodami optických metod jsou jejich nedestruktivní charakter, snadnost a rychlost postupu, minimální potřeba manipulace se vzorky a možnost získat mnoho užitečných investigativních informací za nízkou cenu [24,26,72]. K výhodě optických metod použitých na rozptylové obrazce zplodin výstřelu patří, že pro zajištění stop není nutná spolupráce experta z oblasti balistiky či chemie, ale postačuje proškolený pracovník, např. kriminalistický technik. Rozptylové obrazce zplodin výstřelu jsou zaznamenány v digitální podobě a následně předány příslušnému odborníkovi, jímž mohou být dále analyzovány s využitím softwaru, který tento specialista ovládá [22]. Nevýhodami optických metod jsou nezbytnost určitého minimálního množství materiálu pro vytvoření pouhým okem viditelného rozptylového obrazce zplodin výstřelu nebo světelné podmínky na místě činu, které nicméně je možno upravit (přisvětlení nebo zastínění zaznamenávané scény).

Optické metody pro hodnocení a zkoumání rozptylových obrazců zplodin výstřelu je vhodné upřednostnit před jakoukoliv destruktivní technikou, a to zejména pro jejich nedestruktivní charakter. Místo činu je již zpravidla fotografováno jako celek, je tedy možno zachytit případnou morfologii rozptylových obrazců zplodin výstřelu, jejich lokalizaci v prostoru místa činu nebo jejich shluků pro další analýzu, pokud jsou na místě činu či na oběti přímo viditelné nebo umožňující fotografování. V některých případech je možno pro dokumentaci místa činu použít také 3D skenování. Optické metody se dále využívají k identifikaci střelných zbraní (např. na základě stop po úderníku na zápalce nábojnice) nebo střely, na které jsou zanechány stopy v důsledku průchodu vývrtem hlavně [24,73]. Možným potenciálem do budoucna je analýza obrazových záznamů (především rozptylových obrazců zplodin výstřelu)

s využitím metod strojového učení (tzv. umělé inteligence) k orientačním odhadům vzdálenosti střelby, použité palné zbraně či použitého střeliva.

Optické metody lze využít jak samostatně, tak se speciálními instrumentacemi pro pozorování a fotografování v různých oblastech spektra elektromagnetického záření. Kromě viditelné oblasti spektra je možno využít infračervené (dále jen IR) nebo ultrafialové (dále jen UV) oblasti spektra. Využití IR oblasti spektra je vhodné pro zkoumání zplodin výstřelu na tmavém nebo krví potřísněném podkladu; scénu je možno zachytit pomocí IR fotografie [26,72] nebo **Video Spectral Comparator TM 2000** [26,27,33,72,74–76]. Využití UV oblasti spektra je vhodné např. s osvětlením příslušného místa pomocí UV lampy, kdy může dojít ke zviditelnění zplodin výstřelu vůči podkladu [5,45]. Další možností pro využití optické metody je zavedení luminiscenčních prvků do zápalkové složky nebo výmetné náplně. Luminiscenční prvky otevírají novou možnost k určení zdrojů použitého střeliva nebo přímo jednotlivých šarží střeliva. Na základě těchto luminiscenčních prvků a s použitím UV lampy lze provést analýzu zplodin výstřelu a určit, zda se jedná o luminiscenční prvky pocházející ze střeliva [45,47,57,72,74,75].

Barevné testy

Barevné testy jsou chemické testy pro stanovení přítomnosti vybraných sloučenin obsažených ve zplodinách výstřelu. Jednotlivé testy mají specifické složení pro určení konkrétních prvků nebo sloučenin ve zplodinách výstřelu, v jejichž přítomnosti dojde k charakteristickému zbarvení [29]. Barevné testy představují destruktivní metody analýzy zplodin výstřelu. Pro zjištění přítomnosti dusitanů obsažených ve zplodinách výstřelu se používají například modifikovaný Griess test (růžová barva) [22,26,27,29,32,41,44,56,63,72,77–82], Marshall test (fialová barva) a Tewari test (žlutá barva) [27,29,33]. Pro detekci kovových iontů (Pb, Ba, Sb) obsažených ve zplodinách výstřelu se používají například Harrison-Gilroy test (Pb – modrá barva, Ba – červená barva, Sb – oranžová barva) [27,29] a test rhodizonátem sodným (Pb – modrofialová barva, Ba – červená barva) [15,22,29,33,34,49,62,63,77,81–83]. Výčet barevných testů i s charakteristickými zbarveními v přítomnosti detekovaných složek je obsažen v článku [29].

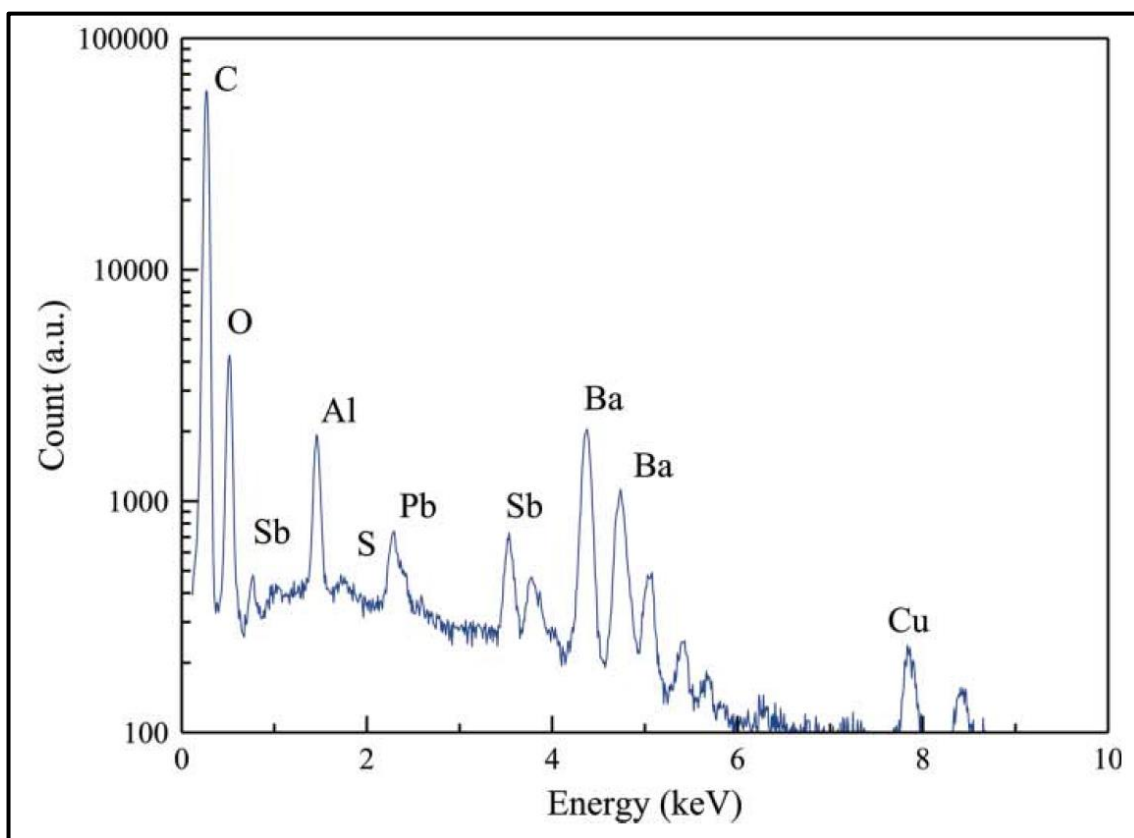
Od používání testů založených na chemických reakcích bylo ze strany forenzních laboratoří postupně upuštěno z důvodu četných výskytů falešně pozitivních výsledků [32]. Některé z uvedených testů nebyly ani více rozšířeny do běžného používání ve forenzních laboratořích. Současně barevné testy není vhodné vždy použít pro jejich destruktivní charakter.

Přístrojové techniky

Přístrojové techniky představují modernější metody, které, na rozdíl od chemických reakcí, nejsou omezeny pouze na detekci jednoho určitého prvku,

nicméně jsou časově náročné, nákladné a vyžadují kvalifikovaný personál. Jako první se ve forenzních laboratořích využívají metody skenovací elektronová mikroskopie (SEM) a mikroskopie atomárních sil (AFM). Tyto metody umožňují charakterizovat tvar a velikost částic GSR.

Skenovací elektronová mikroskopie (angl. *Scanning Electron Microscopy*, zkratka **SEM**) [12,29,32,35,39,44,45,84] může být rozšířena o energiově-disperzní rentgenovou spektroskopii (angl. *Scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy*, zkratka **SEM-EDX**) [22,27,29,31,35,38–40,46–50,54,59,61,64], díky které lze kromě velikosti a tvaru částic GSR určit také prvkové složení (obr. 13). Například v článku [84] byla metoda SEM-EDX využita k porovnání 8 různých typů nábojů a jejich prvkového složení. Bylo zjištěno, že prvkové složení částic GSR závisí na typu zápalky, přičemž pozorováním zápalky lze určit typ náboje. Ve vzorcích byly nalezeny tři dominantní prvky (Pb, Ba a Sb) a, v závislosti na výrobci střeliva, stopová množství dalších prvků, jako jsou Cu, Zn, Fe a Ni (pocházející ze střely), Al, Ca, P, S a Si (nejspíše pocházející ze zápalky) a Cl, K, Mg nebo Zn (nemají specifikovaný původ).



Obr. 13: Ukázka spektra částic GSR poskytnutého metodou SEM-EDX [84].

Mikroskopie atomárních sil (angl. *Atomic force microscopy*, zkratka **AFM**) [27,32] je nedestruktivní metodou umožňující charakterizovat tvar a distribuci velikosti částic GSR až do velikosti nanometrů. Pomocí metody AFM lze stanovit

vzdálenost střelby; např. v [32] bylo zjištěno, že distribuce různých velikostí částic GSR je nepřímo úměrná vzdálenosti.

Další používanou metodou je **atomová absorpční spektrometrie** (angl. *Atomic absorbance spectrometry*, zkratka **AAS**) [12,23,27,29,33,48,50,53,55,61,77,81,85], která slouží k analýze prvkového složení GSR. Nevýhodou je výrazně destruktivní povaha této metody.

V současné době se experimentuje s možnostmi využití dalších metod, jako jsou **Ramanova spektroskopie** (angl. *Raman spectroscopy*) [29,42,43,46,47,57,58,60,86,87], **infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací** (angl. *Fourier transform infrared spectroscopy*, zkratka **FTIR**) [27,29,32,42,46,49,58,86], **spektroskopie laserem buzeného plasmatu** (angl. *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*, zkratka **LIBS**) [32–34,42,43,48,52], **plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie** (angl. *Gas chromatography-mass spectrometry*, zkratka **GC-MS**) [29,33,40,57], **kapalinová chromatografie-hmotnostní spektrometrie** (angl. *Liquid chromatography-mass spectrometry*, zkratka **LC-MS**) [42,43,49,52,57] a **iontová mobilní spektrometrie** (angl. *Ion mobility spectrometry*, zkratka **IMS**) [29,45,48,86].

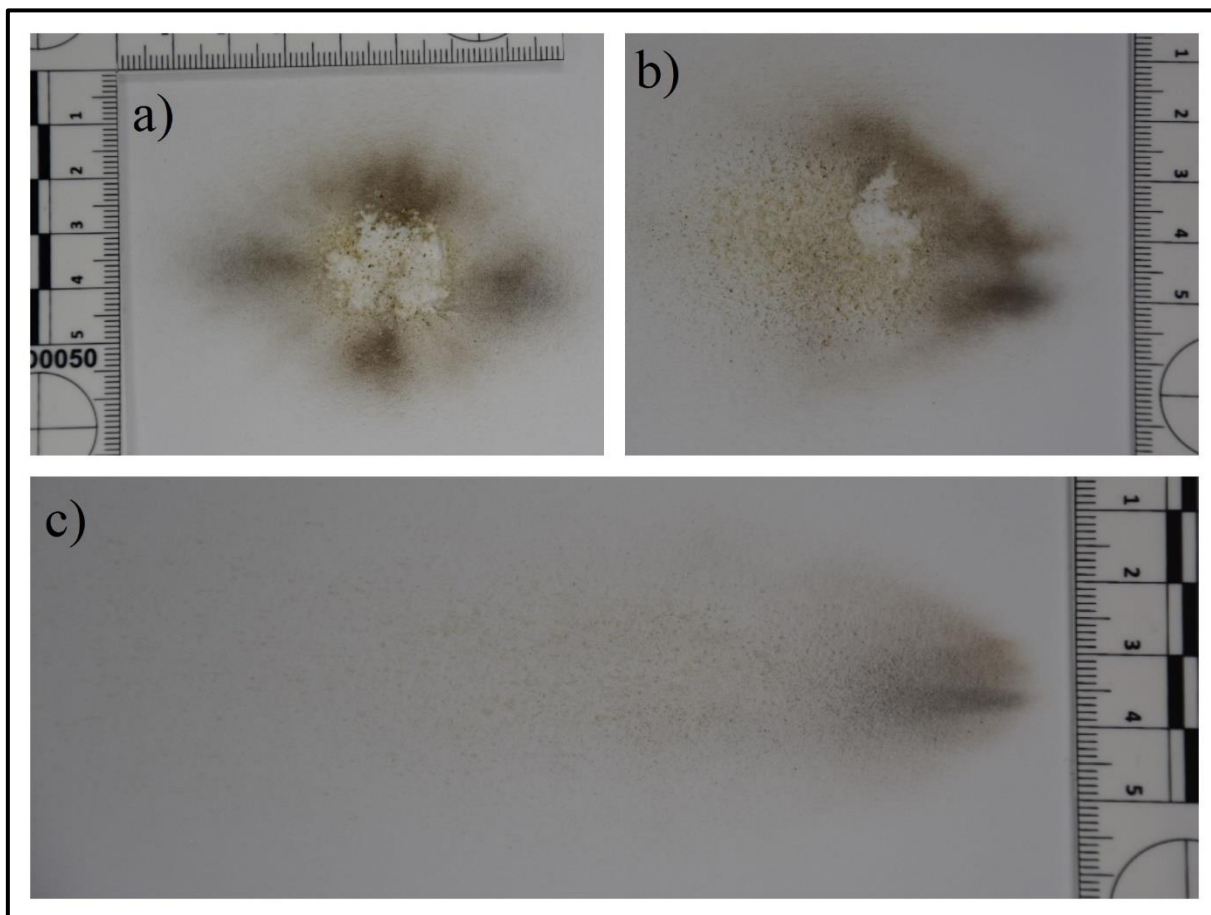
3.2 Rozptylové obrazce zplodin výstřelu

Zplodiny výstřelu po střelbě na povrchu cíle vytvoří charakteristické obrazce, které se nazývají rozptylové obrazce zplodin výstřelu [10]. Rozptylové obrazce zplodin výstřelu (dále jen rozptylové obrazce) jsou rozděleny do dvou zón – vnitřní a vnější zóna. Podle vzniklých rozptylových obrazců lze odhadnout vzdálenost střelby na základě předpokladu, že s rostoucí vzdáleností se mění morfologie vzniklého rozptylového obrazce (klesá hustota, mění se tvar, narůstají celkové rozměry). Prachové částice mohou pomoci s odlišením vstupních a výstupních otvorů nebo s vyvozením závěrů o vzdálenosti a úhlu ústí hlavně zbraně vzhledem k cíli.

Vnitřní zóna vzniká vždy v bezprostřední blízkosti výstřelu a obsahuje nejvíce zplodin výstřelu. Vnitřní zóna je vždy jasně viditelná, má oválný tvar a s rostoucí vzdáleností mezi hlavní zbraně a cílem se rozšiřuje a klesá její hustota. Vnitřní oblast lze zobrazit pomocí IR fotografie [15,82]. Vnější zóna je mnohem méně viditelná než vnitřní a v některých případech může i chybět (např. na lidské kůži). Při použití záření o vlnové délce 440 nm lze vnější zónu zachytit fotograficky za pomoci oranžového filtru [15,82].

Vzniklé rozptylové obrazce se porovnávají převážně opticky, kdy záleží na zkušenostech balistika, který rozptylové obrazce srovnává. Při analýze rozptylového obrazce je důležité obě zóny správně určit a vzájemně odlišit, neboť zóny vykazují vzájemně opačnou orientaci prachových částic vzhledem k ústí hlavně [15]. Pokud je hlaveň zbraně namířena kolmo k cíli, prachové částice

budou uspořádány ve víceméně kruhové zóně kolem vstupu, jejíž průměr se zvětšuje s rostoucí vzdáleností od ústí hlavně zbraně k cíli. Při střelbě pod určitým úhlem ústí hlavně zbraně vzhledem k cíli má vnitřní zóna excentrický nebo eliptický tvar, který směřuje k ústí hlavně (obr. 14). Vnější zóna směřuje od ústí hlavně při střelbě pod úhlem a v těsném kontaktu. Na tuto odlišnou orientaci prachových částic nemá vliv použité střelivo, ráže a ani délka hlavně, ovšem balistické experimenty ukázaly, že vzor bude záviset na délce hlavně, kdy pistole by produkovaly částice směřující k ústí hlavně, zatímco u pušek by hlavní část částic směřovala pryč od ústí hlavně [15].



Obr. 14: Vznik rozptylových obrazců zplodin výstřelu při úhlu střelby: a) 90°, b) 45° a c) 5°, vzhledem k cíli.

3.3 Princip odhadu vzdáleností střelby

Není-li známa přesná poloha střelce a cíle, není prakticky možné přesně stanovit (určit) vzdálenost střelby (délku dráhy střely). O přesném „určení vzdálenosti střelby“ lze hovořit, pokud je nalezen postup či mechanismus, pomocí něhož je možné určit přesnou vzdálenost a zajistit maximální možnou shodnost každého výstřelu [22,23]. Proto je ve vztahu ke stanovení vzdálenosti vhodnější použití slovního spojení „odhad vzdálenosti střelby“ místo „určení vzdálenosti střelby“.

Odhadem vzdálenosti střelby se zabývaly výzkumy [22,23,26,27,36,44,53–56,69,76–80,82,85], jejichž společným rysem bylo, že odhad vzdálenosti střelby byl řešen na základě vzhledu vstřelu nejprve pomocí přímého pozorování (okem viditelný rozptylový obrazec) a následně zviditelněním zplodin výstřelu (chemickými metodami nebo přístrojově).

Základním předpokladem při odhadu vzdálenosti střelby je skutečnost, že s rostoucí vzdáleností se zvětšuje rozptylový obrazec a postupně klesá množství zachycených zplodin výstřelu v tomto obrazci. Tento předpoklad byl potvrzen v [22,26,44,76,82], kde bylo zjištěno, že s rostoucí vzdáleností klesá hustota zplodin výstřelu (hlavní faktor při odhadu vzdálenosti) i množství částic GSR, čímž nelineárně narůstá celková distribuční plocha rozptylového obrazce. Vzniklý rozptylový obrazec je významný z hlediska rozsahu (velikosti obrazce) i z hlediska uspořádání (shluku jednotlivých částic zplodin výstřelu). Směr střelby se určuje převážně na základě tvaru a symetrie rozptylových obrazců na cíli.

Pro potřeby prostého odhadu vzdálenosti střelby lze rozptylové obrazce zplodin výstřelu rozdělit do 4–5 základních rozsahů. Podle [5,7,10,78,79] se u palných kulových zbraní rozlišuje 5 základních vzdáleností: kontaktní vzdálenost, bezprostřední vzdálenost, malá vzdálenost, střední vzdálenost a velká vzdálenost. Protože pro expanzní zbraně není obdobná stupnice zvláště specifikována, bylo nezbytné ji buď stanovit, anebo převzít tuto uvedenou stupnici s tím, že bude věnována zvýšená pozornost možným odchylkám. Z důvodu balistických zvyklostí bylo pro tuto práci, použito uvedené dělení vzdáleností, přičemž poslední dva rozsahy (střední vzdálenost a velká vzdálenost) nejsou u expanzních zbraní z důvodu kratších maximálních vzdáleností uvažovány.

Při **kontaktní vzdálenosti** je ústí zbraně přiloženo bezprostředně k povrchu cíle v okamžiku výstřelu. Jedná se nejčastěji o vzdálenosti od 0 do 1 cm. Nejčastější následky kontaktní vzdálenosti na cíli jsou viditelné v podobě trhání (devastace cíle) a popálení působením úst'ových plynů a žhavých částic, přítomnosti sazí nebo otisku hlavně zbraně [5,7,10,78,79].

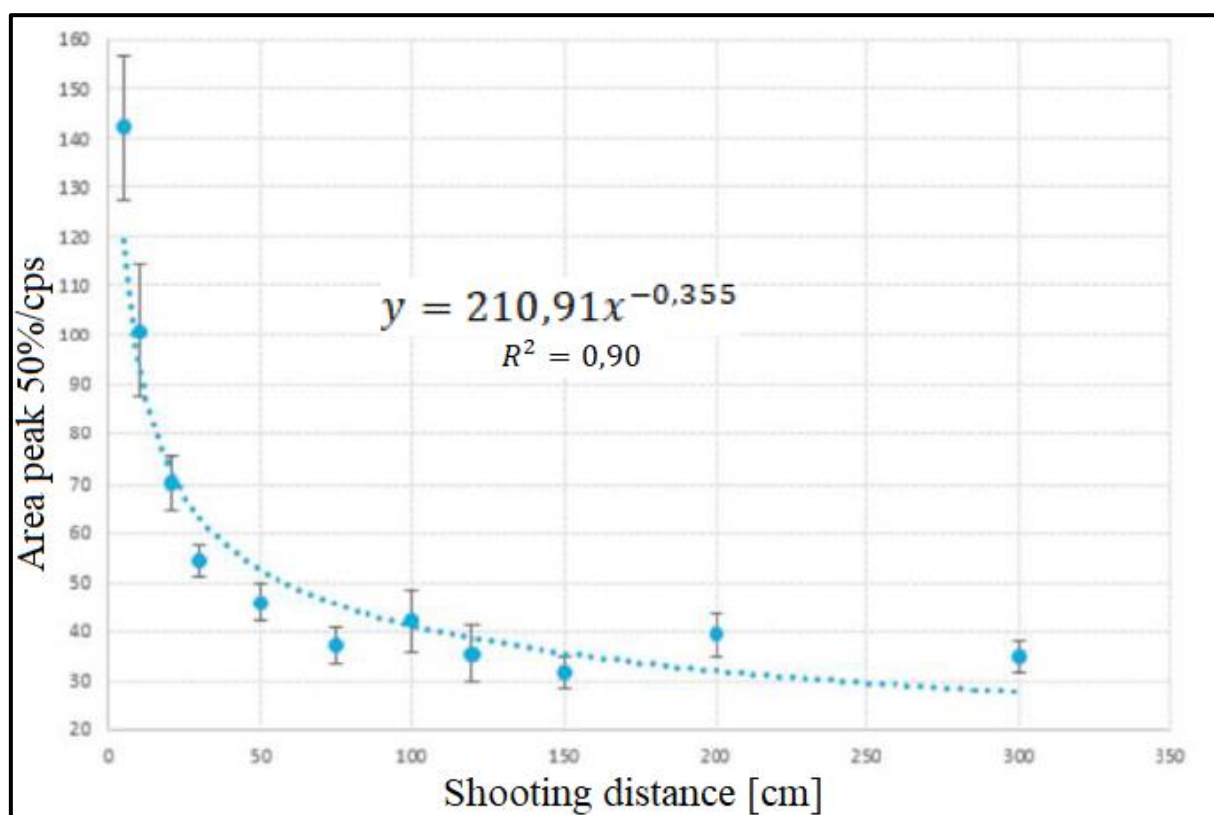
Bezprostřední vzdálenost představuje vzdálenost ústí hlavně zbraně a povrchu cíle od 1 do 10 cm. Pro tuto vzdálenost je typická široká zóna prachových částic překrývající spálenou zčernalou kůži, na cíli je viditelná kožní tetováž. Na povrchu neorganického materiálu dochází k vytvoření rozptylových obrazců, může dojít k odprýsknutí části povrchu. Vzniklé rozptylové obrazce jsou závislé na faktorech, jako jsou např. typ zbraně, délka hlavně, úhel střelby atd. [5,7,10,78,79].

Poslední vzdáleností uvažovanou pro expanzní zbraně je **malá vzdálenost**, která bývá viditelná nejčastěji v rozsahu od 10 do 200 cm (150–200 cm bývá hraniční pro zviditelnění rozptylových obrazců u dlouhých palných zbraní).

Rozptylové obrazce vykazují změnu velikosti a hustoty, přičemž nejistota odhadu vzdálenosti činí cca 20 % (platí pro palné kulové zbraně) [5,7,10,78,79].

U většiny ručních palných zbraní nelze vizuálně detekovatelné zplodiny výstřelu nalézt v případě výstřelů na vzdálenost větší než 30 až 45 cm. Pomocí chemických testů lze detekovat vzory vizualizovaných zplodin výstřelu až do vzdálenosti okolo 100 cm, přičemž přesnost odhadu závisí na použitém střelivu a střelné zbraně [36,79]. V [53] je uvedeno, že existují metody založené na atomové absorpční spektrometrii, které jsou pro odhad vzdálenosti střelby poměrně vhodné.

V článku [54] byl učiněn pokus eliminovat subjektivitu představovanou lidským faktorem (balistik, forenzní technik) a vytvořit objektivní analytickou metodu pro rozhodování během interpretace jednotlivých výsledků. Za pomoci rentgenové difraktometrie byly analyzovány materiály o rozměrech 6×6 cm okolo vstřelu a bylo stanoveno množství olova ve vzorku. Byl zkoumán rozsah střelby od 5 do 300 cm s predikční nejistotou 3 % pro první zkoumanou zbraň a 7 % pro druhou zkoumanou zbraň. Při vytvoření predikčního modelu společného pro obě zbraně vzrostla nejistota na 14 %. Jak je z obr. 15 patrné, od testované vzdálenosti 200 cm neodpovídá exponenciální křivka uvedeným hodnotám ani při stanovené nejistotě. Z uvedeného vyplývá, že vyšší spolehlivost predikce je pouze do vzdálenosti 150 cm.



Obr. 15: Pokles množství olova v testovaném vzorku ve vzdálenosti mezi 5–300 cm od ústí hlavně testované palné zbraně [54].

Jak bylo uvedeno, odhad vzdálenosti je závislý na vzniklých rozptylových obrazcích. Okem viditelné rozptylové obrazce je možné ihned srovnávat s provedenými zkušebními vzorky. Pro zviditelnění různých prvků na rozptylových obrazcích lze také využít dalších chemických nebo přístrojových metod.

Následně je třeba provést sérii zkušebních výstřelů v laboratoři za přesně stanovených podmínek na přesně vyměřené vzdálenosti. Při této zkušební střelbě za „ideálních“ laboratorních podmínek musí být použita identická zbraň, identické střelivo a žádné nebo minimální ovlivnění střelby klimatem. Po provedení série zkušebních testů je důležité provést srovnání rozptylových obrazců s rozptylovým obrazcem, který byl nalezen na místě činu. V tomto případě přesnost odhadu vzdálenosti záleží na zkušenostech balistika, který porovnává jednotlivé vzorky. Po provedení vizuálního srovnání lze použít některou z chemických metod a jejich výsledky následně také vizuálně srovnat [81]. Na základě zviditelněných prvků je pak možné zkušební vzorky opět porovnat opticky.

Historie střelby ze zbraně hraje svou důležitou roli při hodnocení výsledků zkoumání odhadu vzdálenosti střelby [10]. Především proto, že v hlavní zbraně zůstávají zbytky předchozích výstřelů, které mají vliv na mnoho podstatných věcí a na hodnocení výsledků zkoumání. Čištění zbraně (především její způsob, použité prostředky a další) hrají také důležitou roli ve tvorbě rozptylových obrazců, protože v hlavní zbraně zůstávají zbytky těchto prostředků. Zbytky čisticích prostředků zdůrazňují vzniklý rozptylový obrazec, avšak s rostoucím počtem výstřelů postupně vyprchávají. Specifická situace je při střelbě ze zbraně, u které nebyla čištěna hlaveň [10,22,27], což je významná skutečnost ve vztahu k expanzním zbraním. Expanzní zbraně mají v hlavní umístěny přepážky, jejichž počet, umístění a tvar nejsou obecně dány a liší se podle zvyklostí jednotlivých výrobců. U těchto přepážek se mohou usazovat částice, které je možno vyčistit buď obtížně, nebo vůbec. Historie střelby z expanzních zbraní vždy zahrnuje tyto nevyčistitelné částice, které jsou součástí zplodin výstřelu při jednom nebo více následných výstřelech.

I přes výše uvedený výzkum výhradně objektivních (strojových) metod je v současné době stále nezbytné optické srovnání vzorků zkušeným balistikem, který musí určit, zda a do jaké míry jsou vzorky z místa činu a z laboratorních zkušebních výstřelů shodné. Na základě toho pak může balistik odhadnout vzdálenost, ze které bylo vystřeleno, s určitou pravděpodobností.

3.4 Softwarové vybavení a jeho potenciál

Potenciál využití specializovaného softwaru (dále SW) při analýzách rozptylových obrazců či odhadu vzdálenosti střelby spočívá v možnosti vytvoření automatických (strojových) systémů hodnocení, které vyhodnotí povýstřelové

zplodiny a další vstupní parametry na základě daných algoritmů. Tyto automatizované systémy mohou eliminovat vklad lidského faktoru v podobě odborníka (balistika, forenzního specialisty), na jehož znalostech a zkušenostech dodnes závisí stanovení odhadu vzdálenosti střelby. Pro takové automatizované hodnocení se jeví jako vhodné zapojení klasických nebo specializovaných SW anebo umělé inteligence (dále AI).

Při použití SW metod porovnání je potřeba nejprve převést rozptylový obrazec do digitální podoby, nejčastěji pomocí fotografování nebo skenování. Pro tyto účely je možno použít široce dostupnou techniku jako digitální fotoaparát, případně doplněný o další příslušenství pro ateliérové fotografování, anebo jakýkoliv skener schopný skenovat záchytové materiály o požadovaném rozměru, kvalitě a v požadovaném rozlišení. Ze specializovaných přístrojů může být použita například 3D skenovací platforma, která neinvazivní cestou zdokumentuje celé místo činu ve vysokém rozlišení. V rámci toho jsou zaznamenány jednotlivé důkazní předměty, různé stopy a jejich rozmístění v prostoru. Tento způsob podrobného záznamu místa činu může být nápomocný při dalším vyšetřování trestného činu [88]. Prostřednictvím 3D skenu místa činu je možné následně určit jednotlivé vzdálenosti pomocí specializovaného SW dodávaného k 3D skeneru. Pokud jsou na 3D snímku zaznamenány i rozptylové obrazce, lze snímky využít k dalšímu zkoumání a následnému určení směru a vzdálenosti střelby. Rozptylové obrazce je také možno zachytit v různých oblastech spektra elektromagnetického záření a tyto záznamy použít k analýze.

K automatizované analýze rozptylových obrazců může být využit například SW MATLAB, popř. statistické nebo matematické programovací jazyky. Mezi specializované forenzní SW lze zařadit SW LUCIA Forensic od společnosti LABORATORY IMAGING s.r.o. LUCIA Forensic je univerzálním SW pro zpracování nebo komparaci obrazů ve forenzní analýze (komparace obrazů, měření v 2D nebo 3D rozměrech, atd.) [89]. Software LUCIA Forensic je využíván i u Policie České republiky, na Kriminalistickém ústavu a disponuje jím i Fakulta aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. I přes relativně snadnou dostupnost a rozšířené používání tohoto SW v oboru forenzních věd nebyl v autoru dostupných databázích nalezen výzkumný článek, který by jej využil a popsal pro zpracování dat.

V článku [69] byl proveden odhad vzdálenosti střelby na základě množství zplodin výstřelu analyzovaných pomocí SW MATLAB. K vytvoření vzorků bylo stříleno palnou zbraní Glock 17 s nábojem 9 mm Luger od společnosti Sellier & Bellot na bílý bavlněný podklad ze sedmi vzdáleností (10, 30, 50, 70, 100, 150 a 220 cm). Bylo zjištěno, že optimální nastavení k nasnímání vzorku pomocí Videometer Lab 4 byla vlnová délka 470 nm, rozměry snímku 960×1280 px, rozlišení 0,12×0,12 mm a rozsah intenzity od 0 do 0,45. Po nasnímání byl snímek převeden na černobílý a invertován. Bylo zjištěno, že

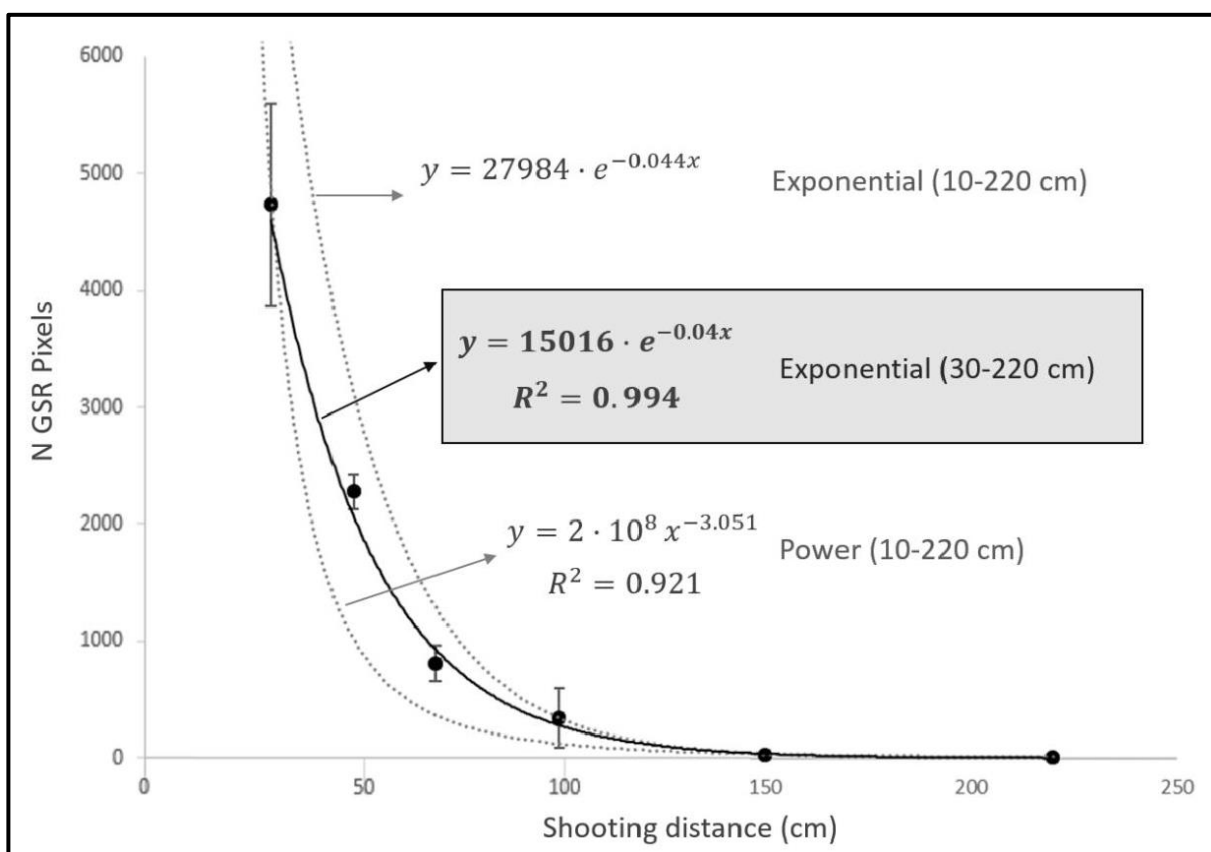
množství a rozptyl zplodin výstřelu jsou dvěma hlavními faktory k odhadu vzdálenosti střelby. Počet černých pixelů v obrazci byl popsán rovnicí

$$\text{počet černých pixelů v obrazci} = 15016e^{-0,04(\text{vzdálenost střelby v cm})}. \quad (3.4.1)$$

Rovnice (3.4.1) byla pro stanovení vzdálenosti střelby upravena do tvaru

$$\text{Vzdálenost střelby (cm)} = \frac{\ln \frac{15016}{\text{počet černých pixelů v obrazci}}}{0,04}. \quad (3.4.2)$$

Pro stanovení vzdálenosti v rozmezí 30 až 220 cm byla stanovena relativní nejistota do 10 %, viz obr. 16.



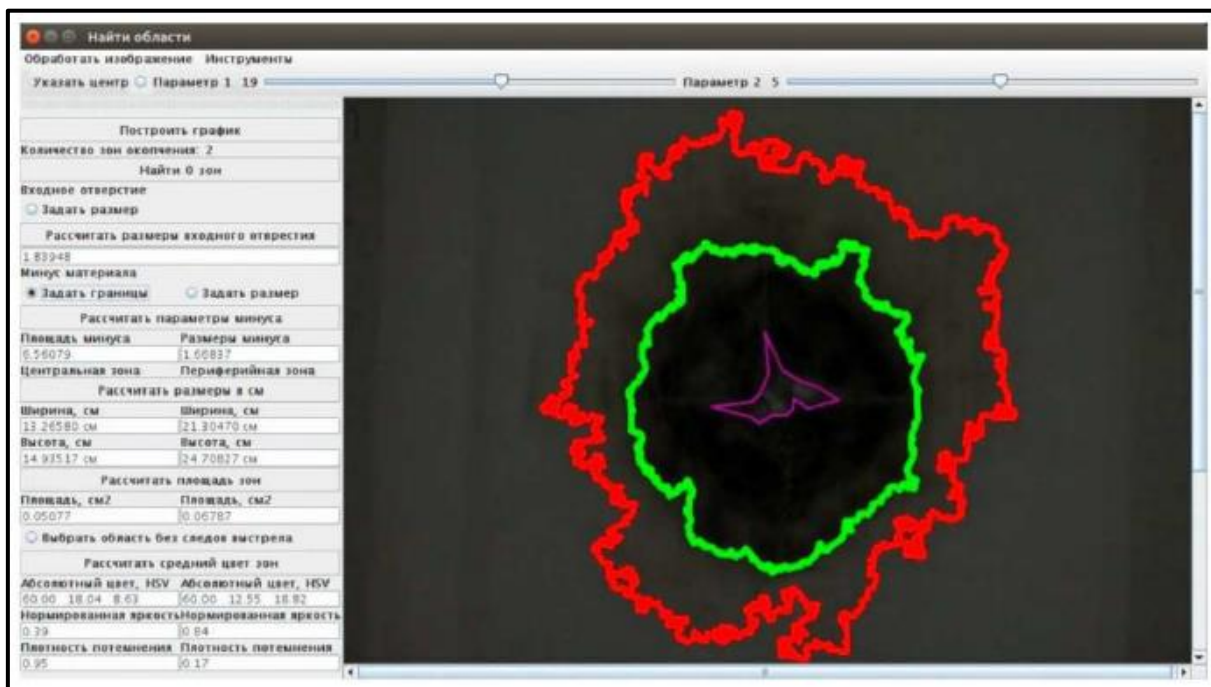
Obr. 16: Matematický popis odhadu vzdálenosti střelby od 30 do 220 cm [69].

Článek [64] poprvé teoreticky podložil matematické zpracování digitálních snímků rozptylových obrazců zplodin výstřelu na příkladu palných kulových zbraní. Teoretický rámec byl následně experimentálně ověřen, čímž došlo k potvrzení nedestruktivní metody spočívající v odhadu množství zplodin výstřelu a jejich distribuci na cíli pomocí digitální fotografie. V článku je využita analýza výpočtu optické hustoty v soustředných prstencích, a to při použití zbraní

různého typu na stejné vzdálenosti a při použití zbraní stejného typu na různé vzdálenosti. Optickou hustotu D_{Σ} lze vypočítat podle matematického vztahu

$$D_{\Sigma} = -\ln \frac{\sum_i I_i}{I_0 N}, \quad (3.4.3)$$

kde i je počet pixelů, I_i je hodnota jasu v pixelu, I_0 je jas (střední hodnota) obrazu v oblastech, kde zplodiny výstřelu chybí a N je celkový počet pixelů ve vybrané oblasti. Pomocí algoritmu bylo provedeno zpracování zahrnující normalizaci obrazu, segmentaci (určení hranic) a výpočet optické hustoty jak v každém pixelu, tak integrální hodnoty obrazu. Pro tyto účely byl vyvinut samostatný specializovaný SW *ImgOpinion*, který provádí opticko-strukturní analýzu digitálních snímků. Na základě této analýzy jsou následně automaticky vykresleny jednotlivé zóny rozptylového obrazce (obr. 17).



Obr. 17: Ukázka dialogového okna aplikace *ImgOpinion* [64].

Potenciál pro řešení těchto úloh skýtá také AI. Předností AI je multidisciplinarita, neúnavnost v plnění úkolů, opakovatelnost úkonů a zvýšení efektivity při opakování. V autoru dostupných databázích byly nicméně dohledány pouze dva články [64,90], které k analýzám používaly AI.

4. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce se zabývá stanovením odhadu vzdálenosti střelby z vybrané expanzní zbraně ze vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu. Na základě provedené rešerše je výzkum soustředěn na oblast expanzních pistolí za pomoci optických (nedestruktivních) metod. S ohledem na tyto skutečnosti byl koncipován hlavní cíl disertační práce, k jehož dosažení byly následně stanoveny dílčí cíle.

Hlavní cíl disertační práce:

Návrh matematického modelu ke stanovení odhadu vzdálenosti střelby z vybrané expanzní pistole na základě rozptylových obrazců zplodin výstřelu vzniklých na záchyťovém materiálu.

K dosažení hlavního cíle je nutné splnit následující dílčí cíle:

1. Zhodnocení současného stavu v dané oblasti.
2. Provedení série experimentálních měření.
3. Zpracování výsledků z experimentálních měření.
4. Analýza a vyhodnocení získaných dat.
5. Vytvoření návrhu matematického modelu ke stanovení odhadu vzdálenosti střelby z expanzní pistole.

Disertační práce má své specifické limity, jedná se především o:

- **Laboratorní podmínky** – zanedbání vnějších vlivů při střelbě v reálných podmínkách (klimatické a povětrnostní podmínky).
- **Expanzní zbraně** – pro experiment byl použit pouze jeden typ expanzní zbraně (pistole).
- **Nábojky** – k vypracování disertační práce byl použit omezený počet druhů nábojek – 5 různých druhů akustických nábojek shodné ráže. Nebyly použity nábojky s účinnou látkou.
- **Vzdálenosti střelby** – v práci se pracuje se vzdálenostmi od 3 cm do 18 cm, přičemž toto rozpětí je experimentálně zjištěný maximální možný interval pro rozpoznání rozptylových obrazců zplodin výstřelu expanzní pistole.
- **Úhel střelby** – experiment byl prováděn pouze kolmým směrem střelby (ústí hlavně zbraně je kolmo vzhledem k záchyťovému materiálu).
- **Záchyťový materiál** – v práci byl použit definovaný záchyťový materiál, kreslicí karton. Materiál byl homogenní, jednobarevný, bez vzorů, bez znečištění.

5. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

K dosažení hlavního a dílčích cílů disertační práce byly využity relevantní vědecké metody:

- Rešerše** – byla využita pro získání poznatků ze zahraničních výzkumů zabývajících se tématem disertační práce.
- Experiment** – byl použit pro získání výsledků z experimentálních měření.
- Analýza** – byla použita k analyzování jednotlivých dat získaných z experimentů. Byly použity zejména optické analytické metody, které sloužily pro analýzu rozptylových obrazců zplodin výstřelu v softwaru Wolfram Mathematica.
- Syntéza** – byla využita pro propojení poznatků získaných analýzou, byl získán matematický popis ke stanovení odhadu vzdálenosti střelby na základě rozptylových obrazců zplodin výstřelu.
- Komparace** – byla použita pro porovnání získaných výsledků s výsledky ze zahraničních publikací.
- Indukce** – byla použita při vytváření obecných závěrů ze získaných výsledků.
- Dedukce** – byla využita k ověření získaných obecných závěrů.

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V rámci disertační práce bylo provedeno několik experimentů: stanovení hmotností výmetných náplní vybraných akustických nábojek, analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času a analýza rozptylových obrazců zplodin výstřelu s využitím SW nástrojů. Tyto experimenty, společně s použitými přístroji a pomůckami, jsou popsány v následujících podkapitolách.

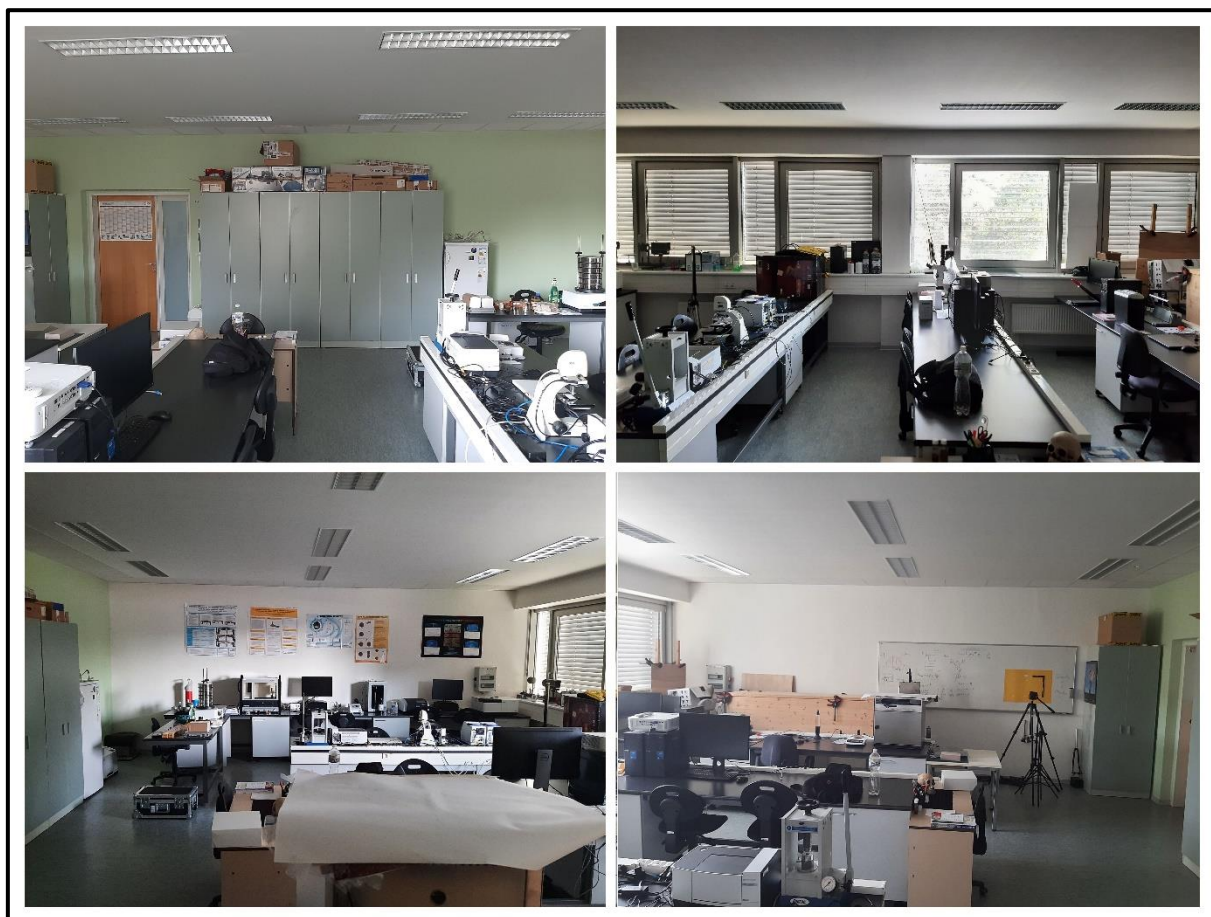
6.1 Laboratoř forezních věd

Veškeré experimenty byly provedeny v Laboratoři forezních věd na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně (obr. 18). Tato laboratoř je obdélníkového tvaru. Kdy rozměry laboratoře jsou: délka 8,640 m, šířka 7,500 m a výška 2,950 m. Vstup do laboratoře je na delší straně místnosti, přičemž vstupní dveře jsou umístěny výrazně asymetricky vpravo od svislé osy stěny. Zbývající část této stěny se vstupem je tvořena skříněmi pro uložení přístrojů a materiálu. Na pravé kratší stěně od dveří je pověšena magnetická tabule. Delší stěna protilehlá ke vstupu do místnosti je tvořena čtyřmi otevíratelnými okny s hliníkovými rámy, rozdělené do skupin po dvou nosným pevným sloupem. Všechna okna byla po dobu provádění experimentů uzavřena. U kratší stěny vlevo od dveří je v celé její šíři umístěn stůl s různými laboratorními přístroji. Podlaha v místnosti je tvořena linoleem. V prostoru místnosti jsou tři pevně uchycené stoly umístěny kolmo ke stěně s okny, k níž přiléhají, jejich délka do prostoru je přibližně do poloviny šířky místnosti. Strop je po obvodu laboratoře tvořen skládanými deskami v šíři jedné řady, zbytek stropu je plnostěnný, tvořen sádkartonovými plotnami s vestavěnými svítidly.

Při experimentech byla v laboratoři měřena teplota a vlhkost vzduchu. Teplota se pohybovala v rozmezí 22–24 °C, vlhkost vzduchu se pohybovala v rozmezí 34–36 %.

Veškeré experimenty byly prováděny v přední části laboratoře u prvního stolu směrem k tabuli. Pro účely experimentů bylo vytvořeno pracoviště umístěné na podkladové desce, která jedním koncem byla položena na prvním stole laboratoře a druhým koncem byla opřena na neupevněný stůl přidaný mezi první stůl a stěnu s tabulí. Horní hrana této podkladové desky byla ve výšce 1,100 metrů nad podlahou místnosti. Na této podkladové desce byly prováděny experimenty.

U prováděných experimentů byl použit jako svrchní oděv laboratorní plášť a sterilní latexové chirurgické bezprašné rukavice. Před každým experimentem byla deska (s vlastním povrchem i s přiloženým podkladem se zobrazenou maticí) setřena vlhčeným ubrouskem. Podlaha místnosti stírána nebyla.



Obr. 18: Laboratoř forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky.

6.2 Použité přístroje a pomůcky

Laboratorní váhy PLT 2000-3 DM

Přesné laboratorní váhy PLT 2000-3 DM od společnosti KERN byly použity k určení hmotností výmetných náplní použitých akustických nábojek. Váhy mají výrobcem deklarovanou přesnost $\pm 0,001$ g pro rozsah vážení do 200 g.

Svinovací metr a digitální posuvné měřidlo

Svinovací metr byl použit primárně k měření vzdáleností jednotlivých komponentů v rámci pracoviště experimentu (vzdálenost ústí hlavně expanzní pistole od cíle, určení vzdáleností pro stanovení úhlu natočení světla, vzdálenost fotoaparátu od záchytového materiálu při pořizování digitálních snímků záchytového materiálu). Byl použit běžný svinovací metr o celkové délce 3 000 mm, nejmenší dílek je 1 mm.

Digitální posuvné měřidlo bylo použito pro přesné měření krátkých a velmi krátkých vzdáleností (délka a průměr hlavně expanzní pistole, vzdálenosti přepážek umístěných v hlavni expanzní pistole). Použité měřidlo od společnosti FESTA má stanovený rozsah měření 0–150 mm s přesností měření $\pm 0,01$ mm.

Nastřelovací stolice MATRIX

Nastřelovací stolice typového označení MATRIX od společnosti Caldwell byla využita k uchycení expanzní pistole při střelbě, aby tato byla vůči cíli vždy ve stejné pozici. Nastřelovací stolice je vyrobená z pevného plastu a umožňuje nastavení výšky přední opěrky s aretací, viz obr. 19.



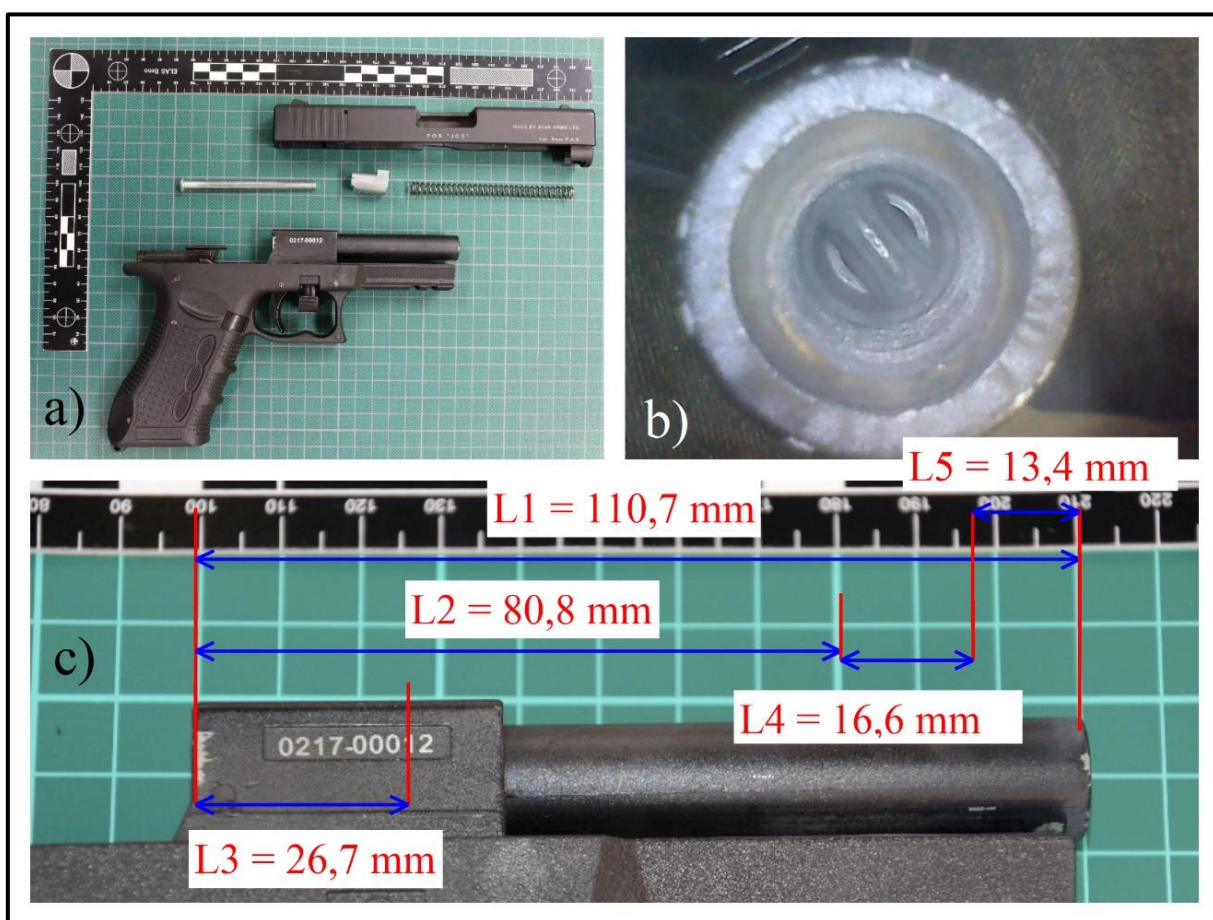
Obr. 19: Nastřelovací stolice.

Expanzní pistole Atak Zoraki 917

Ke všem experimentům v této práci, při nichž byla prováděna střelba z expanzní zbraně, byla použita expanzní pistole Atak Zoraki 917 v ráži 9 mm P.A.K. od turecké společnosti Atak Arms (obr. 20). Tato expanzní pistole je věrnou kopií pistole Glock model 17 Gen. 4 od stejnojmenné rakouské společnosti. Dle zákona o zbraních je tato expanzní pistole zařazena do zbraní kategorie C-I (dříve zbraně kategorie D). K zabránění nabití náboje a vystřelení střely jsou v hlavní expanzní pistole různě umístěny přepážky (jejich poloha a umístění záleží na výrobcu expanzní zbraně) z tvrdokovu. Poloha přepážek u testované expanzní pistole je znázorněna na obr. 21.



Obr. 20: Expanzní pistole Atak Zoraki 917 v ráži 9 mm P.A.K.

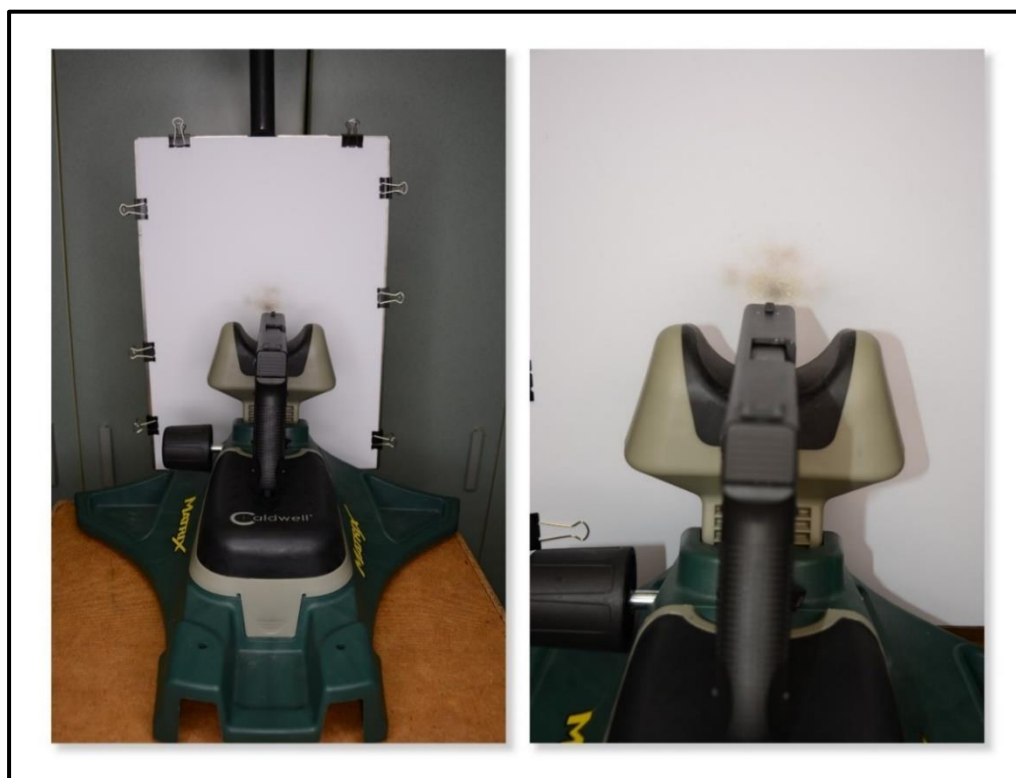


Obr. 21: Použití expanzní pistole: a) rozborka expanzní pistole, b) přepážka v hlavní expanzní pistole, c) přesné umístění přepážek v hlavní expanzní pistole.

Čištění expanzní pistole použité k provádění experimentů probíhalo standardním způsobem pouze suchou formou za použití ocelového kartáče a hadříku ze strany nábojové komory i od ústí hlavně. Expanzní pistole byla čištěna před každým výstřelem. Nečištěny byly pouze ocelové přepážky v hlavní expanzní pistole, jejichž vyčištění nebylo konstrukčně možné.

Stojan k uchycení záchytového materiálu

K uchycení záchytového materiálu byl vyroben stojan (obr. 22). Součástí stojanu je uchycovací rám k uchycení záchytového materiálu o rozměrech papíru A3 (297 × 420 mm). Rozměr papíru A3 byl vybrán, neboť přibližně odpovídá rozměrům hrudi průměrného dospělého muže.



Obr. 22: Nastřelovací stoličky s expanzní pistolí před stojanem s uchyceným záchytového materiálem.

Záchytový materiál rozptylových obrazců zplodin výstřelu

Záchytový materiál rozptylových obrazců zplodin výstřelu byl kreslicí karton standardní velikosti A3 (297 × 420 mm). Vyrábí se v čisté bílé barvě o gramáži 220 g·m⁻². Použitý záchytový materiál byl homogenní, jednobarevný, bez vzorů, bez znečištění.

Multifunkční tiskárna RICOH IM C3000

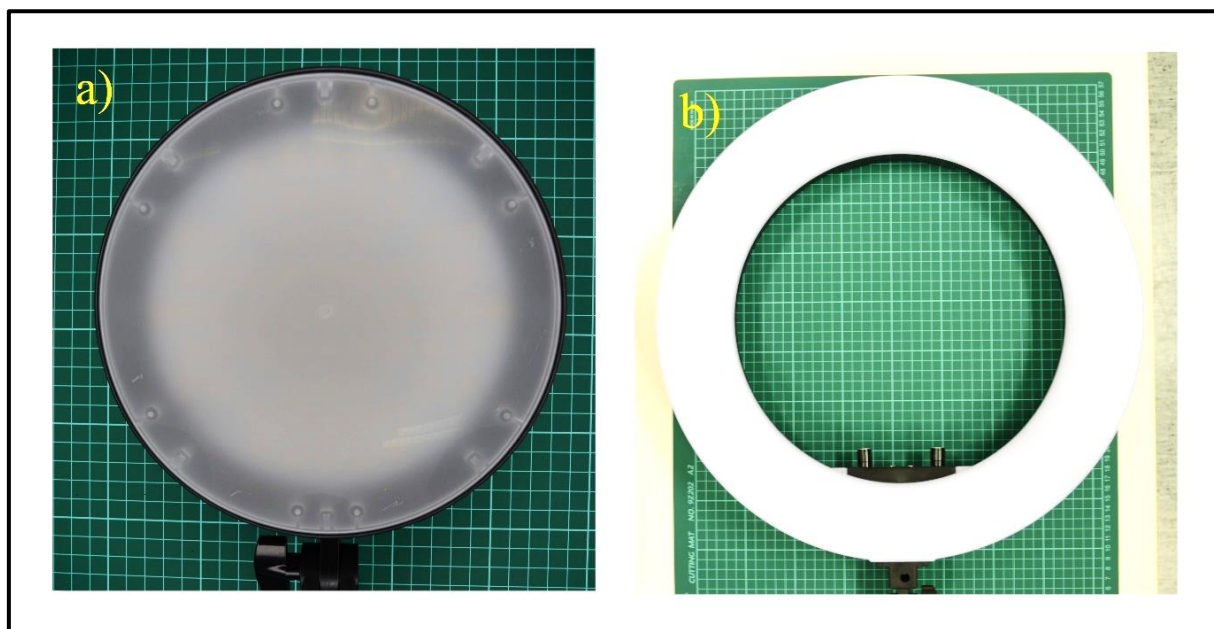
Multifunkční tiskárna byla použita pro naskenování záchytového materiálu se zachycenými rozptylovými obrazci. Skenování bylo prováděno do digitálních souborů ve formátu TIFF s nastaveným rozlišením 300 DPI.

Digitální fotoaparát NIKON D5200 s objektivem Nikon 18–105 mm f/3.5-5,6G ED VR AF-S DX

Digitální fotoaparát sloužil k pořízení digitálního snímku zachytového materiálu se vzniklými rozptylovými obrazci. K pořizování snímků byl použit vždy stejný objektiv. Snímky byly pořizovány ve formě digitálních souborů ve formátech RAW a JPG.

Světla k nasvícení scény zachytových materiálů

K nasvícení snímané scény pro usnadnění pořízení digitálních snímků byly využity dva typy světel se shodným nastavením teploty barvy. Konstrukce světel umožňovala nastavit hodnotu teploty barvy v rozmezí 3 200 až 5 500 K. Rozdíl mezi použitými světly spočíval v rozsahu plochy produkující světlo (obr. 23). Každé světlo mělo vlastní stativ.



Obr. 23: Ukázka použitých světel: a) plné kruhové LED světlo, b) obvodové kruhové LED světlo.

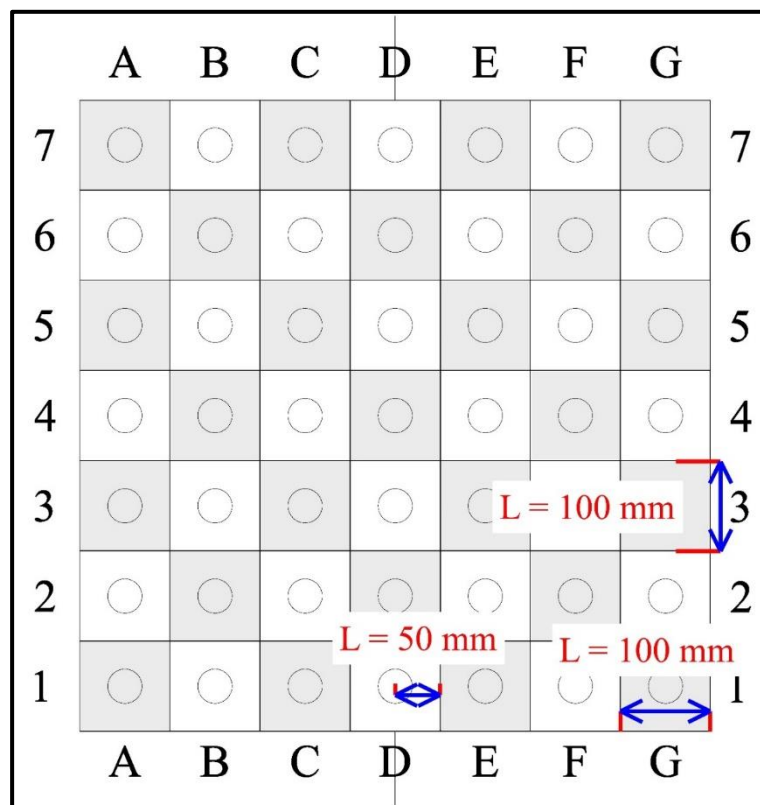
Mikrováhový senzor QCM200

Senzor QCM200 (Quartz Crystal Microbalance) od společnosti Stanford Research Systems Inc. byl použit pro měření spadu zplodin výstřelu. Senzor pracuje na principu piezoelektrického jevu, kdy při změně hmotnosti na senzoru dochází ke změně frekvence střídavého proudu, která je zaznamenávána a lze z ní následně zpětně dopočítat změnu hmotnosti. Přístroj je tvořen vyhodnocovací jednotkou a měřicí sondou QCM25 s křemenným piezokrystalem. Průměr aktivní plochy krystalu je přibližně 13,3 mm a k sondě je připojený pomocí pozlacených titanových elektrod. K vyhodnocovací jednotce byl pomocí sběrnice RS-232

připojen počítač s programem vytvořeným v prostředí Agilent VEE Pro (dále jen VEE) určeným k zaznamenávání hodnot.

Maticové rozmístění pro umístění mikrováhového senzoru

Maticové rozmístění, vytvořené v programu pro vektorovou grafiku InkScape, sloužilo k umístění sondy mikrováhového senzoru do jednotlivých segmentů. Velikost jednotlivých políček v matici byla 100×100 mm s kruhem o velikosti senzoru uprostřed každého políčka (viz obr. 24), což umožnilo senzor vždy umístit do středu jednotlivých políček.



Obr. 24: Ukázka maticového rozmístění pro umístění mikrováhového senzoru k měření spadu zplodin výstřelu.

6.3 Použité softwarové nástroje

Software LUCIA Forensic

Ke zpracování rozptylových obrazců byl využit specializovaný software LUCIA Forensic, od společnosti LABORATORY IMAGING s.r.o. Jedná se o univerzální SW pro zpracování nebo komparaci obrazů ve forenzní analýze. Software LUCIA Forensic je vhodný pro měření v digitálních obrazech po jejich kalibraci či komparaci, a to v 2D nebo 3D rozměrech [89]. Veškeré určování rozměrů v digitálních obrazech uvedených v této práci bylo provedeno pomocí SW LUCIA Forensic.

Software Microsoft Excel

Microsoft Excel je tabulkový procesor od společnosti Microsoft, který umožňuje pracovat s tabulkami, provádět výpočty, analyzovat data a vytvářet grafické reprezentace dat. Tento SW byl použit pro zpracování naměřených dat (provedení výpočtů) a pro grafické znázornění zjištěných závislostí (tvorba grafů).

Software Wolfram Mathematica

V prostředí Wolfram Mathematica byl vytvořen algoritmus k analýze vyfotografovaných či naskenovaných vzniklých rozptylových obrazců. Wolfram Mathematica je počítačový program vytvořený společností Wolfram Research umožňující provádět matematické výpočty, numerické simulace, zpracování a vizualizaci dat, zpracování obrazu a zvuku. Program dále nabízí plně automatizované a uživatelsky modifikovatelné funkce strojového učení k provádění klasifikace, regrese, shlukové analýzy (clusterové analýzy) a mnoha dalších operací.

6.4 Použité střelivo

K provedení experimentů byly vybrány akustické nábojky určené do expanzních pistolí v ráži 9 mm P.A.K. různých výrobců. Nábojky s účinnou látkou nebyly k experimentům využity z důvodu nemožnosti likvidace následků účinných látek v laboratoři. Nábojky použité v jednotlivých experimentech jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Nábojky určené k provedení experimentů.

Experiment	Výrobce nábojky
Stanovení hmotností výmetných náplní:	Walther, Pobjeda, Fiocchi, Sellier & Bellot, TITAN
Spad zplodin výstřelu v přímém směru střelby:	Walther, Fiocchi, Pobjeda
Spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění:	Sellier & Bellot, TITAN
Tvorba rozptylových obrazců zplodin výstřelu:	Walther, Pobjeda, TITAN

6.5 Bezpečnost při provádění experimentů

Při provádění experimentů byla respektována pravidla pro střelbu z expanzní zbraně mimo certifikovanou střelnici. Tato pravidla jsou definována v dokumentu „*Stanovisko k povinnosti zajistit bezpečnost střelby ze zbraní kategorie C-I a D od 30. ledna 2021*“. Ve stanovisku je uvedeno, že provádět střelbu z expanzních zbraní lze také „*v uzavřených objektech, je-li zamezeno přístupu osob, které by mohly být střelbou ohroženy, a též jinak, je-li zajištěna bezpečnost osob přítomných při střelbě a majetku (kupř. je zajištěno, že nedojde k nebezpečnému*

odrazu střel) a dodržování veřejného pořádku“ [91]. Experimenty byly prováděny v Laboratoři forenzních věd, která byla po dobu provádění experimentů uzavřena.

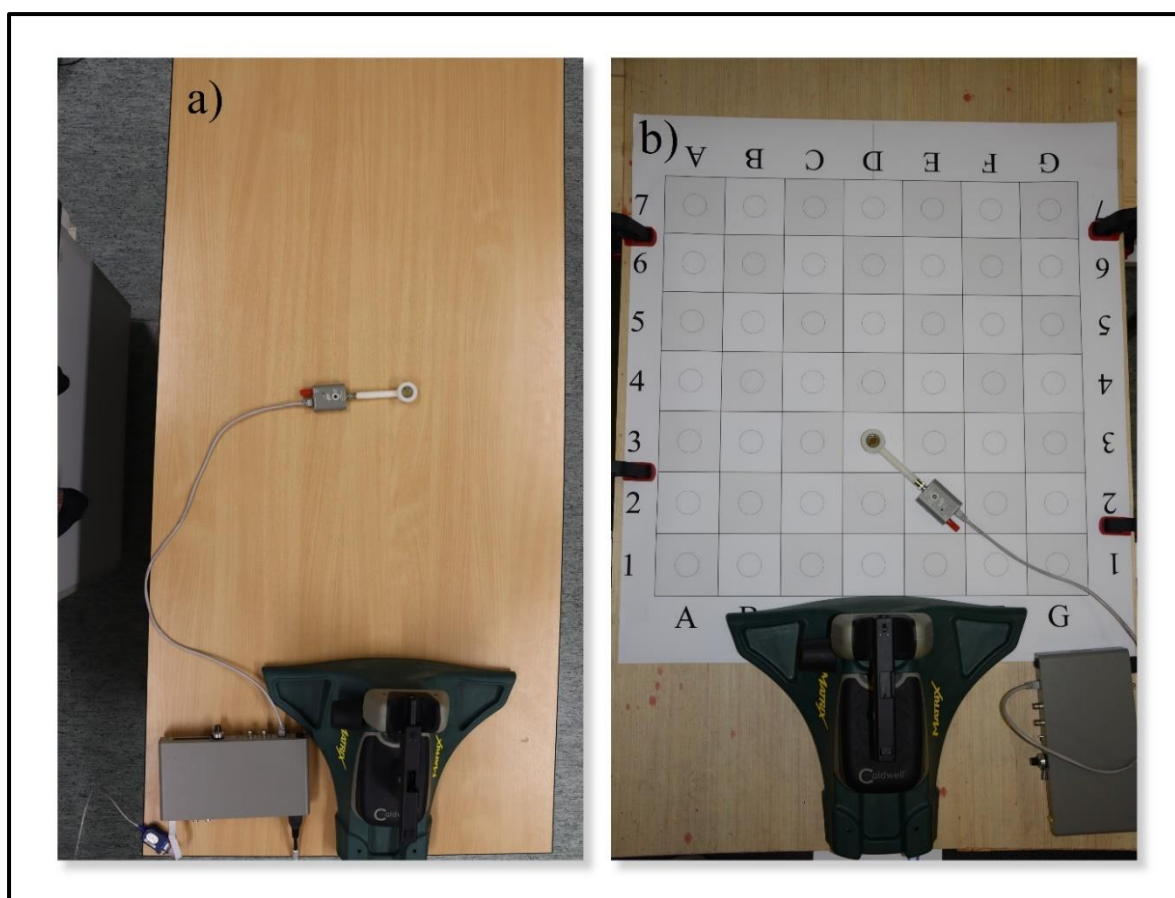
6.6 Popis experimentů

6.6.1 Stanovení hmotností výmetných náplní vybraného střeliva

Pro určení hmotnosti výmetné náplně za pomoci přesné laboratorní váhy byl nejprve obsah testované nábojky delaborován a vysypán do předem zvážené zkumavky. Poté byla zkumavka zvážena s obsahem výmetné náplně delaborované nábojky. Celkem bylo delaborováno 5 typů akustických nábojek, ke každému typu bylo vytvořeno 5 vzorků za účelem opakovaného vážení a stanovení nejistoty měření.

6.6.2 Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času

Pracoviště k měření spadu zplodin výstřelu je možné vidět na obr. 25. Před expanzní pistolí ani v její blízkosti nebyla umístěna žádná překážka, která by bránila samovolnému letu a spadu zplodin výstřelu. Z obr. 25 je také zřejmé, že expanzní pistole byla umístěna na nastřelovací stoličce tak, aby její umístění bylo vždy stejné. Rovina měření se nacházela 235 mm pod osou hlavně expanzní pistole. Pro měření byl použit pouze jeden senzor QCM25.



Obr. 25: Pracoviště určené k realizaci měření spadu zplodin výstřelu: a) v přímém směru střelby, b) v maticovém rozmístění.

Byly provedeny dva experimenty, a to měření spadu zplodin výstřelu v přímém směru střelby a spadu zplodin výstřelu v maticovém rozmístění. Před provedením každého měření byl senzor očištěn pomocí ethanolu a vysušen vatovou tyčinkou. Před každým měřením bylo provedeno tzv. měření na prázdno, kdy po stanovenou dobu 60 minut byl prováděn záznam výstupu z mikrováhového senzoru pomocí programu ve VEE, kterému nepředcházela výstřel. Následně byla prováděna měření sedimentace zplodin výstřelu, a to tak, že současně s výstřelem z expanzní pistole byl spuštěn záznam dat z mikrováhového senzoru. Po spuštění měření byla opuštěna laboratoř, aby nedocházelo k nežádoucímu ovlivňování. Všechna měření byla prováděna se stejnými parametry, které jsou uvedeny v tab. 6. Délka měření byla stanovena na 60 minut z důvodu dostatečné doby pro zaznamenání výraznější změny, a současně pro zaznamenání ukončení procesu sedimentace zplodin výstřelu. Aby byly v naměřených datech sedimentace eliminovány nežádoucí vlivy prostředí (např. přirozeně se vyskytující prach), byly od hodnot získaných z jednotlivých měření odečteny hodnoty z měření na prázdno.

Tab. 6: Nastavení parametrů v programu VEE.

Parametr	Nastavená hodnota
Rozlišení:	200 Hz/V
Časová základna:	interní TCXO oscilátoru
Doba měření:	60 minut
Perioda:	1 minuta
Doba načítání frekvence:	100 ms
Měřená hodnota:	frekvence

Měření spadu zplodin výstřelu v přímém směru (obr. 25a) probíhalo ve vzdálenostech 200, 500 a 1 000 mm, kdy střed senzoru QCM25 byl umístěn do vybrané vzdálenosti vůči ústí hlavně expanzní pistole.

Měření spadu zplodin výstřelu v maticovém rozmístění (obr. 25b) probíhalo s využitím podkladu se zobrazenou maticí, přičemž měřicí senzor QCM25 byl postupně umisťován do každého z definovaných kruhů v každém poli matice, tj. do kruhu na pozici A1, následně do kruhu na pozici B1 atd., a takto až do pozice G7.

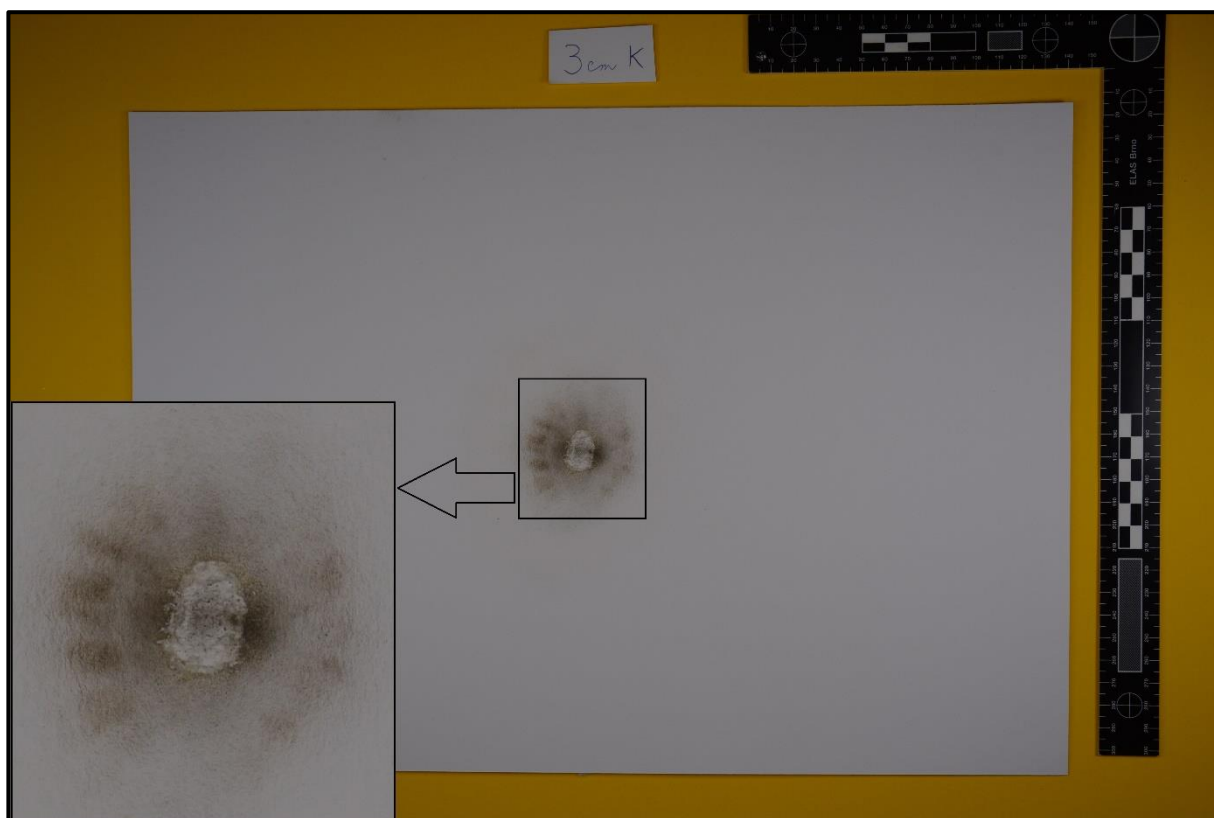
6.6.3 Tvorba rozptylových obrazců zplodin výstřelu a jejich převádění do digitální podoby

Tvorba rozptylových obrazců zplodin výstřelu probíhala tak, že záchyťový materiál byl uchycen do stojanu. Následně byla pomocí svinovacího metru odměřena zvolená vzdálenost ústí hlavně expanzní pistole od záchyťového materiálu upevněného ve stojanu. Expanzní pistole byla uchycena do nastřelovací stoly. Střelba ve všech případech probíhala kolmo na záchyťový materiál.

Rozptylové obrazce byly vytvořeny pro vzdálenosti střelby 30, 60, 90, 120, 150 a 180 mm, přičemž pro každou vzdálenost a každý záchyťový materiál bylo vytvořeno vždy 5 rozptylových obrazců.

Všechny záchyťové materiály s rozptylovými obrazci byly do digitální podoby převáděny nejprve skenováním a následně fotografováním. Snímání záchyťového materiálu skenováním bylo provedeno nasnímání prostřednictvím skenovací plochy kancelářské multifunkční tiskárny. Výstupem skenování byly soubory formátu TIFF s kvalitou obrazu 300 DPI. Skenování záchyťových materiálů s rozptylovými obrazci se ukázalo pro další analýzy jako nevhodné, neboť při uvedeném rozlišení, u daného přístroje maximálním možným, byla rozlišovací schopnost skenů v porovnání s fotografiemi velmi nízká. Použití skenů proto následně bylo pouze okrajové a primární práce probíhala s fotografiemi záchyťových materiálů.

Fotografování probíhalo tak, že záchyťový materiál byl, společně s kriminalistickým pravítkem pro pozdější určení měřítka obrazu, upevněn na svislou rovinu pomocí oboustranné lepicí pásky (obr. 26). Žlutý podklad snímané scény byl vybrán záměrně pro jednodušší práci se snímkem. Záchyťový materiál společně se vzniklým rozptylovým obrazcem byl fotografován s otočením o 90° doleva oproti provedenému výstřelu.



Obr. 26: Vyfotografovaná celá scéna včetně záchyťového materiálu se vzniklým rozptylovým obrazcem zplodin výstřelu a kriminalistickým pravítkem.

Snímaná scéna byla ve všech případech nasvícena dvěma světly s plným kruhovým LED svícením. Tato světla byla vzhledem ke snímané scéně umístěna pod úhlem 45° ve vzdálenosti 480 mm od středu snímané scény (záchytového materiálu). V případech, kdy byl jako záchytový materiál použit kreslicí karton, bylo navíc provedeno fotografování snímané scény osvětlené třemi světly. Těmito světly byla dvě již zmíněná světla, a navíc kruhové LED osvětlení (tzv. ring light) o průměru 460 mm. Kruhové LED osvětlení bylo umístěno pod úhlem 90° vzhledem ke snímané scéně a ve vzdálenosti 526 mm od středu snímané scény. Experimentálně bylo zjištěno, že hodnota 5 000 K je k nasnímání scény nejvhodnější. Ostatní hodnoty teplot barvy neposkytovaly vhodné výsledky.

Fotoaparát s objektivem byl umístěn ve vzdálenosti 526 mm a s úhlem 90° vzhledem ke snímané scéně záchytového materiálu, což při využití kruhového LED osvětlení vypadalo tak, že digitální fotoaparát byl umístěn ve středu mezikruží tohoto světla. Při fotografování snímků záchytového materiálu byl fotoaparát vždy nastaven na hodnoty uvedené v tab. 7.

Tab. 7: *Nastavené parametry digitálního fotoaparátu.*

Parametr	Nastavená hodnota
Velikost obrazu:	velký (6000 × 4000 px)
Režim:	A (Časová automatika)
Kvalita obrazu:	jemný
Ohnisková vzdálenost:	24 mm
Samospoušť:	5 s
Citlivost ISO:	100
Clona:	F 6,7
Použití vestavěného blesku:	NE
Vyvážení bílé barvy:	AUTO (automatické vyvážení bílé barvy)
Zaostřovací režim:	AF-S (jednorázové zaostření)
Měření expozice:	se zdůrazněným středem
Korekce expozice:	0.0
Korekce záblesku expozice:	0.0 (bez ztmavování nebo zesvětlování)

7. VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ A EXPERIMENTŮ A JEJICH DISKUSE

Výsledky z provedených měření uvedené v podkapitole 7.1 doplněné o experimenty v podkapitole 7.2 a 7.3 jsou pouze ukázkami experimentů k doplnění hlavního cíle disertační práce, které mohou následně také sloužit k dalším námětům pro další výzkumníky v dané oblasti či k rozšíření a zpřesnění uvedených výsledků a metod. Tomu odpovídá i počet opakování provedených experimentů. Výsledky uvedené v podkapitole 7.4 jsou stěžejními pro celou disertační práci.

7.1 Stanovení hmotností výmetných náplní vybraných nábojek

Hmotnost byla stanovována pro 5 akustických nábojek ráže 9 mm P.A.K. od různých výrobců. Pro každý typ nábojky bylo provedeno 5 měření. Z naměřených hodnot byly vypočítány aritmetické průměry a kombinovaná standardní nejistota měření. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8: Stanovení hmotnosti výmetné náplně a nejistot u vybraných nábojek.

Výrobce nábojky	Průměrná hmotnost výmetné náplně
Walther:	$(0,184 \pm 0,003)$ g
Pobjeda:	$(0,160 \pm 0,004)$ g
Fiocchi:	$(0,155 \pm 0,004)$ g
Sellier & Bellot:	$(0,174 \pm 0,005)$ g
TITAN:	$(0,174 \pm 0,004)$ g

Z provedeného měření a naměřených hodnot vyplývá, že jednotlivé typy nábojek se liší hmotností výmetné náplně, což může mít zásadní vliv nejen na množství zplodin výstřelu, ale i částic GSR. To může také ovlivňovat hodnoty naměřené mikrováhovým senzorem při analýze spadu zplodin výstřelu nebo morfologii vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu na záchytovém materiálu.

7.2 Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času

Pomocí mikrováhového senzoru byly zjištěny změny hodnot frekvence střídavého proudu, které bylo pro analýzu spadu zplodin výstřelu nejprve třeba převést na změny hmotností. K tomu byla využita závislost frekvence střídavého proudu procházejícího piezoelektrickým krystalem na hmotnosti látek na něm nanesených [92,93], kterou popsal G. Sauerbrey již v roce 1959. „Čistý“ krystal kmitá na své vlastní rezonanční frekvenci. Při nanesení látky (v tomto případě primárně zplodin výstřelu, sekundárně dalších materiálů z prostředí, zejména

přirozeně se vyskytující prach) na krystal dojde ke zvýšení hmotnosti, a tím i ke snížení frekvence. Změnu frekvence při změně hmotnosti látky popisuje Sauerbreyova rovnice

$$\Delta f = -C_f \cdot \frac{\Delta m}{S}. \quad (7.2.1)$$

Změna frekvence byla naměřena pomocí mikrováhového senzoru. Pro výpočet změny hmotnosti byla rovnice (7.2.1) upravena do tvaru

$$\Delta m = -\frac{\Delta f}{C_f} \cdot S, \quad (7.2.2)$$

kde Δm (ng) je změna hmotnosti, Δf (Hz) je pozorovaná změna frekvence a S je aktivní plocha použitého krystalu (v tomto případě $1,38 \text{ cm}^2$) [92–94]. Citlivostní faktor krystalu C_f lze vypočítat jako

$$C_f = \frac{2f_0^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}}, \quad (7.2.3)$$

kde f_0 je rezonanční frekvence krystalu (v tomto případě $5 \cdot 10^6$ Hz), ρ_q je hustota křemene (tj. $2,648 \cdot 10^9 \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-3}$) a μ_q je modul pružnosti ve smyku křemene (tj. $2,947 \cdot 10^{20} \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$) [92,94]. Po dosazení odpovídajících hodnot do rovnice (7.2.3) lze vypočítat, že citlivostní faktor použitého krystalu je $C_f = 5,66 \cdot 10^{-2} \text{ Hz} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{ng}^{-1}$.

Protože pro uvádění výsledků byla zvolena změna plošné hustoty $\Delta \rho_S$ ($\text{ng} \cdot \text{cm}^{-2}$), která je dána vztahem $\Delta \rho_S = \Delta m/S$, byla rovnice 7.2.2 upravena do tvaru

$$\Delta \rho_S = -\frac{\Delta f}{C_f}. \quad (7.2.4)$$

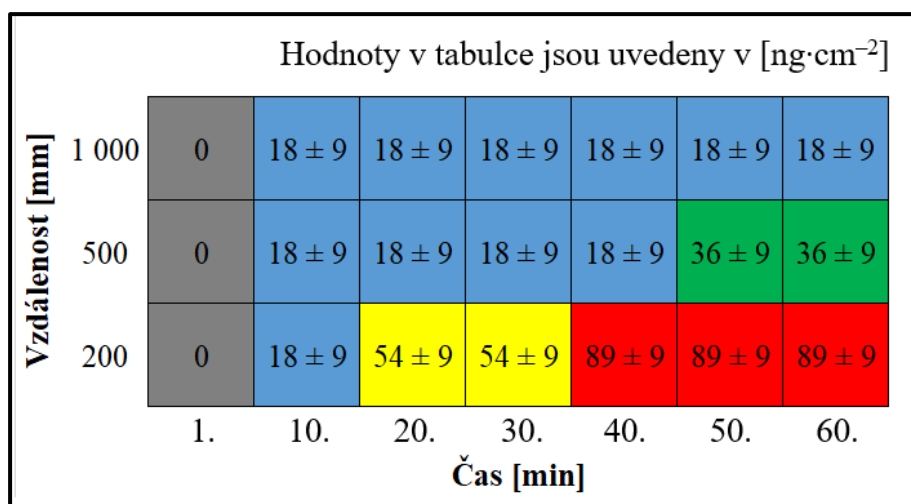
Z měření vlivu prostředí bylo zjištěno, že krystal osciluje s odchylkou ± 1 Hz, což, po vypočtení podle vztahu 7.2.4, odpovídá plošné hustotě přibližně $18 \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$. Z toho vyplývá, že rozlišovací schopnost přístroje QCM200 je $18 \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$.

7.2.1 Spad zplodin výstřelu v přímém směru střelby

K určení spadu zplodin výstřelu v přímém směru střelby bylo využito 3 různých akustických nábojek 9 mm P.A.K.: Walther, Fiocchi a Pobjeda. Pro každou vzdálenost a každý typ nábojky byly provedeny 3 výstřely, pro každý výstřel bylo provedeno samostatné měření spadu zplodin výstřelu v čase. Z výsledků těchto měření byl vypočten aritmetický průměr.

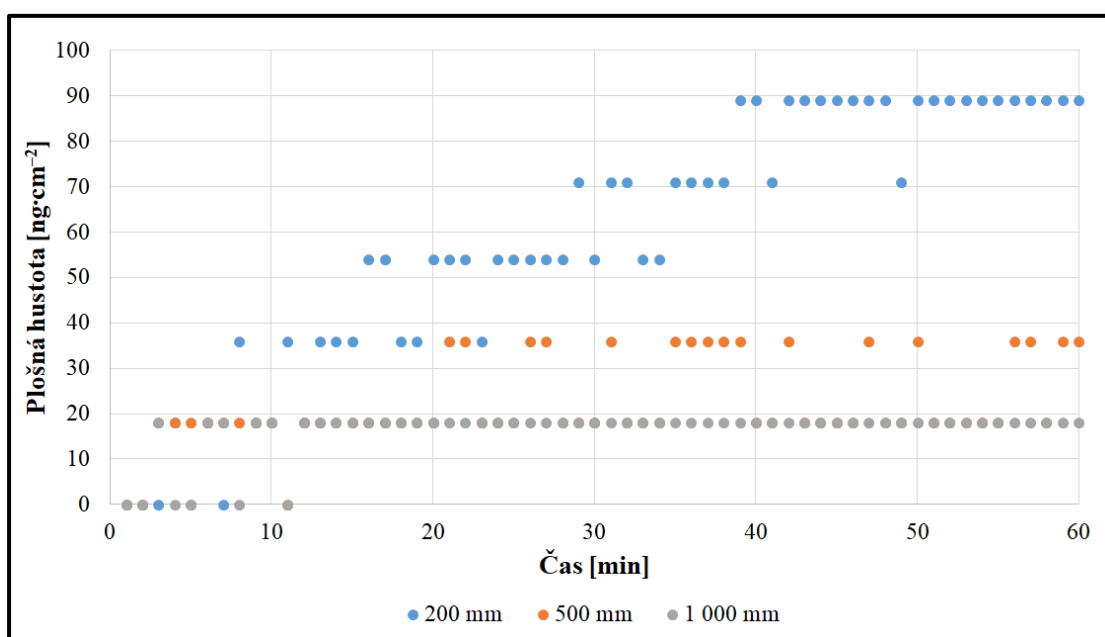
Akustická nábojka Walther

Z obr. 27 vyplývá, že u akustické nábojky Walther byl zaznamenán nejvyšší spad zplodin výstřelu na vzdálenost 200 mm od 40. minuty měření, a to $(89 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. S rostoucí vzdáleností se snižoval i zaznamenaný spad zplodin výstřelu. U vzdálenosti 500 mm byl nejvyšší spad zplodin výstřelu zaznamenán až v 50. minutě měření s hodnotou $(36 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. V maximální měřené vzdálenosti 1 000 mm bylo zaznamenáno jen minimální množství zplodin výstřelu odpovídající vypočtené rozlišovací schopnosti mikrováhového senzoru.



Obr. 27: Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther v čase.

Na obr. 28 je patrný vývoj spadu zplodin výstřelu v čase měření. Některé hodnoty nejsou v obr. 28 viditelné, neboť jsou překryty dalšími hodnotami.



Obr. 28: Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther průběžně v čase.

Akustická nábojka Fiocchi

Z obr. 29 vyplývá, že u akustické nábojky Fiocchi byl u vzdálenosti 200 mm zaznamenán konstantní spad zplodin výstřelu od 10. minuty, a to $(18 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. U vzdáleností 500 mm a 1 000 mm byl průběh spadu zplodin výstřelu do 50. minuty totožný, u vzdálenosti 500 mm pak bylo po 60. minutě měření zaznamenáno navýšení hodnoty spadu zplodin výstřelu na $(89 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$.

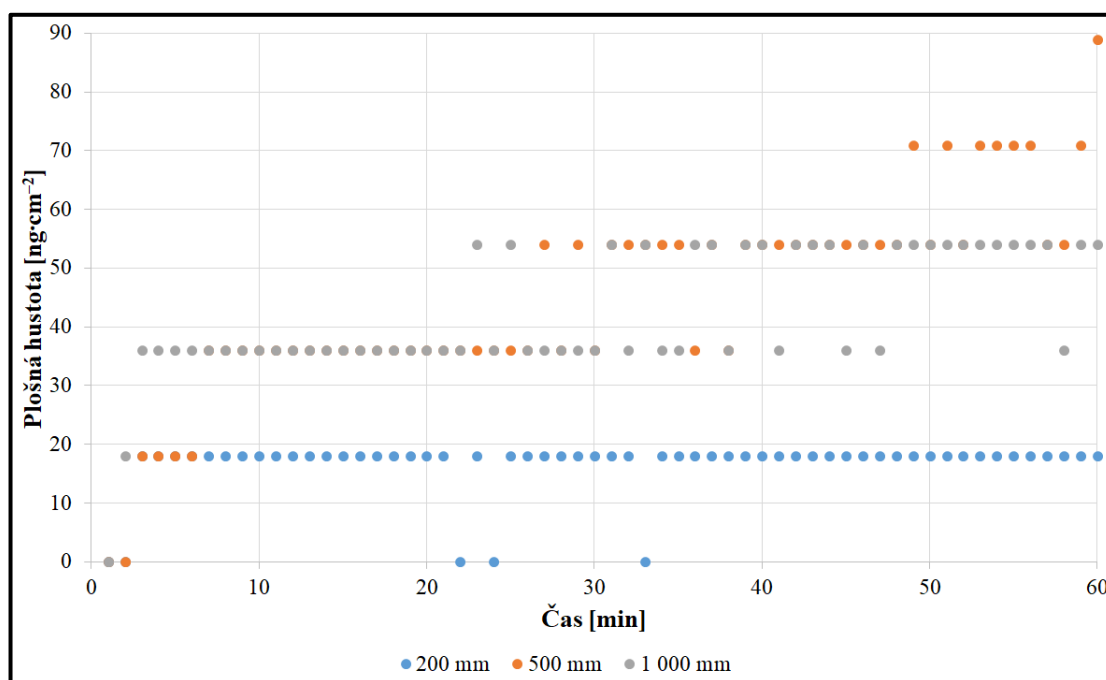
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v $[\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}]$

Vzdálenost [mm]	1.	10.	20.	30.	40.	50.	60.
1 000	0	36 ± 9	36 ± 9	36 ± 9	54 ± 9	54 ± 9	54 ± 9
500	0	36 ± 9	36 ± 9	36 ± 9	54 ± 9	54 ± 9	89 ± 9
200	0	18 ± 9	18 ± 9	18 ± 9	18 ± 9	18 ± 9	18 ± 9

Čas [min]

Obr. 29: Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi v čase.

Na obr. 30 je zaznamenán průběh spadu zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi po jednotlivých minutách měření. Je zřejmé, že u nejkratší vzdálenosti se plošná hustota zplodin výstřelu v průběhu měření neměnila, došlo pouze ke třem oscilacím. Spad zplodin výstřelu v dalších dvou vzdálenostech vykazuje v průběhu měření rostoucí tendence.



Obr. 30: Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi průběžně v čase.

Akustická nábojka Pobjeda

Z obr. 31 vyplývá, že u akustické nábojky Pobjeda byl zaznamenán nejvyšší spad zplodin výstřelu na vzdálenost 200 mm až po 60. minutě měření, a to (54 ± 9) $\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. U vzdálenosti 500 mm měřená hodnota oscilovala v průběhu měření a ustálila se až po 50. minutě s hodnotou (36 ± 9) $\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. V maximální měřené vzdálenosti 1 000 mm nebyla detekovaná žádná změna plošné hustoty.

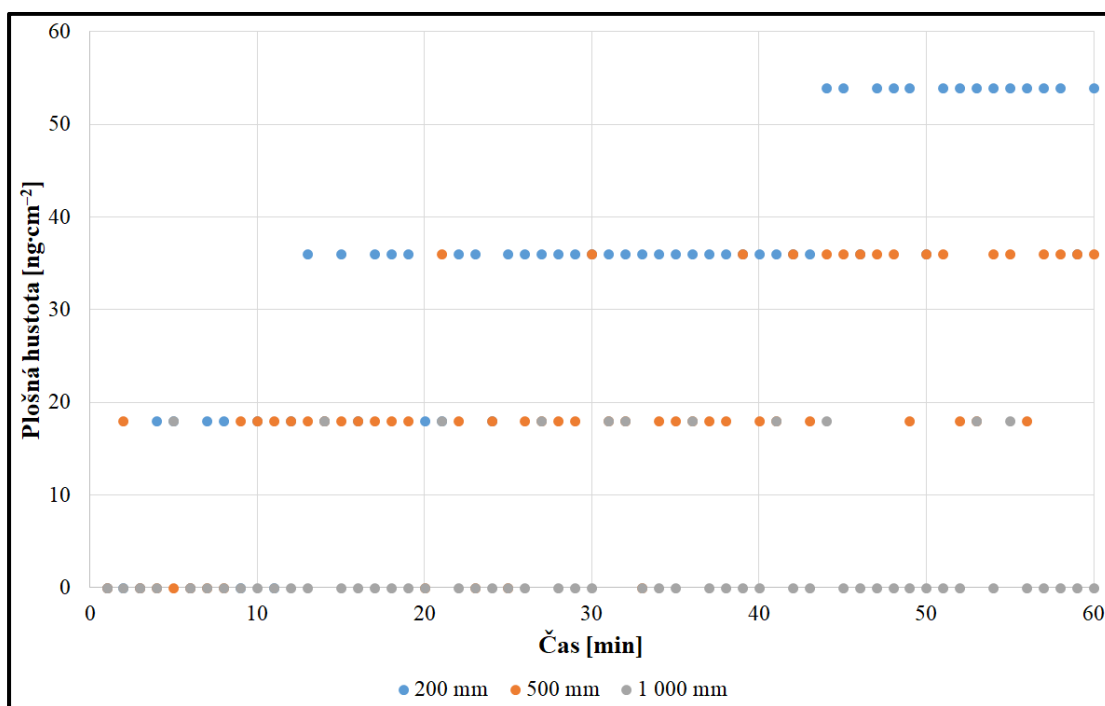
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v $[\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}]$

Vzdálenost [mm]	1.	10.	20.	30.	40.	50.	60.
1 000	0	0	0	0	0	0	0
500	0	18 ± 9	0	36 ± 9	18 ± 9	36 ± 9	36 ± 9
200	0	18 ± 9	18 ± 9	36 ± 9	36 ± 9	36 ± 9	54 ± 9

Čas [min]

Obr. 31: Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda v čase.

Na obr. 32 je zřejmá oscilace spadu zplodin výstřelu v průběhu času měření. Ta může být způsobena poměrně nízkou rozlišovací schopností mikrováhového senzoru. Stejně jako u předchozí nábojky nejsou viditelné některé hodnoty, neboť jsou překryty dalšími hodnotami.



Obr. 32: Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda průběžně v čase.

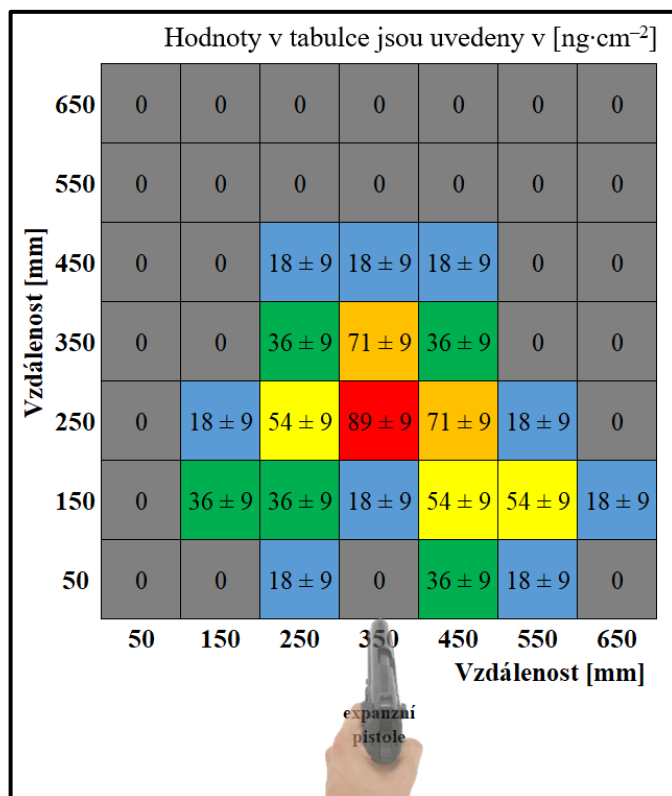
Na vzdálenost 1 000 mm nebyla detekovaná žádná změna plošné hustoty. Je to způsobeno tím, že došlo k dobrému hoření výmetné náplně a zápalkové složce a nevznikly tak hmotnější (těžší) částice zplodin výstřelu, které by doletěly na větší vzdálenost než ty méně hmotné (lehčí). Zvýšení zaznamenané plošné hustoty s větším časovým rozestupem po výstřelu je právě způsobeno především lehčími částicemi zplodin výstřelu, které zůstávají ve vzduchu delší dobu než ty hmotnější.

7.2.2 Spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění

Druhá část analýzy spadu zplodin výstřelu probíhala v maticovém rozmístění mikrováhového senzoru. K provedení experimentu bylo využito akustických nábojek Sellier & Bellot a TITAN. Pro každou vzdálenost a každý typ nábojky byly provedeny 3 výstřely, pro každý výstřel bylo provedeno samostatné měření spadu zplodin výstřelu v čase. Z výsledků těchto měření byl vypočten aritmetický průměr.

Akustická nábojka Sellier & Bellot

Na obr. 33 lze vidět umístění expanzní pistole vzhledem k maticovému rozmístění a hodnoty plošné hustoty zaznamenané mikrováhovým senzorem po 60 minutách od výstřelu. Největší hodnoty plošné hustoty byly zaznamenaný v ose střelby. Na vzdálenost 250 mm od ústí hlavně expanzní pistole byla zaznamenána nejvyšší hodnota, a to $(89 \pm 9) \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$.

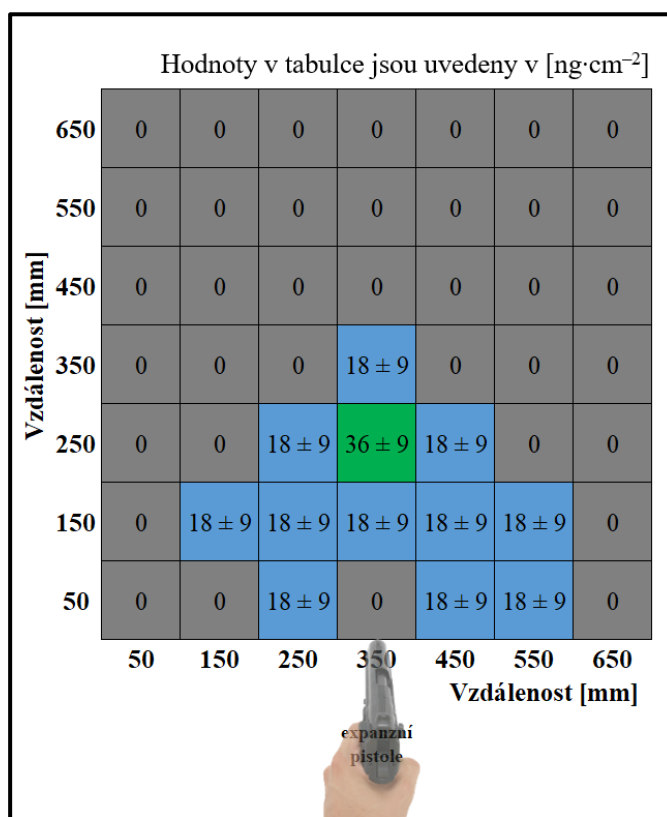


Obr. 33: Spad zplodin výstřelu u nábojky Sellier & Bellot po 60 minutách.

Testovaná nábojka poskytla informace o způsobu šíření zplodin výstřelu po výstřelu. Zaznamenaný spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění tvoří rozevírající se vějíř, který začíná u ústí hlavně expanzní pistole a s rostoucí vzdáleností se rozevívá. Na pravé straně expanzní pistole byl zaznamenán větší spad zplodin výstřelu než na levé straně. Tato nesymetričnost je způsobena tím, že na pravé straně se nachází výhozné okénko expanzní pistole, přes které je vyhazována nábojnice nábojky po výstřelu a ze kterého unikají zplodiny výstřelu, tak jak bylo uvedeno v kapitole 2.5.2. Podobný jev byl zaznamenán také v článku [38], který se zabýval distribucí částic GSR při střelbě z krátké palné kulové zbraně (pistole).

Akustická nábojka TITAN

U nábojky TITAN (obr. 34) byl zaznamenán poměrně malý spad zplodin výstřelu po 60 minutách od výstřelu, dokonce, podobně jako u předchozího typu nábojky Sellier & Bellot, přímo pod ústím hlavně expanzní pistole nedošlo ke změně plošné hustoty. Ve vzdálenosti 250 mm v ose střelby byla, stejně jako u nábojky Sellier & Bellot, zaznamenána nejvyšší plošná hustota. V tomto případě $(36 \pm 9) \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$.



Obr. 34: Spad zplodin výstřelu u nábojky TITAN po 60 minutách.

Stejně jako v případě nábojky Sellier & Bellot, i v tomto případě tvoří zaznamenaný spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění rozevírající se vějíř. Opět byl zaznamenán větší spad zplodin výstřelu napravo od expanzní pistole.

7.2.3 Souhrnné zhodnocení

Výsledné hodnoty měření jsou natolik malé, že mohou být lehce ovlivněny jakýmkoliv sebemenším vnějším vlivem, např. prouděním vzduchu. Vliv může mít i velikost zrn výmetné náplně a její složení, kdy u různých typů nábojek probíhá hoření jinak a množství a velikost zplodin výstřelu včetně částic GSR je tak specifická pro každý typ nábojky. Těžší částice zplodin výstřelu po výstřelu dolétnou do větší vzdálenosti a sedimentují rychleji než lehčí částice, které zůstávají v okolí expanzní pistole a sedimentují pomaleji.

U obou testovaných akustických nábojek byla na vzdálenost 250 mm od ústí hlavně expanzní pistole zaznamenána nejvyšší hodnota plošné hustoty spadu zplodin výstřelu. Nízké až nulové hodnoty byly zaznamenány ve větších vzdálenostech od hlavně, ale také ve čtverci přímo pod hlavní expanzní pistole. Tuto skutečnost lze vysvětlit tak, že zplodiny výstřelu jsou po výstřelu vymeteny z hlavně pryč a začíná na ně působit odpor vzduchu a gravitace.

Z provedených podpurných experimentů zabývajících se spadem zplodin výstřelu v přímém směru střelby nebo na maticovém rozmístění bylo zjištěno, že jsou výrazné rozdíly mezi jednotlivými nábojkami a výrobci. Tyto prvky tak do jisté míry ovlivňují schopnost výmetných náplní hořet a spalovat jednotlivé prvky. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.5.2, zplodiny výstřelu zahrnují vše, co opouští hlaveň expanzní zbraně po výstřelu.

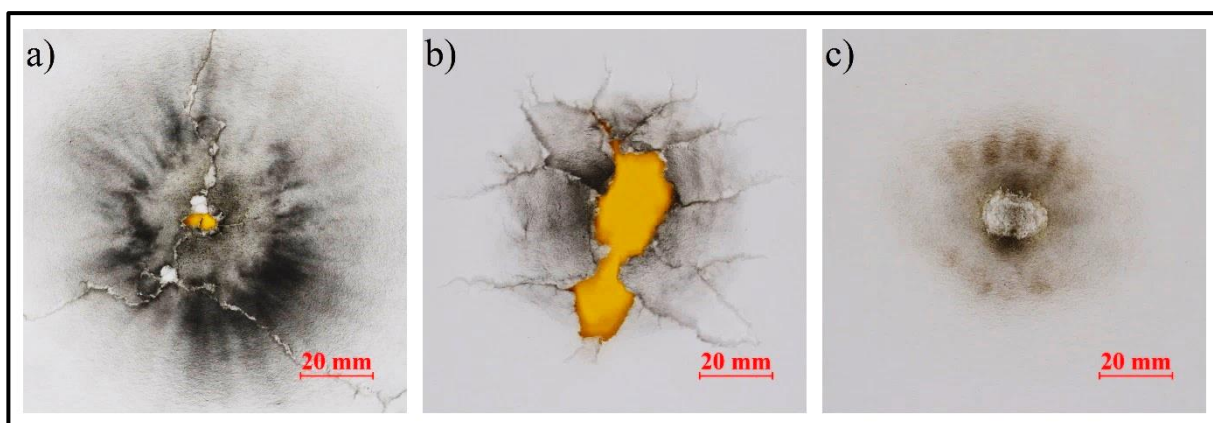
U nábojky Pobjeda nebyla na vzdálenost 1 000 mm zaznamenána žádná změna plošné hustoty, naopak u nábojky Fiocchi byla na nejkratší vzdálenost 200 mm zaznamenána minimální změna plošné hustoty zplodin výstřelu. Obdobně to platilo i u nábojek v maticovém rozmístění, kdy u nábojky TITAN byly po 60 minutách od výstřelu zaznamenány minimální hodnoty, zatímco u nábojky Sellier & Bellot byly zaznamenány plošné hustoty zplodin výstřelu mnohonásobně vyšší i ve větších vzdálenostech.

7.3 Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu

Pro porovnání, jak se liší rozptylové obrazce vzniklé střelbou z expanzní pistole oproti rozptylovým obrazcům vzniklým střelbou z krátké palné kulové zbraně (pistole), byla provedena střelba na záchyťový materiál ze dvou vzdáleností (30 a 180 mm). Byla použita krátká palná kulová zbraň Glock 17. Jako střelivo do této zbraně byly zvoleny náboj 9 mm Luger od společnosti Sellier & Bellot a nábojka 9 mm × 19 od společnosti Fiocchi. Vzniklé rozptylové obrazce byly porovnávány s obrazcem vytvořeným střelbou z expanzní pistole, přičemž byla použita akustická nábojka 9 mm P.A.K. od společnosti Walther.

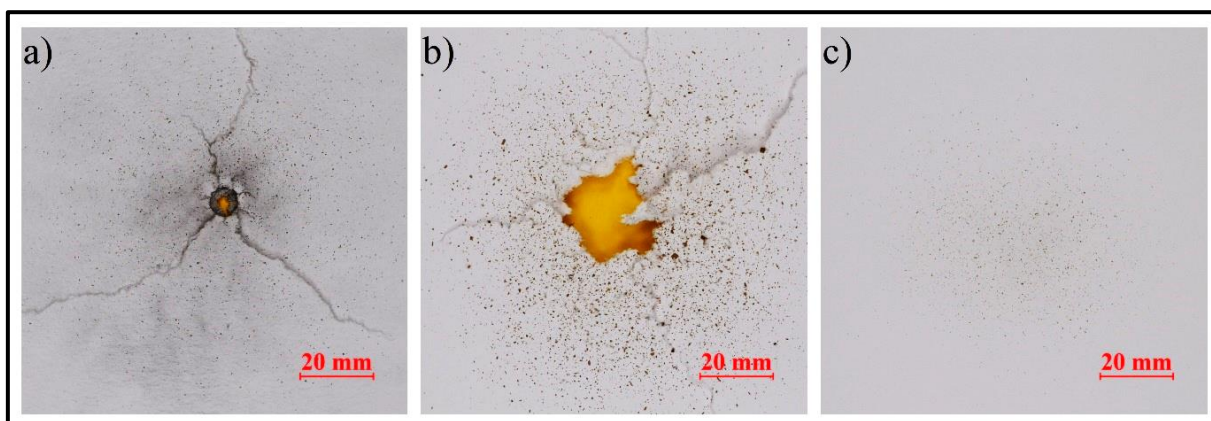
Z obr. 35 je patrné, že rozptylové obrazce, které byly zachyceny na kreslicím kartonu při vzdálenosti střelby 30 mm, se výrazně liší. U náboje 9 mm Luger (výrobce Sellier & Bellot) lze vidět průstřel záchyťového materiálu včetně

cípovitě perforace (obr. 35a). Ve srovnání s nábojkou 9 mm × 19 (výrobce Fiocchi) určenou do krátké palné kulové zbraně (pistole) je viditelná mnohem větší perforace záchytového materiálu i s vytvořeným rozptylovým obrazcem (obr. 35b). U rozptylového obrazce vzniklého výstřelem z expanzní pistole (nábojka 9 mm P.A.K výrobce Walther) lze pozorovat zmenšení vzniklého rozptylového obrazce oproti předešlým dvěma (obr. 35c). U tohoto obrazce je sice viditelné ohraničení (střed střelby), ale nedošlo k celkové perforaci záchytového materiálu. Zásadní rozdíl u vyobrazených rozptylových obrazců je, že u nábojky vystřelené z expanzní pistole (nábojka 9 mm P.A.K výrobce Walther) nedošlo k perforaci záchytového materiálu a rozptylový obrazec je mnohem menší a méně zřetelný než u obrazců vzniklých výstřelem z krátké palné kulové zbraně (pistole). Je to způsobeno tím, že palná kulová zbraň disponuje řádově vyšším výkonem, a tedy zplodiny výstřelu jsou z palné kulové zbraně vymeteny výrazně vyšším tlakem.



Obr. 35: Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu na vzdálenost 30 mm na kreslicí karton: a) náboj ráže 9 mm Luger, b) nábojka 9 × 19, c) nábojka 9 mm P.A.K.

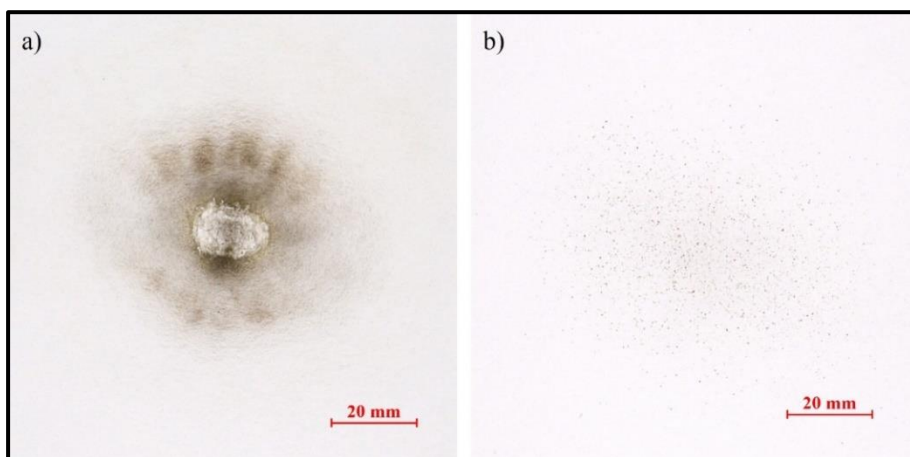
Na obr. 36 jsou srovnány rozptylové obrazce zplodin výstřelu vzniklé při střelbě ze vzdálenosti 180 mm. U náboje 9 mm Luger (výrobce Sellier & Bellot, obr. 36a) je jasně zřetelný průstřel s kruhovitým tvarem a trojcípou perforací záchytového materiálu. Také je zřejmý okem viditelný rozptylový obrazec, avšak vůči obrazci vzniklému při střelbě ze vzdálenosti 30 mm (obr. 35a) je tento rozptylový obrazec méně viditelný. Obr. 36b) představuje obrazec vzniklý při střelbě s nábojkou 9 mm × 19 (výrobce Fiocchi). Lze vidět, že také došlo k perforaci záchytového materiálu a cípovitému roztržení. Přestože část záchytového materiálu byla odtrhnuta, je rozptylový obrazec dostatečně zřetelný pouhým okem i na snímku. Obr. 36c) představuje rozptylový obrazec zplodin výstřelu vzniklý střelbou z expanzní pistole (nábojka 9 mm P.A.K výrobce Walther). Na tomto snímku již rozptylový obrazec není téměř viditelný.



Obr. 36: Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu na vzdálenost 180 mm na kreslicí karton: a) náboj ráže 9 mm Luger, b) nábojka 9 × 19, c) nábojka 9 mm P.A.K.

Z obr. 35 a 36 je patrné, že rozptylové obrazce zplodin výstřelu při použití krátké palné kulové zbraně se střelivem náboj 9 mm Luger výrobce Sellier & Bellot a nábojka 9 × 19 výrobce Fiocchi jsou mnohonásobně zřetelnější a práce s nimi, v porovnání s rozptylovými obrazci z expanzní pistole s nábojkou 9 mm P.A.K. výrobce Walther, je v určitém ohledu snazší. Tento diametrální rozdíl rozptylových obrazců zplodin výstřelu při použití různého typu střeliva je způsoben především hmotností (množstvím) výmetných náplní, které jednotlivé typu srovnávaného střeliva obsahují, a různými (maximálními) tlaky v hlavní použitých zbraní, které vznikají při výstřelu. Tyto parametry mají vliv na způsob hoření zápalkové složky a výmetné náplně a tím spojené množství zplodin výstřelu po výstřelu z palné zbraně. Výrazně větší úst'ový projev budou mít pistolové náboje standardní konstrukce oproti akustickým nábojkám určených do palných kulových i expanzních zbraní.

S ohledem na to je patrné, že postupy a metody používané pro krátké palné kulové zbraně není vhodné bez úprav vždy aplikovat na experimenty prováděné s expanzními zbraněmi. Současně je zřejmé, že výkon expanzních zbraní neumožňuje vznik rozptylových obrazců ve stejné vzdálenosti a kvalitě jako u palných kulových zbraní. Experimentálně bylo zjištěno, že rozptylové obrazce expanzních pistolí nejsou ve vzdálenostech vyšších než 200 mm od hlavně expanzní pistole s použitím akustické nábojky patrné, ve vzdálenostech cca 180–200 mm od hlavně nelze rozptylový obrazec vždy spolehlivě určit. Z těchto důvodů byl pro tuto práci stanoven rozsah vzdáleností 30 až 180 mm od hlavně expanzní pistole.



Obr. 37: Ukázka rozptylových obrazců zplodin výstřelu z expanzní pistole na vzdálenost: a) 30 mm a b) 180 mm.

Na obr. 37 jsou porovnány rozptylové obrazce zplodin výstřelu vzniklé střelbou z expanzní pistole s nábojkou 9 mm P.A.K. výrobce Walther, a to na vzdálenosti 30 mm a 180 mm. Zatímco při střelbě ze vzdálenosti 30 mm tvoří rozptylový obrazec na první pohled viditelný shluk zplodin výstřelu do jasně zřetelného rozptylového obrazce (obr. 37a), při střelbě ze vzdálenosti 180 mm je rozptylový obrazec mnohem méně zřetelný (obr. 37b). Je tedy zjevné, že s rostoucí vzdáleností střelby se rozptylový obrazec zvětšuje a v souvislosti s tím i klesá hustota zplodin výstřelu v rozptylovém obrazci zplodin výstřelu na jednotku plochy záchyťového materiálu.

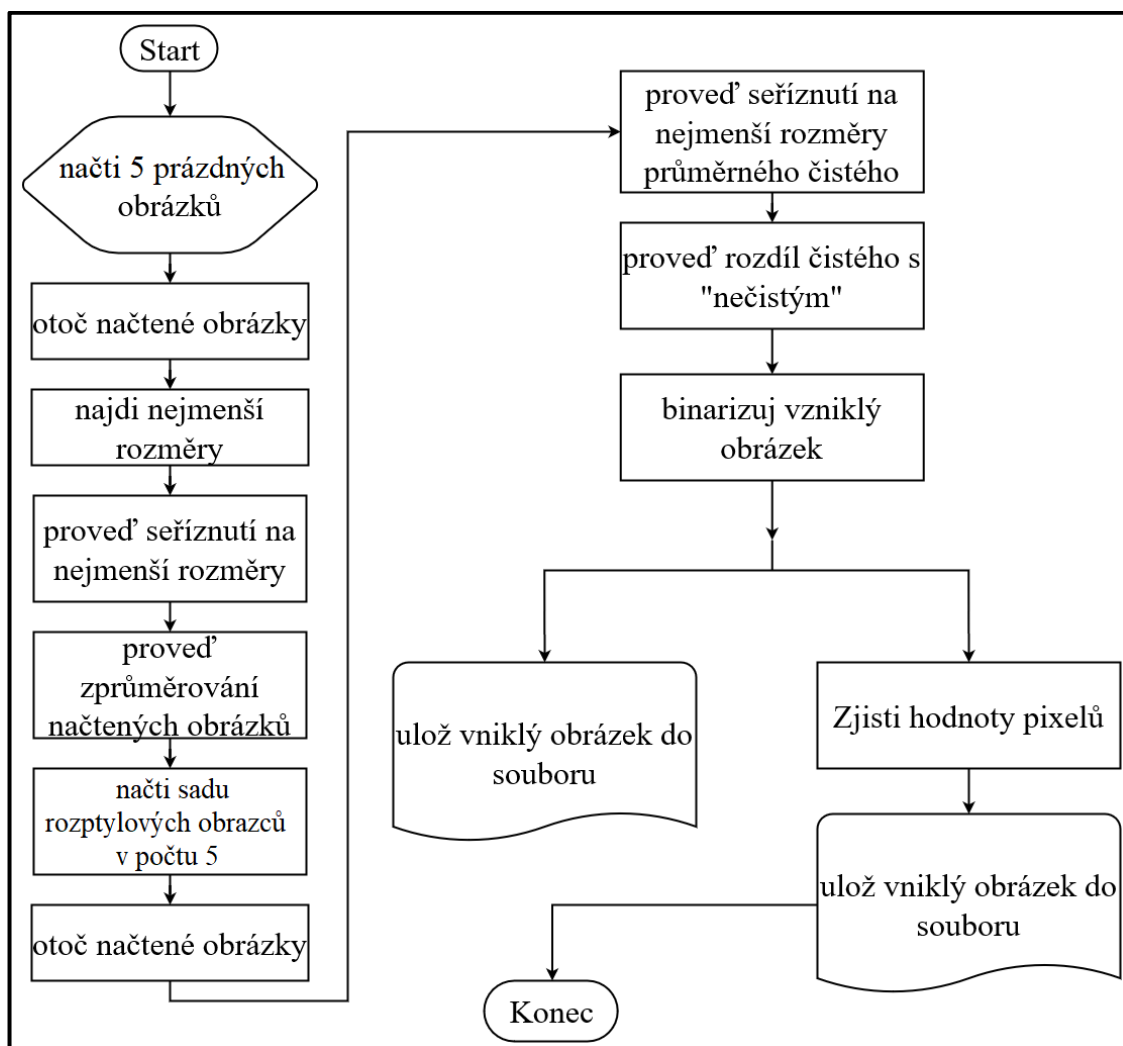
7.4 Výsledky ze softwaru Wolfram Mathematica

Pomocí SW Wolfram Mathematica byla provedena automatická analýza digitálních fotografií rozptylových obrazců zplodin výstřelu (kapitola 6.5.3). Pro automatickou analýzu byl v prostředí Wolfram Mathematica vytvořen vlastní algoritmus, jenž je popsán vývojovým diagramem (obr. 38).

Nejprve byly načteny fotografie prázdných záchyťových materiálů (celkem 5 ks, pro každý typ použité nábojky), které byly pořízeny před každou sérií střelby, jako referenční vzorek záchyťového materiálu. Všechny digitální snímky byly z důvodu snazší práce pořízeny otočené o 90° proti směru hodinových ručiček. Po nahrání do prostředí Wolfram Mathematica byly snímky otočeny zpět o 90° po směru hodinových ručiček, tedy do orientace odpovídající záchyťovému materiálu při střelbě. Snímky prázdného záchyťového materiálu byly oříznuty na stejnou velikost a následně zprůměrovány vzhledem k počtu černých a bílých pixelů do jednoho výsledného referenčního snímku.

K prvotnímu otestování a zjištění nejlepší metody k dalšímu vyhodnocení bylo použito skenování a následně fotografování s použitím nábojky Walther. Po vyhodnocení testovacích sérií a vyvození závěrů z testování byla následně

znovu nastřílena série s nábojkou Walter a dále série s nábojkami Pobjeda a TITAN.

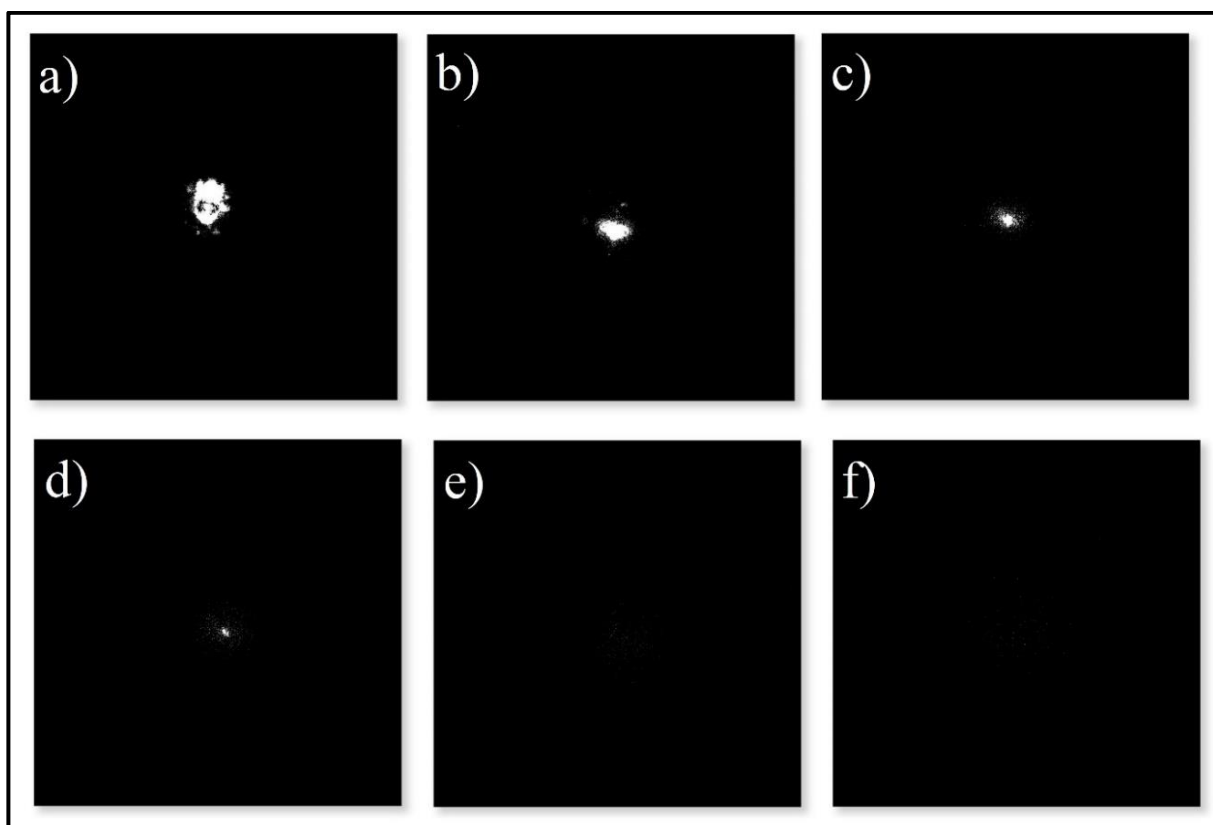


Obr. 38: Vývojový diagram pro automatizovanou analýzu rozptylových obrázků zplodin výstřelu na záchytovém materiálu.

Při zpracovávání digitálních fotografií byl vždy zachován stejný postup algoritmu dle uvedeného vývojového diagramu (obr. 38). Nejprve byla načtena sada fotografií rozptylových obrázků pro vybranou vzdálenost a typ nábojky. Tyto snímky byly rovněž otočeny a seřiznuty tak, aby měly srovnávané snímky stejné rozměry a celkové počty pixelů jako výsledný referenční snímek (při srovnávání všech 3 typů nábojek byly rozměry seřiznuty u všech typů nábojek na stejné rozměry). Dále byl proveden rozdíl výsledného referenčního snímku s každým snímek s rozptylovým obrazcem zplodin výstřelu (každého typu použité nábojky zvlášť) a bylo odstraněno pozadí. Takto vzniklý jeden snímek byl dále binarizován pomocí příkazu *Binarize*. Binarizace představuje jednu z nejběžnějších segmentačních technik k převedení barevného snímku na snímek, kde každý pixel představuje hodnotu 0 (černá) nebo 1 (bílá). U příkazu *Binarize* bylo ponecháno základní nastavení „Cluster“; toto nastavení funguje na principu

porovnání úrovně intenzity jednotlivých pixelů. Vznikne tak snímek, kde pixely odpovídající zplodinám výstřelu jsou bílé (hodnota 1) a vše ostatní je černé (hodnota 0) – obr. 39. Po provedení příkazu *Binarize* byl snímek uložen do souboru PNG a paralelně s tím byly zjištěny celkové počty černých a bílých pixelů na oříznutém a zprůměrovaném snímku. Tyto hodnoty byly uloženy do souboru TXT zvlášť pro každou vzdálenost, sérii a typ nábojky. Při použití skenů záchyťového materiálu jako zdrojových digitálních dat pro algoritmus byl postup algoritmu shodný, pouze byl vynechán krok otáčení snímků.

Ukázka výsledných snímků z nábojky Walther pro jednotlivé vzdálenosti je zobrazena na obr. 39. Je patrné, že až do vzdálenosti 120 mm (obr. 39d) je rozptylový obrazec viditelný pouhým okem a je také patrná změna. U zbylých dvou vzdáleností (obr. 39e, 39f) není po provedení algoritmu změna patrná, na zdrojových fotografiích a původních záchyťových materiálech jsou jisté minimální stopy a změny rozeznatelné.



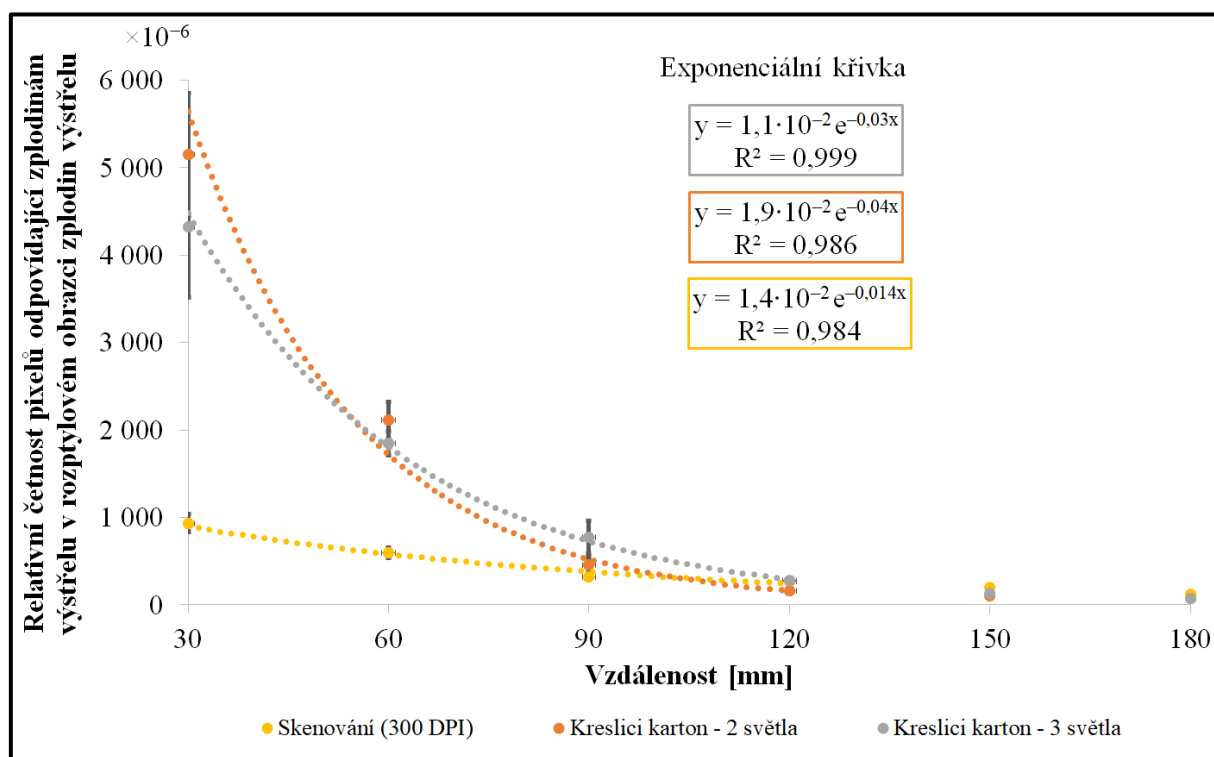
Obr. 39: Ukázka binárních snímků provedených automatickým zpracováním fotografie algoritmem k určení hodnot pixelů v nich na vzdálenost: a) 30 mm, b) 60 mm, c) 90 mm, d) 120 mm, e) 150 mm a f) 180 mm.

Z provedeného algoritmu bylo do souboru TXT uloženo vždy 5 hodnot pro danou vzdálenost a typ použité nábojky. Celkem bylo při prvotním vyhodnocení vytvořeno 12 souborů pro digitální fotografie (6 souborů pro fotografie pořízené se dvěma světly a 6 pro fotografie pořízené se třemi světly)

a 6 souborů pro skeny záchyťových materiálů, kdy jeden soubor odpovídal jedné vzdálenosti a jedné metodě digitalizace rozptylových obrazců.

Při další práci, již na základě poznatků vyplynuvších z provedených testovacích experimentů, bylo vytvořeno 18 souborů (3 typy nábojek s 6 vzdálenostmi), přičemž každý soubor obsahoval 5 hodnot odpovídajících 5 opakováním (výstřelům).

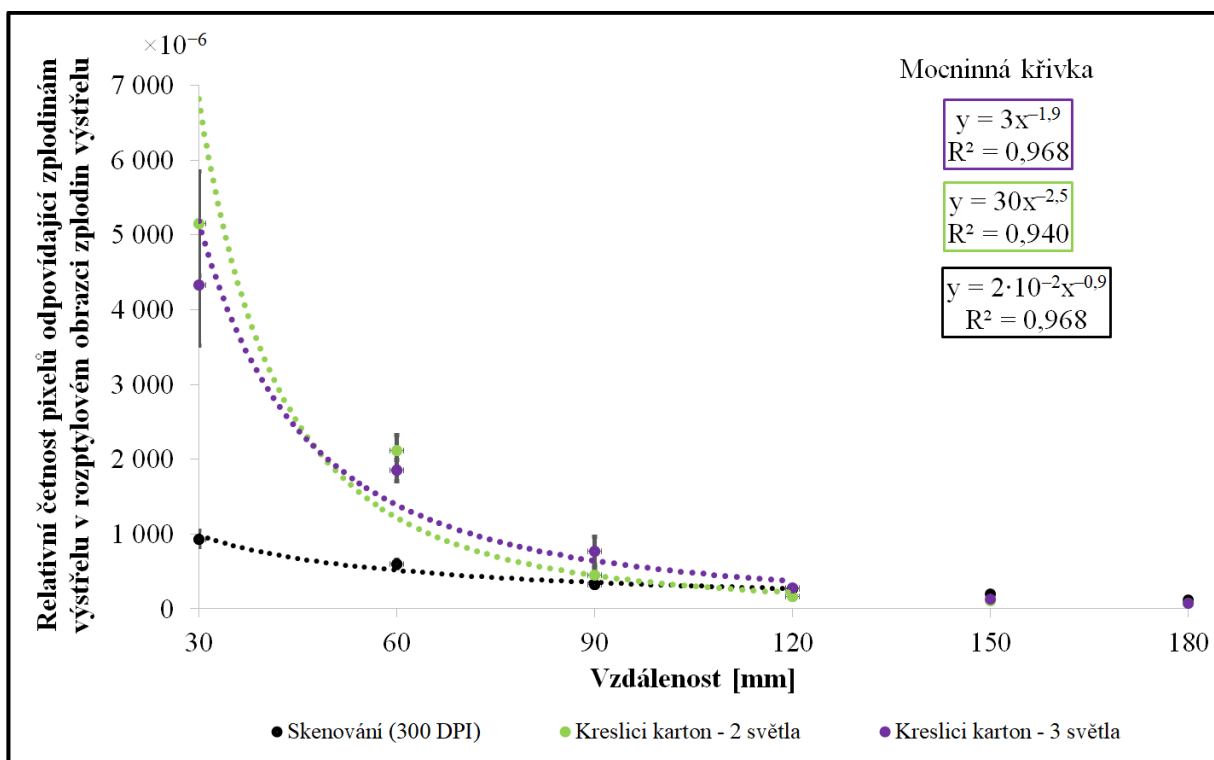
Z dat uložených do souborů TXT byl vypočten podíl počtu pixelů odpovídajících zplodinám výstřelu k celkovému počtu pixelů (tj. relativní četnost pixelů odpovídajících zplodinám výstřelu); z důvodu nízkých hodnot byl poměr vynásoben konstantou 10^6 . Výsledky získané zpracováním digitálních záznamů rozptylových obrazců byly vyneseny do grafu (obr. 40 a obr. 41) a hodnoty odpovídající každé metodě záznamu (skenování, fotografování pomocí dvou a pomocí tří světel) byly proloženy exponenciální (obr. 40) a mocninnou (obr. 41) křivkou [přiměřeně s ohledem na 54,69].



Obr. 40: Proložení exponenciální křivky ze zjištěných relativních četností zplodin výstřelu pro vzdálenosti 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.

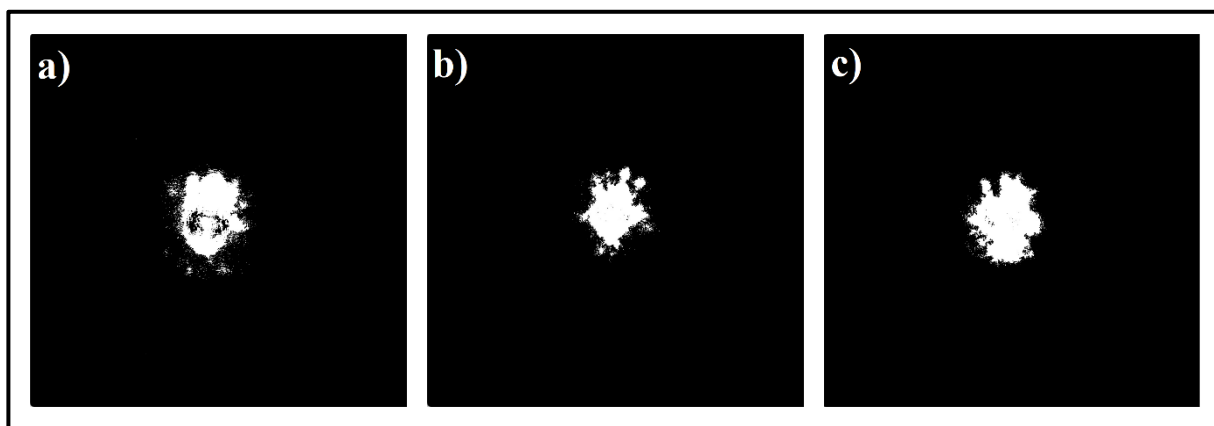
Z výsledků vynesných v obr. 40 a 41 vyplývá, že metoda skenování nebyla vhodná, neboť i při využití nejvyššího rozlišení, které skener poskytoval (300 DPI) byla rozlišovací schopnost přibližně 0,1 mm na pixel, zatímco při fotografování (24 Mpx) byla rozlišovací schopnost až $1,06 \cdot 10^{-6}$ mm. Při vyhodnocování výsledků bylo zjištěno, že optimálních výsledků bylo dosaženo pro vzdálenosti od 30 do 120 mm při fotografování s osvětlením třemi

světly, neboť pro proloženou exponenciální křivku (obr. 40) vychází hodnota spolehlivosti R^2 téměř 100 %.



Obr. 41: Proložení mocninné křivky ze zjištěných relativních četností zplodin výstřelu pro vzdálenost 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.

Na základě vyhodnocení testovacích experimentů s nábojkou Walther byly stanoveny podmínky pro další experimenty (automatické seřiznutí na stejnou velikost, použití metody fotografování a se třemi světly). Takto byly experimenty provedeny se všemi 3 akustickými nábojkami (opětovně Walther, Pobjeda a TITAN). Na obr. 42 je ilustrativně zachyceno srovnání binárních snímků rozptylových obrazců jednotlivých nábojek na vzdálenost 30 mm.

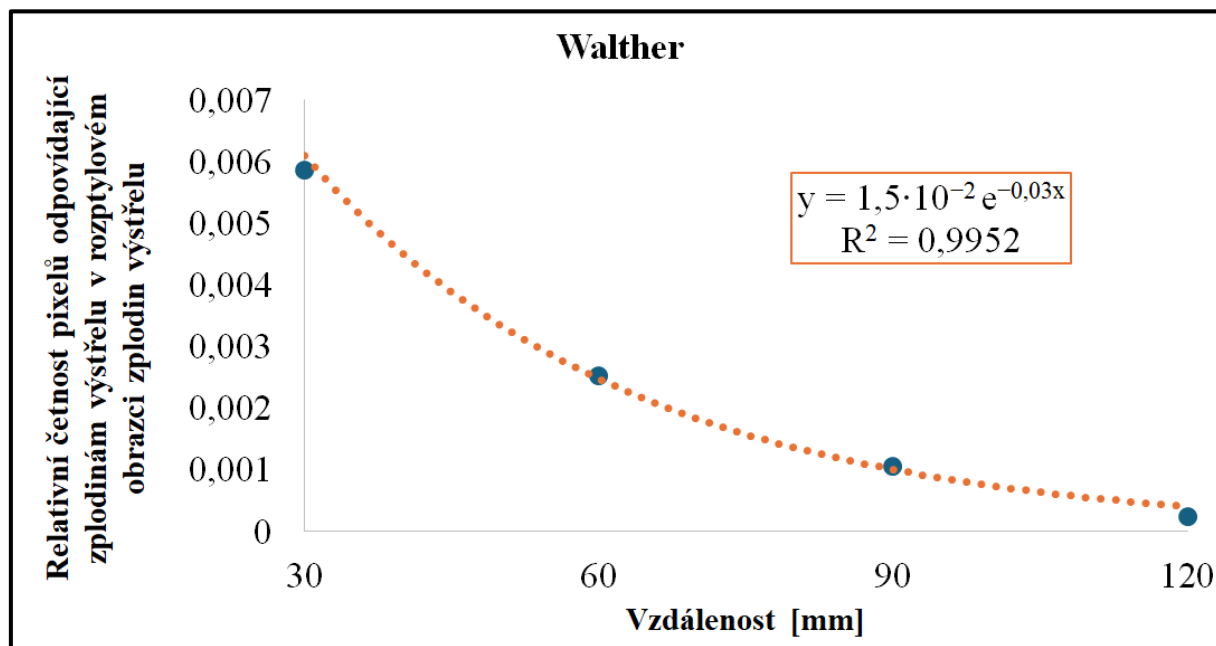


Obr. 42: Ilustrační srovnání binárních snímků na vzdálenost 30 mm pro akustické nábojky výrobců: a) Walther, b) Pobjeda a c) TITAN.

Na základě těchto zjištění a výstupů předchozích měření a analýz bylo přistoupeno k nalezení matematického vztahu, jímž by bylo možno odhadnout vzdálenost střelby z expanzní pistole. Matematický vztah byl vytvořen na základě datové analýzy vycházející z relativních četností pixelů odpovídající zplodinám výstřelu v rozptylových obrazcích zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti střelby. Byly použity hodnoty relativních četností pixelů pro vzdálenosti 30, 60, 90 a 120 mm, vše pro expanzní pistoli s akustickými nábojkami Walther, Pobjeda a TITAN. Naměřené hodnoty pro vzdálenosti 150 a 180 mm nebyly použity, neboť je již nebylo možno spolehlivě odlišit od nejistot měření a mohly by přispět ke zkreslení výsledného vztahu.

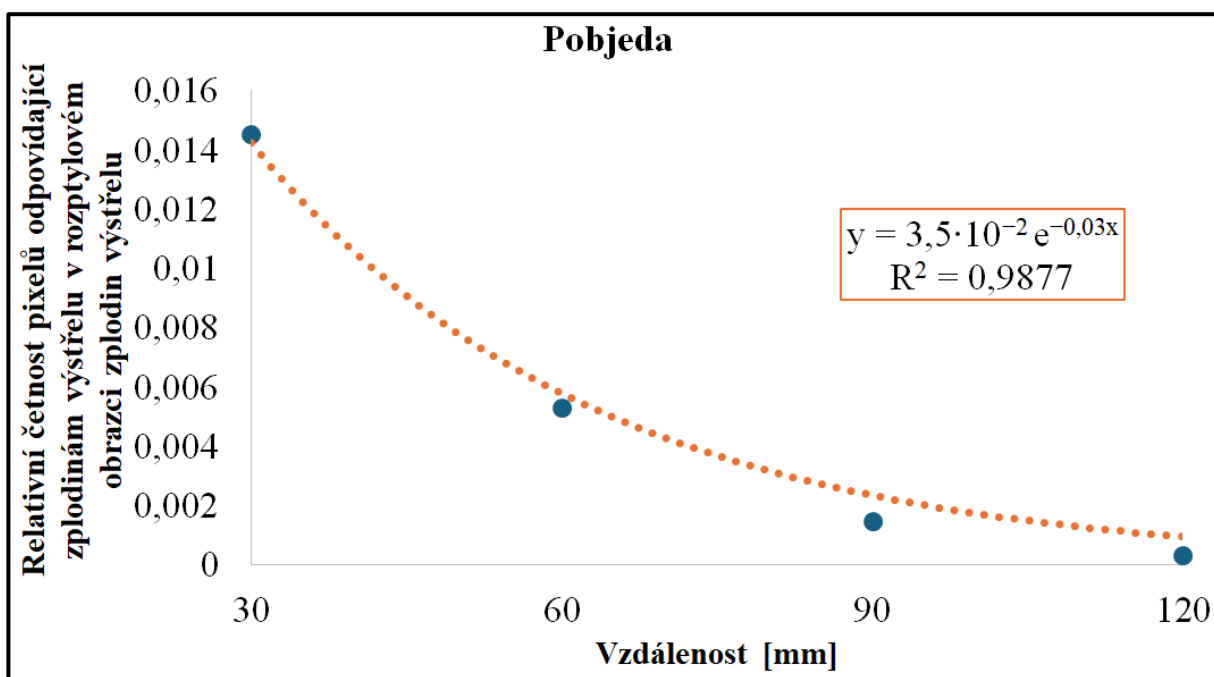
Na následujících obr. 43–45 jsou uvedeny testované akustické nábojky (Walther, Pobjeda a TITAN) s proložením obecné exponenciální křivky včetně určení parametru A dané testované akustické nábojky.

Na obr. 43 je zobrazeno proložení obecné exponenciální křivky vyhodnocenými hodnotami u akustické nábojky Walther. Proložení obecnou exponenciální křivkou byl zjištěn parametr A pro nábojku Walther, který byl určen jako $1,5 \cdot 10^{-2}$. Hodnota spolehlivosti R^2 činí více než 99 %.



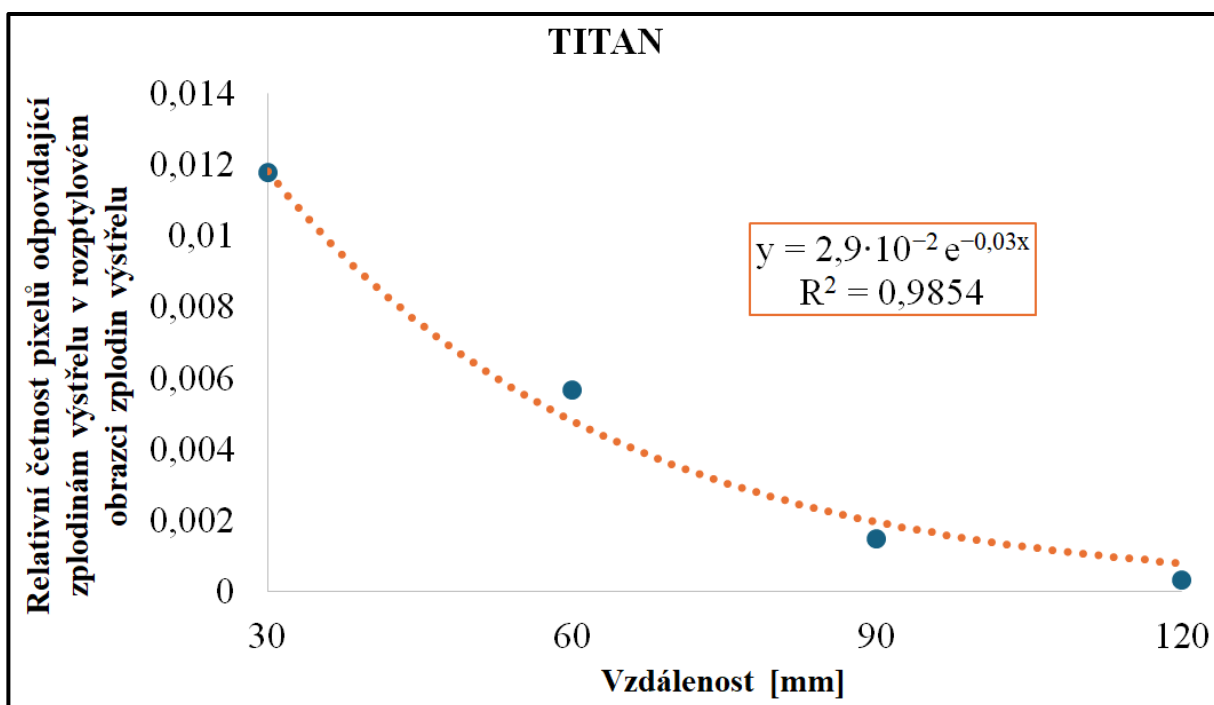
Obr. 43: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Walther.

Pro testovanou akustickou nábojku Pobjeda byl určen parametr A o hodnotě $3,5 \cdot 10^{-2}$ (viz obr. 44). Hodnota spolehlivosti R^2 činí téměř 99 %.



Obr. 44: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Pobjeda.

Pro testovanou akustickou nábojku TITAN byl určen parametr A o hodnotě $2,9 \cdot 10^{-2}$ (viz obr. 45). Hodnota spolehlivosti R^2 činí téměř 99 %.



Obr. 45: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky TITAN.

Z předchozích obr. 43–45 byl vybrán ze všech matematických vztahů testovaných akustických nábojek obecný matematický vztah, který lze popsat následující rovnicí

$$y = A \cdot e^{-0,03 \cdot x}, \quad (7.4.1)$$

kde y je relativní četnost pixelů odpovídající zplodinám výstřelu v rozptylovém obrazci zplodin výstřelu, A je parametr použité akustické nábojky a x (mm) představuje vzdálenost střelby v milimetrech. Úpravou této rovnice lze získat matematický vztah pro určení odhadu vzdálenosti střelby x na základě relativní četnosti pixelů odpovídající zplodinám výstřelu v rozptylovém obrazci zplodin výstřelu, který je popsán následující rovnicí:

$$x = -33,3 \cdot \ln \frac{y}{A} \quad (7.4.2)$$

a po úpravě

$$x = -33,3 \cdot [\ln(y) - \ln(A)]. \quad (7.4.3)$$

Po dosazení za x a y do matematického vztahu (7.4.3) je možné výsledný matematický vztah zapsat jako:

$$\text{vzdálenost [mm]} = -33,3 \cdot [\ln(\text{relativní četnost}) - \ln(A)]. \quad (7.4.4)$$

Pro zvolenou metodu fotografování pomocí tří světél byla stanovena standardní nejistota typu A pro jednotlivé vzdálenosti střelby v rozmezí 7–28 %. Vzdálenost střelby lze odhadnout do 120 mm. Větší vzdálenosti nelze s ohledem na zjištěné nejistoty měření rozlišit.

Byla vybrána exponenciální závislost relativní četnosti pixelů odpovídajících zplodinám výstřelu, což koresponduje s poznatkem v článku [69], s tím rozdílem, že v uvedeném článku pracovali s krátkou palnou kulovou zbraní, a tudíž se odhadovaná vzdálenost střelby pohybuje ve vyšších hodnotách.

8. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Předložená disertační práce se zabývá analýzou rozptylových obrazců zplodin výstřelu z expanzní pistole pro odhad vzdálenosti střelby.

Z provedené rešerše odborné literatury a publikací uvedených v databázích Web of Science a SCOPUS vyplývá, že zatímco pro palné kulové zbraně byly možnosti stanovení odhadu vzdálenosti střelby poměrně hojně zkoumány a výsledky těchto výzkumů byly publikovány ve veřejně přístupné odborné literatuře, expanzním zbraním nebyla v tomto ohledu věnována srovnatelná pozornost. Přínosem pro vědu tedy je vytvořený matematický model pro stanovení odhadu vzdálenosti střelby z expanzní pistole na základě vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu.

Matematický model vytvořený v rámci této práce může sloužit jako základ pro další výzkum v této oblasti. Nabízí se například rozšíření experimentu o další druhy nábojek, zbraní a zvýšení počtu opakování experimentu. Může být prověřeno doplnění matematického modelu o další parametry, které mohou mít na výsledný rozptylový obrazec zplodin výstřelu vliv (např. délka hlavně zbraně, konstrukční provedení přepážek v hlavni, použití nástavce na odpalování pyrotechniky, čistota zbraně a vliv reziduí usazených v přepážkách aj.). Dále mohou být zdokonaleny metody zaznamenávání rozptylových obrazců zplodin výstřelu, respektive jejich digitalizace pro další archivaci (vznik databáze) a zpracování, nabízí se také využití strojového učení (umělá inteligence – AI) pro analýzu obrazových dat.

Dalším přínosem je ucelenější zpracování informací o expanzních zbraních a střelivu do nich, a také návrh možných metod použitelných při zkoumání střelby z expanzních zbraní.

Výsledky práce představují přínos pro odbornou komunitu, jako jsou výzkumníci, soudní znalci, balistíci, soudní lékaři, forenzní technici a také pro orgány činné v trestním řízení. Jelikož odborná komunita se majoritně zaměřuje na palné kulové zbraně, které mají větší ranivý potenciál a účinek, poskytuje tato práce nové informace. Odborníci mohou závěry z práce využít jako podklad při zpracování znaleckých posudků. Práce může být rovněž přínosná pro orgány činné v trestním řízení při prověřování, vyšetřování a objasňování násilných trestných činů s použitím expanzní zbraně.

V neposlední řadě může být práce přínosná pro konstruktéry zbraní a střeliva. Přínos pro tuto oblast lze spatřovat zejména v poznatcích týkajících se šíření a snazší identifikace zplodin výstřelu, a to např. přidání luminiscenčních prvků do výmetné náplně nebo zápalkové složky pro usnadnění identifikace použitého střeliva.

ZÁVĚR

Disertační práce je zaměřena na odhad vzdálenosti střelby z expanzní pistole na základě vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu. Z provedené rešerše vyplynulo, že tématu odhadu vzdálenosti střelby na základě vzniklých rozptylových obrazců zplodin výstřelu expanzních zbraní není věnována dostatečná pozornost, což je usuzováno z nedostatečného publikování vědeckých článků uveřejněných v databázích Web of Science a SCOPUS.

V rámci práce bylo provedeno velké množství experimentů souvisejících s expanzními zbraněmi. Nejprve byla zjištěna hmotnost výmetných náplní použitých akustických nábojek. Z naměřených hodnot vyplynulo, že jednotlivé typy nábojek se liší hmotností výmetné náplně, což může mít vliv na množství zplodin výstřelu a na rozptylové obrazce zplodin výstřelu.

Spad zplodin výstřelu byl měřen pomocí mikrováhového senzoru. Bylo zjištěno, že různé druhy nábojek se od sebe liší, což je dáno především tím, že výmetné náplně a zápalkové složky mají specifické složení. To ovlivňuje i hoření a spalování výmetných náplní, a tudíž i distribuci zplodin výstřelu do okolí expanzní pistole. Zaznamenání distribuce zplodin výstřelu v prostoru tak může být využito jako doplňková metoda pro odhad vzdálenosti střelby.

Pro zaznamenání rozptylových obrazců zplodin výstřelu byl jako záchyťový materiál využit kreslicí karton. Rozptylové obrazce zplodin výstřelu byly do digitální podoby převáděny třemi metodami, a to naskenováním pomocí multifunkční tiskárny, vyfotografováním při nasvícení dvěma světly a vyfotografováním při nasvícení třemi světly. Digitální snímky byly následně analyzovány pomocí algoritmu vytvořeného v prostředí Wolfram Mathematica. Při vyhodnocování výsledků bylo zjištěno, že optimálních podmínek pro digitalizaci záchyťových materiálů bylo dosaženo při fotografování s osvětlením třemi světly. Byl vytvořen matematický model pro určení odhadu vzdálenosti střelby na základě relativní četnosti pixelů odpovídajících částicím zplodin výstřelu v obraze, a to pro vzdálenosti střelby 30–120 mm. Větší vzdálenosti nelze s ohledem na zjištěné nejistoty měření rozlišit. Vytvořená metodika může posloužit jako podklad při zpracování znaleckých posudků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních). In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2002, ročník 2002, částka 52, číslo 119, s. 3038-3070. ISSN 1211-1244. V platném znění.
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon, kterým se mění zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních), ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 156/2000 Sb., o ověřování střelných zbraní a střeliva, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2021, ročník 2021, částka 8, číslo 13, s. 194-214. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=13&r=2021>
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/555 ze dne 24. března 2021 o kontrole nabývání a držení zbraní (kodifikované znění). *EUR-Lex* [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, c2023, 6.4.2021, nahrazení směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2017/853 ze dne 17. května 2017 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021L0555>
- [4] *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, c2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/>
- [5] ŠAFR, Miroslav a Petr HEJNA. *Střelná poranění*. Praha: Galén, c2010. ISBN 978-80-7262-696-0.
- [6] ČSN 39 5002. *Civilní střelné zbraně a střelivo - Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2023, 99 s. Třídící znak 39 5002.
- [7] SVOBODA, Ivo. *Kriminalistika*. Ostrava: Key Publishing, 2016. Učebnice (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-259-4.
- [8] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon trestní zákoník. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2009, ročník 2009, částka 11, číslo 40, s. 354-464. ISSN 1211-1244. S úpravou od 5.1.2023.

- [9] JUŘÍČEK, L. a kol. *Česko-slovenský terminologický slovník pojmů z oblasti střelných zbraní, munice, balistiky, pyrotechniky a soudního lékařství - Česko-slovenský terminologický slovník pojmů z oblasti střelných zbraní, munície, balistiky, pyrotechniky a súdneho lekárstva*. Akadémia Policajného zboru v Bratislave, Sklabinská 8414/1, 835 17 Rača, Slovensko. Tisk: Centrum polygrafických služieb, Bratislava, 2019, 279 s. ISBN 978-80-8054-800-1.
- [10] PLANKA, Bohumil et al. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-036-9.
- [11] GRACLA, Michal. *Alternativní balistické vylepšení automobilu*. Zlín, 2015. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Malánik, DCv.
- [12] DALBY, Oliver, David BUTLER a Jason W. BIRKETT. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials-A Review. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2010, **55**(4), 924-943 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00221198. Dostupné z: doi:10.1111/j.1556-4029.2010.01370.x
- [13] ČANDA, Miroslav. *Srovnání balistických charakteristik loveckého kulového střeliva*. Ostrava, 2016, 89 s. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Komenda, CSc.
- [14] DALBY, Oliver, David BUTLER a Jason W. BIRKETT. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials-A Review. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2010, **55**(4), 924-943 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00221198. Dostupné z: doi:10.1111/j.1556-4029.2010.01370.x
- [15] PLATTNER, T., B. KNEUBUEHL, M. THALI a U. ZOLLINGER. Gunshot residue patterns on skin in angled contact and near contact gunshot wounds. *Forensic Science International* [online]. 2003, **138**(1-3), 68-74 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2003.08.011
- [16] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2013. ISBN 978-80-206-0749-2.
- [17] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o dovoleném výrobním provedení plynové zbraně a expanzní zbraně a o technických požadavcích na plynové nábojky pro expanzní zbraně. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2021, ročník 2021, částka 66, číslo 162, s. 1386-1388. ISSN 1211-1244. V platném znění.

- [18] ČSN 39 5001. *Expanzní zbraně a zvláštní zbraně: Technické požadavky. Zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, c2021.
- [19] 9 mm PAK metszet. In: *Kaliber Info* [online]. Maďarsko: Direx Média Kft, 2020 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <http://www.kaliberinfo.hu/wp-content/uploads/2018/06/9-mm-pak-metszet.jpg>
- [20] PALOUNEK, Jan. *Zbraně na granule a nábojky s granulemi*. ČÚZZS Praha, 2020.
- [21] SIEGEL, Jay A., Pekka SAUKKO a Max M. HOUCK, ed. *Encyclopedia of forensic sciences*. Second edition. Amsterdam: Elsevier, [2013]. ISBN 978-0-12-382165-2.
- [22] TUĞCU, Harun, Coşkun YORULMAZ, Görgün BAYRAKTAROĞLU, Hüseyin BÜLENT ÜNER, Yıldırım KARSLIOĞLU, Sermet KOÇ, Mustafa ÖZER ULUKAN a Bülent CELASUN. Determination of Gunshot Residues with Image Analysis: An Experimental Study. *Military Medicine* [online]. 2005, **170**(9), 802-805 [cit. 2023-04-24]. ISSN 0026-4075. Dostupné z: [doi:10.7205/MILMED.170.9.802](https://doi.org/10.7205/MILMED.170.9.802)
- [23] ZEICHNER, Arie a Baruch GLATTSTEIN. Recent Developments in the Methods of Estimating Shooting Distance. *The Scientific World JOURNAL* [online]. 2002, **2**, 573-585 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1537-744X. Dostupné z: [doi:10.1100/tsw.2002.140](https://doi.org/10.1100/tsw.2002.140)
- [24] PUN, Ka-Man a Alain GALLUSSER. Macroscopic observation of the morphological characteristics of the ammunition gunpowder. *Forensic Science International* [online]. 2008, **175**(2-3), 179-185 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: [doi:10.1016/j.forsciint.2007.06.021](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.06.021)
- [25] AGUILAR, Juan R., Edward M. CARAPEZZA a Sachi V. DESAI. *Model for small arms fire muzzle blast wave propagation in air* [online]. 2011-10-6, 81840B- [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: [doi:10.1117/12.903043](https://doi.org/10.1117/12.903043)
- [26] BAILEY, James A., Ruby S. CASANOVA a Kim BUFKIN. A Method for Enhancing Gunshot Residue Patterns on Dark and Multicolored Fabrics Compared with the Modified Griess Test*. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2006, **51**(4), 812-814 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1556-4029.2006.00170.x](https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00170.x)

- [27] LÓPEZ-LÓPEZ, Maria a Carmen GARCÍA-RUIZ. Recent non-chemical approaches to estimate the shooting distance. *Forensic Science International* [online]. 2014, **239**, 79-85 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2014.03.023
- [28] NEELY, Amanda. *Primer Gunshot Residue* [online]. Nebraska State Patrol Crime Lab: Nebraska, s. 60 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: https://statepatrol.nebraska.gov/sites/default/files/pgsr_presentation.pdf
- [29] SHRIVASTAVA, Priya, V. K. JAIN a Suman NAGPAL. Gunshot residue detection technologies—a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2023-04-23]. ISSN 2090-5939. Dostupné z: doi:10.1186/s41935-021-00223-9
- [30] STAMOULI, Amalia, Ludwig NIEWÖHNER, Magnus LARSSON, Bertrand COLSON, Steffen UHLIG, Lubor FOJTASEK, Fatima MACHADO a Lawrence GUNARATNAM. Survey of gunshot residue prevalence on the hands of individuals from various population groups in and outside Europe. *Forensic Chemistry* [online]. 2021, **23** [cit. 2023-04-23]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2021.100308
- [31] MENG, Hsien-Hui a Hsei-Chang LEE. Elemental analysis of primer mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in Taiwan. *Forensic Science Journal* [online]. 2007, 2007, **6**(1), 39-54 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: fsjournal.cpu.edu.tw
- [32] MOU, Yongyan, Jyoti LAKADWAR a J. Wayne RABALAIS. Evaluation of Shooting Distance by AFM and FTIR/ATR Analysis of GSR. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2008 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00221198. Dostupné z: doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00854.x
- [33] LÓPEZ-LÓPEZ, María, César ALVAREZ-LLAMAS, Jorge PISONERO, Carmen GARCÍA-RUIZ a Nerea BORDEL. An exploratory study of the potential of LIBS for visualizing gunshot residue patterns. *Forensic Science International* [online]. 2017, **273**, 124-131 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2017.02.012
- [34] SILVA, Maria José, Juliana CORTEZ, Celio PASQUINI, Ricardo S. HONORATO, Ana Paula S. PAIM a Maria Fernanda PIMENTEL. Gunshot residues: screening analysis by laser-induced breakdown spectroscopy. *Journal of the Brazilian Chemical Society* [online]. 2009, **20**(10), 1887-1894 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0103-5053. Dostupné z: doi:10.1590/S0103-50532009001000017

- [35] MERLI, Daniele, Alberto BRANDONE, Alberto AMADASI, Cristina CATTANEO a Antonella PROFUMO. The detection of gunshot residues in the nasal mucus of suspected shooters. *International Journal of Legal Medicine* [online]. 2016, **130**(4), 1045-1052 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0937-9827. Dostupné z: doi:10.1007/s00414-016-1375-7
- [36] VINOKUROV, Asya, Avraham ZELKOWICZ, Ehud (Udi) WOLF a Arie ZEICHNER. The influence of a possible contamination of the victim's clothing by gunpowder residue on the estimation of shooting distance. *Forensic Science International* [online]. 2010, **194**(1-3), 72-76 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2009.10.011
- [37] FOJTÁŠEK, Lubor a Tomáš KMJEČ. Time periods of GSR particles deposition after discharge-final results. *Forensic Science International* [online]. 2005, **153**(2-3), 132-135 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2004.09.127
- [38] FOJTÁŠEK, Lubor, Jitka VACÍNOVÁ, Pavel KOLÁŘ a Marek KOTRLÝ. Distribution of GSR particles in the surroundings of shooting pistol. *Forensic Science International* [online]. 2003, **132**(2), 99-105 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-0738(03)00018-5
- [39] TAUDTE, Regina Verena, Alison BEAVIS, Lucas BLANES, Nerida COLE, Philip DOBLE a Claude ROUX. Detection of Gunshot Residues Using Mass Spectrometry. *BioMed Research International* [online]. 2014, **2014**, 1-16 [cit. 2023-04-24]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2014/965403
- [40] GANDY, Lauren, Kandyss NAJJAR, Molly TERRY a Candice BRIDGE. A novel protocol for the combined detection of organic, inorganic gunshot residue. *Forensic Chemistry* [online]. 2018, **8**, 1-10 [cit. 2023-04-23]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2017.12.009
- [41] GONG, Samantha A., Nicole HOMBURGER a Ling HUANG. Elemental profiling of total gunshot residue using total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2022, **67**(3), 1198-1207 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.14988

- [42] FEENEY, William, Korina MENKING-HOGGATT, Luis ARROYO, James CURRAN, Suzanne BELL a Tatiana TREJOS. Evaluation of organic and inorganic gunshot residues in various populations using LC-MS/MS. *Forensic Chemistry* [online]. 2022, **27** [cit. 2023-04-23]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2021.100389
- [43] MENKING-HOGGATT, Korina, Colby OTT, Courtney VANDER PYL, Kourtney DALZELL, James CURRAN, Luis ARROYO a Tatiana TREJOS. Prevalence and probabilistic assessment of organic and inorganic gunshot residue and background profiles using LIBS, electrochemistry, and SEM-EDS. *Forensic Chemistry* [online]. 2022, **29** [cit. 2023-04-23]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2022.100429
- [44] ANANTH, Victor, Umi Kalthom AHMAD a Soo Me TONG. Detection of Organic Gunshot Residues for the Estimation of Firing Distance. *Malaysian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2011, **2**(1), 36-45 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1394-3065.
- [45] ARNDT, James, Suzanne BELL, Lindsey CROOKSHANKS, Marco LOVEJOY, Casey OLESKA, Tanya TULLEY a Drew WOLFE. Preliminary evaluation of the persistence of organic gunshot residue. *Forensic Science International* [online]. 2012, **222**(1-3), 137-145 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2012.05.011
- [46] TAUDTE, Regina Verena, Claude ROUX, Lucas BLANES, Mark HORDER, K. Paul KIRKBRIDE a Alison BEAVIS. The development and comparison of collection techniques for inorganic and organic gunshot residues. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 2016, **408**(10), 2567-2576 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-016-9357-7
- [47] LUCENA, Marcella A.M., Carlos ORDOÑEZ, Ingrid T. WEBER, Mercedes TORRE, Carmen GARCÍA-RUIZ a María LÓPEZ-LÓPEZ. Investigation of the use of luminescent markers as gunshot residue indicators. *Forensic Science International* [online]. 2017, **280**, 95-102 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2017.09.013

- [48] TREJOS, Tatiana, Courtney VANDER PYL, Korina MENKING-HOGGATT, Ana Lorena ALVARADO a Luis E. ARROYO. Fast identification of inorganic and organic gunshot residues by LIBS and electrochemical methods. *Forensic Chemistry* [online]. 2018, **8**, 146-156 [cit. 2023-04-23]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2018.02.006
- [49] WERNER, Denis, Anne-Laure GASSNER, Jorina MARTI, Stephan CHRISTEN, Philipp WYSS a Céline WEYERMANN. *Comparison of three collection methods for the sodium rhodizonate detection of gunshot residues on hands* [online]. 2020, **60**(1), 63-71 [cit. 2023-04-23]. ISSN 13550306. Dostupné z: doi:10.1016/j.scijus.2019.09.004
- [50] PHERMPORNSAGUL, Yaowaluck, Suphareark AREPORNRAT, Worasit Palkawong NA AYUTHAYA a Panya KHAENAMKAEW. A Comparative Study of SEM-EDX and ICP-MS Detection Based on Gunshot Residue Originated from AK-47 and M16 Rifles. *American Journal of Applied Sciences* [online]. 2020, **17**(1), 69-82 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1546-9239. Dostupné z: doi:10.3844/ajassp.2020.69.82
- [51] FABBRIS, Silvia, Antonella PROFUMO, Gianluca ALBERINI, et al. Interaction of gunshot residues (GSR) with natural and synthetic textiles having different structural features. *Talanta Open* [online]. 2020, **2** [cit. 2023-04-23]. ISSN 26668319. Dostupné z: doi:10.1016/j.talo.2020.100017
- [52] FEENEY, William, Korina MENKING-HOGGATT, Courtney VANDER PYL, Colby E. OTT, Suzanne BELL, Luis ARROYO a Tatiana TREJOS. Detection of organic and inorganic gunshot residues from hands using complexing agents and LC-MS/MS. *Analytical Methods* [online]. 2021, **13**(27), 3024-3039 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1759-9660. Dostupné z: doi:10.1039/D1AY00778E
- [53] GRADAŠČEVIĆ, Anisa, Emina RESIĆ, Nermin SARAJLIĆ, Bruno FRANJIĆ, Arif SALKIĆ a Amira DŽUZDANOVIĆ-PAŠALIĆ. Is it possible to determine firearm calibre and shooting range from the examination of gunshot residue in close range gunshot wounds? An experimental study. *Journal of Health Sciences* [online]. 2013, **3**(3), 232-237 [cit. 2023-04-24]. ISSN 1986-8049. Dostupné z: doi:10.17532/jhsci.2013.113

- [54] MIRANDA, Karla Leiva, Fernando E. ORTEGA-OJEDA, Carmen GARCÍA-RUÍZ a Pedro Sáez MARTÍNEZ. Shooting distance estimation based on gunshot residues analyzed by XRD and multivariate analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* [online]. 2019, **193** [cit. 2023-04-23]. ISSN 01697439. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemolab.2019.103831
- [55] ABEDI, Maxwell, Dan O. M. BONSU, Isaac K. BADU, Richmond AFOAKWAH a Pooja AHUJA. Spectroscopic (analytical) approach to gunshot residue analysis for shooting distance estimation: a systematic review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2023-04-23]. ISSN 2090-5939. Dostupné z: doi:10.1186/s41935-021-00253-3
- [56] MULLER, Dan, Aharon LEVY, Asya VINOKUROV, Mark RAVREBY, Ran SHELEF, Ehud WOLF, Baruch ELDAR a Baruch GLATTSTEIN. A Novel Method for the Analysis of Discharged Smokeless Powder Residues. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2007, **52**(1), 75-78 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/j.1556-4029.2006.00309.x
- [57] WEBER, I.T., A.J.G. MELO, M.A.M. LUCENA, et al. Use of luminescent gunshot residues markers in forensic context. *Forensic Science International* [online]. 2014, **244**, 276-284 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2014.09.001
- [58] PLUHÁČEK, Tomáš, Martin ŠVIDRNOCH, Vítězslav MAIER, Vladimír HAVLÍČEK a Karel LEMR. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry imaging: A personal identification based on a gunshot residue analysis on latent fingerprints. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2018, **1030**, 25-32 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2018.05.074
- [59] COSTA, Rayana A., Nayara A. SANTOS, Thayná S. M. CORRÊA, Nathália L. P. WYATT, Carlos A. CHAMOUN, Maria T. W. D. CARNEIRO a Wanderson ROMÃO. Detection of Pb, Ba, and Sb in Cadaveric Maggots and Pupae by ICP-MS*. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2020, **65**(6), 2188-2193 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.14526

- [60] CHARLES, Sébastien, Dong Winter BUI, Thomas CANLER a Alexandre CARNEVALI. Strontium in barium sulphate as a discriminating factor in the forensic analysis of tool paint by SEM/EDS. *Forensic Science International* [online]. 2022, **331** [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2021.111127
- [61] BRÜNJES, Robert, Jan SCHÜÜRMAN, Frank von der KAMMER a Thilo HOFMANN. Rapid analysis of gunshot residues with single-particle inductively coupled plasma time-of-flight mass spectrometry. *Forensic Science International* [online]. 2022, **332** [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2022.111202
- [62] GEUSENS, Nadia, Bart NYS a Sébastien CHARLES. Implementation and Optimization of the Sodium-Rhodizonate Method for Chemographic Shooting Distance Estimation. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2019, **64**(4), 1169-1172 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.13984
- [63] BERGER, Jason, Colin UPTON a Elyah SPRINGER. Evaluation of Total Nitrite Pattern Visualization as an Improved Method for Gunshot Residue Detection and its Application to Casework Samples. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2018, **64**(1), 218-222 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.13802
- [64] PALCHIKOVA, Irina G., Igor V. LATYSHOV, Evgenii S. SMIRNOV, Vasilii A. VASILIEV, Alexander V. KONDAKOV a Irina A. BUDAEVA. Computer Vision in Analyzing the Propagation of a Gas-Gunpowder Jet. *Sensors* [online]. 2022, **22**(1) [cit. 2023-04-24]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s22010006
- [65] BAILEY, James A. Digital infrared photography to develop GSR patterns†. *Australian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2007, **39**(1), 33-40 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0045-0618. Dostupné z: doi:10.1080/00450610701324932
- [66] EDELMAN, G.J., E. GASTON, T.G. VAN LEEUWEN, P.J. CULLEN a M.C.G. AALDERS. Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces. *Forensic Science International* [online]. 2012, **223**(1-3), 28-39 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2012.09.012

- [67] KUULA, Jaana, Ilkka PÖLÖNEN, Hannu-Heikki PUUPPONEN, Tuomas SELANDER, Tapani REINIKAINEN, Tapani KALENIUS, Heikki SAARI a Edward M. CARAPEZZA. *Using VIS/NIR and IR spectral cameras for detecting and separating crime scene details* [online]. 2012-5-1, 83590P-83590P-11 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: doi:10.1117/12.918555
- [68] AMIGO, José Manuel, Hamid BABAMORADI a Saioa ELCOROARISTIZABAL. Hyperspectral image analysis. A tutorial. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2015, **896**, 34-51 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2015.09.030
- [69] ZAPATA, Félix, María LÓPEZ-LÓPEZ, José Manuel AMIGO a Carmen GARCÍA-RUIZ. Multi-spectral imaging for the estimation of shooting distances. *Forensic Science International* [online]. 2018, **282**, 80-85 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2017.11.025
- [70] BARRERA, V., B. FLISS, S. PANZER a S. A. BOLLIGER. Gunshot residue on dark materials: a comparison between infrared photography and the use of an alternative light source. *International Journal of Legal Medicine* [online]. 2019, **133**(4), 1115-1120 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0937-9827. Dostupné z: doi:10.1007/s00414-018-1965-7
- [71] KARA, Ilker a Ersan TAHILLIOGLU. Digital image analysis of gunshot residue dimensional dispersion by computer vision method. *Microscopy Research and Technique* [online]. 2022, **85**(3), 971-979 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1059-910X. Dostupné z: doi:10.1002/jemt.23966
- [72] ATWATER, Christina S., Marie E. DURINA, John P. DURINA a Robert D. BLACKLEDGE. Visualization of Gunshot Residue Patterns on Dark Clothing. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2006, **51**(5), 1091-1095 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/j.1556-4029.2006.00226.x
- [73] VORBURGER, T V, J SONG a N PETRACO. Topography measurements and applications in ballistics and tool mark identifications. *Surface Topography: Metrology and Properties* [online]. 2016, **4**(1) [cit. 2023-04-23]. ISSN 2051-672X. Dostupné z: doi:10.1088/2051-672X/4/1/013002

- [74] AROUCA, A.M., M.A.M. LUCENA, R.J. ROSSITER, M. TALHAVINI a I.T. WEBER. Use of luminescent gunshot residues markers in forensic context—Part II. *Forensic Science International* [online]. 2017, **281**, 161-170 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2017.09.022
- [75] AROUCA, Aline M., Marcella A. M. LUCENA, Rafael J. ROSSITER, Márcio TALHAVINI a Ingrid T. WEBER. Analysis of Luminescent Gunshot Residue (LGSR) on Different Types of Fabrics. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2019, **65**(1), 67-72 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.14143
- [76] ZAIN, Zainiharyati Mohd, Siti Nurhazlin JALUDDIN, Mohamed Izzharif Abdul HALIM a Mohamed Sazif Mohamed SUBRI. The effect of type of firearm and shooting distance on pattern distribution, particle dispersion and amount of gunshot residue. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2023-04-23]. ISSN 2090-5939. Dostupné z: doi:10.1186/s41935-021-00225-7
- [77] GLATTSTEIN, Baruch, Asya VINOKUROV, Nadav LEVIN a Arie ZEICHNER. Improved Method for Shooting Distance Estimation. Part 1. Bullet Holes in Clothing Items. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2000, **45**(4) [cit. 2023-04-24]. ISSN 00221198. Dostupné z: doi:10.1520/JFS14773J
- [78] GLATTSTEIN, Baruch, Arie ZEICHNER, Asya VINOKUROV, Nadav LEVIN, Chen KUGEL a Jehuda HISS. Improved Method for Shooting Distance Estimation. Part III. Bullet Holes in Cadavers. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2000, **45**(6) [cit. 2023-04-24]. ISSN 00221198. Dostupné z: doi:10.1520/JFS14873J
- [79] VINOKUROV, Asya, Avraham ZELKOWICZ, Ehud (Udi) WOLF a Arie ZEICHNER. The influence of a possible contamination of the victim's clothing by gunpowder residue on the estimation of shooting distance. *Forensic Science International* [online]. 2010, **194**(1-3), 72-76 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2009.10.011
- [80] FONSECA, J. F., M. M. CRUZ a M. L. CARVALHO. Muzzle-to-target distance determination by X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry* [online]. 2014, **43**(1), 49-55 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00498246. Dostupné z: doi:10.1002/xrs.2497

- [81] COX, Beverly, Shelly A. MCGRATH a Elizabeth A. GARDNER. Lead Density on a Target, A Significant Indicator of Firing Distance, but is it Reliable?. *AFTE Journal* [online]. Winter 2016, **48**(1), 111-118 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1048-9959.
- [82] YÜKSEL, Bayram, Mandy HO, Oriana OVIDE, Courtney Vander PYL a Tatiana TREJOS. Infrared Imaging As A Complementary Aid in Estimating Muzzle-to-Target Shooting Distance: An Application on Dark, Patterned and Bloody Sample. *Turkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences* [online]. 2019, **16**(2), 73-80 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2619-9459. Dostupné z: doi:10.5336/forensic.2019-64837
- [83] ZOJA, R, A LAZZARO, A BATTISTINI a G GENTILE. *Detection of gunshot residues on cadaveric skin using sodium rhodizonate and a counterstain* [online]. 2009, **81**(4-6), 151-156 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1052-0295. Dostupné z: doi:10.1080/10520290601076745
- [84] KARA, Ilker, Yasin SARIKAVAK, Sefer Bora LİSESİVDİN a Mehmet KASAP. Evaluation of morphological and chemical differences of gunshot residues in different ammunitions using SEM/EDS technique. *Environmental Forensics* [online]. 2016, **17**(1), 68-79 [cit. 2023-04-23]. ISSN 1527-5922. Dostupné z: doi:10.1080/15275922.2015.1133729
- [85] SANTOS, Agostinho, Teresa MAGALHÃES, Duarte Nuno VIEIRA, Agostinho A. ALMEIDA a António V. SOUSA. *Firing Distance Estimation Through the Analysis of the Gunshot Residue Deposit Pattern Around the Bullet Entrance Hole by Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry* [online]. 2007, **28**(1), 24-30 [cit. 2023-04-23]. ISSN 0195-7910. Dostupné z: doi:10.1097/01.paf.0000233631.40170.d4
- [86] LÓPEZ-LÓPEZ, María, Jose Luis FERRANDO a Carmen GARCÍA-RUIZ. Comparative analysis of smokeless gunpowders by Fourier transform infrared and Raman spectroscopy. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2012, **717**, 92-99 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2011.12.022
- [87] MOJICA, Elmer-Rico a Zhaohua DAI. New Raman spectroscopic methods' application in forensic science. *Talanta Open* [online]. 2022, **6** [cit. 2023-04-23]. ISSN 26668319. Dostupné z: doi:10.1016/j.talo.2022.100124

- [88] HOŁOWKO, Elwira, Kamil JANUSZKIEWICZ, Paweł BOLEWICKI, Robert SITNIK a Jakub MICHONSKI. Application of multi-resolution 3D techniques in crime scene documentation with bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International* [online]. 2016, **267**, 218-227 [cit. 2023-04-23]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2016.08.036
- [89] *LUCIA Forensic: Uživatelská příručka* [příručka]. V. 7.40. Praha 10: Laboratory Imaging, 2016, 68 s. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: www.forensic.cz
- [90] KARA, İlker. The relationship between gunshot-residue particle size and Boltzmann distribution. *Forensic Sciences Research* [online]. 2022, **7**(1), 47-52 [cit. 2023-04-23]. ISSN 2096-1790. Dostupné z: doi:10.1080/20961790.2020.1713433
- [91] *Stanovisko k povinnosti zajistit bezpečnost střelby ze zbraní kategorie C-I a D od 30. ledna 2021* [online]. Praha: Odbor bezpečnostní politiky, 2021, s. 1-5, 5 s. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.mvcr.cz/clanek/pravni-stanoviska-z-oblasti-zbrani-streliva-a-munice.aspx. V platném znění.
- [92] JANG, Il Ryu, Soon In JUNG, Gunhee LEE, Inyong PARK, Sang Bok KIM a Hoe Joon KIM. Quartz crystal microbalance with thermally-controlled surface adhesion for an efficient fine dust collection and sensing. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2022, **424**, 1-8 [cit. 2023-06-24]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2021.127560
- [93] POGGESI, Simone, Lan ZHOU, Giulio Cesare Casari BARIANI, Rakesh MITTAPALLI, Marisa MANZANO a Rodica Elena IONESCU. Quartz Crystal Microbalance Genosensing of *Brettanomyces bruxellensis* Yeast in Wine Using a Rapid and Efficient Drop and Collect Protocol. *Crystals* [online]. 2021, **11**(5), 1-10 [cit. 2023-06-24]. ISSN 2073-4352. Dostupné z: doi:10.3390/cryst11050562
- [94] *QCM 200: Quartz Crystal Microbalance Digital Controller* [online]. Revision 2.5. California: Stanford Research Systems, 2018, 114 s. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: www.thinkSRS.com

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Srovnání náboje a nábojek určené do pistolí: a) náboj ráže 9 mm Luger společnosti Sellier & Bellot, b) akustická nábojka ráže 9 mm × 19 Salve – Blank společnosti Fiocchi, c) akustická nábojka ráže 9 mm P.A.K. společnosti Walther.	14
Obr. 2:	Popis komponentů zápalky typu: a) Boxer a b) Berdan [13].	15
Obr. 3:	Popis komponentů nábojek určených do expanzních zbraní: a) akustické nábojky, b) nábojky s účinnou látkou [upraven 19].	18
Obr. 4:	Příklad srovnání nábojek: a) pistolová zakončená kontejnerem a b) revolverová zakončená do hvězdice.	19
Obr. 5:	Ráže nábojek dostupných na českém trhu [data použity z webových portálů].	22
Obr. 6:	Účinné látky v nábojkách dostupných na českém trhu [data použity z webových portálů].	22
Obr. 7:	Expanze hlavního tlakového pole vzniklé při výstřelu při přechodové balistice [překreslen 10].	26
Obr. 8:	Šíření expanze horkých plynů při výstřelu z různých směrů snímání: a) snímání z levé strany expanzní zbraně, b) snímání proti ústí hlavně expanzní zbraně, c) snímání shora.	27
Obr. 9:	Šíření expanze horkých plynů při výstřelu: a) u ústí hlavně, b) maximální vzdálenost od ústí hlavně, c) šíření zplodin výstřelu, z expanzní pistole za použití vysokorychlostní termokamery.	28
Obr. 10:	Závislost rozptylového obrazce zplodin výstřelu na vzdálenosti střelby u palné kulové zbraně [upraven 27].	29
Obr. 11:	Ukázka velikosti zrn výmetné náplně z nábojky zobrazená mikroskopem SEM: a) zrna před hořením, b) zrna po hoření.	32
Obr. 12:	Schéma analýzy částic zplodin výstřelu [upraven 29].	35
Obr. 13:	Ukázka spektra částic GSR poskytnutého metodou SEM-EDX [84].	38
Obr. 14:	Vznik rozptylových obrazců zplodin výstřelu při úhlu střelby: a) 90°, b) 45° a c) 5°, vzhledem k cíli.	40
Obr. 15:	Pokles množství olova v testovaném vzorku ve vzdálenosti mezi 5–300 cm od ústí hlavně testované palné zbraně [54].	42
Obr. 16:	Matematický popis odhadu vzdálenosti střelby od 30 do 220 cm [69].	45
Obr. 17:	Ukázka dialogového okna aplikace ImgOpinion [64].	46
Obr. 18:	Laboratoř forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky.	50
Obr. 19:	Nastřelovací stolice.	51
Obr. 20:	Expanzní pistole Atak Zoraki 917 v ráži 9 mm P.A.K.	52
Obr. 21:	Použití expanzní pistole: a) rozborka expanzní pistole, b) přepážka v hlavní expanzní pistole, c) přesné umístění přepážek v hlavní expanzní pistole.	52

Obr. 22:	Nastřelovací stolice s expanzní pistolí před stojanem s uchyceným záchytným materiálem.	53
Obr. 23:	Ukázka použitých světel: a) plné kruhové LED světlo, b) obvodové kruhové LED světlo.	54
Obr. 24:	Ukázka maticového rozmístění pro umístění mikrováhového senzoru k měření spadu zplodin výstřelu.	55
Obr. 25:	Pracoviště určené k realizaci měření spadu zplodin výstřelu: a) v přímém směru střelby, b) v maticovém rozmístění.	57
Obr. 26:	Vyfotografovaná celá scéna včetně záchytného materiálu se vzniklým rozptylovým obrazcem zplodin výstřelu a kriminalistickým pravítkem.	59
Obr. 27:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther v čase.	63
Obr. 28:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther průběžně v čase.	63
Obr. 29:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi v čase.	64
Obr. 30:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi průběžně v čase.	64
Obr. 31:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda v čase.	65
Obr. 32:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda průběžně v čase.	65
Obr. 33:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Sellier & Bellot po 60 minutách. ...	66
Obr. 34:	Spad zplodin výstřelu u nábojky TITAN po 60 minutách.	67
Obr. 35:	Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu na vzdálenost 30 mm na kreslicí karton: a) náboj ráže 9 mm Luger, b) nábojka 9 × 19, c) nábojka 9 mm P.A.K.	69
Obr. 36:	Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu na vzdálenost 180 mm na kreslicí karton: a) náboj ráže 9 mm Luger, b) nábojka 9 × 19, c) nábojka 9 mm P.A.K.	70
Obr. 37:	Ukázka rozptylových obrazců zplodin výstřelu z expanzní pistole na vzdálenost: a) 30 mm a b) 180 mm.	71
Obr. 38:	Vývojový diagram pro automatizovanou analýzu rozptylových obrazců zplodin výstřelu na záchytném materiálu.	72
Obr. 39:	Ukázka binárních snímků provedených automatickým zpracováním fotografie algoritmem k určení hodnot pixelů v nich na vzdálenost: a) 30 mm, b) 60 mm, c) 90 mm, d) 120 mm, e) 150 mm a f) 180 mm.	73
Obr. 40:	Proložení exponenciální křivky ze zjištěných relativních četností zplodin výstřelu pro vzdálenosti 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.	74
Obr. 41:	Proložení mocninné křivky ze zjištěných relativních četností zplodin výstřelu pro vzdálenost 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.	75
Obr. 42:	Ilustrační srovnání binárních snímků na vzdálenost 30 mm pro akustické nábojky výrobců: a) Walther, b) Pobjeda a c) TITAN.	75
Obr. 43:	Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Walther.	76

Obr. 44: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Pobjeda.	77
.....	77
Obr. 45: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky TITAN.	77
.....	77

SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Srovnání kategorizace zbraní dle zákona o zbraních před a po novele zákonem č. 13/2021 Sb. [1–3].	8
Tab. 2:	Porovnání počtu držitelů zbrojních průkazů s registrovanými zbraněmi v České republice v průběhu let 2019–2023 [upraven 4].	10
Tab. 3:	Srovnání objasněných TČ spáchaných se zbraní a jejich rozdělení v České republice v průběhu let 2019–2023 [upraven 4].	10
Tab. 4:	Základní barevné dělení s množstvím účinné látky nábojek dle vyhlášky [upraven 17].	18
Tab. 5:	Nábojky určené k provedení experimentů.	56
Tab. 6:	Nastavení parametrů v programu VEE.	58
Tab. 7:	Nastavené parametry digitálního fotoaparátu.	60
Tab. 8:	Stanovení hmotnosti výmetné náplně a nejistot u vybraných nábojek.	61

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojměrný objekt
3D	Trojměrný objekt
f	Frekvence
μ_q	Modul pružnosti ve smyku křemene
ρ_q	Hustota křemene
ρ_s	Plošná hustota
σ_i	Plocha jednoho pixelu
C_f	Citlivostní faktor krystalu
AAS	Atomic absorbance spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie)
AFM	Atomic force microscopy (Mikroskopie atomárních sil)
AI	Artificial Intelligence (Umělá inteligence)
Al	Hliník
Ba	Barium
Ca	Vápník
Cl	Chlor
CN	Chloracetofenon, sumární vzorec C_8H_7ClO
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
cps	Counts per second (počet za sekundu)
CS	Chlorbenzalmalondinitril, sumární vzorec $C_{10}H_5ClN_2$
Cu	Měď
ČSN	Česká technická norma
ČÚZZS	Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva
D_Σ	Optická hustota
DNT	Dinitrotoluen, sumární vzorec $C_7H_6N_2O_4$

DPA	Difenylamin, sumární vzorec $C_{12}H_{11}N$
DPI	Dots per inch (bod na palec)
f_0	Rezonanční frekvence krystalu
Fe	Železo
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy (Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací)
GC-MS	Gas chromatography-mass spectrometry (Plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie)
GSR	Gunshot Residues (Povýstřelové zplodiny)
H_2	Vodík
H_2O	Voda
Hg	Rtuť
i	Počet pixelů
I_0	Jas (střední hodnota) v obraze
I_i	Hodnota jasu v pixelu
IMS	Ion mobility spectrometry (Iontová mobilní spektrometrie)
IR	Infrared (Infračervené)
K	Draslík
eV	Elektronvolt
K_2S	Sulfid draselný
LC-MS	Liquid chromatography-mass spectrometry (Kapalinová chromatografie-hmotnostní spektrometrie)
LED	Light-emitting diode (Elektroluminiscenční dioda)
LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy (Spektroskopie laserem buzeného plazmatu)
m	Hmotnost
N	Oblast výběru měnící se od 1 do N
N_2	Dusík

Ni	Nikl
OC	Oleoresin capsicum (Přírodní látka z kajenského pepře)
QCM	Quartz crystal microbalance
P.A.K.	Pistol Akustic Knall
Pb	Olovo
PV	Pseudocapsaicin, (Technický pepř), sumární vzorec $C_{17}H_{27}NO_3$
R.K.	Revolver Knall
S	Aktivní plocha použitého krystalu
S	Síra
Sb	Antimon
SEM	Scanning Electron Microscopy (Skenovací elektronová mikroskopie)
SEM-EDX	Scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy (Skenovací elektronová mikroskopie-energieově disperzní rentgenová spektroskopie)
Si	Křemík
Sn	Cín
SW	Software
TČ	Trestný čin
Ti	Titan
TNT	Trinitrotoluen, sumární vzorec $C_7H_5N_3O_6$
UV	Ultraviolet (Ultrafialová)
Zn	Zinek

PŘÍLOHY

- P-I E-mailové sdělení ke statistikám kriminality
- P-II Vyjádření z Českého úřadu pro zkoušení zbraní a střeliva

PŘÍLOHA P-I: E-MAILOVÉ SDĚLENÍ KE STATISTIKÁM KRIMINALITY

ze dne 20. 4. 2023

Dobrý den,

děkuji za brzkou odpověď. Data jsou uspokojující, bohužel postrádám kategorie zbraní A-I a C-I, které novelou zákona vznikly a podléhají samozřejmě registraci (evidenci zbraní). Proto se ptám, zda je máte v evidenci také nebo s nimi zatím vůbec nepočítáte, případně je máte stále zařazeny nesprávně pod jinou kategorií?

Děkuji a s pozdravem

Michal Gracla

ze dne 24. 4. 2023

Dobrý den,

na tuto změnu zákona o zbraních Statistika kriminality nereagovala, takže tyto druhy zbraní počítáme stále stejně.

Vyžádali jsme si stanovisko Ředitelství služby pro zbraně a bezpečnostní materiál a podle něj se zařídíme.

Pokud nějaká změna proběhne, tak nejdříve od příštího roku...

S pozdravem

(jméno)

Programátor

ODBOR VĚCNÝCH GESCÍ A STATISTIK ÚSKPV

Policejní prezidium PČR

PŘÍLOHA P-II: VYJÁDŘENÍ Z ČESKÉHO ÚŘADU PRO ZKOUŠENÍ ZBRANÍ A STŘELIVA

Dne 19. 6. 2020

Dobrý den, pane inženýre,

ptáte se na něco, co je zakotveno v legislativě, ale nikdo to nezná. Aktuální definice zbraní na granule byla zavedena rozhodnutím C.I.P. XXIII - 7 z roku 1994 (viz stránky našeho úřadu). V tomto případě je český překlad trochu "podivný".

Tak Vám posílám originální verze, přičemž francouzská je pro C.I.P. rozhodující.

For dust shot weapons, the visual inspection and check revolves around the specific nature of these weapons. Dust shot weapons are defined as short weapons only capable of firing cartridges with projectiles made of metallic shot having a diameter of less than 2 mm. [XXIII-7]

Bei Waffen für Munition mit Kleinschrot betrifft die Kontrolle der Funktionssicherheit die besonderen Eigenschaften dieser Waffen. Unter Waffen für Munition mit Kleinschrot sind Kurzwaffen zu verstehen, aus denen nur Patronen verschossen werden können, deren Geschosse aus metallischem Kleinschrot mit einem Durchmesser kleiner als 2 mm bestehen. [XXIII-7]

Pour les armes à grenaille, le contrôle visuel porte sur la spécificité de ces armes. Sont considérées comme armes à grenaille, les armes courtes ne pouvant tirer que des cartouches dont les projectiles sont composés de grenaille métallique avec un diamètre inférieur à 2 mm. (XXIII-7)

V podstatě se jedná o jinou formu expanzní obranné zbraně, kde se používá místo nábojky s plynovou střelou nábojka s kovovými granulami (broky) o průměru menším než 2 mm. C.I.P. nezajímá střela, takže nevíme navážku broků v těchto nábojkách. Definice říká, že to jsou zbraně pro střelbu pouze s nábojkami s granulami, takže v hlavní bude nějaká adekvátní přepážka (ocelový vlnovec např. co má pistole Kevin nebo podélná šneková vložka).

V tabulce ráží C.I.P. číslo IX je celkem 6 ráží nábojek s granulami, přičemž země původu je Německo a Itálie. Lze předpokládat, že uvedené země mohou mít nějakou legislativu na konstrukci zbraní na granule. Němci určitě. Revize tabulek těchto ráží jsou v letech 1993, 1994 a 2000. V současné době neznám žádného výrobce střeliva tohoto typu. Za posledních cca 6 let, co má C.I.P. systém elektronické evidence výrobců nábojů, nevíme o žádném aktivním výrobcí těchto nábojů, který by nábojky s granulami typoval.

Ještě mě napadá p. (zaměstnanec našeho úřadu), který je předseda Společnosti pro studium nábojů <https://spsn.naboje.org/node/1>. Třeba Vás nasměruje na nějakého sběratele.

Pokud není žádný aktivní výrobce střeliva, je problematická výroba zbraní na granule. Byl to takový konstrukční pokus Německa v oblasti dostupných obranných zbraní někdy před rokem 1993, který časem zákaznický propadl. Rád bych Vám pomohl, ale neznám jedinou zbraň ani střelivo.

V otázce nábojek s plynovou střelou jste si dobře všiml, že se něco jiného na našem trhu prodává a něco jiného obchodníci deklarují. Možná si toho všimla už i naše policie. Citovaná vyhláška jasně stanovuje hmotnost aktivní dráždivé látky obsažené v nábojkách. To platí v ČR pro výrobce střeliva stejně jako pro dovozce střeliva. Což Vám určitě potvrdí příslušný odbor Ministerstva vnitra, který je kompetentní vykládat zákon o zbraních a jeho prováděcí vyhlášky a nařízení vlády (MV/odbor bezpečnostní politiky/oddělení obecní policie, zbraní a dopravního inženýrství).

Dohled nad dodržováním zákona o zbraních má PČR, dohled nad uváděním zbraní a střeliva na trh podle zákona č. 156/2000 Sb. má náš úřad. V praxi to funguje tak, že naši inspektoři kontrolují, zda nábojky s plynovou střelou jsou ověřeny členskou zemí C.I.P. (tzn. že nejmenší spotřebitelský obal je označen zkušební značkou pro střelivo a dalším stanoveným označením) a orgány PČR kontrolují režim prodeje tohoto střeliva. Správně při vyšším hmotnosti dráždivé látky se jedná o zakázané střelivo, které může prodejce prodávat (např. pro sběratelské účely), nikoliv jako volně prodejné do zbraní kat. D.

S pozdravem

(jméno)

odborný specialista
oddělení odborných činností/ČÚZZS Praha

PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

Publikační činnost autora je složena z příspěvků publikovaných na zahraničních odborných konferencích a v časopisech evidovaných v databázích Web of Science a Scopus. Současně autor prezentoval svou práci na několika tuzemských odborných konferencích.

Článek ve sborníku konference evidované v databázi Web of Science

GRACLA, Michal a Lukáš PAVLÍK. Preparation of experimental measurements using a firearm. In: MASTORAKIS, N., V. MLADENOV a A. BULUCEA, ed. *MATEC Web of Conferences: 22nd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2018)* [online]. Volume 210, 2018. Majorca, Spain, July 14-17, 2018: MATEC Web of Conferences, 2018, 05 October 2018, s. 6. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201821002029>

Články v časopisech evidovaných v databázi Scopus

GRACLA, Michal a Vojtěch KŘESÁLEK. Determining the Wounding Potential of Shooting Weapons in the Course Forensic Science at the Faculty of Applied Informatics Tomas Bata University in Zlin. *The Turkish Online Journal of Educational Technology* [online]. 2017, **2017**(October), 802-810 [cit. 2017-12-07]. ISSN 2146-7242. Dostupné z: http://www.tojet.net/special/2017_10_1.pdf

FICEK, Martin a Michal GRACLA. Influence of the security situation on the numbers of weapons of category D in the Czech Republic. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. 2017, **2017**(15), 5053-5059. ISSN 0973-4562. Dostupné také z: <https://www.ripublication.com/ijaer.htm>

Články ve sbornících konferencí evidovaných v databázi Scopus

GRACLA, Michal a Zdeněk MALÁNÍK. Alternative Ballistic Improvement of the Car Interior. In: KŘIVÁNEK, V., ed. *2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)* [USB proceedings]. Brno: University of Defence, 2017, s. 149-159 [cit. 2023-07-02]. ISBN 978-1-5386-1988-9.

MIKULICOVA, Michaela, Michal GRACLA, Martin FICEK a Ales KUNCAR. Comparison of depth of incomplete penetration for different types of pellets for shooting weapon of category D. In: KRIVANEK, V. *2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)* [USB proceedings]. Brno: IEEE, 2017, 2017, s. 66-69 [cit. 2023-07-02]. ISBN 978-1-5090-5666-8. Dostupné z: doi:10.1109/MILTECHS.2017.7988732

VICHOVA, Katerina, Martin HROMADA, Martin FICEK a Michal GRACLA. The Comparative Analysis of Safety in the Czech Republic and in Abroad. *Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium 2018*. DAAAM International Vienna, 2018, 2018, 1181-1186. DAAAM Proceedings. ISBN 9783902734204. Dostupné z: doi:10.2507/29th.daaam.proceedings.170

GRACLA, Michal, Michaela MIKULICOVA a Zdenek MALANIK. Detecting Differences at a Selected Shooting Weapon and Its Freely Available Copies. *Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium 2018*. DAAAM International Vienna, 2018, 2018, 1139-1143. DAAAM Proceedings. ISBN 9783902734204. Dostupné z: doi:10.2507/29th.daaam.proceedings.163

FICEK, Martin, Zdenek MALANIK, Michaela MIKULICOVA a Michal GRACLA. Influence of the Shooting Distance on the Depth of Penetration of the Bullet into the Replacement Material for Air Gun Weapons. *Proceedings of the 30th International DAAAM Symposium 2019* [online]. DAAAM International Vienna, 2019, 2019, 0663-0672 [cit. 2023-04-23]. DAAAM Proceedings. ISBN 9783902734228. Dostupné z: doi:10.2507/30th.daaam.proceedings.091

KARHANKOVA, Michaela; MIZERA, Ales; ADAMEK, Milan; MACH, Vaclav; STOKLASEK, Pavel; GRACLA, Michal. Mechanical resistance of safety elements in transportation. *Transportation Research Procedia* [online]. 2023, roč. 74, s. 732-739. ISSN 23521465. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.204>.

Kapitoly v odborné knize

GRACLA, Michal, Michaela MIKULIČOVÁ a Zdeněk MALÁNÍK. Analysis of the Wounding Potential of Selected Weapons of Category D. In: KATALINIC, B., ed. *DAAAM International Scientific Book 2020* [online]. Vol. 19. Vienna: DAAAM International Vienna, 2020, s. 245-252 [cit. 2023-04-23]. ISBN 978-3-902734-27-3. Dostupné z: <https://www.daaam.info/>

FICEK, Martin, Ludvík JUŘÍČEK, Zdeněk MALÁNÍK, Michal GRACLA a Michaela MIKULIČOVÁ. Determination of Wounding Potential of Guns Known from Childhood – Blowpipe and Slingshot. In: KATALINIC, B., ed. *DAAAM International Scientific Book 2020* [online]. Vol. 19. Vienna: DAAAM International Vienna, 2020, s. 227-236 [cit. 2023-04-23]. ISBN 978-3-902734-27-3. Dostupné z: <https://www.daaam.info/>

Články ve sbornících nehodnocených odborných konferencí:

GRACLA, Michal, Aleš CHOCHOLATÝ a Zdeněk MALÁNÍK. Analýza ranivého účinku základních zbraní kategorie D. In: BRADÁČ, Albert a Michal KŘIŽÁK. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2017 (ExFoS 2017): XXVI. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství* [USB disk]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, leden 2017, s. 327-336 [cit. 2017-01-31]. ISBN 978-80-214-5459-0. Dostupné z: www.exfos.cz

GRACLA, Michal, Aleš CHOCHOLATÝ, Adam VÁCLAVEK a Zdeněk MALÁNÍK. Komparace ranivého potenciálu zbraní kategorie D přes oděvní materiál. In: KONEČNÝ, Jiří a Vladimír ADAMEC, ed. *Krizové řízení a řešení krizových situací* [online]. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 2017, s. 94-104 [cit. 2018-01-02]. ISBN 978-80-7454-717-1. Dostupné z: <http://www.criscon.cz/>

GRACLA, Michal, David HAMŘÍK a Zdeněk MALÁNÍK. Srovnání významných markantů vybraných střelných zbraní podléhajících registraci a jejich volně dostupných kopií. In: KONEČNÝ, Jiří, ed. *CRISCON* [online]. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018, s. 48-58 [cit. 2019-01-11]. ISBN 978-80-7454-821-5. Dostupné z: <https://criscon.cz/>

MALÁNÍK, Zdeněk a Michal GRACLA. Součinnost občana s Policií, při fyzické obraně svých zákonem chráněných zájmů. In: KONEČNÝ, Jiří a Vladimír ADAMEC, ed. *Krizové řízení a řešení krizových situací* [online]. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2019, s. 132-143 [cit. 2023-04-23]. ISBN 978-80-7454-875-8. Dostupné z: <http://www.criscon.cz/>

MALÁNÍK, Zdeněk, Jiří SVOBODA, Martin FICEK, Michaela MIKULIČOVÁ a Michal GRACLA. Znalecké dokazování ve specializaci sebeobrana a použití zbraně. In: BRADÁČ, Albert, Michal KŘIŽÁK a Roman MIKULEC. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2020: XXIX. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství* [USB disk]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, 2020, s. 76-87 [cit. 2023-04-23]. ISBN 978-80-214-5829-1. Dostupné z: www.exfos.cz

FICEK, Martin, JUŘÍČEK, Ludvík, GRACLA, Michal, MIKULIČOVÁ, Michaela. Přídavná zařízení na ruční palné zbraně a energy harvesting. *Sborník příspěvků konference CrisCon 2023*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2023, s. 31-40. ISBN 978-80-7678-197-9.

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

Osobní údaje

Titul, jméno a příjmení: Ing. Michal Gracla
Datum narození: 10. března 1991
Adresa: Zádveřice 162, 763 12 Vizovice
E-mail: Michal.Gracla@seznam.cz

Pracovní zkušenosti

2018 – do současnosti Příslušník bezpečnostních sborů České republiky

Vzdělání, odborná příprava a kurzy

2015 – do současnosti Doktorské studium v oboru Inženýrská informatika
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

2013–2015 Magisterské studium v oboru Bezpečnostní technologie, systémy a management – technické zaměření
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky
Udělen titul Ing. – diplom s vyznamenáním, ocenění za diplomovou práci

2014 Dvoudenní odborný kurz Základy elektronického zabezpečení objektů
JABLOTRON ALARMS a.s.

2010–2013 Bakalářské studium v oboru Bezpečnostní technologie, systémy a management
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky
Udělen titul Bc.

Vědecko-výzkumné aktivity

IGA/CebiaTech/2023/001 Návrh robotického systému testování balistických materiálů v laboratorních podmínkách (spoluřešitel)

IGA/FAI/2022/002	Metodika postupu zdravotnického zařízení v případě epidemie a ozbrojeného útoku (spoluřešitel)
RVO/CEBIA/2021/002	Technické vědy pro bezpečnou společnost (spoluřešitel)
IGA/FAI/2021/002	Analýza odolnosti zdravotnického zařízení v případě epidemie a ozbrojeného útoku (spoluřešitel)
IGA/FAI/2020/003	Aplikace pokročilých technologií ke zvyšování odolnosti měkkých cílů a k ochraně zdraví osob (spoluřešitel)
RVO/CEBIA/2019/002	Technické vědy pro bezpečnou společnost (spoluřešitel)
IGA/FAI/2019/003	Ochrana měkkých cílů před útokem pomocí volně dostupných zbraní a improvizovaných výbušnin (spoluřešitel)
RVO/CEBIA/2018/002	Technické vědy pro bezpečnou společnost (spoluřešitel)
IGA/FAI/2018/014	Moderní trendy v oblastech střelných zbraní a výbušnin (hlavní řešitel)
IGA/FAI/2017/010	Použití luminiscence pro vzdálenou detekci výbušných látek a studium interakce střel zbraní kategorie D s vybranými materiály (hlavní řešitel)
IGA/FAI/2016/010	Metody měření rychlosti střel z krátkých palných zbraní (hlavní řešitel)

Znalost cizích jazyků

Anglický jazyk	B1/B2
Německý jazyk	A1

Ing. Michal Gracla

**Analýza rozptylových obrazců zplodin výstřelu z expanzní pistole
pro odhad vzdálenosti střelby**

Analysis of Shot Patterns from the Expansion Pistol for the Estimation
of the Shooting Distance

Disertační práce

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2024