

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

Ing. Michal Gracla, Ph.D.

Teze disertační práce



Univerzita Tomáše Bati

Fakulta aplikované informatiky

Teze 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, Ph.D.**

Studijní program: Inženýrská informatika (P3902)

Studijní obor: Inženýrská informatika (3902V023)

Školitel: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Konzultant: Ing. Zdeněk Maláník, Ph.D.

Oponenti: prof. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
prof. Ing. Ludvík Juříček, Ph.D.
prof. Ing. Martin Macko, CSc.

Zlín, listopad 2024

© Michal Gracla

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
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.*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-307-2

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.

OBSAH

ÚVOD.....	5
1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
1.1 Metody analýzy zplodin výstřelu.....	6
1.2 Rozptylové obrazce zplodin výstřelu.....	6
1.3 Princip odhadu vzdáleností střelby	7
1.4 Softwarové vybavení a jeho potenciál	10
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	12
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	12
3.1 Použité přístroje a pomůcky.....	13
3.2 Použité softwarové nástroje	14
3.3 Použité střelivo.....	14
3.4 Popis experimentů.....	14
3.4.1 Stanovení hmotností výmetných náplní vybraného střeliva	14
3.4.2 Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času	14
3.4.3 Tvorba rozptylových obrazců zplodin výstřelu a jejich převádění do digitální podoby	15
4. VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ A EXPERIMENTŮ A JEJICH DISKUSE.....	16
4.1 Stanovení hmotností výmetných náplní vybraných nábojek	16
4.2 Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času	17
4.2.1 Spad zplodin výstřelu v přímém směru střelby.....	17
4.2.2 Spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění	19
4.2.3 Souhrnné zhodnocení	21
4.3 Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu	22
4.4 Výsledky ze softwaru Wolfram Mathematica	24
5. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....	30
ZÁVĚR.....	31
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	32
SEZNAM OBRÁZKŮ	38
SEZNAM TABULEK.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	39
PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA.....	40
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA.....	43

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 (povýšřelové 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 páchání 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. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

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.

1.1 Metody analýzy zplodin výstřelu

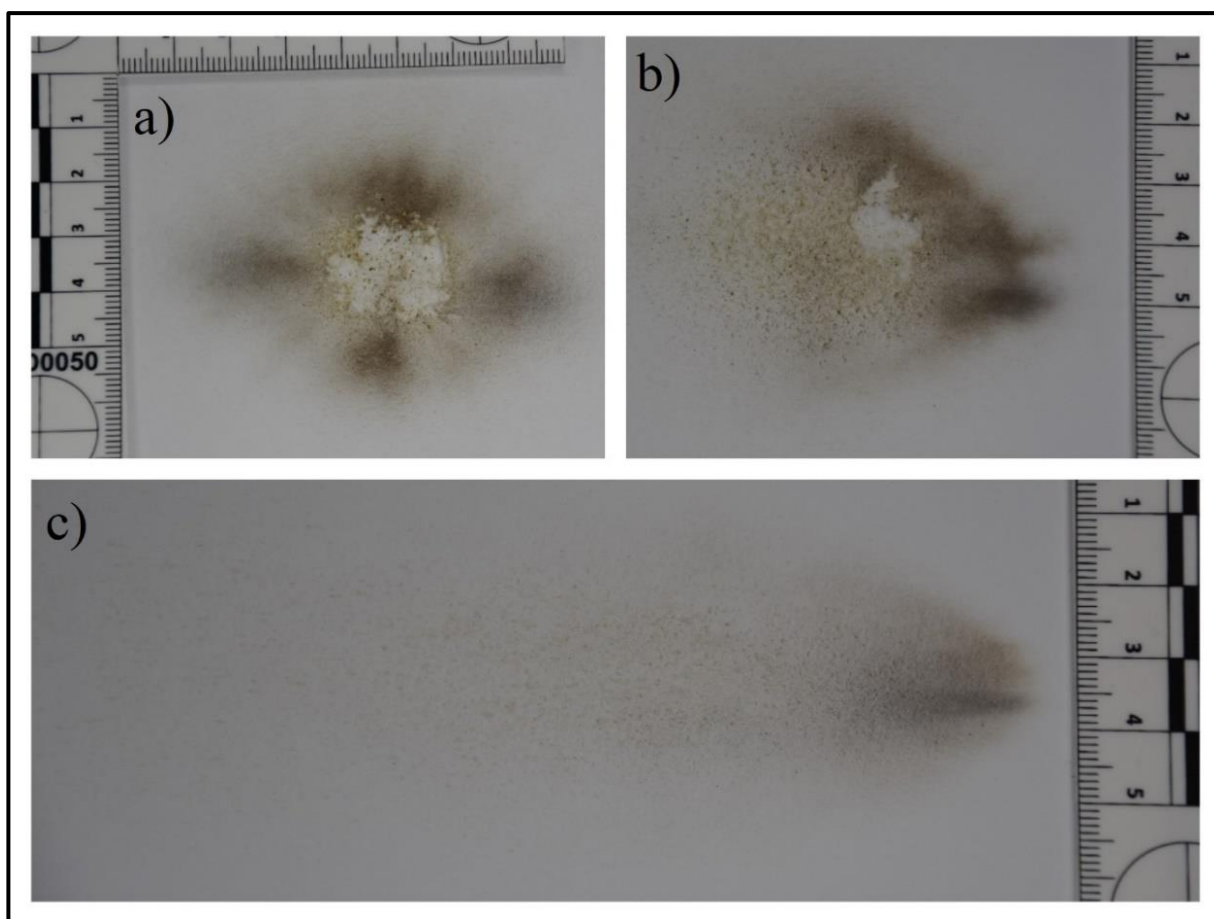
Zplodiny výstřelu jsou neuspořádané částice obsahující i částice GSR ulpěné nejen v prostoru, ale i na oděvu nebo na kůži. Tyto částice je nutné sesbírat a určit, zda se opravdu jedná o částice GSR nebo nikoliv. K tomu jsou určeny metody sběru jednotlivých částic založené na suché [1–10] nebo mokré [2,8,11,12] metodě. Po sběru částic je potřeba provést analýzu pomocí zvolených optických [13–24], chemických (barevné testy) [1,2,25–30] nebo přístrojových metod jako jsou např. skenovací elektronová mikroskopie s energiově-disperzní rentgenovou spektroskopií [1,2,6,8–10,13,16,31–39], mikroskopie atomárních sil [1,40], atomová absorpční spektrometrie [1,2,4,9,10,25,29,37,41–45] a plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie [2,4,6,46]. 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.

1.2 Rozptylové obrazce zplodin výstřelu

Zplodiny výstřelu po střelbě na povrchu cíle vytvoří charakteristické obrazce, které se nazývají rozptylové obrazce zplodin výstřelu [47]. 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 zbraní a cílem se rozšiřuje a klesá její hustota. Vnitřní oblast lze zobrazit pomocí IR fotografie [30,48]. 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 [30,48].

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 [48]. 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. 1). 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 [48].



Obr. 1: Vznik rozptylových obrazců zplodin výstřelu při úhlu střelby: a) 90° , b) 45° a c) 5° , vzhledem k cíli.

1.3 Princip odhadu vzdáleností střelby

Odhadem vzdálenosti střelby se zabývaly výzkumy [1,13,15,21,25–28,30,38, 42–45,49–52], 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 [13,15,30,50,52], 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.

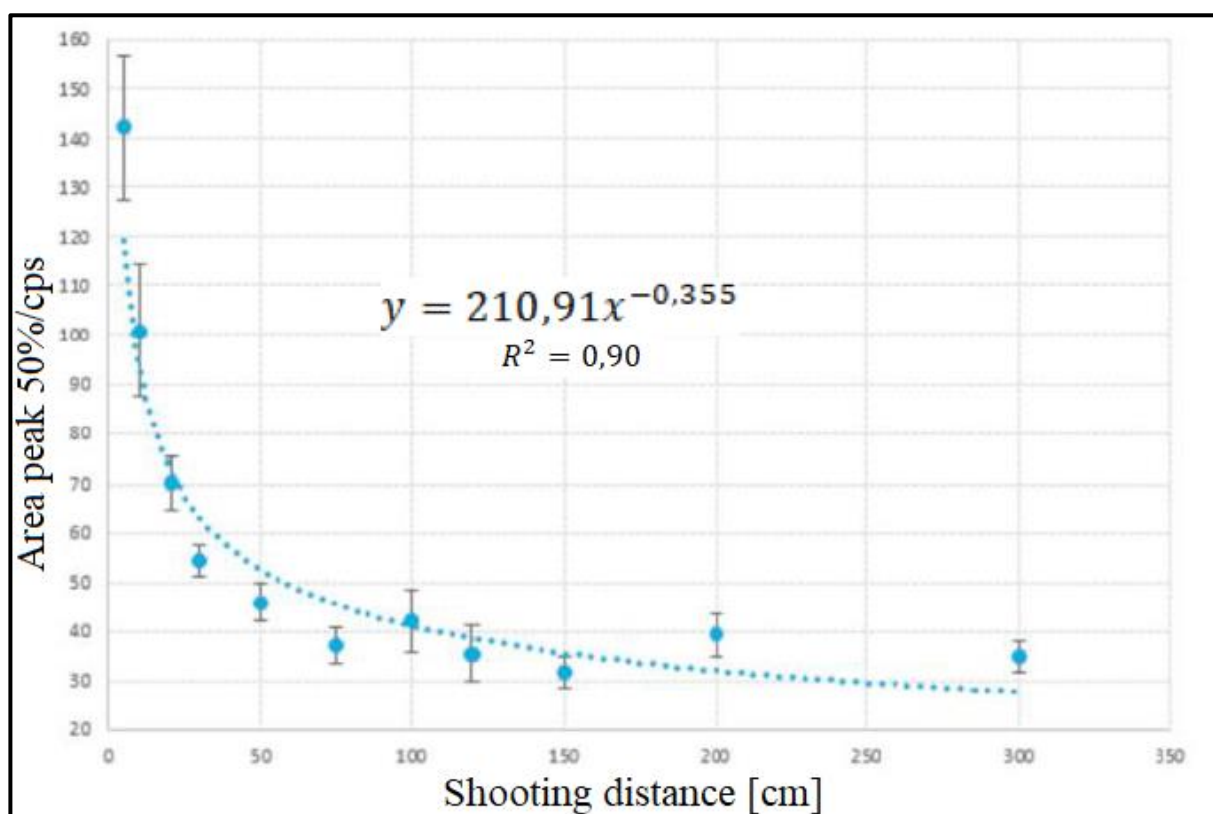
Pro potřeby prostého odhadu vzdálenosti střelby lze rozptylové obrazce zplodin výstřelu rozdělit do 4–5 základních rozsahů. Podle [26,27,47,53,54] se u palných kulových zbraní rozlišuje 5 základních vzdáleností: kontaktní vzdálenost, bezprostřední vzdálenost, malá vzdálenost, střední vzdálenost a velká 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 [26,27,47,53,54].

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. [26,27,47,53,54].

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) [26,27,47,53,54].

V článku [38] 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. 2 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. 2: Pokles množství olova mezi 5–300 cm [38].

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 [29]. Na základě zviditelněných prvků je pak možné zkušební vzorky opět porovnat opticky.

1.4 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 [55]. 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.

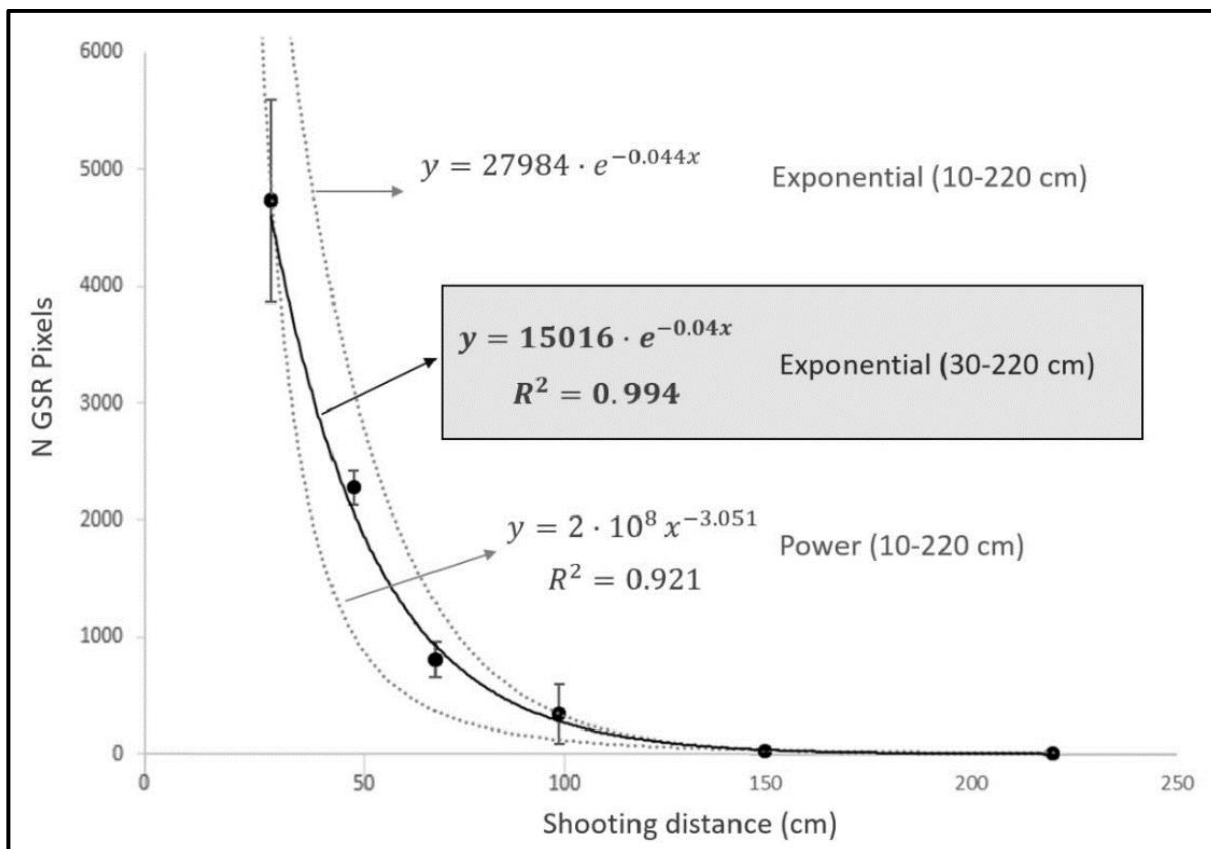
V článku [21] byl proveden odhad vzdálenosti střelby na základě množství zplodin výstřelu analyzovaných pomocí SW MATLAB. K vytvoření vzorků bylo stříleno palnou zbraní Glock 17 s nábojem 9 mm Luger od společnosti Sellier & Bellot na bílý bavlněný podklad ze sedmi vzdáleností (10, 30, 50, 70, 100, 150 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

$$\text{počet černých pixelů v obrazci} = 15016e^{-0,04(\text{vzdálenost střelby v cm})}. \quad (1.4.1)$$

Rovnice (1.4.1) byla pro stanovení vzdálenosti střelby upravena do tvaru

$$\text{Vzdálenost střelby (cm)} = \frac{\ln \frac{15016}{\text{počet černých pixelů v obrazci}}}{0,04}. \quad (1.4.2)$$

Pro stanovení vzdálenosti v rozmezí 30 až 220 cm byla stanovena relativní nejistota do 10 %, viz obr. 3.



Obr. 3: Odhadu vzdálenosti střelby od 30 do 220 cm [21].

Článek [16] poprvé teoreticky podložil matematické zpracování digitálních snímků rozptylových obrazců zplodin výstřelu na příkladu palných kulových zbraní. 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

$$D_{\Sigma} = -\ln \frac{\sum_i I_i}{I_0 N}, \quad (1.4.3)$$

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.

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 [16,56], které k analýzám používaly AI.

2. 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:

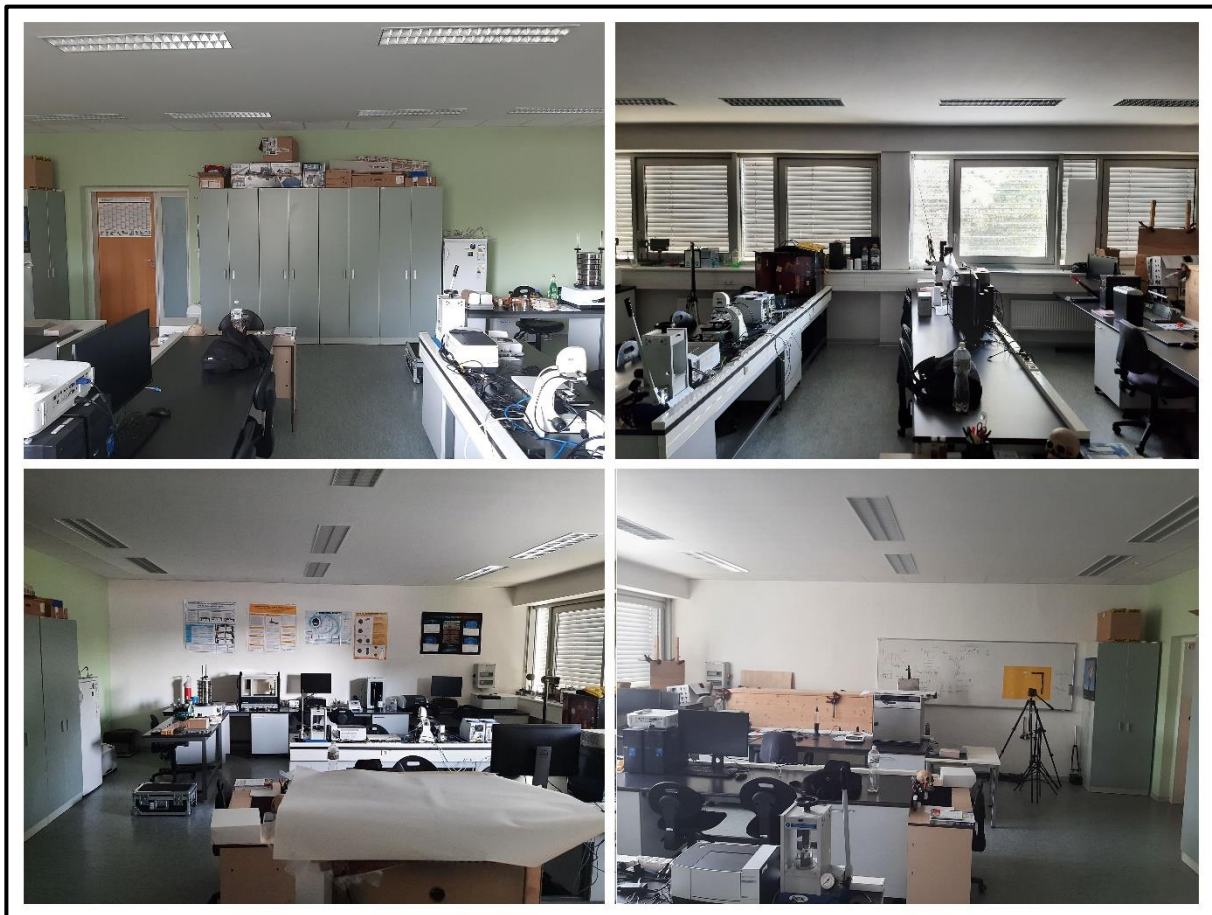
1. Zhodnocení současného stavu v dané oblasti.
2. Provedení série experimentálních měření.
3. Zpracování výsledků z experimentálních měření.
4. Analýza a vyhodnocení získaných dat.
5. Vytvoření návrhu matematického modelu ke stanovení odhadu vzdálenosti střelby z expanzní pistole.

3. 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.

Veškeré experimenty byly provedeny v Laboratoři forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně (obr. 4). 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 %. 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. 4: Laboratoř forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky.

3.1 Použité přístroje a pomůcky

- Laboratorní váhy PLT 2000-3 DM,
- svinovací metr a digitální posuvné měřidlo,
- nastřelovací stoličky MATRIX,
- expanzní pistole Atak Zoraki 917,
- stojan k uchycení záchytového materiálu,
- záchytový materiál rozptylových obrazců zplodin výstřelu,
- multifunkční tiskárna RICOH IM C3000,
- digitální fotoaparát NIKON D5200 s objektivem Nikon 18–105 mm f/3.5-5,6G ED VR AF-S DX,
- světla k nasvícení scény záchytového materiálu,
- mikrováhový senzor QCM200,
- maticové rozmístění pro umístění mikrováhového senzoru.

3.2 Použité softwarové nástroje

- LUCIA Forensic od společnosti LABORATORY IMAGING s.r.o.,
- Microsoft Excel,
- Wolfram Mathematica.

3.3 Použité střelivo

K provedení experimentů byly vybrány akustické nábojky určené do expanzních pistolí v ráži 9 mm P.A.K. různých výrobců. Nábojky použité v jednotlivých experimentech jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: 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

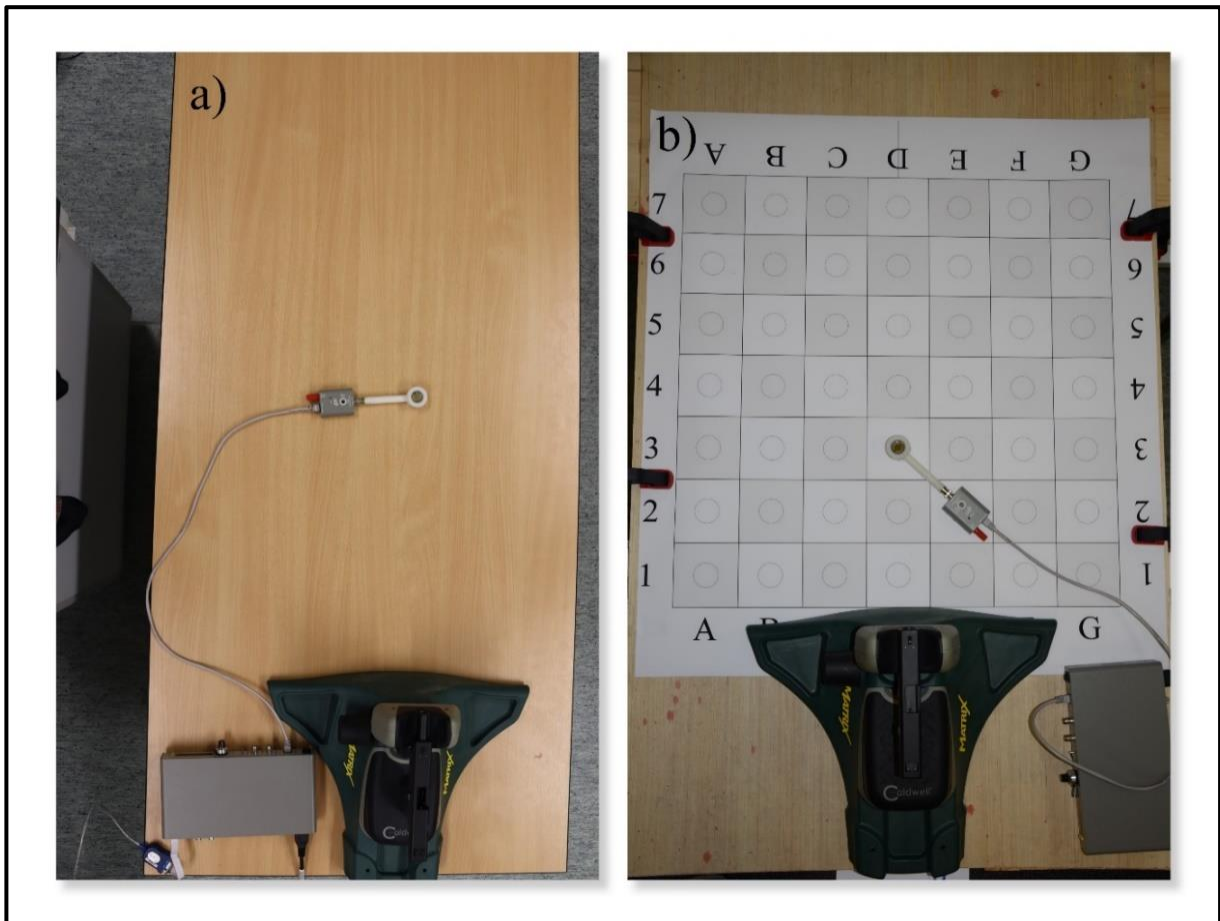
3.4 Popis experimentů

3.4.1 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.

3.4.2 Analýza spadu zplodin výstřelu v závislosti na vzdálenosti a času

Pracoviště k měření spadu zplodin výstřelu je možné vidět na obr. 5. Před expanzní pistolí ani v její blízkosti nebyla umístěna žádná překážka, která by bránila samovolnému letu a spadu zplodin výstřelu. Z obr. 5 je také zřejmé, že expanzní pistole byla umístěna na nastřelovací stolicí 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. 5: 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. Měření spadu zplodin výstřelu v přímém směru (obr. 5a) 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. 5b) 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. 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.

3.4.3 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 stoličky. Střelba ve všech případech probíhala kolmo na záchytový materiál. Rozptylové obrazce byly vytvořeny pro vzdálenosti střelby 30, 60, 90, 120, 150 a 180 mm, přičemž pro každou vzdálenost a každý záchytový materiál bylo vytvořeno vždy 5 rozptylových obrazců.

Všechny záchytové materiály s rozptylovými obrazci byly do digitální podoby převáděny nejprve skenováním a následně fotografováním. Snímání záchytového materiálu skenováním bylo provedeno nasnímáním prostřednictvím skenovací plochy kancelářské multifunkční tiskárny. Výstupem skenování byly soubory formátu TIFF s kvalitou obrazu 300 DPI. Skenování záchytových 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 záchytových materiálů.

Fotografování probíhalo tak, že záchytový materiál byl upevněn na svislou rovinu pomocí oboustranné lepicí pásky. Snímaná scéna byla nasvícena dvěma světly s plným kruhovým LED svícením, kde byly ke snímané scéně umístěna pod úhlem 45° ve vzdálenosti 480 mm od středu snímané scény. Navíc bylo 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 umístěné pod úhlem 90° vzhledem ke snímané scéně a ve vzdálenosti 526 mm od středu snímané scény. 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. Experimentálně bylo zjištěno, že hodnota 5 000 K je k nasnímání scény nejvhodnější.

4. VÝSLEDKY Z MĚŘENÍ A EXPERIMENTŮ A JEJICH DISKUSE

4.1 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. 2.

Tab. 2: 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

4.2 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 pomocí rovnice

$$\Delta m = -\frac{\Delta f}{C_f} \cdot S, \quad (4.2.1)$$

kde Δm (ng) je změna hmotnosti, Δf (Hz) je pozorovaná změna frekvence a S (cm^2) je aktivní plocha použitého krystalu a C_f je citlivostní faktor použitého krystalu (v tomto případě $5,66 \cdot 10^{-2} \text{ Hz} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{ng}^{-1}$) [57].

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 4.2.1 upravena do tvaru

$$\Delta \rho_S = -\frac{\Delta f}{C_f}. \quad (4.2.2)$$

Z měření vlivu prostředí bylo zjištěno, že krystal osciluje s odchylkou ± 1 Hz, což, po vypočtení podle vztahu 4.2.2, odpovídá plošné hustotě přibližně $18 \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$. Z toho vyplývá, že rozlišovací schopnost přístroje QCM200 je $18 \text{ ng} \cdot \text{cm}^{-2}$.

4.2.1 Spad zplodin výstřelu v přímém směru střelby

Akustická nábojka Walther

Z obr. 6 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.

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

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

Obr. 6: Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther v čase.

Akustická nábojka Fiocchi

Z obr. 7 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]	1 000	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
		1.	10.	20.	30.	40.	50.	60.
		Čas [min]						

Obr. 7: Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi v čase.

Akustická nábojka Pobjeda

Z obr. 8 vyplývá, že u akustické nábojky Pobjeda byl zaznamenán nejvyšší spad zplodin výstřelu na vzdálenost 200 mm až po 60. minutě měření, a to $(54 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. U vzdálenosti 500 mm měřená hodnota oscilovala v průběhu měření a ustálila se až po 50. minutě s hodnotou $(36 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. 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]	1 000	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
		1.	10.	20.	30.	40.	50.
		Čas [min]					

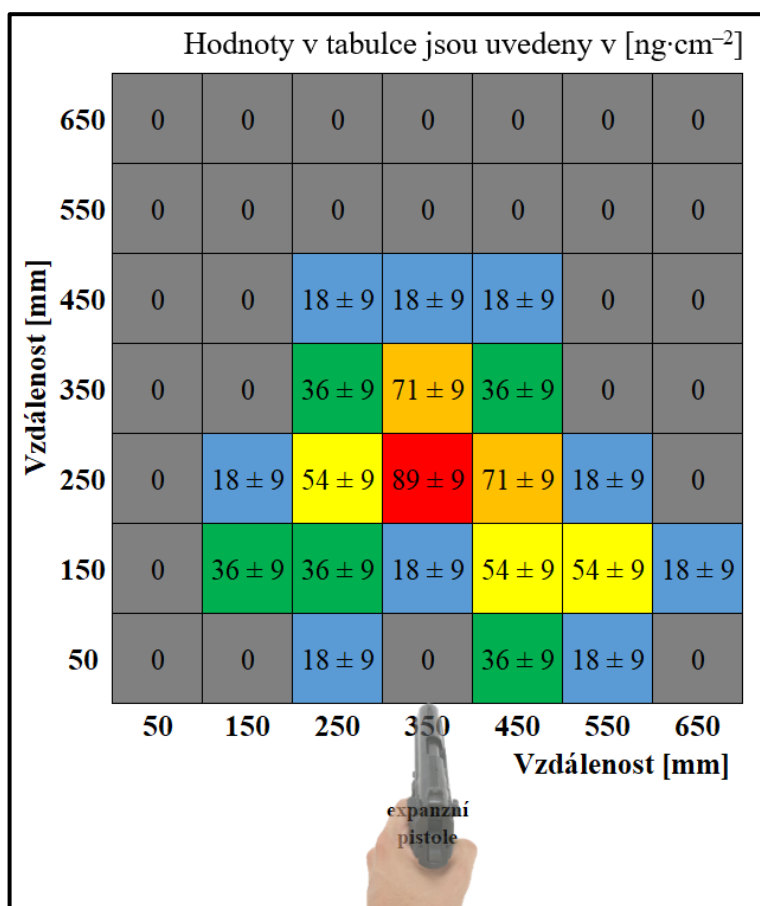
Obr. 8: Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda v čase.

Na vzdálenost 1 000 mm nebyla detekována 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.

4.2.2 Spad zplodin výstřelu v maticovém rozmístění

Akustická nábojka Sellier & Bellot

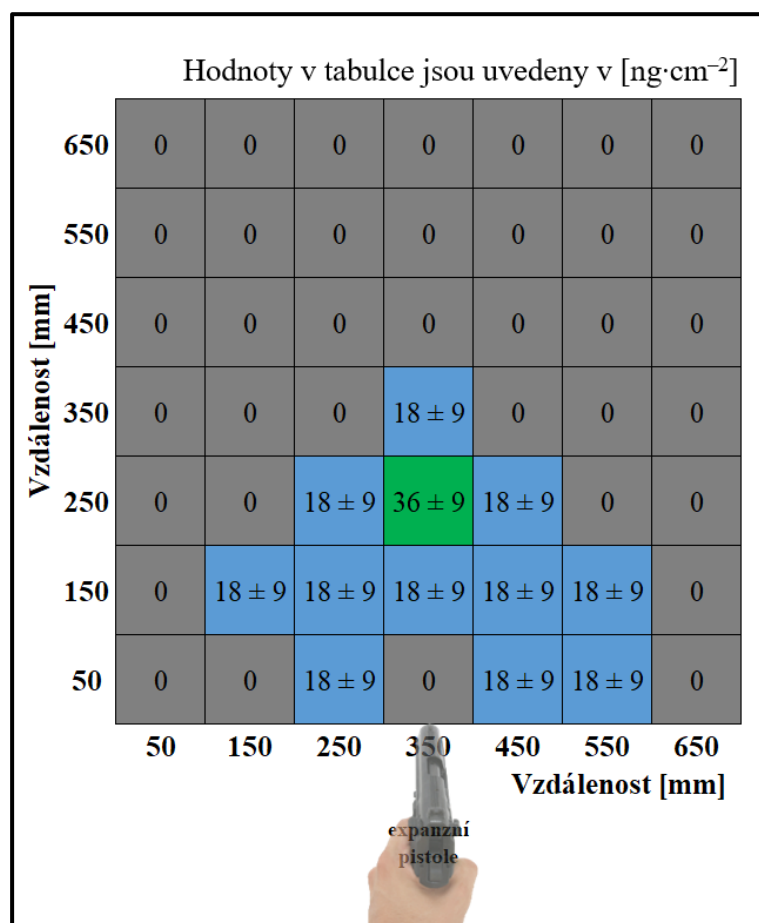
Na obr. 9 lze vidět hodnoty plošné hustoty zaznamenané mikrováhovým senzorem po 60 minutách od výstřelu. Největší hodnoty plošné hustoty byly zaznamenány v ose střelby. Na vzdálenost 250 mm od ústí hlavně expanzní pistole byla zaznamenána nejvyšší hodnota, a to $(89 \pm 9) \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. 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 zaznamenan 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. Podobný jev byl zaznamenan také v článku [33], který se zabýval distribucí částic GSR při střelbě z krátké palné kulové zbraně (pistole).



Obr. 9: Spad zplodin výstřelu u nábojky Sellier & Bellot po 60 minutách.

Akustická nábojka TITAN

U nábojky TITAN (obr. 10) 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 ± 9) $\text{ng}\cdot\text{cm}^{-2}$. 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.



Obr. 10: Spad zplodin výstřelu u nábojky TITAN po 60 minutách.

4.2.3 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 podpůrných experimentů bylo zjištěno, že jsou výrazné rozdíly mezi jednotlivými nábojkami a výrobcí. Tyto prvky tak do jisté míry ovlivňují schopnost výmetných náplní hořet a spalovat jednotlivé prvky. U nábojky Pobjeda nebyla na vzdálenost 1 000 mm zaznamenána žádná změna plošné

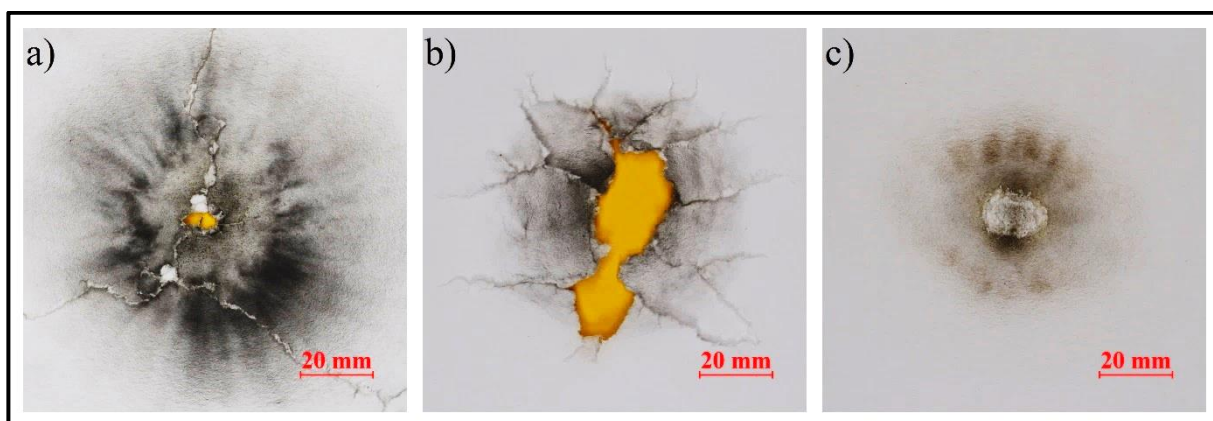
hustoty, naopak u nábojky Fiocchi byla na nejkratší vzdálenost 200 mm zaznamenána minimální změna plošné hustoty zplodin výstřelu. Obdobně to platilo i u nábojek v maticovém rozmístění, kdy u nábojky TITAN byly po 60 minutách od výstřelu zaznamenány minimální hodnoty, zatímco u nábojky Sellier & Bellot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

4.3 Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu

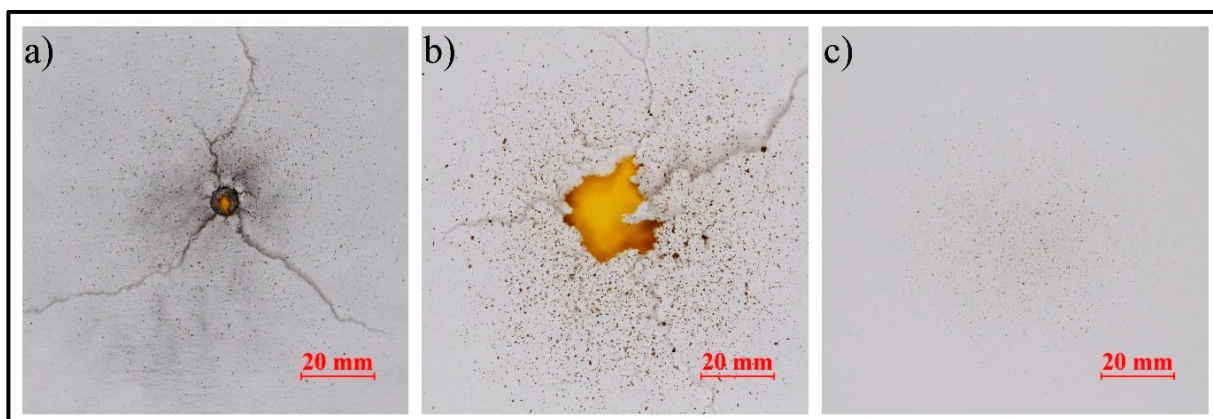
Pro porovnání, jak se liší rozptylové obrazce vzniklé střelbou z expanzní pistole oproti rozptylovým obrazcům vzniklým střelbou z krátké palné kulové zbraně (pistole), byla provedena střelba na záchyťový materiál ze dvou vzdáleností (30 a 180 mm). Byla použita krátká palná kulová zbraň Glock 17. Jako střelivo do této zbraně byly zvoleny náboj 9 mm Luger (Sellier & Bellot) a nábojka 9 mm × 19 (Fiocchi). Vzniklé rozptylové obrazce byly porovnávány s obrazcem vytvořeným střelbou z expanzní pistole, přičemž byla použita akustická nábojka 9 mm P.A.K. (Walther). Z obr. 11 je patrné, že rozptylové obrazce, které byly zachyceny na kreslicím kartonu při vzdálenosti střelby 30 mm, se výrazně liší. U náboje 9 mm Luger (Sellier & Bellot) lze vidět průstřel záchyťového materiálu včetně cípovité perforace (obr. 11a). Ve srovnání s nábojkou 9 mm × 19 (Fiocchi) určenou do krátké palné kulové zbraně (pistole) je viditelná mnohem větší perforace záchyťového materiálu i s vytvořeným rozptylovým obrazcem (obr. 11b). 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. 11c). U tohoto obrazce je sice viditelné ohraničení (střed střelby), ale nedošlo k celkové perforaci záchyťového 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 záchyťového 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.

Na obr. 12 jsou srovnány rozptylové obrazce zplodin výstřelu vzniklé při střelbě ze vzdálenosti 180 mm. U náboje (obr. 12a) je jasně zřetelný průstřel s kruhovitým tvarem a trojcípou perforací záchyťového materiálu. Také je zřejmý okem viditelný rozptylový obrazec, avšak vůči obrazci vzniklému při střelbě ze vzdálenosti 30 mm (obr. 11a) je tento rozptylový obrazec méně viditelný. Obr. 12b) představuje obrazec vzniklý při střelbě s nábojkou 9 mm × 19 (Fiocchi). Lze vidět, že také došlo k perforaci záchyťového materiálu a cípovitému roztržení. Přestože část záchyťového materiálu byla odtrhnuta, je rozptylový obrazec dostatečně zřetelný pouhým okem i na snímku. Obr. 12c) 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. 11: 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.

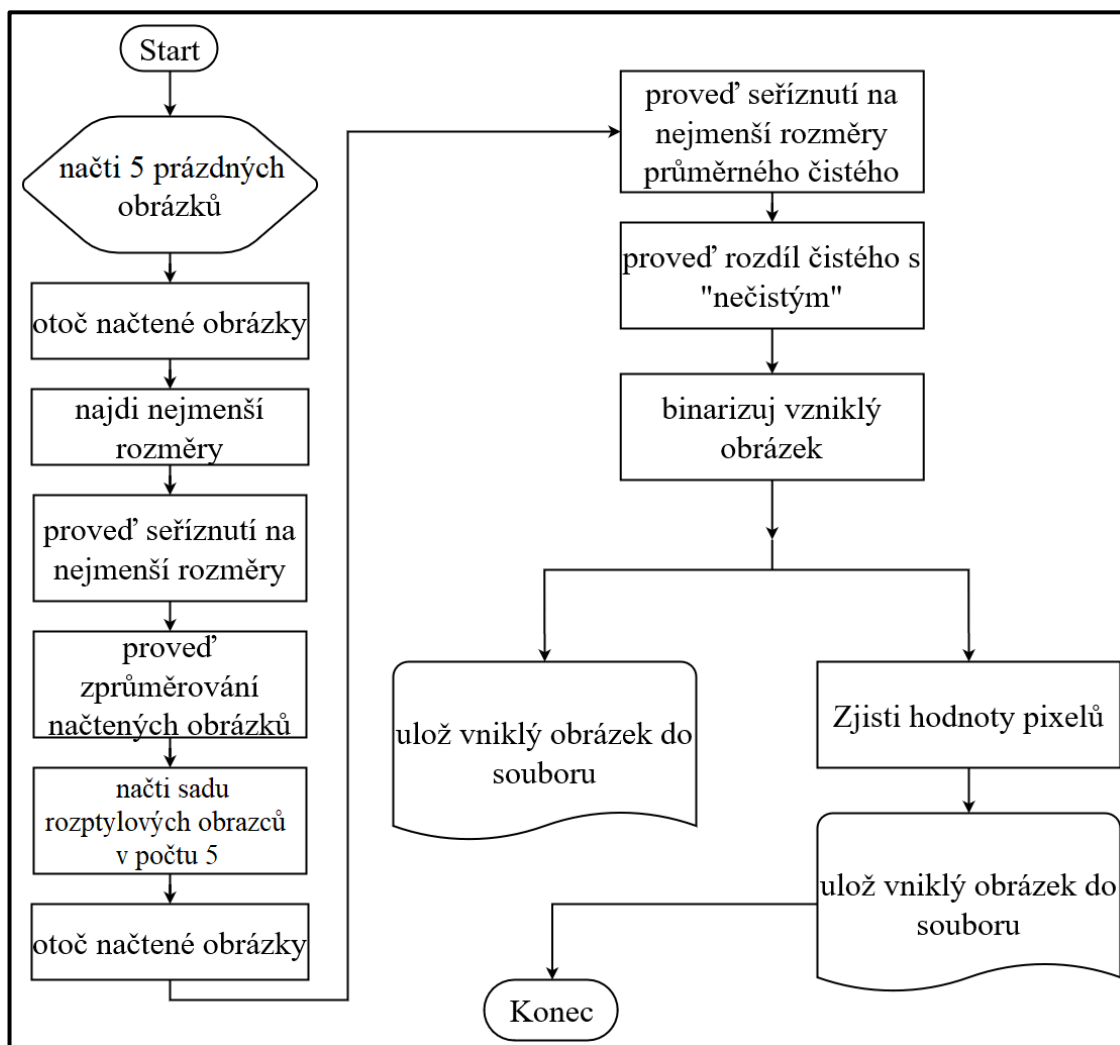


Obr. 12: Srovnání rozptylových obrazců zplodin výstřelu na vzdálenost 180 mm na kreslicí karton: a) náboj ráže 9 mm Luger, b) nábojka 9 × 19, c) nábojka 9 mm P.A.K.

Z obr. 11 a 12 je patrné, že rozptylové obrazce zplodin výstřelu při použití krátké palné kulové zbraně se střelivem náboj 9 mm Luger (Sellier & Bellot) a nábojka 9 × 19 (Fiocchi) jsou zřetelnější a práce s nimi, v porovnání s expanzní pistolí s nábojkou 9 mm P.A.K. (Walther), je snazší. 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.

4.4 Výsledky ze softwaru Wolfram Mathematica

Pomocí SW Wolfram Mathematica byla provedena automatická analýza digitálních fotografií rozptylových obrazců zplodin výstřelu. Pro automatickou analýzu byl v prostředí Wolfram Mathematica vytvořen vlastní algoritmus, jenž je popsán vývojovým diagramem (obr. 13).

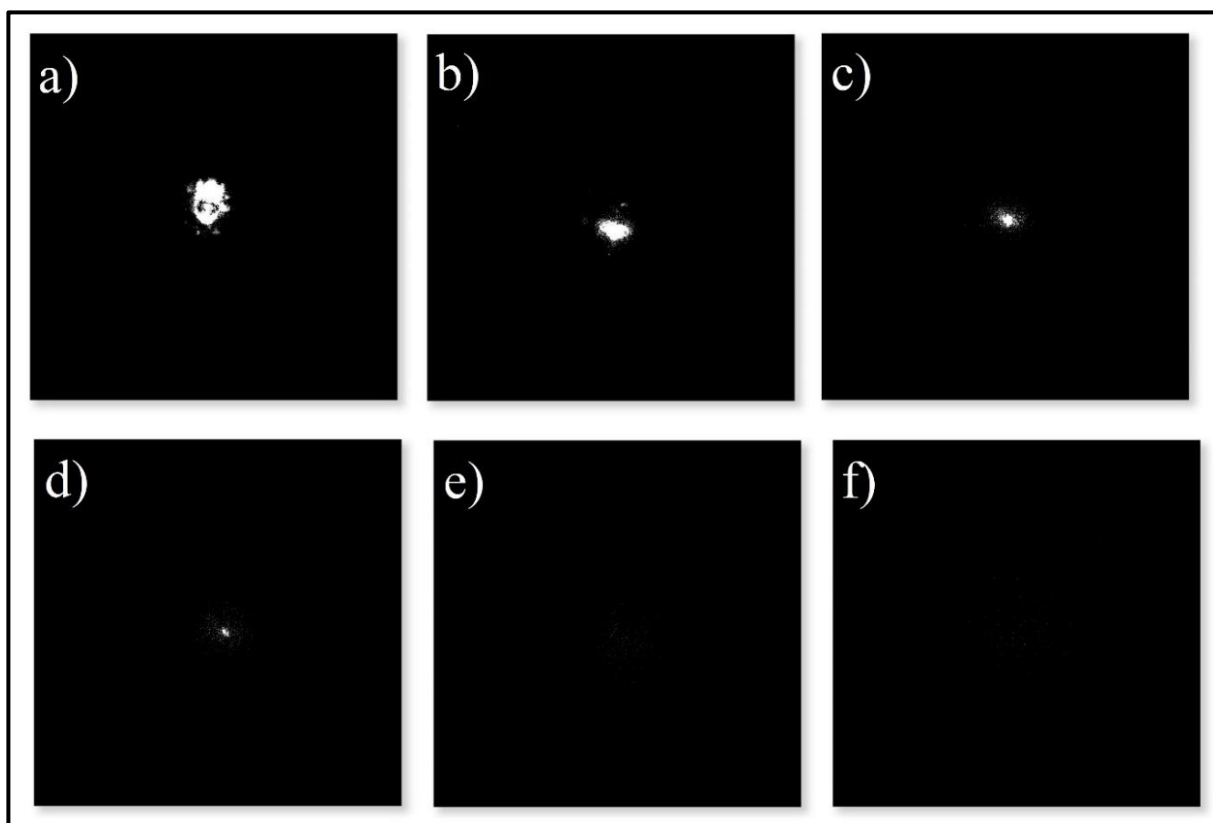


Obr. 13: Vývojový diagram pro automatizovanou analýzu rozptylových obrazců zplodin výstřelu na záchytovém materiálu.

Nejprve byly načteny fotografie prázdných záchytových materiálů (celkem 5 ks, pro každý typ použité nábojky), které byly pořízeny před každou sérií střelby, jako referenční vzorek záchytového materiálu. Snímky prázdného záchytového materiálu byly oříznuty na stejnou velikost a následně zprůměrovány vzhledem k počtu černých a bílých pixelů do jednoho výsledného referenčního snímku.

Dále byl proveden rozdíl výsledného referenčního snímku s každým snímkem s rozptylovým obrazcem zplodin výstřelu (každého typu použité nábojky zvlášť) a bylo odstraněno pozadí. Takto vzniklý jeden snímek byl binarizován pomocí

příkazu *Binarize*, tzn. barevný snímek byl převeden na snímek, kde každý pixel představuje hodnotu 0 (černá) nebo 1 (bílá). Vznikl tak snímek, kde pixely odpovídající zplodinám výstřelu jsou bílé (hodnota 1) a vše ostatní je černé (hodnota 0). 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. Ukázka výsledných snímků z nábojky Walther pro jednotlivé vzdálenosti je zobrazena na obr. 14. Je patrné, že až do vzdálenosti 120 mm (obr. 14d) je rozptylový obrazec viditelný pouhým okem.

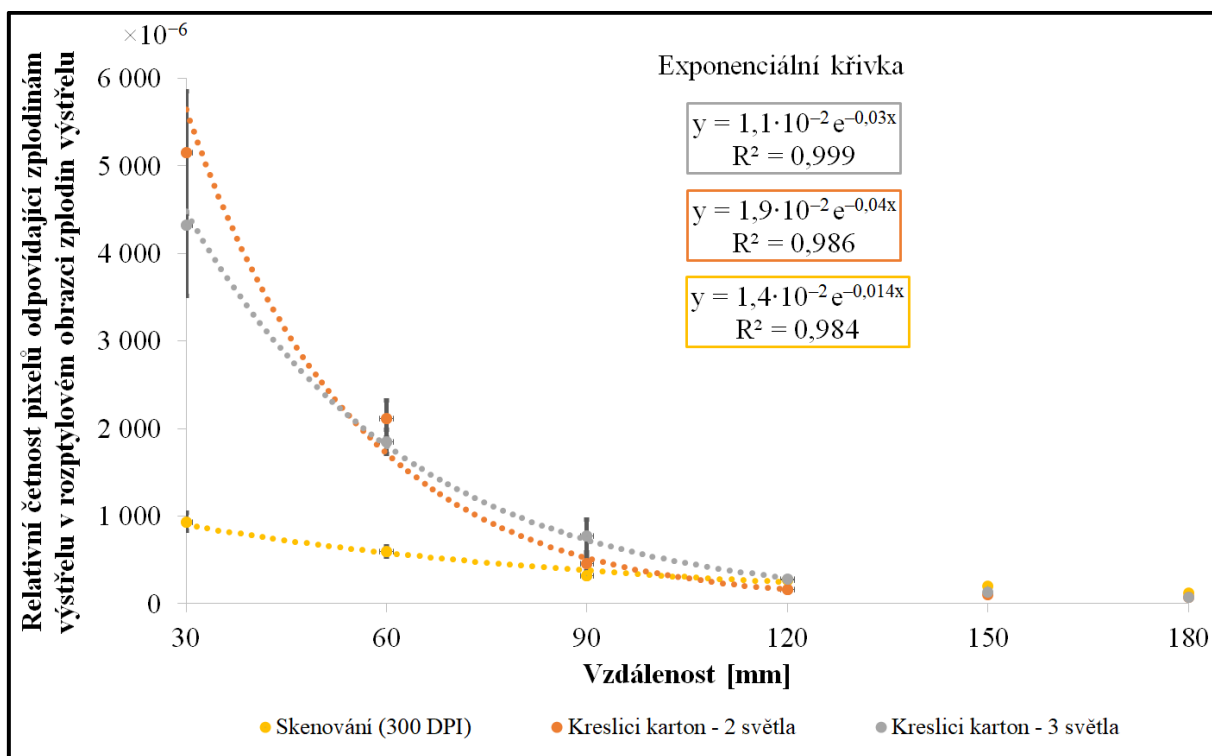


Obr. 14: Ukázka binárních snímků provedených automatickým zpracováním fotografie algoritmem k určení hodnot pixelů v nich na vzdálenost: a) 30 mm, b) 60 mm, c) 90 mm, d) 120 mm, e) 150 mm a f) 180 mm.

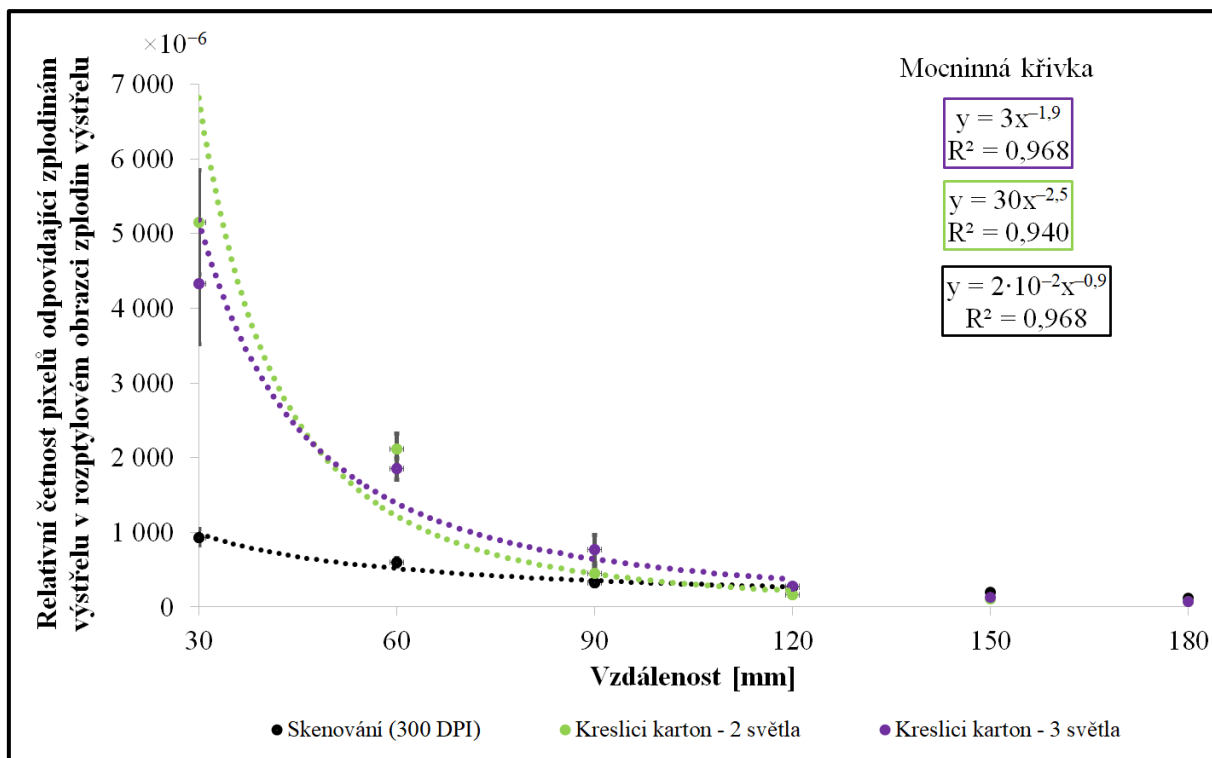
Z provedeného algoritmu bylo do souboru TXT uloženo vždy 5 hodnot pro danou vzdálenost a typ použité nábojky. Celkem bylo vytvořeno 18 souborů (3 typy nábojek s 6 vzdálenostmi), přičemž každý soubor obsahoval 5 hodnot odpovídajících 5 opakováním (výstřelům).

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. 15 a obr. 16) a hodnoty odpovídající každé metodě záznamu (skenování, fotografování pomocí dvou

a pomocí tří světel) byly proloženy exponenciální (obr. 15) a mocninnou (obr. 16) křivkou [přiměřeně s ohledem na 21,38].



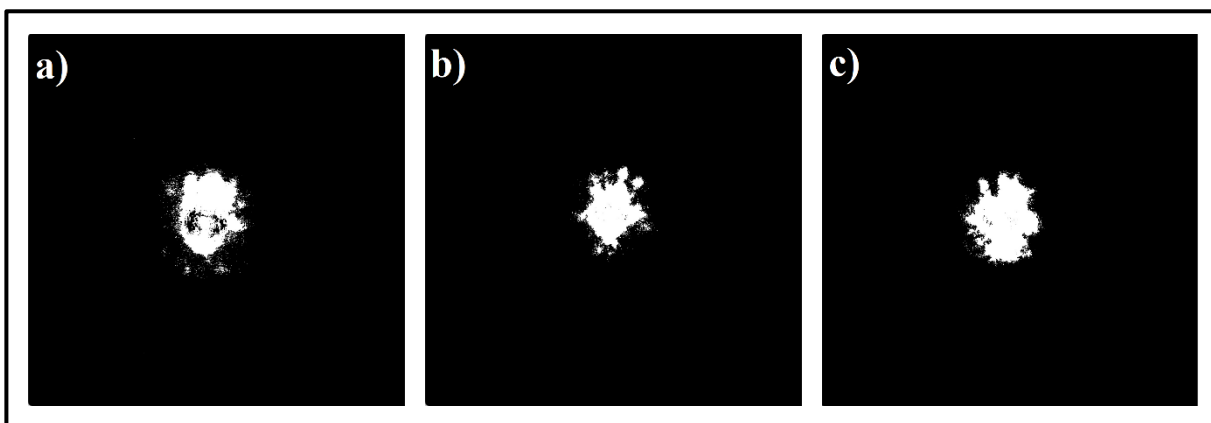
Obr. 15: Proložení exponenciální křivky ze zjištěných četností pro vzdálenosti 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.



Obr. 16: Proložení mocninné křivky ze zjištěných četností pro vzdálenosti 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.

Z výsledků vynesných v obr. 15 a 16 vyplývá, že metoda skenování nebyla vhodná. 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. 15) vychází hodnota spolehlivosti R^2 téměř 100 %.

Na základě vyhodnocení testovacích experimentů s nábojkou Walther byly stanoveny podmínky pro další experimenty (automatické seříznutí 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. 17 je ilustrativně zachyceno srovnání binárních snímků rozptylových obrazců jednotlivých nábojek na vzdálenost 30 mm.

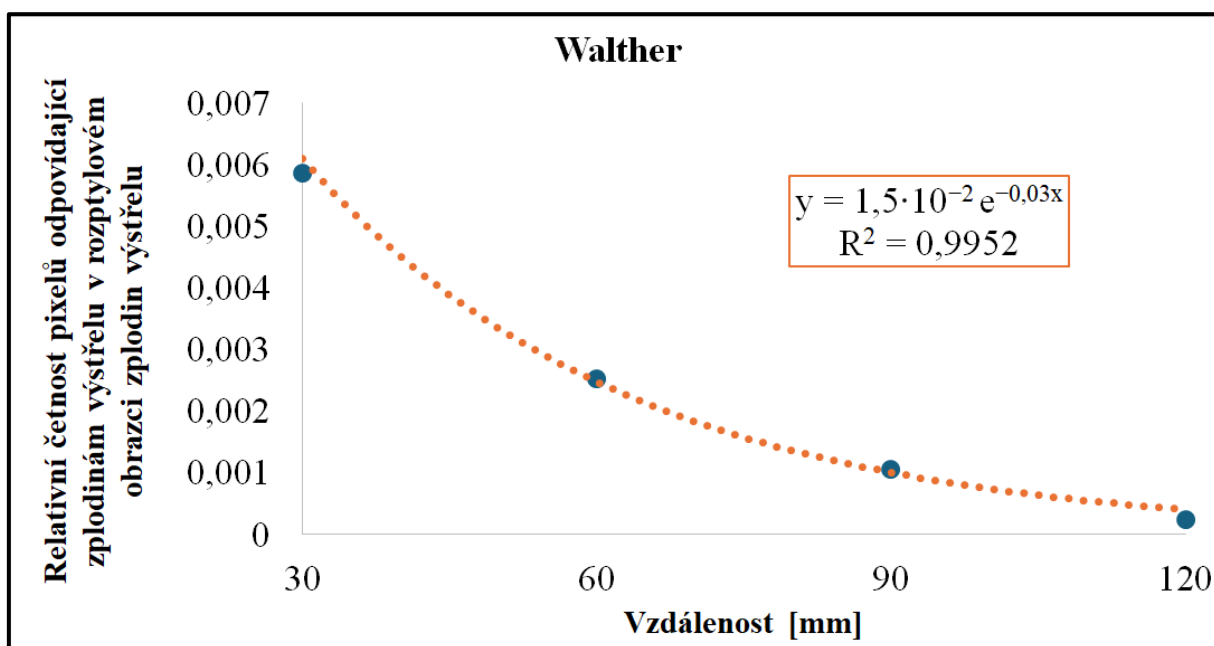


Obr. 17: Ilustrační srovnání binárních snímků na vzdálenost 30 mm pro akustické nábojky výrobců: a) Walther, b) Pobjeda a c) TITAN.

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.

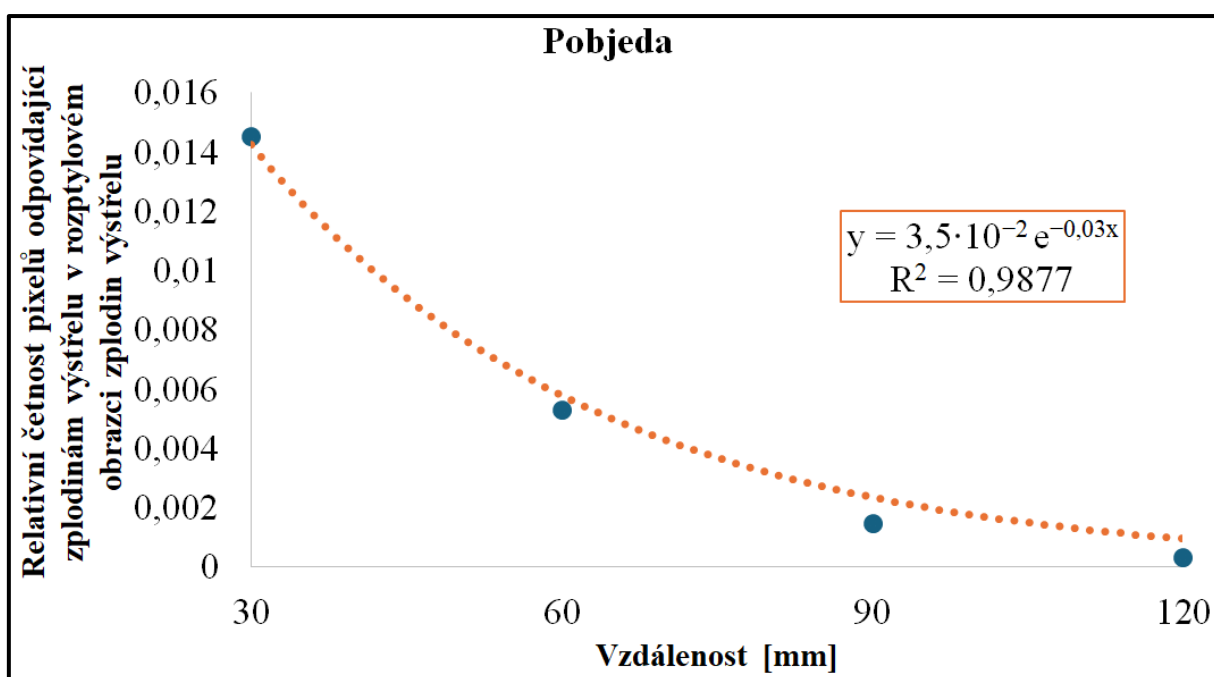
Na následujících obr. 18–20 jsou uvedeny testované akustické nábojky (Walther, Pobjeda a TITAN) s proložením obecné exponenciální křivky včetně určení parametru A dané testované akustické nábojky.

Na obr. 18 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 $1,5 \times 10^{-2}$. Hodnota spolehlivosti R^2 činí více než 99 %.



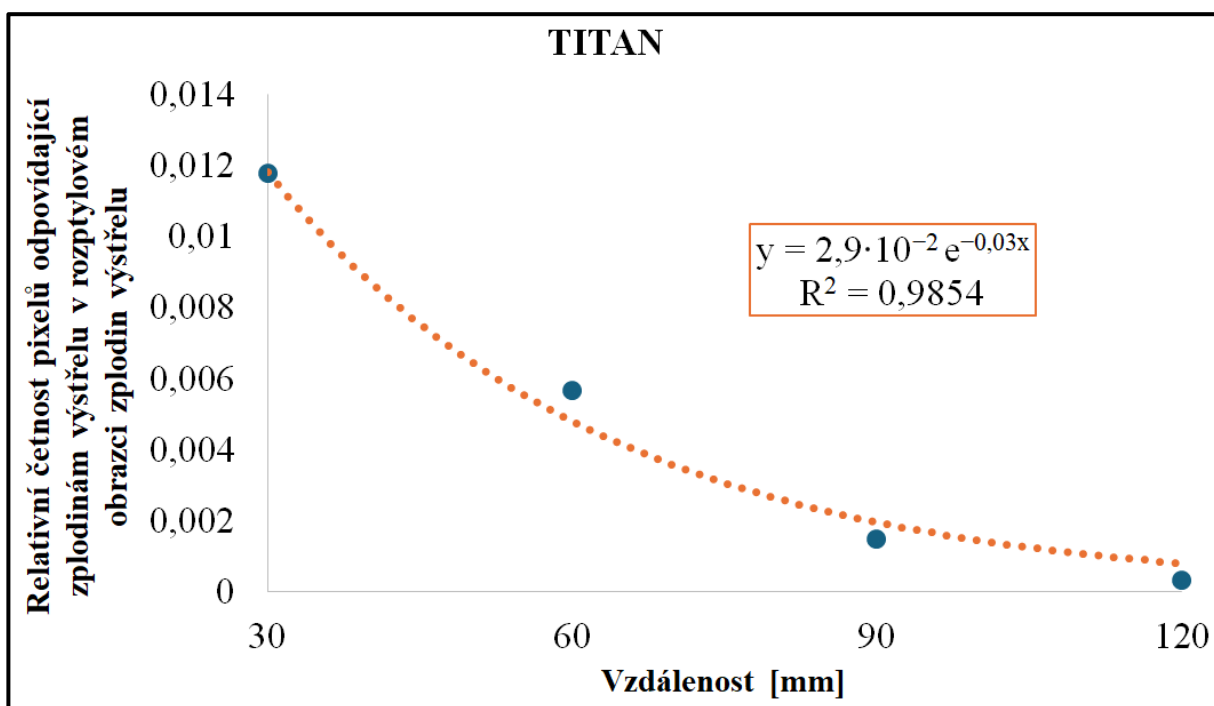
Obr. 18: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Walther.

Pro testovanou akustickou nábojku Pobjeda byl určen parametr A o hodnotě $3,5 \cdot 10^{-2}$ (viz obr. 19). Hodnota spolehlivosti R^2 činí téměř 99 %.



Obr. 19: 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. 20). Hodnota spolehlivosti R^2 činí téměř 99 %.



Obr. 20: Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky TITAN.

Z předchozích obr. 18–20 byl vybrán ze všech matematických vztahů testovaných akustických nábojek obecný matematický vztah, který lze popsat následující rovnicí

$$y = A \cdot e^{-0,03 \cdot x}, \quad (4.4.1)$$

kde y je relativní četnost pixelů odpovídající zplodinám výstřelu v rozptylovém obrazi 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 , který je popsán následující rovnicí:

$$x = -33,3 \cdot \ln \frac{y}{A}. \quad (4.4.2)$$

Po dosazení za x a y do matematického vztahu (4.4.2) je možné výsledný matematický vztah zapsat jako:

$$\text{vzdálenost [mm]} = -33,3 \cdot [\ln(\text{relativní četnost}) - \ln(A)]. \quad (4.4.3)$$

Pro zvolenou metodu fotografování pomocí tří světel 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 [21], s tím rozdílem, že v uvedeném článku pracovali s krátkou palnou kulovou zbraní, a tudíž se odhadovaná vzdálenost střelby pohybuje ve vyšších hodnotách.

5. 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 zbráním 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] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 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
- [26] 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
- [27] 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
- [28] 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
- [29] 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.
- [30] 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
- [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] 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
- [33] 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

- [34] 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
- [35] 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
- [36] 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
- [37] 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
- [38] MIRANDA, Karla Leiva, Fernando E. ORTEGA-OJEDA, Carmen GARCÍA-RUIZ 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
- [39] 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
- [40] 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
- [41] 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

- [42] 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
- [43] 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
- [44] 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
- [45] 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
- [46] 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
- [47] PLANKA, Bohumil et al. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-036-9.
- [48] 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
- [49] 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

- [50] 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.
- [51] MULLER, Dan, Aharon LEVY, Asya VINOKUROV, Mark RAVREBY, Ran SHELEF, Ehud WOLF, Baruch ELДАР 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
- [52] 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
- [53] ŠAFR, Miroslav a Petr HEJNA. *Střelná poranění*. Praha: Galén, c2010. ISBN 978-80-7262-696-0.
- [54] SVOBODA, Ivo. *Kriminalistika*. Ostrava: Key Publishing, 2016. Učebnice (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-259-4.
- [55] 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
- [56] 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
- [57] *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: Vznik rozptylových obrazců zplodin výstřelu při úhlu střelby: a) 90°, b) 45° a c) 5°, vzhledem k cíli..... 7
- Obr. 2: Pokles množství olova mezi 5–300 cm [38]. 9
- Obr. 3: Odhadu vzdálenosti střelby od 30 do 220 cm [21]. 11
- Obr. 4: Laboratoř forenzních věd na Fakultě aplikované informatiky..... 13
- Obr. 5: Pracoviště určené k realizaci měření spadu zplodin výstřelu: a) v přímém směru střelby, b) v maticovém rozmístění. 15
- Obr. 6: Spad zplodin výstřelu u nábojky Walther v čase. 18

Obr. 7:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Fiocchi v čase.	18
Obr. 8:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Pobjeda v čase.....	19
Obr. 9:	Spad zplodin výstřelu u nábojky Sellier & Bellot po 60 minutách.20	
Obr. 10:	Spad zplodin výstřelu u nábojky TITAN po 60 minutách.	21
Obr. 11:	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.	23
Obr. 12:	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.	23
Obr. 13:	Vývojový diagram pro automatizovanou analýzu rozptylových obrazců zplodin výstřelu na záchytovém materiálu.	24
Obr. 14:	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.	25
Obr. 15:	Proložení exponenciální křivky ze zjištěných četností pro vzdálenosti 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.	26
Obr. 16:	Proložení mocninné křivky ze zjištěných četností pro vzdálenost 30 až 120 mm u akustické nábojky Walther.	26
Obr. 17:	Ilustrační srovnání binárních snímků na vzdálenost 30 mm pro akustické nábojky výrobců: a) Walther, b) Pobjeda a c) TITAN... 27	
Obr. 18:	Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Walther.	28
Obr. 19:	Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky Pobjeda.	28
Obr. 20:	Proložení obecné exponenciální křivky u akustické nábojky TITAN.	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1:	Nábojky určené k provedení experimentů.....	14
Tab. 2:	Stanovení hmotnosti výmetné náplně a nejistot u vybraných nábojek.	17

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný objekt
f	Frekvence
ρ_s	Plošná hustota
σ_i	Plocha jednoho pixelu
C_f	Citlivostní faktor krystalu
AI	Artificial Intelligence (Umělá inteligence)
D_Σ	Optická hustota

DPI	Dots per inch (bod na palec)
f_0	Rezonanční frekvence krystalu
GSR	Gunshot Residues (Povýstřelové zplodiny)
i	Počet pixelů
I_0	Jas (střední hodnota) v obraze
I_i	Hodnota jasu v pixelu
IR	Infrared (Infračervené)
LED	Light-emitting diode (Elektroluminiscenční dioda)
m	Hmotnost
N	Oblast výběru měnicí se od 1 do N
QCM	Quartz crystal microbalance
P.A.K.	Pistol Akustic Knall
S	Aktivní plocha použitého krystalu
Si	Křemík
SW	Software
UV	Ultraviolet (Ultrafialová)

PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

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, Ph.D.

**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

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: autor

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Pořadí vydání: první

Rok vydání 2024

ISBN 978-80-7678-307-2

