

# **Vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně**

Ing. Martin Fíček, Ph.D.

Teze disertační práce



# Univerzita Tomáše Bati

## Fakulta aplikované informatiky

Teze disertační práce

### **Vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně**

### **Influence of Shooting Distance on the Wounding Potential of an Air Weapon**

Autor: **Ing. Martin Ficek, Ph.D.**

Studijní program: P3902 - Inženýrská informatika

Studijní obor: 3902V023 - Inženýrská informatika

Školitel: prof. Ing. Ludvík Juříček, Ph.D.

Oponenti: doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.  
doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
prof. JUDr. PhDr. Miroslav Mareš, Ph.D.

Zlín, prosinec 2022

© Martin Ficek

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.  
Publikace byla vydána v roce 2022

Klíčová slova: *Balistika, vzduchovka, větrovka, ranivý potenciál.*

Key words: *Ballistics, air rifle, wounding potential.*

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

ISBN 978-80-7678-141-2

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá vlivem vzdálenosti střelby na úroveň ranivého potenciálu vzduchové zbraně. Hlavním cílem práce je určení vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně. V průběhu výzkumu byly užívány standardní metody, jako je analýza, syntéza, indukce a dedukce. Při praktickém výzkumu bylo využito metody experimentu, a to formou balistických experimentů se zaměřením na určení rychlosti střel a jejich průběhů, dopadovou kinetickou energii, hybnost, hustotu dopadové kinetické energie, hloubku zástřelu a maximální průměr dočasné dutiny. Celkem byly hodnoceny čtyři druhy střely typu diablolo ráže 4,5 mm a dvě plynové zbraně (vzduchovka a větrovka). Všechny střely mají přibližně stejnou hmotnost, liší se především ve tvarech hlaviček. Vyhodnocením dat z provedených experimentů bylo zjištěno, že sledované parametry mají u všech použitých střel obdobný trend, a tedy bylo možno vytvořit obecný lineární model poklesu rychlosti střel. Poznatky získané při výzkumu lze využít ve vědě i v praxi. Z rešerše literatury a zdrojů vyplývá, že podobný výzkum dosud nebyl ve větší míře prováděn. Tuto práci lze tak považovat za prvotní komplexnější studii a její závěry za první hypotézy, které je však nutno dále experimentálně ověřit podrobnějšími výzkumy a studii.

## **Abstract**

This work deals with the influence of the firing distance on the level of the wounding potential of the air weapon. The main goal of this work is to determine the effect of firing distance on the wounding potential of an air weapon. Standard methods such as analysis, synthesis, induction, and deduction were used during the research. The practical research used the method of experiment, in the form of ballistic experiments focused on determining the velocity of missiles and their courses, impact kinetic energy, momentum, density of impact kinetic energy the depth of the shot and the maximum diameter of the temporary cavity. A total of four types of 4.5 mm diablolo missiles and two gas weapons (air rifle and windbreaker) were evaluated. All missiles have approximately the same weight, differing mainly in the shapes of the heads. By evaluating the data from the performed experiments, it was found that the monitored parameters have a similar trend for all missiles used, and thus. It was possible to create a general linear model of missile velocity decrease. The knowledge gained from research can be used in science and practice. A search of the literature and sources shows that similar research has not yet been conducted to a greater extent. This work can thus be considered the initial, more comprehensive study and its conclusions as to the first hypotheses, which must be further experimentally verified by more detailed research and studies.

# Obsah

Úvod .....	5
1. Současný stav řešené problematiky .....	5
2. Cíle a omezení disertační práce.....	6
3. Teoretický rámec .....	7
3.1 Úvod do balistiky .....	7
3.2 Zbraně a střelivo.....	10
4. Zvolené metody zpracování .....	11
5. Popis experimentů .....	11
5.1 Zbraně a střelivo.....	12
5.2 Další pomůcky .....	13
6. Výsledky měření a interpretace dosažených výsledků .....	14
6.1 Okamžitá rychlost střel .....	16
6.2 Kinetická energie střel .....	19
6.3 Hybnost střel .....	21
6.4 Hustota energie střel .....	23
6.5 Hloubka zástřelu .....	25
6.6 Maximální šířka (průměr) dočasné dutiny.....	27
6.7 Shrnutí výsledků práce.....	28
Přínos práce pro vědu a praxi .....	29
Závěr .....	30
Seznam použité literatury .....	32
Seznam obrázků.....	37
Seznam grafů .....	37
Seznam tabulek.....	38
Publikační aktivity autora.....	39
Odborný životopis autora .....	43

# Úvod

Tato práce se zabývá vlivem vzdálenosti střelby na účinnost mikrorážového střeliva nízkého balistického výkonu vystřeleného z ruční palné zbraně. Účinnost střely je zde hodnocena prostřednictvím ranivého potenciálu, který vyjadřuje schopnost střely vyvolávat v zasaženém biologickém cíli střelné poranění. Zkoumá se vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál mikrorážového střeliva relativně nízkého balistického výkonu.

Práce je zaměřena na účinnost střeliva používaného ručními palnými zbraněmi využívajícími mikrorážové střelivo; konkrétně se jedná o vzduchové zbraně známé jako „vzduchovka“ a „větrovka“ a střelami typu diablo známými pod pojmem „diabolky“.

Téma práce a její zaměření reagují na snadné zneužití těchto typů zbraní pro páchaní trestné činnosti [1]. Tato tematika není z pohledu balistiky, a zejména ranivé balistiky, dostatečně odborně popsána, jedná se pouze o obecně známé skutečnosti.

Potenciální nebezpečnost vzduchových zbraní dokládají vybrané případy (kazuistiky) reálných střelných poranění člověka způsobených vzduchovou zbraní [2-7]. Tyto případy dokazují, že střelná poranění způsobená vzduchovými zbraněmi mohou mít fatální charakter a působit zranění neslučitelná se životem. Přitom se nejedná pouze o děti a dospívající, ale tyto zbraně a střelivo mají potenciál způsobit fatální zranění také dospělým nebo seniorům. Významnou skupinou potenciálních poškozených tímto typem zbraňového systému jsou těhotné ženy. Jelikož není oblast ranivého potenciálu vzduchových zbraní dostatečně prozkoumána, je třeba se věnovat problematice zkoumání a kvantitativního hodnocení jejich ranivého potenciálu. Tento fakt dokládají i poznatky kriminalistů, odborníků na balistiku zranění, soudních lékařů a válečných chirurgů, soudců či právníků.

## 1. Současný stav řešené problematiky

Současný stav poznání v oblasti výzkumu vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchových zbraní spočívá v jednom článku, který publikoval autor této práce [8]. V průběhu psaní této práce se autorovi nepodařilo dohledat jiný materiál zabývající se touto specifickou oblastí. To, že se nepodařilo dohledat více odborných vědeckých článků, může být způsobeno tím, že nejsou obsaženy v autorem dostupných databázích, dále například tím, že jsou psány v jazyce, který autor neovládá, a i přes technologický pokrok je nelze dostatečně kvalitně automaticky přeložit, či mají neobvyklý název vyplývající z teritoriální terminologie.

Byly tedy dohledány práce, obsahující relevantní informace o rychlosti střel typu diablo vystřelených ze vzduchových zbraní. V pracích [9–15] bylo

zjištěno, že průměrná rychlost střel se pohybuje v rozmezí 80 až 200 m·s<sup>-1</sup> v závislosti na typu a konstrukci diabolky. Kinetická energie střel je ve člancích popisována jen okrajově; dle studované literatury [9–15] dosahuje nejčastěji hodnot v řádu jednotek J.

Pro práci jsou nejvíce vypovídající data uvedena ve zdroji [13], kde byly analyzovány rychlosti střel diablo ráže 4,5 mm, vystřelených ze vzduchové pušky, naměřené 2 m od ústí hlavně (před dopadem na cíl). Byly zjištěny maximální (107,8 m·s<sup>-1</sup>) a minimální (78,5 m·s<sup>-1</sup>) naměřené průměrné rychlosti střel. Kinetická energie se pohybovala od 1,11 J do 2,85 J. Obě veličiny byly závislé na použitém typu střeliva.

Daly by se zde uvést i některé výstupy autora této práce [16–24], nicméně poznatky z těchto výstupů jsou převážně využívány v této práci, a proto budou v této kapitole vynechány.

Obecné zákonitosti a pravidla balistiky lze nalézt v řadě odborných publikací [25–40]. Tyto obecné poznatky vysvětlují chování střely na dráze letu a její ranivý potenciál. Také okrajově řeší specifika vzduchových zbraní. Těmito prvky se práce více zabývá v kapitole 3.

Ze zhodnocení současného stavu odborného výzkumu oblasti vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně vyplývá, že téma je řešeno pouze okrajově a terminologicky i metodicky nejednotně. Předložená práce je tedy originální a má zásadní význam pro rozvoj poznání v oblasti hodnocení vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál a vzduchové zbraně.

## 2. Cíle a omezení disertační práce

Na základě provedené rešerše a výsledků konzultací s odborníky z praxe i akademické sféry bylo zjištěno, že v oblasti zkoumání vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně existuje jistý deficit v podobě chybějící komplexnější studie. Na základě tohoto zjištění byl stanoven hlavní cíl disertační práce.

Hlavním cílem disertační práce je **navržení způsobu měření a určení vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně.**

Pro potřeby naplnění hlavního cíle je nutné realizovat tyto dílčí cíle:

- Stanovení metod měření.
- Provedení měření – experimentu.
- Vyhodnocení dat.
- Definování závěrů.

## Hypotéza disertační práce

Hypotéza práce zní: Ranivý účinek střel je závislý na jejich hmotnosti a rychlosti, přičemž se předpokládá lineární průběh poklesu rychlosti střel, a lze tedy předpokládat obdobný lineární pokles ranivého potenciálu pro jednotlivé typy střel vystřelených z daného typu zbraně. Lineární průběh poklesu rychlosti střel je vztažen k předpokládané zkoumané vzdálenosti střelby (pro tuto práci se předpokládá 15 m). Na tomto zvoleném úseku lze lineární průběh předpokládat, protože úsek je příliš krátký na to, aby měla střela dráhu balistické křivky. Při střelbě na větší vzdálenost střelby však již linearitu nelze předpokládat, neboť střela se pohybuje po balistické křivce, a tady i průběh její rychlosti bude mít podobný tvar.

## Omezení disertační práce

Disertační práci limitují především tato 4 hlavní omezení:

- omezení počtu zkoumaných zbraní,
- omezení počtu zkoumaných ráží,
- omezení typů střel diablo,
- rozsah měřených vzdáleností střelby.

Tato omezení byla zvolena s ohledem na časovou náročnost přípravy a realizaci vlastních střeleckých experimentů se snahou zachovat výpovědní hodnotu výsledků práce.

## 3. Teoretický rámec

Teoretický rámec je rozdělen do dvou částí. První část představuje úvod do balistiky a ranivé balistiky. Druhá část se zabývá oblastí konstrukce zbraní a střeliva.

### 3.1 Úvod do balistiky

**Balistika** je vědní obor zabývající se studiem pohybu střely od uvedení do pohybu až po dopad do cíle a její chování v cíli, případně po proniknutí cílem až do jejího zastavení. V souvislosti s tím balistika také zkoumá děje, které jsou s chováním střel spojené. Balistiku lze z pohledu jejího zaměření rozdělit na čtyři **základní** oblasti, kterými jsou:

- vnitřní balistika,
- přechodová balistika,
- vnější balistika,
- koncová (terminální) balistika [25, 33, 36, 38, 39].

Pro práci je nejdůležitější **Koncová (terminální) balistika**, která se zabývá chováním (pohybem) střely v zasaženém cíli, případně jejím dalším pohybem po



jeho opuštění (postterminální balistika). Hlavním sledovaným parametrem koncové balistiky je ničivý účinek střely, tedy schopnost střely předávat svoji kinetickou energii zasaženému cíli, a tím měnit jeho vlastnosti či tvar [25, 33, 36]. Jelikož tato práce zkoumá vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál střely a stěžejním sledovaným parametrem je rychlost, je nutné stručně popsat i tento pojem [25, 36].

*„Rychlost (okamžitá) střely ( $v$ ). V kinematice je definována jako poměr dráhy  $s$  [m] vykonané hmotným tělesem a doby  $t$  [s] potřebné k vykonání této dráhy. Lze ji vypočítat podle vztahu“ [25]:*

$$v = \frac{s}{t} [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (3.1.1)$$

S rychlostmi střel se pracuje i v této práci. Jedná se o důležité parametry, které umožňují určit další veličiny jako například kinetickou energii střely. [25, 36]

**Ranivá balistika** představuje specifickou část koncové (terminální) balistiky. Ranivá balistika je „odvětví terminální balistiky, které analyzuje střelná poranění živých tvorů. Zabývá se vzájemnými vztahy mezi konstrukcí a funkcí střely, jejími balistickými charakteristikami a dosaženou úrovní ranivého nebo jiného specifického účinku střely na živý organismus.“ [34]

V práci dříve zmíněná schopnost střely způsobovat střelná poranění se nazývá **ranivý potenciál**. **Ranivý účinek** střely je pak mírou využití tohoto ranivého potenciálu. Z fyzikálního hlediska se jedná o působení a předání energií. Za předpokladu, že se střela v tkáni zastaví a předá jí veškerou svou kinetickou energii  $E_S$ , platí:

$$E_S = E_D + E_H + E_T + E_N \quad (3.1.2)$$

kde:  $E_D$  – energie spotřebovaná k deformaci nebo rozpadu střely na fragmenty,  $E_H$  – energie spotřebovaná na urychlení tkání,  $E_T$  – energie v podobě tepelných ztrát vzniklých při pronikání střely,  $E_N$  – účinná energie využitá k destrukci tkání [28, 31, 33].

Pro zkoumání v oblastech ranivého potenciálu a ranivého účinku střely využíváme experimentální ranivou balistiku, tj. výzkum provádíme pomocí balistických experimentů, dnes převážně za pomoci metod nepřímé identifikace za využití substitučních fyzikálních modelů, které v experimentu zastupují reálný živý cíl.

Pro kvantifikované hodnocení ranivého potenciálu střel na základě poznatků získaných z metod nepřímé identifikace se v ranivě balistické praxi využívá některé z následujících kritérií:

- kritérium předané absolutní kinetické energie střely,
- kritérium měrné kinetické energie střely vztažené na plochu jejího příčného průřezu (hustota energie),
- kritérium hloubky vniku střely,
- kritérium maximální šířky (průměru) dočasné dutiny,
- kritérium hybnosti střely,
- kritérium zastavujícího účinku střely (zbraňové systémy určené pro obranu),
- kritérium relativního ranivého potenciálu střely [34, 35].

Cílem práce je určit vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně. Ke splnění cíle jsou využita tato hodnotící kritéria:

- kritérium předané absolutní kinetické energie střely pronikajícímu prostředí. Toto kritérium je charakteristické dopadovou (předanou) absolutní kinetickou energií střely,
- kritérium měrné kinetické energie střely vztažené na plochu jejího příčného průřezu (hustota energie), kde měrná energie je dopadovou (předanou) kinetickou energií vztaženou k ploše příčného řezu střely,
- kritérium hloubky vniku střely,
- kritérium maximální šířky dočasné dutiny,
- kritérium hybnosti střely [33–35].

„*Energie ( $E$ ) je schopnost hmoty (tělesa) konat práci.*“ [25] Pro potřeby práce je důležitá kinetická energie střely. **Kinetickou energii střely ( $E_K$ )** lze vypočítat podle vztahu:

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2 \text{ [J]} \quad (3.1.3)$$

kde:  $m$  – hmotnost [kg] (hmotnost střely pak v balistice značíme  $m_g$ ),  $v$  – rychlost střely [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] [25, 33].

Pro potřeby ranivé balistiky je důležitá dopadová kinetická energie  $E_D$ . Pokud se střela v cíli zastaví, pak tato energie odpovídá celkové předané kinetické energii střely zasaženému cíli  $E_{PŘ}$ .

„*Hybnost ( $p$ ) popisuje míru posuvného pohybu (pohybový stav) tělesa. Hybnost tělesa je rovna impulzu síly, který je potřeba na jeho uvedení z klidu do pohybu odpovídající rychlosti.*“ [25] Hybnost lze vypočítat jako:

$$p = m \cdot v \text{ [kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.1.4)$$

kde:  $m$  – hmotnost [kg],  $v$  – rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] [25].

**Kritérium měrné kinetické energie střely vztažené na plochu jejího příčného průřezu (kritérium hustoty energie střely)  $e$  lze vypočítat jako:**

$$e = \frac{E_K}{S_{st}} \text{ [J} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (3.1.5)$$

kde:  $m$  – hmotnost [kg],  $S_{st}$  – plocha příčného řezu [ $\text{m}^2$ ] [25].

Plochu příčného řezu  $S_{st}$  lze u střely typu diabolo vypočítat jako plochu kruhu:

$$S_{st} = \frac{1}{4} \pi d^2 \text{ [m}^2] \quad (3.1.6)$$

kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo (3,14159265359); pro potřeby práce uvažujeme, že je rovno 3,14,  $d$  – průměr [m]. V práci je průměr roven ráži, tedy 4,5 mm. [25]

**Kritérium maximální šířky (průmětu) dočasné dutiny a kritérium hloubky vniku střely (zástřelu)**

Tato kritéria se dají změřit v substitučním fyzikálním modelu plastické povahy (schopné trvale zachytit dočasnou dutinu) či transparentního bloku pružně plastické povahy (optickou metodou pomocí rychloběžné kamery). Tato kritéria představují maximální délku střelného kanálu, od vstupu do zkušebního bloku až po zastavení střely v bloku a maximální šířku (průměr) dočasné dutiny, která vznikne rozpínáním (pulzací) střelného kanálu v zasaženém bloku při přenosu energie střely danému prostředí zkušebního bloku [25, 36].

## 3.2 Zbraně a střelivo

Pro experimenty byly v této práci použity ruční palné zbraně a střelivo určené do těchto zbraní.

Pojem **zbraň** lze právně definovat dle ust. § 118 zákona č. 40/2009 Sb., trestní zákoník, podle níž, je „*zbraní cokoli, co může učinit útok proti tělu důraznějším*“. [41]

V České republice problematiku zbraní a střeliva podrobněji upravuje zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu [42] v platném znění [43].

„**Střelná zbraň** je definována jako zbraň, která je schopná vysílat hmotné projektily na cíl“. [42] Střelná zbraň předává energii střele, která se uvede do pohybu a pohybuje se k cíli, na který následně destruktivně působí. Střelná zbraň může využívat mechanickou energii, energii z chemické reakce nebo energii stlačeného plynu. Energie je střele zpravidla předávána v podobě kinetické energie.

**Plynová zbraň** je zbraní, kde je funkce odvozená od okamžitého uvolnění energie stlačeného plynu.

**Střela** (projektil) je předmět, který je určen k vystřelení ze střelné zbraně a k zasažení cíle či vyvolání jiného efektu.

Pojem **střelivo** v podmínkách ČR upravuje zákon o zbraních a střelivu [42]. Zde se uvádí, že střelivo je souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do střelných zbraní.

V práci se pracuje s malorážovým střelivem (střelivo určeně pro malorážové zbraně do 20 mm), které lze dělit dle ráže na: mikrorážové, malorážkové a flobertkové, střední ráže, velkorážní, brokové, pro expanzní zbraně a přístroje, beznábojnicové [37].

**Mikrorážové střelivo malého výkonu** je střelivo ráže 4,5–6 mm s hmotností 0,4–1 g. Díky malé hmotnosti tyto střely dosahují nižšího balistického výkonu, pohybují se podzvukovou rychlostí a jejich kinetická energie je nižší. Příkladem takového střeliva jsou střely typu diablo (obecně známé pod označením *diabolky*), které jsou využity v této práci.

#### 4. Zvolené metody zpracování

Pro zpracování a dosažení stanovených cílů disertační práce je nutné využití relevantních metod vědecké práce. Budou využity tyto metody:

**Metoda analýzy** – při této metodě se složitější systém rozdělí na jednotlivé komponenty, ty jsou následně zkoumány společně se vztahy k ostatním komponentům.

**Metoda komparace** – zde se provádí srovnání a porovnání shodných či rozdílných zjištění.

**Metoda indukce** – metoda se zakládá na zobecňování. Zde se na základě jednotlivých získaných poznatků vytváří obecné závěry.

**Metoda dedukce** – metoda dedukce je opakem metody indukce. Zde uplatňujeme obecně známé principy a pravidla.

**Metoda experimentu** – metoda se zaměřuje na získání dat, testování a ověření stanovených hypotéz.

#### 5. Popis experimentů

Data a poznatky využitá v této práci vycházejí ze dvou realizovaných experimentů. První experiment spočíval v měření rychlosti střel pomocí radarového měřicího přístroje, které bylo provedeno na certifikované tunelové střelnici firmy Prototypa-ZM, s.r.o. v Brně. V tomto experimentu bylo

realizováno 400 výstřelů, přičemž se zkoumaly dvě vzduchové zbraně stejné ráže a 4 typy diabolek. Z každé zbraně tedy bylo vystřeleno 50 střel jednoho typu diabolek.

Radar umožňuje dle informací výrobce kontinuální měření. Reálně provedl 301 měření u každého výstřelu. Střelba probíhala na 14,99 m. Byly zaznamenány údaje vztažené k 0,0498 m (4,98 cm) na celém úseku měření, počínaje 0 m a konče 14,99 m. Vzdálenost 0 m je počítána od ústí hlavně a vzdálenost 14,99 m je vzdálenost terče od ústí hlavně (při přípravě bylo nastaveno 15 m, bohužel po provedení experimentu bylo zjištěno, že se před experimentem pohnulo se stolem, a to o 1 cm blíže k terči; proto je místo 15 m uváděno jen 14,99 m). Střelba byla realizována na svislý papírový terč. Zbraň byla upevněna do držáku zbraně na střelecké stoličce tak, aby střelba probíhala kolmo k papírovému terči.

Druhý experiment byl realizován na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Při tomto experimentu byly postřelovány bloky substitučního fyzikálního modelu, a to balistické želatiny o koncentraci 20 %, ze vzdáleností 5; 7,5; 10; 12,5 a 15 m. Využité zbraně a střelivo jsou totožné se zbraněmi a střelivem (typem střeliva) využitým v prvním experimentu. V rámci balistického experimentu bylo z každé vzdálenosti vystřeleno 10 střel daného typu, a to z obou zkoumaných zbraní. Pomocí analýzy záběrů pořízených rychloběžnou kamerou byly postupně získány hloubky zástřelu a maximální šířky (průměry) dočasné dutiny.

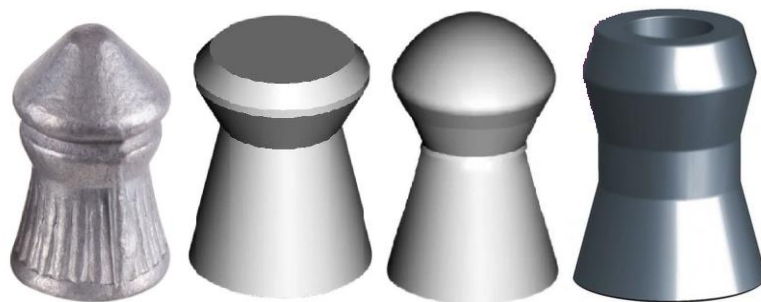
## 5.1 Zbraně a střelivo

K experimentům byly využity zbraně Gamo Shadow DX a Hatsan Gladius, obě ráže 4,5 mm.

**Gamo Shadow DX** ráže 4,5 mm je plynová vzduchová zbraň typu „vzduchovka“ s klasickou zlamovací pružinově pístovou konstrukcí, s drážkováním hlavně a energií na ústí hlavně 16 J. Pro tuto zbraň bude dále v práci používáno **označení „vzduchovka“** [46].

**Hatsan Gladius** ráže 4,5 mm je plynová vzduchová zbraň typu PCP neboli „větrovka“ konstrukce bull-pup s kapacitou kartuše 250 cm<sup>3</sup> a kapacitou zásobníku 10 ran. Zbraň má taktéž drážkování hlavně a energii na ústí hlavně 16 J. Větrovka byla tlakována na 150 bar (tento tlak je dle prodejce optimální pro požadovanou energii). V práci bude pro tuto zbraň využíván **pojem „větrovka“** [47].

K experimentům byly použity 4 druhy střel typu diablo. Tvary střely lze vidět na obrázku 5.1.1 a jejich parametry v tabulce 5.1.1.



Obr. 5.1.1 Střely ráže 4,5 mm. Zprava: Gamo Magnum [48], Gamo Pro Mach [49], Gamo Pro Hunter [50], JSB Ultra Shock [51].

Tabulka č. 5.1.1 Vybrané vlastnosti využitých diabolek podstatné pro provedené experimenty [48-51].

Střela	Ráže [mm]	Hmotnost [g]	Materiál	Tvar hlavičky
Gamo Magnum	4,5	0,49	olovo	Špička
Gamo Pro Mach	4,5	0,48	olovo	Plochá
Gamo Pro Hunter	4,5	0,48	olovo	Půlkruh
JSB Ultra Shock	4,5	0,67	olovo	Expanzní dutina

## 5.2 Další pomůcky

Ve střeleckých experimentech byly dále použity následující pomůcky:

- Doppler Radar System – DRS-1. Zařízení bylo využito k měření rychlosti střel na dráze letu. Jedná se o mikrovlnný Dopplerův radar, který umožňuje kontinuální měření rychlosti střely po trajektorii letu. Doppler Radar System – DRS-1 se skládá z radarové hlavy DRS-SU24 a detektoru blesku FD-01M [45].
- SW Ballistic Measuring System (BMS) – byl použit k vyhodnocení získaných dat z měření pomocí Doppler Radar System – DRS-1.
- konstrukce pro upnutí zbraně – Sten,
- fotoaparát pro dokumentaci,
- digitální váhy KERN PCB (1000-2; 1000 g / 0,01 g) pro určení hmotnosti střel před výstřelem,
- digitální posuvné měřítko KINEX ICONIC Labo (přesnost měření 0,02 mm v rozsahu do 100 mm) pro měření průměru střely.
- Balistická hradla Caldwell Chronograph, kterými se měří rychlost střel po výstřelu a před dopadem. Výrobce uvádí, že rozsah měření je 1,524 -

3047,6952 m·s<sup>-1</sup> a odchylka měření je ± 0.25 %. Balistická hradla fungují na principu záznamů časů průchodu mezi jejich dvěma bránami a dopočtením rychlosti. Na základě komunikace s výrobcem bylo zjištěno, že hradla měří rychlost ve svém středu, tedy 15 cm od obou bran. Při měření byla použita dvojí hradla; jedna hradla byla postavena 10 cm od SFM (důvodem je zamezení ovlivnění měření vlivem vylétajícího materiálu z FSM při tvorbě trvalé dutiny). Druhá hradla byla umístěna 30 cm od hlavně zbraně (30 cm je zvoleno z důvodu možného ovlivnění měření přechodovou fází balistiky).

- Rychloběžná kamera Olympus I-SPEED FS s rozlišením 1280x1024, maximální rychlostí 1 000 000 fps. Pro experiment byla zvolena rychlost (frekvence) snímání 10 000 fps. Kamera byla umístěna 1,5 m od balistické želatiny kolmo k dráze letu střely. Za SFM byl umístěn zdroj světla pro osvětlení potřebné ke snímání pomocí rychloběžné kamery.
- Software Olympus I-speed software suite pro analýzu záznamů z rychloběžné kamery.
- Balistická želatina o koncentraci 20 %, které v experimentu slouží jako substituční fyzikální model zastupující svalstvo.

## 6. Výsledky měření a interpretace dosažených výsledků

Aritmetické průměry naměřených hmotností a průměrů střel jsou uvedeny v tabulce č. 6.1 a platí pro celou práci.

Tabulka č. 6.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky průměrů střel a hmotností střel pro jednotlivé střely a zbraně

Zbraň	Střela	Hmotnost střely – $m_g$	Průměr střely – $d$
		[g]	[mm]
Větrovka	Magnum	0,49 ± 0,02	4,40 ± 0,01
	Pro Hunter	0,48 ± 0,03	4,40 ± 0,01
	Pro Match	0,48 ± 0,02	4,40 ± 0,01
	Ultra Shock	0,67 ± 0,04	4,40 ± 0,01
Vzduchovka	Magnum	0,48 ± 0,02	4,40 ± 0,01
	Pro Hunter	0,48 ± 0,01	4,40 ± 0,01
	Pro Match	0,49 ± 0,02	4,40 ± 0,01
	Ultra Shock	0,69 ± 0,04	4,40 ± 0,01

V následujících podkapitolách budou data uvedena vždy pro určitý typ zbraně, naměřené hodnoty se vztahují ke vzdálenosti střelby 0,00 m až 14,99 m.

Údaje jsou vztaženy ke konkrétní vzdálenosti, přičemž je kinetická energie  $E_k$  dopočtena dle vzorce 3.1.3, hybnost  $p$  dopočtena dle vzorce 3.1.4 a hustota energie střely  $e$  dopočtena dle vzorce 3.1.5.

V rámci práce je snaha nalézt pro střely, které vykazují podobné naměřené hodnoty (včetně vypočítaných průměrů), univerzální model. Tento model však lze prokazatelně vztahovat pouze ke střelám zkoumaným v této práci a pro zbraně využití v této práci. Další střely či zbraně by musely být testovány a následně zohledněny, přesto pro podobné střely a zbraně lze předpokládat, alespoň částečnou využitelnost tohoto modelu.

Pro účely srovnání naměřených dat je zde vytvořena a uvedena tabulka č. 6.2. Zde byly vytipovány pistolové a revolverové střely, které se v současnosti nejvíce ve střelectví vyskytují a zároveň mají alespoň přibližně shodné sledované parametry (úst'ová rychlost, průměr střely, hmotnost). Dále v tabulce č. 6.2 byly pro vytipované střely dopočteny parametry nutné pro srovnání ranivého potenciálu využívané v této práci.

Tabulka č. 6.2: Sledované parametry pro výkonnější ráže.

<b>Střela</b>	<b>Hmotnost střely <math>m_g</math> [g]</b>	<b>Průměr d [mm]</b>	<b>Úst'ová rychlost v [<math>m \cdot s^{-1}</math>]</b>	<b>Kinetická energie <math>E_k</math> [J]</b>	<b>Hybnost p [<math>kg \cdot m \cdot s^{-1}</math>]</b>	<b>Hustota energie e [<math>J \cdot mm^{-2}</math>]</b>
.22 LR	2,59	5,59	351	160	0,91	6,52
.380 auto	6,15	9,00	290	259	1,78	4,56
.45 ACP	14,90	11,43	238	422	3,55	4,11
.38 Spec.	10,24	9,07	271	376	2,78	5,82

#### **Střely použité v Tabulce č. 6.2:**

- .22 LR STD – Olověná ogivální střela výrobce Magtech [52],
- .380 auto (9 mm Browning) – Ogivální střela s tombakovým pláštěm a olověným jádrem výrobce Magtech [53],
- .45 ACP – Plášť střely je tombakový a jádro z olova, konstrukce má střížnou hranou; Výrobce je firma Magtech [54],
- .38 Spec. – Střela konstrukce komolého kuželu s tombakovým pláštěm a olověným jádrem od výrobce Magtech [55].



## 6.1 Okamžitá rychlost střel

V rámci prvního prezentovaného kritéria jsou zobrazeny grafy závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby u střel vystřelených z větrovky (Graf 6.1.1). Také model závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby je uveden pouze pro střely vystřelené z větrovky. U dalších kritérií jsou grafy vynechány zcela. Kompletní grafy lze nalézt v disertační práci.

Vybrané průměry okamžitých rychlostí naměřených střel lze spatřit v tabulce 6.1.2.

Na základě poznatků z této podkapitoly lze vyvodit, že střely o stejné či velmi blízké hmotnosti (Pro Hunter – 0,48 g; Magnum – 0,49 g; Pro Match – 0,48 g) mají obdobné poklesy a naměřené hodnoty. Lze tedy vyvodit obecnou hypotézu: U střel stejné či velmi podobné hmotnosti bude pokles rychlostí obdobný. Na základě dat byl vytvořen jednoduchý model pro střely stejné či obdobné hmotnosti využité v této práci. Tento model vznikl zprůměrováním rychlostí všech těchto střel a zprůměrováním jejich směrodatných odchylek. Model také logicky odpovídá lineární funkci a lze jej i funkci vidět v grafu 6.2.

Z pohledu srovnání ranivého potenciálu je vhodné zde uvést tabulku č. 6.1.1, která ukazuje limitní hodnoty dopadových rychlostí a energií u tupohranných těles pro způsobení těžkého zranění. Přestože střely typu diablo nejsou tupohranné, blíží se svými údaji údajům o tupohranných tělesech. Tupohranná tělesa zpravidla mívají vyšší potřebnou rychlosti i energii nutnou ke způsobení poranění než ostrohranná tělesa.

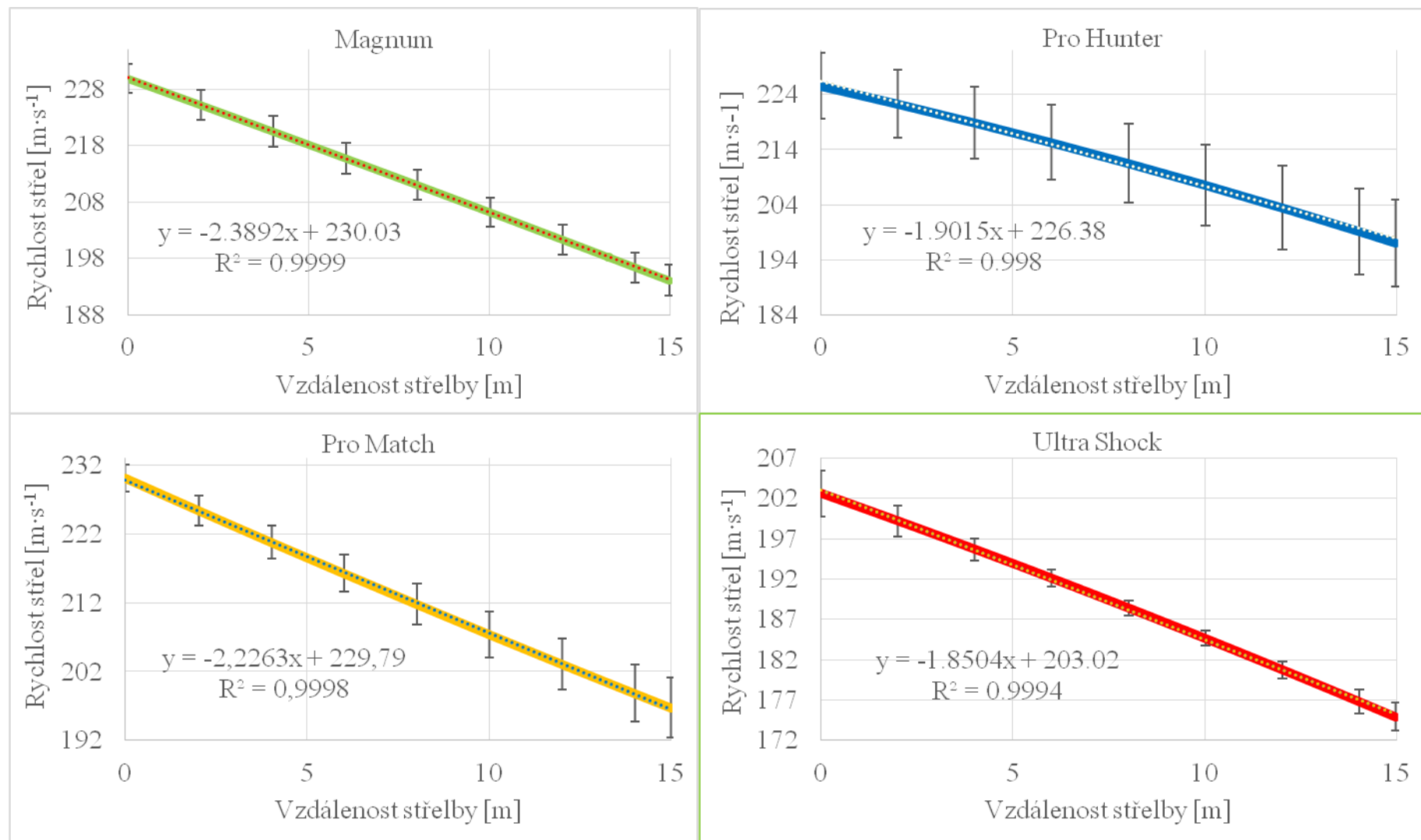
Tabulka č. 6.1.1: Limitní hodnoty dopadových rychlostí pro vznik těžkého poranění [33].

Hmotnost střely	Dopadová rychlost střely $v$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	
	1 g	0,5 g
Hlava	128	256
Hrudník	113	226
Břicho a končetiny	71	142

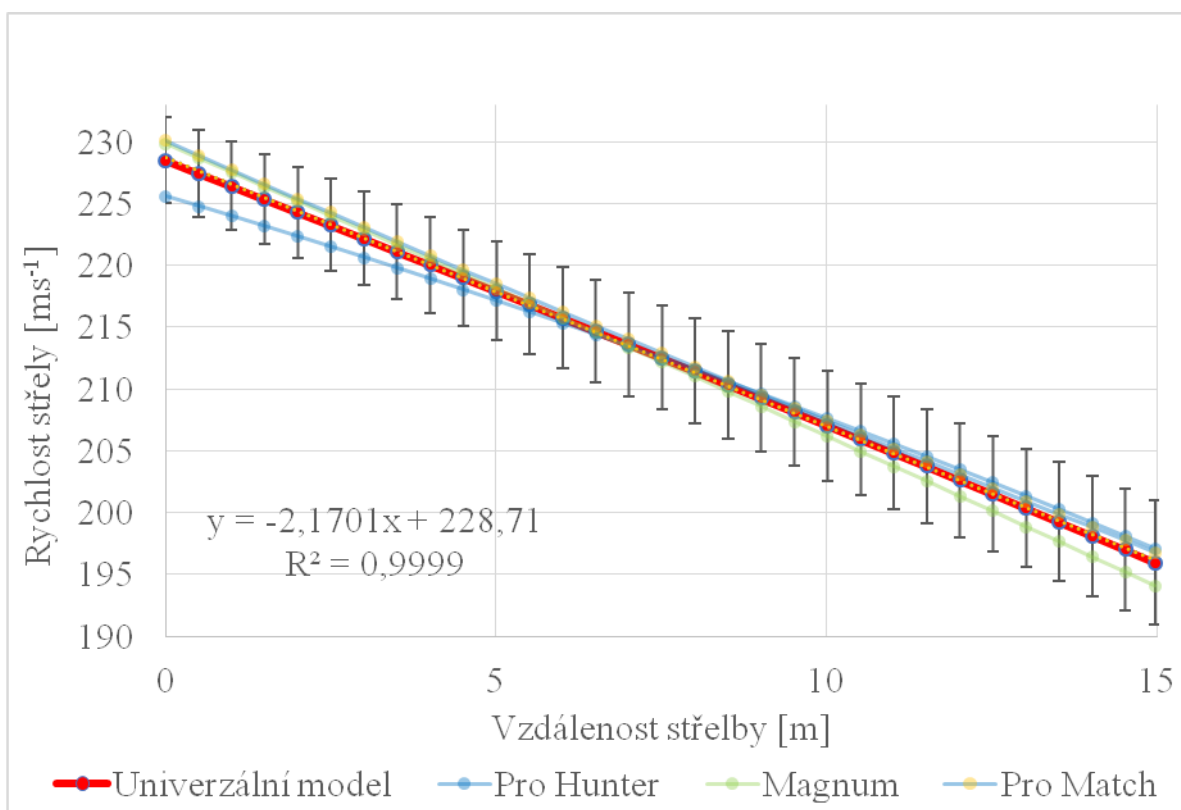
Je třeba si uvědomit, že střely, které se v této práci využívají, mají hmotnost 0,48; 0,49 či 0,67 g a v tabulce jsou uvedeny informace pro 1 g a 0,5 g. Na základě komparace lze říci, že střely typu diablo mohou mít ranivý potenciál, který může způsobit závažná poranění.

Tabulka č. 6.1.2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro okamžité rychlosti střel.

Rychlost střely – $v$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]										
Zbraň	Střela	Vzdálenost střelby – $s$ [m]								
		0	2	4	6	8	10	12	14	14,99
Větrovka	Magnum	229,9 ±2,9	224,6 ±2,8	220,3 ±3,0	216,2 ±3,1	211,2 ±3,1	206,0 ±3,0	201,0 ±2,9	196,2 ±2,7	194,1 ±3,2
	Pro Hunter	226,3 ±5,7	222,4 ±5,8	218,8 ±6,8	214,9 ±7,0	212,1 ±6,7	207,6 ±6,7	203,0 ±8,1	198,6 ±8,3	197,1 ±7,9
	Pro Match	229,7 ±2,2	225,0 ±2,1	220,9 ±2,0	215,6 ±2,9	212,3 ±3,1	206,6 ±2,8	202,7 ±3,7	199,3 ±4,2	196,7 ±4,1
	Ultra Shock	203,0 ±3,1	198,9 ±1,7	196,0 ±0,9	192,3 ±1,1	188,0 ±1,0	185,0 ±1,0	180,8 ±0,7	177,3 ±1,1	174,8 ±1,8
Vzduchovka	Magnum	217,9 ±1,1	213,2 ±0,9	208,7 ±1,2	204,0 ±0,7	199,9 ±2,0	195,6 ±2,0	191,9 ±2,2	187,8 ±2,8	186,2 ±3,1
	Pro Hunter	215,0 ±8,2	212,1 ±6,7	207,7 ±7,3	204,6 ±7,3	201,0 ±7,1	197,7 ±6,6	194,4 ±7,3	190,2 ±7,1	187,9 ±6,7
	Pro Match	219,1 ±2,2	213,7 ±3,1	209,9 ±3,0	205,4 ±4,3	200,7 ±5,4	196,8 ±5,5	193,1 ±7,0	189,3 ±7,9	187,0 ±7,8
	Ultra Shock	186,8 ±0,2	183,9 ±0,2	180,9 ±0,2	177,8 ±0,2	174,7 ±0,3	171,4 ±0,4	168,1 ±0,7	164,7 ±0,9	163,0 ±1,1



Graf 6.1.1: Závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby u střel vystřelených z větrovky.



Graf 6.1.2: Model závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby z větrovky.

## 6.2 Kinetická energie střel

Vybrané průměry kinetické energie střel lze vidět v tabulce 6.2.1.

Stejně jako v předchozí podkapitole, lze i u kinetické energie dojít k závěru, že střely o velmi blízké hmotnosti mají obdobné poklesy a naměřených hodnot. Lze tedy v těchto případech, na základě indukce, vyvodit obecnou hypotézu: U střel stejné či velmi podobné hmotnosti bude pokles kinetické energie obdobný. Je zřejmé, že kritérium absolutní kinetické energie  $E_K$  [J], kde rychlost vystupuje v druhé mocnině, je vhodné k vzájemnému porovnání RP střel s podobnou hmotností a různou rychlostí.

Kinetickou energii lze použít pro kvantifikované hodnocení ranivého potenciálu. Je však třeba uvažovat, že okamžitá kinetická energie střely v určitém bodě bude dopadovou kinetickou energií. Data uvedená v tabulce 6.2.1 lze srovnat s tabulkou 6.2.2, která zobrazuje limitní hodnoty dopadových energií pro vznik těžkého poranění.

Na základě komparace údajů o kinetické energii střel využitých v práci a tabulky 6.2.2. lze vyvodit, že střely využitá v této práci, se pohybují pod hranici účinnosti, tedy schopnosti způsobovat významné zranění – zabránit útočníkovi v pokračování útoku či významně zranit osobu.

Tabulka č. 6.2.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro kinetickou energii střel.

Kinetická energie střely – $E_k$ [J]										
Zbraň	Střela	Vzdálenost střelby – $s$ [m]								
		0	2	4	6	8	10	12	14	14,99
Větrovka	Magnum	12,91 ±0,30	12,36 ±0,31	11,87 ±0,33	11,44 ±0,29	10,92 ±0,27	10,37 ±0,29	9,90 ±0,21	9,51 ±0,23	9,19 ±0,23
	Pro Hunter	12,21 ±0,62	11,87 ±0,70	11,50 ±0,72	11,12 ±0,72	10,73 ±0,71	10,36 ±0,68	9,87 ±0,78	9,47 ±0,79	9,33 ±0,81
	Pro Match	12,70 ±0,20	12,22 ±0,23	11,66 ±0,34	11,18 ±0,29	10,78 ±0,31	10,32 ±0,29	9,91 ±0,37	9,53 ±0,37	9,31 ±0,41
	Ultra Shock	13,75 ±0,36	13,30 ±0,21	12,84 ±0,21	12,40 ±0,09	11,88 ±0,13	11,36 ±0,14	10,89 ±0,12	10,47 ±0,18	10,21 ±0,22
Vzduchovka	Magnum	11,57 ±0,09	11,10 ±0,08	10,58 ±0,11	10,22 ±0,10	9,79 ±0,18	9,42 ±0,21	9,01 ±0,20	8,72 ±0,27	8,49 ±0,31
	Pro Hunter	11,10 ±0,79	10,78 ±0,70	10,36 ±0,72	10,08 ±0,72	9,77 ±0,67	9,43 ±0,71	9,01 ±0,60	8,71 ±0,63	8,52 ±0,62
	Pro Match	11,52 ±0,21	11,02 ±0,30	10,53 ±0,27	10,08 ±0,41	9,73 ±0,54	9,31 ±0,80	8,79 ±0,59	8,50 ±0,70	8,44 ±0,65
	Ultra Shock	11,69 ± 0,02	11,33 ±0,02	10,96 ±0,02	10,60 ±0,02	10,22 ±0,04	9,85 ±0,05	9,47 ±0,08	9,09 ±0,11	8,90 ±0,12

Tabulka č. 6.2.2: Limitní hodnoty dopadových energií pro vznik těžkého poranění [33].

Druh limitů energie	Dopadová kinetická energie $E_d$
	[J]
Limit smrtící energie střely	100–120
Limit kontuzní energie střely <sup>1</sup>	30–50
Limit účinnost střely	20–30

### 6.3 Hybnost střel

V této podkapitole je sledovaným parametrem pro kvantifikované hodnocení ranivého potenciálu další fyzikální veličina, kterou je hybnost střely, vybrané aritmetické průměry zjištěných hodnot hybnosti střel lze vidět v tabulce 6.3.1.

Tak jako i v předchozích podkapitolách, lze i u hybnosti dojít k závěru, že střely s velmi blízkou hmotností mají obdobné poklesy naměřených hodnot hybnosti. Lze tedy i v těchto případech, na základě indukce, vyvodit obecnou hypotézu: U střel stejné či velmi podobné hmotnosti bude pokles hybnosti obdobný. Tuto hypotézu však bude nutné v budoucnu ověřit.

Bohužel se z dostupné literatury nepodařilo dohledat limitní hodnoty pro vznik těžkého či fatálního poranění člověka, a proto údaje z tabulky 6.3.1. budou srovnány s údaji uvedenými v tabulce 6.2. Na základě této komparace lze říci, že zbraně zkoumané v této práci dosahují pouhého zlomku hodnot balisticky výkonnějších letálních ráží, a lze proto předpokládat, že i způsobené následky ranivého působení střely typu diablolo budou násobně menší.

---

<sup>1</sup> Kontuze = zhmožděniny; tento limit je brán pro neletální střely.

Tabulka č. 6.3.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro hybnosti střel.

Hybnost střely – $p$ [kg·m·s <sup>-1</sup> ]										
Zbraň	Střela	Vzdálenost střelby – $s$ [m]								
		0	2	4	6	8	10	12	14	14,99
Větrovka	Magnum	0,1131 ±0,0005	0,1108 ±0,0006	0,1086 ±0,0010	0,1062 ±0,0009	0,1034 ±0,0004	0,1015 ±0,0007	0,0990 ±0,0007	0,0960 ±0,0009	0,0951 ±0,0010
	Pro Hunter	0,1081 ±0,0032	0,1067 ±0,0030	0,1053 ±0,0029	0,1034 ±0,0027	0,1022 ±0,0028	0,1006 ±0,0036	0,0981 ±0,0036	0,0959 ±0,0037	0,0951 ±0,0040
	Pro Match	0,1100 ±0,0011	0,1084 ±0,0023	0,1062 ±0,0010	0,1038 ±0,0011	0,1024 ±0,0007	0,1001 ±0,0016	0,0973 ±0,0022	0,0949 ±0,0018	0,0938 ±0,0020
	Ultra Shock	0,1362 ±0,0016	0,1330 ±0,0014	0,1309 ±0,0014	0,1288 ±0,0010	0,1263 ±0,0016	0,1240 ±0,0011	0,1211 ±0,0009	0,1183 ±0,0013	0,1171 ±0,0009
Vzduchovka	Magnum	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006	0,1067 ±0,0006
	Pro Hunter	0,1029 ±0,0039	0,1018 ±0,0037	0,100 ± 0,0037	0,0983 ±0,0034	0,0966 ±0,0038	0,0947 ±0,0038	0,0931 ±0,0035	0,0912 ±0,0039	0,0904 ±0,0036
	Pro Match	0,1050 ±0,0005	0,1029 ±0,0007	0,1014 ±0,0012	0,0991 ±0,0015	0,0959 ±0,0022	0,0941 ±0,0026	0,0918 ±0,0033	0,0910 ±0,0039	0,0904 ±0,0041
	Ultra Shock	0,1252 ±0,0001	0,1232 ±0,0001	0,1212 ±0,0001	0,1192 ±0,0002	0,1170 ±0,0002	0,1148 ±0,0003	0,1126 ±0,0005	0,1103 ±0,0007	0,1092 ±0,0008

## 6.4 Hustota energie střel

Hustota energie střely, nebo také měrná kinetická energie střely vztažená na plochu jejího příčného řezu, je prezentována tabulkou 6.4.2.

Pro střely velmi blízké hmotnosti také platí, že mají obdobné poklesy a naměřené hodnoty. A platí zde stejné tvrzení jako u předešlých kritérií.

Pro hodnocení kritéria hustoty energie střel je využita tabulka 6.4.1, která znázorňuje limitní hodnoty hustoty energie.

Tabulka č.6.4.1: Limitní hodnoty hustoty energie (dopadové měrné kinetické energie)  $e_d$ . [33]

Druh limitu energie	$e_d$ [kJ·m <sup>-2</sup> ]
Limitní smrtící energie střely	1000
Limitní energie k proniku do hloubky tkáně	500
Limitní energie střely pro pronik kůží	100
Limitní energie proniku oka	60

Jak lze vidět, limitní hodnoty pro usmrcení (1000 kJ·m<sup>-2</sup>) zkoumané diabolky nedosáhly. Nejbližše se této hodnotě přiblížily střely Ultra Shock vystřelené z větrovky s hodnotou na ústí 865 kJ·m<sup>-2</sup>. Nicméně všechny sledované střely přesáhly hodnotu 500 kJ·m<sup>-2</sup>, což je limitní energie k proniku do hloubky tkáně. Střely typu diablo to tedy dle kritéria ranivého potenciálu, založeném na hodnotě dopadové měrné kinetické energie, mají schopnost způsobit i těžká zranění. Jak dokazují příklady uvedené v úvodu této práce, mají tyto střely v krajním případě schopnost usmrtit člověka.



Tabulka č. 6.4.2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro hustoty energií střel vystřelených z větrovky.

<b>Hustota energie střely – <math>e</math> [<math>J \cdot mm^{-2}</math>]</b>										
<b>Zbraň</b>	<b>Střela</b>	<b>Vzdálenost střelby – <math>s</math> [m]</b>								
		0	2	4	6	8	10	12	14	14,99
Větrovka	Magnum	0,851 ±0,021	0,823 ±0,019	0,783 ±0,020	0,754 ±0,018	0,721 ±0,013	0,692 ±0,010	0,653 ±0,011	0,620 ±0,009	0,610 ±0,010
	Pro Hunter	0,804 ±0,040	0,781 ±0,042	0,760 ±0,039	0,732 ±0,048	0,708 ±0,053	0,679 ±0,047	0,650 ±0,050	0,627 ±0,051	0,610 ±0,048
	Pro Match	0,840 ±0,009	0,799 ±0,018	0,773 ±0,021	0,741 ±0,022	0,708 ±0,020	0,682 ±0,016	0,654 ±0,021	0,623 ±0,031	0,613 ±0,033
	Ultra Shock	0,902 ±0,019	0,869 ±0,017	0,842 ±0,011	0,813 ±0,009	0,777 ±0,013	0,749 ±0,010	0,720 ±0,011	0,691 ±0,011	0,672 ±0,011
Vzduchovka	Magnum	0,764 ±0,010	0,732 ±0,007	0,702 ±0,007	0,673 ±0,009	0,646 ±0,011	0,620 ±0,013	0,595 ±0,015	0,571 ±0,016	0,560 ±0,017
	Pro Hunter	0,730 ±0,050	0,710 ±0,050	0,690 ±0,050	0,660 ±0,050	0,640 ±0,040	0,620 ±0,040	0,600 ±0,040	0,570 ±0,040	0,560 ±0,040
	Pro Match	0,750 ±0,010	0,720 ±0,020	0,690 ±0,020	0,570 ±0,030	0,640 ±0,030	0,610 ±0,040	0,590 ±0,040	0,560 ±0,040	0,550 ±0,040
	Ultra Shock	0,769 ±0,003	0,745 ±0,003	0,721 ±0,003	0,697 ±0,003	0,673 ±0,003	0,648 ±0,004	0,623 ±0,005	0,598 ±0,007	0,769 ±0,003

## 6.5 Hloubka zástřelu

V této podkapitole budou prezentovány výsledky získané z postřelování substitučního fyzikálního modelu, konkrétně balistické želatiny o koncentraci 20 %. Výsledky jsou prezentovány formou aritmetických průměrů a odchylek naměřených hodnot hloubky zástřelu (průměru) pro danou vzdálenost střelby v tabulce 6.5.1. Grafy lze nalézt v disertační práci.

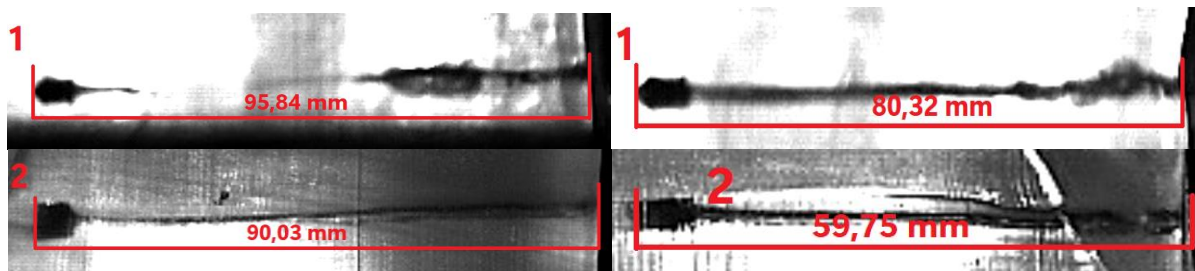
Údaje o rychlosti střel a jejich kinetických energiích jsou relativně velmi blízké údajům prezentovaným v tabulkách 6.1.2 a 6.2.1. Z toho důvodu a z důvodu rozsahového omezení tezí zde tyto údaje nejsou uvedeny, lze je však nalézt v disertační práci.

Ze získaných dat vyplývá, že střely přibližně stejné hmotnosti způsobují přibližně stejnou hloubku zástřelu (vniknutí), přičemž tvar střely je méně podstatný. Pokles hloubky zástřelu na naměřeném úseku vykazuje linearitu. Dalším zajímavým poznatkem je, že střely diabolo se při průchodu pružně plastickým materiálem výrazně nedeformují. Deformaci těla střely je velmi nesnadné rozeznat a lze ji proto také zanedbat (obrázek 6.5.1).



Obr. 6.5.1 Střely Magnum: vpravo dvě nevystřelené, vlevo dvě vystřelené.

V závěru této podkapitoly jsou zobrazeny optické záznamy z rychloběžné kamery s údaji o hloubce zástřelu (obr. 6.5.2). Z důvodu zestručnění a zpřehlednění prezentace výsledků budou pod sebou zobrazeny záznamy výsledků střely ze vzdálenosti 5 m (označené číslem 1) a 15 m (označené číslem 2), pro první vystřelené střely typu Magnum a Pro Hunter na danou vzdálenost střelby. Více záznamů lze nalézt v disertační práci.



Obr. 6.5.2 Záznamy z rychloběžné kamery doplněné o údaj hloubky vniku pro střely Magnum a Pro Hunter vystřelené ze vzduchovky.

Tabulka č. 6.5.1: Hloubka zástřelu.

<b>Hloubka zástřelu – <math>s_z</math> [mm]</b>						
<b>Zbraň</b>	<b>Střela</b>	<b>Vzdálenost střelby – <math>s</math> [m]</b>				
		5	7,5	10	12,5	15
Větrovka	Magnum	110,52 ±4,31	104,32 ± 2,70	100,74 ± 5,49	94,30 ± 7,21	89,22 ± 9,21
	Pro Hunter	112,98 ±4,02	108,14 ±3,25	102,40 ±6,07	96,80 ±6,02	89,58 ±1,21
	Pro Match	110,94 ±4,37	105,83 ±3,32	101,27 ±3,85	95,81 ±4,11	90,36 ±3,98
	Ultra Shock	92,02 ±1,60	86,20 ±2,36	81,29 ±3,27	75,46 ±3,95	71,02 ±2,05
Vzduchovka	Magnum	102,72 ±6,12	99,34 ±2,70	96,10 ±8,09	92,70 ±5,20	89,18 ±3,78
	Pro Hunter	100,18 ±4,62	98,30 ±6,86	95,58 ±3,04	93,10 ±4,14	91,22 ±1,21
	Pro Match	99,16 ±5,71	96,77 ±4,36	92,99 ±5,41	89,76 ±2,67	87,38 ±3,94
	Ultra Shock	80,90 ±2,94	76,13 ±2,41	69,93 ±1,95	64,88 ±2,10	60,24 ±1,88

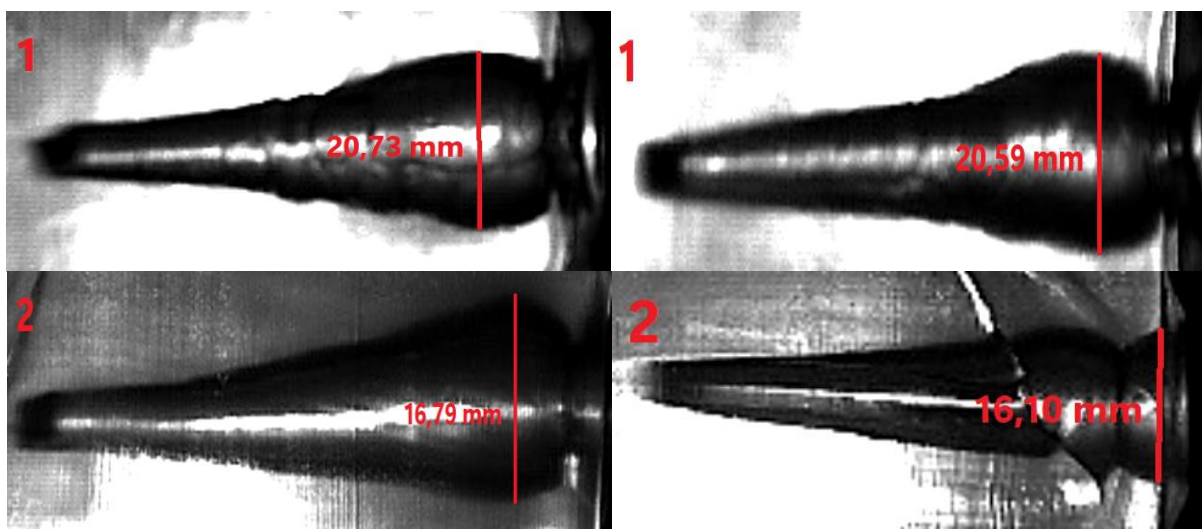
## 6.6 Maximální šířka (průměr) dočasné dutiny

Sledovaný parametr maximální šířka (průměr) dočasné dutiny v homogenním bloku balistické želatiny o koncentraci 20 % je prezentován tabulce 6.6.1. Grafy lze nalézt rovněž v textu disertační práci.

Také v této podkapitole jsou zobrazeny záznamy z rychloběžné kamery s údaji o maximální šířce (průměru) dočasné dutiny (obr. 6.6.1). I zde jsou zobrazeny záznamy výsledků střelby ze vzdálenosti 5 m (označené číslem 1) a 15 m (označené číslem 2), pro první vystřelené střely typu Magnum a Pro Hunter na danou vzdálenost střelby. Více záznamů lze nalézt v disertační práci.

Tabulka č. 6.6.1: Maximální šířka (průměr) dočasné dutiny.

Maximální šířka (průměr) dočasné dutiny – $s_{mš}$ [mm]						
Zbraň	Střela	Vzdálenost střelby – $s$ [m]				
		5	7,5	10	12,5	15
Větrovka	Magnum	21,08 ±1,34	20,72 ±0,98	20,14 ±1,80	19,40 ±2,37	18,66 ±0,34
	Pro Hunter	20,17 ±0,78	19,52 ±0,70	19,02 ±1,32	18,54 ±1,17	17,99 ±0,68
	Pro Match	20,22 ±1,10	19,44 ±2,15	18,82 ±1,22	18,14 ±0,84	17,48 ±1,90
	Ultra Shock	20,38 +0,83	19,88 +1,89	19,16 ±1,05	18,50 ±0,92	17,84 ±0,63
Vzduchovka	Magnum	22,06 ±0,94	21,06 ±1,53	20,16 ±1,47	19,28 ±1,23	17,92 ±1,70
	Pro Hunter	19,92 ±1,08	18,89 ±0,78	17,84 ±1,19	17,03 ±1,52	16,18 ±1,21
	Pro Match	20,10 ±0,95	19,16 ±0,78	17,92 ±1,25	17,01 ±1,18	16,37 ±0,93
	Ultra Shock	19,94 ±2,39	19,13 ±2,51	18,32 ±0,70	17,18 ±1,89	15,94 ±0,90



Obr. 6.6.1: Záznamy z rychloběžné kamery doplněné o údaj maximální šířky dočasné dutiny pro střely Magnum a Pro Hunter vystřelené ze vzduchovky.

Na základě získaných dat lze vyvodit důležitý poznatek, a to že střely přibližně stejné hmotnosti způsobují přibližně stejnou maximální šířku (průměr) dočasné dutiny v želatinovém bloku, přičemž tvar střely nehraje významnou roli. Vliv tvaru střely na ranivý potenciál je možné proto zanedbat. Důležitou roli ale hraje hmotnost střely. Pokles hloubky zástřelu v závislosti na změně (růstu) vzdálenosti střelby, na naměřeném úseku vykazuje linearitu.

## 6.7 Shrnutí výsledků práce

Výsledky práce dokládají, že zkoumané střely typu diablo jsou na hranici schopností způsobovat závažné zranění. Některá kritéria (hybnost a kinetická energie) naznačují, že tuto schopnost nemají, jiná kritéria (hustota energie a rychlost) naznačují pravý opak. Je třeba zde zopakovat, že v této práci zkoumané zbraně využívaly k výstřelu energii 16 J. Právě 16 J bylo v době provádění experimentů legislativním omezením pro vzduchové zbraně, ale toto omezení již od 1. 2. 2022 neplatí a na trhu v ČR lze běžně nalézt zbraně i s několikanásobkem této energie; takové zbraně pochopitelně budou mít výrazně větší účinek.

Jednotlivé sledované parametry a kritéria mají dle získaných dat lineární charakter, který průměrům naměřených dat odpovídá ve více než 99 %.

Taktéž je třeba zde připomenout, že data a výsledky jsou průkazné pouze na měřeném úseku. Jakékoli prognózy a odhady chování střely mimo tento interval se nezakládají na datech, jsou čistě teoretické a nemusejí odpovídat realitě. Lineární trendy sledovaných parametrů nemusejí mimo měřený rozsah odpovídat realitě a případná platnost by musela být experimentálně ověřena. Na základě konzultace s odborníky lze předpokládat, že reálný pokles na delším neměřeném úseku nebude lineární, ale po určité vzdálenosti nastane prudší pokles. Tento pokles bude pravděpodobně nejvíce odpovídat balistické křivce.

Významným poznatkem je, že střely přibližně stejné hmotnosti způsobují obdobné hloubky vniku i maximální šířky (průměru) dočasné dutiny. Jelikož ostatní podmínky experimentu byly stejné, lze konstatovat, že tvar střely nemá významný vliv na její ranivý potenciál. Taktéž velmi důležitým poznatkem je, že střely diablo se při průchodu použitým substitučním modelem nedeformují.

## **Přínos práce pro vědu a praxi**

Na základě poznatků plynoucích z této práce lze nalézt několik přínosů, které jsou uplatnitelné jak v praxi, tak ve vědě.

První přínos práce spočívá v poznacích o vývoji rychlosti střel a dalších parametrů, jako jsou dopadová kinetická energie, hybnost hloubka zástřelu či hustota energie na dráze letu. Na základě naměřených či dopočtených dat lze konstatovat, že na daném úseku je průběh poklesu všech sledovaných parametrů lineární.

Druhý přínos práce spočívá ve zjištění, že střely typu diablo různých tvarů hlavičky, ale přibližně stejné hmotnosti, vykazují relativně blízká data, a lze pro ně vytvořit univerzální model. To platí pro střely Pro Hunter, Pro Match a Magnum. Pro jiné střely to je ovšem hypotéza, která je pravděpodobná, nicméně je třeba ji ověřit dalšími experimenty.

Třetím přínosem je určení vlastního ranivého potenciálu. Jednotlivá kritéria ranivého potenciálu, založená na vhodně zvolené fyzikální veličině, hovoří protichůdně. Kritérium hybnosti slouží převážně ke srovnání střel typu diablo se střelami vyššího balistického výkonu. Diabolky dosahují pouze zlomky hodnot výkonnějších střel.

Kritérium měrné hustoty dopadové kinetické energie ukazuje, že střely typu diablo jsou schopny vyvolat závažná poranění, některé se dokonce blíží hranici nutné pro vyvolání smrtelného zranění.

Kritérium dopadové kinetické energie je nejednoznačné, je totiž náročnější zařadit střely typu diablo. Dle jednoho srovnání dosahují hodnot nutných pro vyvolání těžkého zranění kdekoli na těle, dle druhého jsou pod hranicí účinnosti střely. Jak ale ukazují příklady, střely reálně mohou způsobit i smrtící zranění. Tento fakt a výsledky zohledňující kritérium měrné hustoty dopadové kinetické energie umožňují vyvodit závěr, že střely typu diablo mají ranivý potenciál, který je schopen vyvolat i smrtelná zranění.

Další přínos spočívá ve zjištění, že tvar střel typu diablo nepředstavuje významný faktor ovlivňující jejich ranivý potenciál.

Posledním praktickým přínosem je experimentálně ověřené zjištění, že střely typu diablo se při svém proniku prostředím homogenní biologické tkáně nebo její substitucí nijak významně nedeformují. Toto není možné očekávat ani

v případech balisticky výkonnějších ráží střel konstrukce umožňující jejich řízenou deformaci.

Jelikož je tato práce jednou z mála studií zabývajících se vzduchovými zbraněmi a vlivem vzdálenosti střelby na jejich ranivý potenciál, spočívá přínos pro vědu právě ve zmapování dosud málo prozkoumané oblasti ranivé balistiky mikrorážového střeliva nízkého výkonu. Je třeba brát tuto práci jako prvotní ucelenější studii a navázat na ni dalšími komplexnějšími výzkumy v této oblasti. Poznatky, ač jsou podloženy naměřenými daty, lze pro budoucí výzkum brát spíše jako hypotézu s vysokou pravděpodobností reálnosti.

Přínos pro praxi pak lze spatřit pro oblasti teoretické balistiky, soudního lékařství a válečné chirurgie, kriminalistiky obecně, či při návrhu konstrukce nových typů střel a vhodného hodnotícího kritéria jejich ranivého potenciálu.

## **Závěr**

Tato práce řeší vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně. Je třeba hned v úvodu této kapitoly uvést stručné a jednoznačné resumé výsledků, a to je, že s rostoucí vzdáleností ranivý potenciál klesá. To je způsobeno poklesem kinetické energie střely, které má na zkoumaném úseku dráhy střely lineární trend. Hypotéza práce je tedy potvrzena.

Podrobnější shrnutí a závěry práce jsou pak následující. Vzduchová zbraň v pojetí této práce využívá homogenní mikrorážové střelivo ráže 4,5 mm nízkého balistického výkonu. Nepodařilo se dohledat žádnou vědeckou práci zabývající se komplexně takto specifickou oblastí. Práce je tedy původní a s vysokým stupněm originality v přístupu k řešení ranivého potenciálu této kategorie zbraňového systému. Práce dále zpřístupňuje skupinu poznatků, které bude nutné v dalším období teoreticky ověřit a experimentálně potvrdit.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout, připravit a realizovat balistické měření k určení vlivu vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně. Tento cíl byl i přes přijatá dílčí omezení práce splněn, nicméně je potřeba podniknout další měření a studie pro definitivní potvrzení či vyvrácení přijatých tvrzení a poznatků této práce.

V práci byla využita základní vědecká metoda zkoumání, metoda experimentu. Pro zkoumání a srovnání ranivého potenciálu se využily kritéria: hustoty dopadové kinetické energie, dopadové kinetické energie, hybnosti, hloubky zástřelu a maximální šířky (průměru) dočasné dutiny. Sledována byla také rychlost střely pro jednotlivé posuzované případy.

Sledované parametry na daném úseku vykazují lineární pokles. Tento vývoj je prokazatelný na měřeném úseku; jeho aplikace na delší vzdálenosti je pouze

teoretická a nemusí odpovídat výsledkům budoucích experimentů na jiné vzdálenosti.

Zajímavým zjištěním je, že střely velmi blízké hmotnosti, bez ohledu na tvar přední čelní plochy, vykazují velmi blízké hodnoty měřených parametrů a s jistou dávkou tolerance pro ně lze navrhnout univerzální matematický model. Toto tvrzení lze jednoznačně říci o střelách Pro Match, Magnum a Pro Hunter. Pro ostatní střely by toto tvrzení bylo pouhou hypotézou, kterou by bylo nutné ověřit experimentálně. Na základě indukce lze tedy dojít k závěru, že u střel typu diablo je vliv tvaru hlavičky střely na její ranivý potenciál zanedbatelný.

Důležitým zjištěním je skutečnost, že se střely tohoto typu při průchodu homogenním cílem pružně plastické povahy výrazně nedeformují.

Jednotlivé kritéria vypovídají o jiném ranivém potenciálu těchto zbraní. Kritérium hybnosti vypovídá o tom, že střely diablo dosahují pouze zlomků hodnot střel vyššího balistického výkonu. Kritérium dopadové kinetické energie není jednoznačné, dle jednoho srovnání střely diablo jsou pod hranicí účinnosti. Dle dalšího srovnání mají jednoznačně posuzované střely schopnost způsobit závažná zranění. Kritérium hustoty dopadové kinetické energie pak jednoznačně dokazuje, že střely typu diablo mají schopnost způsobovat závažná zranění, přičemž některé se dokonce blíží k hranici nutné pro způsobení smrtelných zranění. Toto tvrzení potvrzují i příklady kazuistik zmíněné v úvodu, které dokládají, že vzduchové zbraně mohou i usmrtit člověka.

Poznatky práce lze uplatnit jak v praxi (soudní znalci působící v oboru střelivo a výbušniny, soudnictví, návrhy konstrukce střel), tak ve vědě. V oblasti vědy práce mapuje dosud nedostatečně probádanou oblast kvantifikovaného hodnocení účinků vzduchových zbraní. Z tohoto důvodu lze považovat tuto práci jako určitou první komplexněji pojatou vědeckou studii, jejíž závěry lze považovat za prvotně prokázané hypotézy s jejich verifikací pro vědecké bádání a praxi, které je však nutno podpořit dalšími širšími výzkumy a studii.

Z tohoto důvodu si autor dovoluje navrhnout několik směrů, kam lze dále směřovat další aplikovaný výzkum:

- rozšířit škálu zkoumaných zbraní, střel či ráží této kategorie,
- měření provádět na delším úseku střelby (např. 100 m),
- navrhnout další metody a hodnotící kritéria pro hodnocení ranivého potenciálu mikrorážového střeliva relativně nízkého výkonu.

Zkoumaná oblast je velmi zajímavá a ve vědeckém oboru ranivé balistiky v současné době reprezentuje doplnění jistého deficitu relevantních údajů pro oblast teorie a balistické praxe.



## Seznam použité literatury

- [1] Trestné činy spáchané střelnými zbraněmi - Policie České republiky, 2021. In: Policie České republiky [online]. Praha: Policie ČR, 18. 7. 2017 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/trestne-ciny-spachane-strelnymi-zbranemi.aspx>
- [2] DiMaio, Vincent J.M. *Gunshot wounds: practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques*. Third edition. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, [2016], ©2016. xxi, 355 stran. Practical aspects of criminal and forensic investigations. ISBN 978-1-4987-2569-9.
- [3] KRAJSA, Jan, MIROSLAV HIRT, LUDVÍK JURÍČEK and MIROSLAV ĎATKO. Poranění hlavy vzduchovou puškou Slavia 620. In 3. *Trilaterální symposium s mezinárodní účastí 25. - 27. 5. 2011 Rožnov pod Radhoštěm*. 2011. ISBN 978-80-254-8741-9.
- [4] GUENTHER, T. et al. Fatal cardiac injury sustained from an air gun: Case report with review of the literature. *International Journal of Surgery Case Reports* [online]. 2020, vol. 70, s. 133-136 [cit. 31 October 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084584158&doi=10.1016%2fj.ijscr.2020.04.039&partnerID=40&md5=b43103f4025283a2baf47fae2ed82aca>.
- [5] SIMON, G. et al. Brain death of an infant caused by a penetrating air gun injury. *Legal Medicine* [online]. 2019, vol. 39, s. 41-44 [cit. 31 October 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067178540&doi=10.1016%2fj.legalmed.2019.06.004&partnerID=40&md5=446d6455de4961884b445cfc3f48ded8>
- [6] NG'WALALI, P. M. et al. Unusual homicide by air gun with pellet embolisation. *Forensic Science International* [online]. 2001, vol. 124, no. 1, s. 17-21 [cit. 31 October 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0035892677&doi=10.1016%2fS0379-0738%2801%2900547-3&partnerID=40&md5=183a82c43757777e45f81fdde6860a84>.
- [7] DUMENČIĆ, B. et al. Fatal injury by air gun: a case report. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2020, vol. 10, no. 1 [cit. 31 October 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85079210661&doi=10.1186%2fs41935-020-00182-7&partnerID=40&md5=1680d0d3d4f1de39a318d60614bd69e2>.
- [8] FICEK, M. et al. *Influence of the shooting distance on the depth of penetration of the bullet into the replacement material for air gun weapons* [online], 2019 [cit. 22 September 2021]. 663-672 s. Cited By :1 Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077912393&doi=10.2507%2f30th.daaam.proceedings.091&partnerID=40&md5=1cf1c836f0cd2326255e3d51ad9c0c83>

- [9] OGUNC, G. I. et al. The wounding potential and legal situations of air guns - Experimental study. *Australian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2014, vol. 46, no. 1, s. 39-52 [cit. 23 September 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84890489979&doi=10.1080%2f00450618.2013.789078&partnerID=40&md5=e681b329279d52cd0495d5704df3d8c5>
- [10] STEINDLER, R. A. Air Gun Pellet Penetration. *Medicine, Science and the Law* [online]. 1980, vol. 20, no. 2, s. 93-98 [cit. 23 September 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0019188728&doi=10.1177%2f002580248002000205&partnerID=40&md5=7174f0fb4e9aa657f2a27d0912b96e4b>
- [11] KAMPHAUSEN, T. et al. Wounding potential of 4.4-mm (.173) caliber steel ball projectiles. *International Journal of Legal Medicine* [online]. 2019, vol. 133, no. 1, s. 143-150 [cit. 22 September 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060395843&doi=10.1007%2fs00414-018-1816-6&partnerID=40&md5=8f752cd8449b929cc1966e7fa57e7f20>
- [12] HSIAO, Y. -T a H. -H MENG. Evaluation of wounding potential of airguns using aluminium witness plates. *Australian Journal of Forensic Sciences* [online]. 2020, vol. 52, no. 4, s. 417-427 [cit. 23 September 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058192767&doi=10.1080%2f00450618.2018.1553207&partnerID=40&md5=b1074284ecdaa27b24dc7fa9cf21bf25>
- [13] MIKULICOVA, M. et al. *Comparison of depth of incomplete penetration for different types of pellets for shooting weapon of category D* [online]. , 2017 [cit. 25 September 2021]. 66-69 s. Cited By :6 Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029374209&doi=10.1109%2fMILTECHS.2017.7988732&partnerID=40&md5=4dc468ee0e12e181fcfe61daf3fa2d41>
- [14] GRACLA, Michal, Aleš CHOCHOLATÝ a Zdeněk MALÁNÍK, 2017. 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, s. 327-336 [cit. 2017-01-31]. ISBN 978-80-214-5459-0. Dostupné z: [www.exfos.cz](http://www.exfos.cz)
- [15] GRACLA, M. a V. KŘESÁLEK. Determining the wounding potential of shooting weapons in the course forensic science at the faculty of applied informatics tomas bata university in Zlin. *Turkish Online Journal of Educational Technology* [online]. 2017, vol. 2017, no. October Special Issue INTE, s. 802-810 [cit. 23 September 2021] Dostupné z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85044709536&partnerID=40&md5=7572a589a7dd865b6c60cae000af7017

- [16] FICEK, Martin, 2017. Náhradní balistický materiál a jeho využití u zbraní kategorie D. In: *Bezpečnostní technologie, systémy a management 2017: Sborník příspěvků 6. mezinárodní konference*. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, s. 1-6. ISBN 978-80-7454-696-9.
- [17] FICEK, Martin, Ludvík JURÍČEK a Olga VOJTĚCHOVSKÁ, 2018. Hodnocení ranivého potenciálu expanzní zbraně. In: *Krizové řízení a řešení krizových situací*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 29-36. ISBN 978-80-7454-821-5.
- [18] FICEK, Martin, Ludvík JURÍČEK a Michaela MIKULICOVÁ, 2018. Expansion Weapons and their Wounding Potential. In: *Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium 2018*. DAAAM International Vienna, s. 0786-0790. DAAAM Proceedings. DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.114. ISBN 9783902734204. Dostupné také z: [http://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2018/114.pdf](http://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2018/114.pdf)
- [19] FICEK, Martin a Ludvík JURÍČEK, 2019. Měření průběhu předané energie v bloku náhradního balistického materiálu. In: *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2019*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 435-439. ISBN 978-80-214-5708-9.
- [20] FICEK, Martin et al., 2019. Influence of distance to depth shot of a CO<sub>2</sub>-powered airsoft gun with lead shot ammunition and shape of the temporary and permanent cavity in ballistic gelatine. *MATEC Web of Conferences*. **292**. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/201929203010
- [21] FICEK, Martin a Ludvík JURÍČEK, 2019. Vliv vzdálenosti střelby na hloubku zástřelu airsoftové zbraně. In: *Krizové řízení a řešení krizových situací*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 1-9.
- [22] FICEK Martin, Ludvík JURÍČEK, Michal GRACLA, Michaela MIKULIČOVÁ, Zdeněk MALÁNÍK, Aleš MIZERA. 2019. Evaluation of Wounding Potential of Florbert Weapon. *Transylvanian Review*. ISSN 15849422, 12211249
- [23] FICEK, Martin, LUDVÍK, Juříček, MALÁNÍK, Zdeněk, GRACLA, Michal, MIKULIČOVÁ, Michaela. DETERMINATION OF WOUNDING POTENTIAL OF GUNS KNOWN FROM CHILDHOOD - BLOWPIPE AND SLINGSHOT. *DAAAM International Scientific Book 2020*. Vienna: DAAAM International Vienna, 2020, s. 227-236. ISBN 978-3-902734-27-3.

- [24] FICEK, Martin, Ludvík JUŘÍČEK a Kateřina BOČKOVÁ. Ranivá balistika vybraného mikrorážového střeliva. In: *Sborník konference CRISCOM 8. - 9. 9. 2021*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2021, s. 22-42. ISBN 978-80-7678-028-6.
- [25] KNEUBUEHL, Beat P., 2004. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko. ISBN 80-206-0749-8.
- [26] BEAT P. KNEUBUEHL (ED.) a Robin M. Coupland, Markus A. Rothchild, Michael J. Thali. ROBIN M. COUPLAND, MARKUS A. ROTHCHILD, MICHAEL J. THALI., 2011. *Wound Ballistics*. Transl. of the rev. 3. Germaned. (2008). Dordrecht: Springer. ISBN 978-364-2203-565.
- [27] SELLIER, Karl G. a Beat P. KNEUBUEHL, 1994. *Wound ballistics and the scientific background: a text and atlas of gun shot wounds*. New York: Elsevier. ISBN 978-0444815118.
- [28] MANNERS, Steven, 2002. *Wound ballistics*. Toronto, ON: Gutter Press. ISBN 978-1896356419.
- [29] DODD, Malcolm J. a Karen BYRNE, 2006. *Terminal ballistics: a text and atlas of gun shot wounds*. Boca Raton, FL. ISBN 978-084-9335-778.
- [30] DI MAIO, Vincent J. M., c1999. *Gun shot wounds: practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 08-493-8163-0.
- [31] ROSENBERG, Zvi a Erez DEKEL, 2016. *Terminal ballistics*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-9811003936.
- [32] BREEZE, John et al., 2017. *Ballistic trauma: a practical guide*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3319613635.
- [33] JUŘÍČEK, Ludvík, 2017. *Ranivá balistika: technické, soudnělékařské a kriminalistické aspekty*. Ostrava: KeyPublishing. Vědecká monografie. ISBN 978-80-7418-274-7.
- [34] JUŘÍČEK, Ludvík, 2015. *Ranivý potenciál malorážových střel a jeho hodnocení*. Ostrava: Key Publishing. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-222-8.
- [35] JUŘÍČEK, Ludvík, 2020. *The bullets wounding potential and safety management*. The first edition. London: STS Science Centre, Ltd. in coedition with Key Publishing. Monograph (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-346-1.
- [36] JIRSÁK, Čestmír a Pravoslav KODYM, 2017. *Vnější balistika a teorie střelby*. Praha: Naše vojsko. ISBN 978-80-206-1650-0.
- [37] PLANKA, Bohumil, 2010. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-036-9.
- [38] BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDŘICH, 2003. *Terminální balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Academia. ISBN 80-200-1222-2.
- [39] PÍRKO, Zdeňek, 1944. *Co je to balistika a zvukoměřičství*. Praha: Jednota českých matematiků a fyziků v Praze.

- [40] POLANSKÝ, František, 1951. *Vnitřní balistika děl a raket*. 6th Edition. Praha: Technicko-vědecké vydavatelství.
- [41] Zákon č. 40/2009 Sb. Zákon trestní zákoník. In: *Sbírka zákonů*. 2009. ISSN 1211-1244.
- [42] Zákon č. 119/2002 Sb. Zákon o střelných zbraních a střelivu a o změně zákona č. 156/2000 Sb., o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů a o změně zákona č. 288/1995 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o střelných zbraních), ve znění zákona č. 13/1998 Sb., a zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, (zákon o zbraních). In: *Sbírka zákonů*. 2002. ISSN 1211-1244.
- [43] Zákon č. 13/2021 Sb. 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*. 2021. ISSN 1211-1244.
- [45] *TARGET SCORING SYSTEM POTSS-2011, POTSS-2012, POTSS2016, POTSS-2016S, POTSS-2017, POTSS-2019 - USER'S MANUAL*. Brno: Prototypa - ZM, 2019.
- [46] Vzduchovka Gamo Shadow DX cal.4,5mm I Colosus.cz. Colosus.cz - zbraně, střelivo, Umarex, pyrotechnika [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.colosus.cz/vzduchovka-gamo-shadow-dx-cal-4-5mm-x137217>
- [47] Vzduchovka Hatsan Gladius cal.4,5mm I Colosus.cz. Colosus.cz - zbraně, střelivo, Umarex, pyrotechnika [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.colosus.cz/vzduchovka-hatsan-gladius-cal-4-5mm-x143910>
- [48] GAMO MAGNUM PELLETS - 4.5MM (PACK OF 250) I Airgun Ammo. *Gamo Airguns Online Shop I South Africa I Gamo.co.za* [online]. [cit. 2021-10-7]. Dostupné z: <https://www.gamo.co.za/gamo-magnum-pellets-4-5mm-pack-of-250>
- [49] GAMO PRO-MATCH PELLETS - 4.5MM (PACK OF 500) I Airgun Ammo. *Gamo Airguns Online Shop I South Africa I Gamo.co.za* [online]. [cit. 2021-10-7]. Dostupné z: <https://www.gamo.co.za/gamo-pro-match-pellets-4-5mm-pack-of-500>
- [50] GAMO PRO-HUNTER PELLETS - 4.5MM I Airgun Ammo. *Gamo Airguns Online Shop I South Africa I Gamo.co.za* [online]. [cit. 2021-10-7]. Dostupné z: <https://www.gamo.co.za/gamo-pro-hunter-pellets-4-5mm>
- [51] Diabolo JSB Ultra Shock Heavy 350ks cal.4,5mm I Colosus.cz. *Colosus.cz - zbraně, střelivo, Umarex, pyrotechnika* [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.colosus.cz/diabolo-jsb-ultra-shock-heavy-350ks-cal-4-5mm-x143254>

- [52] MALORÁŽKOVÉ NÁBOJE 22 LR STANDARD LRN, 40 GR, 50 KS, MAGTECH, 2022. *Army zboží online ARMED.CZ* [online]. Praha: ARMED STORE [cit. 2022-07-03]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/naboje-magtech-22lr-std-2-59g-lrn-50ks/>
- [53] PISTOLOVÉ NÁBOJE 9 MM BROWNING COURT FMJ, 95 GR, 50 KS, MAGTECH, 2022. *Army zboží online ARMED.CZ* [online]. Praha: ARMED STORE [cit. 2022-07-03]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/naboje-magtech-9mm-browning-380-auto-95grs-fmj-50ks/>
- [54] PISTOLOVÉ NÁBOJE 45 AUTO FMJ-SWC, 230 GR, 50 KS, MAGTECH, 2022. *Army zboží online ARMED.CZ* [online]. Praha: ARMED STORE [cit. 2022-07-03]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/naboje-magtech-45-auto-230grs-fmj-swc-50ks/>
- [55] REVOLVEROVÉ NÁBOJE 38 SPECIAL FMJ FLAT, 158 GR, 50 KS, MAGTECH, 2022. *Army zboží online ARMED.CZ* [online]. Praha: ARMED STORE [cit. 2022-07-03]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/naboje-magtech-38-special-158grs-fmj-flat-50ks/>

## Seznam obrázků

- Obr. 5.1.1 Střely ráže 4,5 mm. Zprava: Gamo Magnum [48], Gamo Pro Mach [49], Gamo Pro Hunter [50], JSB Ultra Shock [51]. ..... 13
- Obr. 6.5.1 Střely Magnum: vpravo dvě nevystřelené, vlevo dvě vystřelené..... 25
- Obr. 6.5.2 Záznamy z rychloběžné kamery doplněné o údaj hloubky vniku pro střely Magnum a Pro Hunter vystřelené ze vzduchovky. .... 25
- Obr. 6.6.1: Záznamy z rychloběžné kamery doplněné o údaj maximální šířky dočasné dutiny pro střely Magnum a Pro Hunter vystřelené ze vzduchovky. ... 28

## Seznam grafů

- Graf 6.1.1: Závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby u střel vystřelených z větrovky..... 18
- Graf 6.1.2: Model závislosti rychlostí střel ke vzdálenosti střelby z větrovky. . 19

## Seznam tabulek

Tabulka č. 5.1.1 Vybrané vlastnosti využitých diabolek podstatné pro provedené experimenty [48-51]. .....	13
Tabulka č. 6.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky průměrů střel a hmotností střel pro jednotlivé střely a zbraně .....	14
Tabulka č. 6.2: Sledované parametry pro výkonnější ráže. ....	15
Tabulka č. 6.1.1: Limitní hodnoty dopadových rychlostí pro vznik těžkého poranění [33]. .....	16
Tabulka č. 6.1.2: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro okamžité rychlosti střel. ....	17
Tabulka č. 6.2.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro kinetickou energii střel. ....	20
Tabulka č. 6.2.2: Limitní hodnoty dopadových energií pro vznik těžkého poranění [33]. .....	21
Tabulka č. 6.3.1: Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro hybnosti střel. ....	22
Tabulka č. 6.4.1: Limitní hodnoty hustoty energie (dopadové měrné kinetické energie) $e_d$ . [33] .....	23
Tabulka č. 6.6.1: Maximální šířka (průměr) dočasné dutiny. ....	27

## Publikační aktivity autora

V rámci těchto tezí jsou uveřejněny pouze publikační aktivity spojené s disertační prací. Celkový přehled publikačních aktivit autora lze nalézt v disertační práci.

### Únor 2017

FICEK, Martin a Michal GRACLA, 2017. Influence of the security situation on the numbers of weapons of category D in the Czech Republic. *International Journal of Applied Engineering Research*. 12(15), 5053-5059. ISSN 0973-4562. - *Příspěvek v časopise evidovaného v databázi Scopus*

### Červen 2017

MIKULICOVA, Michaela et al., 2017. Comparison of depth of incomplete penetration for different types of pellets for shooting weapon of category D. In: *2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)*. IEEE, s. 66-69. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988732. ISBN 978-1-5090-5666-8. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7988732/> - *Příspěvek ve sborníku konference evidované v databázi IEEE*

FICEK, Martin, 2017. Náhradní balistický materiál a jeho využití u zbraní kategorie D. In: *Bezpečnostní technologie, systémy a management 2017: Sborník příspěvků 6. mezinárodní konference*. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, s. 1-6. ISBN 978-80-7454-696-9. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

FICEK, Martin, Ludvík JUŘÍČEK a Olga VOJTĚCHOVSKÁ, 2018. Hodnocení ranivého potenciálu expanzní zbraně. In: *Krizové řízení a řešení krizových situací*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 29-36. ISBN 978-80-7454-821-5. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

JUŘÍČEK, Ludvík, Olga VOJTĚCHOVSKÁ a Martin FICEK, 2018. Poranění obličeje člověka po zásahu plynovkou. In: *Krizové řízení a řešení krizových situací*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 119-130. ISBN 978-80-7454-821-5. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*



## **Říjen 2018**

FICEK, Martin, Ludvik JURICEK a Michaela MIKULICOVA, 2018. Expansion Weapons and their Wounding Potential. In: *Proceedings of the 29th International DAAAM Symposium 2018*. DAAAM International Vienna, s. 0786-0790. DAAAM Proceedings. DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.114. ISBN 9783902734204. Dostupné také z: [http://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2018/114.pdf](http://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2018/114.pdf) - *Příspěvek ve sborníku konference evidované v databázi Scopus*

## **Leden 2019**

FICEK, Martin a Ludvík JURÍČEK, 2019. Měření průběhu předané energie v bloku náhradního balistického materiálu. In: *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2019*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 435-439. ISBN 978-80-214-5708-9. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

## **Srpen 2019**

FICEK, Martin et al., 2019. Influence of distance to depth shot of a CO<sub>2</sub>-powered airsoft gun with lead shot ammunition and shape of the temporary and permanent cavity in ballistic gelatine. *MATEC Web of Conferences*. **292**. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/mateconf/201929203010 - *Příspěvek ve sborníku konference evidované v databázi Scopus*

## **Září 2019**

FICEK, Martin a Ludvík JURÍČEK, 2019. Vliv vzdálenosti střelby na hloubku zástřelu airsoftové zbraně. In: *Krizové řízení a řešení krizových situací*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, s. 1-9. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

## **Říjen 2019**

FICEK Martin, Ludvík JURÍČEK, Michal GRACLA, Michaela MIKULIČOVÁ, Zdeněk MALÁNÍK, Aleš MIZERA. 2019. Evaluation of Wounding Potential of Florbert Weapon. *Transylvanian Review*. ISSN 15849422, 12211249 - *Příspěvek v časopise evidovaného v databázi Web of Science*

FICEK Martin, MALÁNÍK Zdeněk, Michaela MIKULIČOVÁ & GRACLA Michal (2019). 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 DAAAM International Symposium*, pp.1-11, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-xx-x, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.xxx - *Příspěvek ve sborníku konference evidované v databázi Scopus*

### **Listopad 2019**

FICEK, Martin, Zdeněk MALÁNÍK a Michaela MIKULOČOVÁ, 2019. INFLUENCE OF THE SHOOTING DISTANCE ON THE DEPTH OF PENETRATION OF THE BULLET INTO THE REPLACEMENT MATERIAL FOR AIR GUN WEAPONS. In: *Proceedings of the 30th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"*. Zadar: DAAAM International, s. 663-672. DOI: DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.091. ISBN 978-3-902734-22-8. ISSN 1726-9679. - *Příspěvek ve sborníku konference evidované v databázi Scopus*

### **Leden 2020**

JUŘÍČEK, Ludvík, FICEK, Martin, MORAVANSKÝ, Norbert. INŽENÝRSKÝ PŘÍSTUP TECHNICKÉHO ZNALCE K HODNOCENÍ STŘELNÝCH PORANĚNÍ ČLOVĚKA. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2020*. Brno: VUT Brno, 2020, ISBN 978-80-214-5829-1. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

MALÁNÍK, Zdeněk, JIŘÍ, Svoboda, FICEK, Martin, GRACLA, Michal, MIKULIČOVÁ, Michaela. Znalecké dokazování ve specializaci sebeobrana a použití zbraně. *Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2020*. Brno: VUT Brno, 2020, ISBN 978-80-214-5829-1. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

### **Březen 2020**

JUŘÍČEK, Ludvík, FICEK, Martin. Analýza rizik použití redukováného puškového náboje ráže 7,62x51 proti člověku. *Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2020, ISBN 978-80-7408-206-1. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

## **Listopad 2020**

FICEK, Martin, LUDVÍK, Juříček, MALÁNÍK, Zdeněk, GRACLA, Michal, MIKULIČOVÁ, Michaela. DETERMINATION OF WOUNDING POTENTIAL OF GUNS KNOWN FROM CHILDHOOD - BLOWPIPE AND SLINGSHOT. *DAAAM International Scientific Book 2020*. Vienna: DAAAM International Vienna, 2020, s. 227-236. ISBN 978-3-902734-27-3. - *Příspěvek v časopise evidovaného v databázi Scopus*

JUŘÍČEK, Ludvík, FICEK, Martin, MORAVANSKÝ, Norbert. Hodnotící kritéria ranivého potenciálu malorážových střel a jejich vývoj. *Soudní inženýrství*, 2020, roč. 31, č. 3, s. 10-20. ISSN 1211-443X - *Příspěvek v časopise uvedeném v seznamu českých recenzovaných časopisů*

## **Leden 2021**

JUŘÍČEK, Ludvík, FICEK, Martin, BOČKOVÁ, Kateřina, MORAVANSKÝ, Norbert, LAJČIN, Daniel, ZAPLETAL, Ladislav. *The bullets wounding potential and safety management*. Londýn: STS Science Centre Ltd., 2020. 159s. Monograph. ISBN 978-1-908235-11-4. - *Odborná kniha v AJ*.

LUDVÍK Juříček; FICEK Martin; KATEŘINA Bočková; FUJDIAK Ina. Methoden indirekter Identifikation – methodologische Grundlagen der Auswertung des Wundpotenzials von Handwaffengeschossen in der experimentellen Wundballistik. *Kriminalistik*, 2021. ISSN 00234699. - *Příspěvek v časopise evidovaného v databázi Web of Science*

## **Září 2021**

FICEK, Martin, Ludvík JUŘÍČEK a Kateřina BOČKOVÁ. Ranivá balistika vybraného mikrorážového střeliva. In: *Sborník konference CRISCOM 8. - 9. 9. 2021*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2021, s. 22-42. ISBN 978-80-7678-028-6. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

JUŘÍČEK, Ludvík, Martin FICEK, Kateřina BOČKOVÁ, Daniel LAJČIN a Norbert MORAVANSKÝ. Kvantitativní hodnotící nástroje krizového manažera. In: *Sborník konference CRISCOM 8. - 9. 9. 2021*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2021, s. 92-111. ISBN 978-80-7678-028-6. - *Příspěvek ve sborníku nehodnocené konference*

## Odborný životopis autora

### Osobní údaje

Titul, jméno a příjmení: Ing. Martin Ficek

Adresa: SNP 1180, 765 02 Otrokovice

Kontakty: ficek@utb.cz

Datum narození: 01.04.1991

### Vzdělání:

2016 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Inženýrská informatika – doktorské studium.

2014 – 2016 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Bezpečnostní technologie, systémy a management – Ing.

2011 – 2014 Univerzita Tomáše Bati, Fakulta logistiky a krizového řízení, Ochrana Obyvatelstva – Bc.

### Pracovní zkušenosti:

01/04/2018 – 31/10/2018 C-Labs s. r. o. – Junior developer

01/10/2019 – doposud Univerzita Tomáše Bati, Fakulta logistiky a krizového řízení, Ústav ochrany obyvatelstva – asistent.

### Podrobnější životopis lze nalézt v disertační práci

23. 9. 2022

Ing. Martin Ficek

Ing. Martin Ficek, Ph.D.

**Vliv vzdálenosti střelby na ranivý potenciál vzduchové zbraně**  
Influence of Shooting Distance on the Wounding Potential of an Air Weapon

Teze disertační práce

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

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Ing. Ficek Martin, Ph.D.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

První vydání

Rok vydání: 2022

ISBN 978-80-7678-141-2

