Experimentální balistika

Marian Mikulka

Bakalářská práce
2020

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Marian Mikulka**
Osobní číslo:	**A17169**
Studijní program:	**B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor:	**Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia:	**Kombinovaná**
Téma práce:	**Experimentální balistika**
Téma práce anglicky:	**Experimental Ballistics**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši literatury a pramenů vztahujících se k tématu.
2. Vymezte fenomenologické a etiologické aspekty zvolené problematiky.
3. Proveďte experimentální ověření ničivých účinků vybraných střelných zbraní.
4. Proveďte komparaci výsledků experimentálního ověření testovaných zbraní.
5. Výstupy praktické části prezentujte v grafické podobě.

Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KŘÍŽEK, Leonid. *Encyklopedie zbraní a zbroje*. Praha, Libri, 1999. ISBN 80-85983-70-2.
2. PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Plzeň, Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-036-9.
3. PORADA, Viktor. *Kriminalistika*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-194-0.
4. KNEUBUEHL, Beat, P. *Balistika: Střely, přesnost střelby, účinek*. Praha, Naše vojsko, 2004. ISBN – 8020607498.
5. STRAUS, Jiří a František VAVERA. Dějiny kriminalistiky. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. ISBN isbn978-80-7380-370-4.

Vedoucí bakalářské práce: **PhDr. Mgr. Stanislav Zelinka**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **7. prosince 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2020**

L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. prosince 2019

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne Marian Mikulka v. r.

podpis diplomanta

ABSTRAKT

V této bakalářské práci byl zkoumán ničivý účinek krátkých palných zbraní. Testovány byly Beretta model 71 ráže 22 Long Rifle, samonabíjecí pistole CZ vzor 45 ráže 6,35 mm Browning, samonabíjecí pistole CZ vzor 83 ráže 7,65 mm Browning a sportovní samonabíjecí pistole CZ Shadow 2 ráže 9 mm Luger. Cílem této práce bylo především srovnání jejich ničivých účinků na zvolený cíl, tedy na dřevěnou desku o výšce 400 mm, šířce 158 mm a tloušťce 60 mm.

Klíčová slova: experimentální balistika; ničivý účinek; 22 Long Rifle; 6,35 mm Browning; 7,65 mm Browning; 9 mm Luger.

ABSTRACT

In this bachelor thesis the destructive effect of firearms has been tested. In fact the Beretta Model 71 caliber 22 Long Rifle, the semi-automatic pistol CZ Mod 45 caliber 6,35 mm Browning, the semi-automatic pistol CZ Mod 83 caliber 7,65 mm Browning and sports semi-automatic pistol CZ Shadow 2 caliber 9 mm Luger have been used for testing. The primary aim of the thesis was a general comparison of the weapons‘ destructive effect on selected target, therefore the wooden plank with height 400 mm, width 158 mm and depth 60 mm.

Keywords: Experimental Ballistic; destructive effect; 22 Long Rifle; 6,35 mm Browning; 7,65 mm Browning; 9 mm Luger.

V prvé řadě bych chtěl poděkovat PhDr. Mgr. Stanislavu Zelinkovi za odborné vedení a podmětné rady, ochotu a čas, který mi věnoval během zpracování mé bakalářské práce.

Dále také děkuji panu Filipu Reichovi za zprostředkování a pomoc při střelbě na střelnici ve Velkých Pavlovicích.

Poděkování také patří mým blízkým, kteří mě ve studiu podporovali.

OBSAH

ÚVOD **9**
I TEORETICKÁ ČÁST **10**
1 BALISTIKA **11**
1.1 PRENATÁLNÍ BALISTIKA 11
1.2 VNITŘNÍ BALISTIKA 11
1.2.1 Iniciace 12
1.2.2 Hoření střelného prachu 12
1.2.3 Pohyb střely 13
1.2.4 Energetická bilance 14
1.3 PŘECHODOVÁ BALISTIKA 15
1.3.1 Děje na ústí hlavně 15
1.3.1.1 Rychlost výtoku prachových plynů 15
1.3.1.2 Proudění plynů na ústí hlavně jeho účinky 16
1.3.1.3 Světelný jev 17
1.3.2 Zpětný ráz 17
1.3.2.1 Příčiny zpětného rázu 17
1.3.2.2 Stanovení zpětného rázu 18
1.3.2.3 Zdvih ústí hlavně 18
1.3.2.4 Možnosti ovlivnění zpětného rázu 19
1.4 VNĚJŠÍ BALISTIKA 20
1.5 TERMINÁLNÍ (KONCOVÁ) BALISTIKA 21
1.6 POSTTERMINÁLNÍ BALISTIKA 23
2 STŘELNÉ ZBRANĚ **24**
2.1 PALNÉ ZBRANĚ 24
2.1.1 Krátké palné zbraně 24
2.1.2 Dlouhé palné zbraně 24
2.2 ČÁSTI PALNÉ ZBRANĚ 25
2.2.1 Hlaveň 25
2.2.2 Závěr 25
2.2.3 Bicí a spoušťové ústrojí 26
2.2.4 Mířidla 26
3 STŘELIVO **27**
3.1 DĚLENÉ STŘELIVO 27
3.2 JEDNOTNÉ STŘELIVO 27
3.2.1 Střela 28
3.2.1.1 Jednotná střela 28
3.2.1.2 Hromadná střela 28
3.2.1.3 Plynová střela 29
3.2.1.4 Speciální střela 29
3.2.2 Hnací složka 29
3.2.3 Zápalka 29
3.2.4 Nábojnice 30
II PRAKTICKÁ ČÁST **31**

4 ÚČINEK STŘEL NA PEVNÝ MATERIÁL 32
4.1 STŘIŽNÝ MODEL 32
4.2 PRŮTLAČNÝ MODEL 33
4.3 ÚČINEK STŘELY NA DŘEVO 34
5 POUŽÍTÉ ZBRANĚ A STŘELIVO 35
5.1 SAMONABÍJECÍ PISTOLE BERETTA MODEL 71 35
5.2 SAMONABÍJECÍ PISTOLE CZ VZOR 45 36
5.3 SAMONABÍJECÍ PISTOLE CZ VZOR 83 38
5.4 SAMONABÍJECÍ PISTOLE CZ SHADOW 2 39
6 EXPERIMENT 42
6.1 TERČ 42
6.2 PRŮBĚH EXPERIMENTU 43
7 VYHODNOCENÍ NIČIVÝCH ÚČINKŮ STŘEL 45
7.1 STŘELIVO 22 LONG RIFLE 45
7.2 STŘELIVO 6,35 MM BROWNING 47
7.3 STŘELIVO 7,65 MM BROWNING 49
7.4 STŘELIVO 9 MM LUGER 51
7.5 SROVNÁNÍ NIČIVÝCH ÚČINKŮ STŘEL 52
ZÁVĚR 56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 61
SEZNAM OBRÁZKŮ 62
SEZNAM TABULEK 64
SEZNAM PŘÍLOH 65

ÚVOD

Experimentální balistice se nejen v posledních letech věnuje stále větší pozornosti, a to jak z řad odborníků, tak i z řad nadšenců do zbraní. Vedle zbraňového průmyslu zažívá rozvoj i dílčí část tohoto odvětví, a to ochrana života i majetku. Samozřejmostí je také samostatné odvětví policejního a vojenského testování a výzkumu. Pro ochranu osob i majetku je nesmírně důležitý výzkum ničivých účinků různých palných zbraní. Testování se obvykle provádí ve vyhrazených prostorech střelnice (laboratoří) na stávajících i nově vznikajících a vyvíjených materiálech (např. kevlarová vlákna, pancíře atd.).

Výzkum ničivých účinků se snaží obsáhnout různorodost střel a analyzovat výsledky jejich působení na různé materiály. Účinek zbraní a střeliva je spjatý s konkrétními podmínkami zásahu cíle a jeho posuzování je významnou částí kriminalistické balistiky. Účinky střel při zasažení živého biologického cíle se zabývá terminální ranivá balistika, využívaná v běžné kriminalistické praxi a navazující na soudně lékařskou praxi. Hodnocení účinků zasažení neživého cíle se zabývá taktéž terminální balistika. Dopad střely na neživou překážku je z fyzikálního hlediska velmi složitý proces a lze jej popsat různými matematickými modely. Dochází jak k deformacím střely, tak i cíle, a proto dynamické vlastnosti materiálu střely i cíle hrají důležitou roli. Vyvolání určitého účinku na cíl, je obecně dáno konstrukčními vlastnostmi střely, množstvím její dopadové energie a úhlem náběhu v okamžiku kontaktu s cílem.

Tato bakalářská práce byla zaměřena na terminální balistiku a účinek střely v neživém cíli. A dále popisuje a testuje ničivé účinky střel na dřevěný materiál. Cílem práce byla analýza ničivých účinků vybraných zbraní a střeliva, při střelbě na dřevěný terč. Hypotézou pro tento experiment bylo, že při zvyšování ráže použitého střeliva se bude zvyšovat ničivý účinek na daný cíl, při zachování konstantní vzdálenosti střelce od terče.

V rámci této bakalářské práce byla popsána balistika a její jednotlivá odvětví jako je prenatální, vnitřní, přechodová, vnější, terminální balistika a balistika posterminální. Dále zde byly krátce popsány a rozděleny střelné zbraně, stejně jako běžně používané střelivo. První část praktické části byl věnován účinkům střel na pevný materiál, a to jak popisem základními matematickými modely, tak i teoreticky. Následně zde také byly popsány vybrané testované palné zbraně a jejich střely, stejně jako testovaný cílový materiál. Druhá část práce se poté zabývá samotným experimentálním postupem, a to jak průběhem samotného experimentu, tak i jeho výsledků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BALISTIKA

Balistiku můžeme popsat jako vědní disciplínu, která se zabývá všemi ději a jevy souvisejícími s pohybem střely.
Z klasické balistiky, zkoumající dráhu letu vržených těles, se postupem času vyvinula kriminalistická balistika.
Kriminalistická balistika patří k nejstarším kriminalistickým oborům. Její počátky sahají až do roku 1794, kdy byl v Anglii usvědčen první vrah pomocí balistiky.
Specializuje se na zkoumání objektů, které souvisejí se střelbou ze zbraně. V dnešní době je pověřena celou řadou úkolů, kterými se balističtí experti neustále zabývají. Za dominantní lze však označit činnost, díky které je možné identifikovat zbraň, ze které se střílelo, a rozhodnout tak u soudu o vině či nevině pachatele. Jedná se o individuální identifikaci palných zbraní podle vystřelených nábojnic a střel.
Mezi další úkoly balistických expertů patří skupinové určování příslušnosti palných zbraní, neidentifikační zkoumání zbraní a střeliva, zkoumání vedlejších produktů výstřelu, zjišťování vzdálenosti střelby, stanoviště střelce a mnoho dalších [1].

1.1 Prenatální balistika

Tato oblast balistiky je zaměřena na děje, které probíhají před výstřelem. Tyto děje zanechávají na zbraní nebo nábojnici významné stopy pro kriminalistickou praxi. V uvedené oblasti balistiky se může jednat o změny na zbrani buď úmyslné nebo neúmyslné, kterými se pachatel snaží znemožnit jak identifikaci zbraně, tak i identifikaci své osoby.

Do těchto stop můžeme zařadit různé úpravy zbraně, chyby při nabíjení mezi jednotlivými výstřely, stopy, které zanechá na nábojnici zásobník, stopy, které může zanechat na nábojnici přeběh závěru a tak dále.

Tato oblast balistiky se také zabývá postupy, které se využívají při tovární výrobě nebo podomácku vyrobených a přebytých nábojů. Zabývá se také identifikací postupů a technologií při komerční výrobě zbraní, anebo i u podomácku nelegálně upravených zbraní [1].

1.2 Vnitřní balistika

Vnitřní balistika se zaměřuje na studium jevů, které vznikají v hlavni při výstřelu. V hlavni ve velmi krátkém časovém úseku působí velké fyzikální jevy (síla, zrychlení a teplota). Ma-

tematické vyjádření této balistické problematiky výstřelu je velmi náročné. Tato problematika se řeší s velkými obtížemi, i když pro ulehčení matematického vyjádření využijeme nejmodernější výpočetní techniku.

Průběh výstřelu můžeme rozdělit do čtyř fází: iniciace, hoření střelného prachu, pohyb střely vpřed a energetická bilance [1] [2].

1.2.1 Iniciace

Moment při úderu zápalníku na spodní stranu zápalky. Dojde k iniciaci zápalkové náplně, díky této iniciaci vznikne v nábojnici plamen a horké plyny. Tento plamen a horké plyny ve zlomku sekundy zažehnou povrch všech prachových zrn náplně nábojnice. K dosažení potřebného počátečního tlak v nábojnici musí být střela pevně vsazena do ústí nábojnice. Tato výtahová síla drží střelu na místě. Střela se začne pohybovat až tehdy, kdy se v nábojnici nashromáždí tak velký tlak, který překoná tuto sílu [2].

1.2.2 Hoření střelného prachu

Střelný prach je dělen na základě změn jeho povrchu v průběhu hoření. Pří zmenšování celkového povrchu se jedná o prach degresivní. Degresivní je například prach páskový či kuličkový. Při degresivním hoření dochází ke stále menšímu uvolňování plynu [2].

Pokud dochází k zvětšování celkového povrchu prachu při hoření jedná se o prach progresivní. Za progresivní můžeme považovat sedmi děrový prach ale pouze do okamžiku, než prohoří nejtenčí část zrna. Poté dochází u tohoto prachu k postupnému rozpadu zrn na menší hořící časti, které již mají povahu degresivního prachu. U progresivního hoření dochází k zvyšování přírůstku plynu [2].

Při neměnnosti celkového povrchu prachu v průběhu hoření se jedná o prach neutrální. Pokud zanedbáme odhořívání povrchu čelních stran zrn, lze za neutrální považovat i trubičkový prach [2].

V současné době můžeme rychlost hoření prachu ovlivnit jeho chemickou úpravou. Touto úpravou můžeme rychlost hoření snížit nebo zvýšit [2].

Zákon hoření matematicky znázorňuje podíl tlaku v hlavni a množství shořelého prachu.

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \varphi(z).L.p \quad (1)$$

z ..... podíl shořelé prachové náplně

t ..... čas

φ(z) ..... funkce hoření

L ..... konstanta (živost prachu)

p ..... tlak

U degresivního prachu φ(z) <1, progresivního prachu φ(z)>1, neutrální prach φ(z)=1 [2].

Maximální tlak nesmí při hoření střelného prachu být příliš vysoký, přičemž tlak úsťový musí být co nejmenší.
Hoření prachu musí skončit ještě předtím, než střela opustí ústí hlavně a její rychlost musí být co největší. Z tohoto důvodu je třeba u různých zbraní použít různé druhy prachů. Degresivní u zbraní krátkých s lehkými střely a progresivní prach pro zbraně dlouhé s těžkými střely [2].

1.2.3 Pohyb střely

K pohybu střely dochází, jakmile vzniklý tlak hořením střelného prachu v nábojnici překoná počáteční tlak. Střela se začne v hlavni pohybovat se zvyšující rychlostí. Tím pádem se začne zvětšovat i objem ve, kterém se rozpínají vzniklé plyny. Tlak, který se zde stále zvětšuje dosáhne své maximální hranice v době kdy narůstající objem plynů v hlavni, v prostoru mezi střelou a nábojnicí, bude stejný jako volný objem v tomto místě. Poté tento tlak v hlavni začne postupně klesat [2].

Tento děj popisuje zákon zachování energie.

$$\eta \, z \, m_p \, Q_{výb} = \frac{p \, V}{\gamma - 1} + \frac{1}{2} \, mv^2 \tag{2}$$

η ..... podíl využitelné energie z celkově dostupné energie

z ..... podíl shořelé prachové náplně ($0<z<1$)

m_p ..... hmotnost prachové náplně

$Q_{výb}$ ..... výbuchové teplo

První člen pravé strany rovnice vyjadřuje tlakovou energii

γ ..... adiabatický koeficient (prachové plyny – 1,2)

Tlak v hlavni postupně klesá až do doby, kdy střela opustí ústí hlavně. Při opuštění střely hlaveň se v hlavni stále nachází zbytkový tlak, kterému se říká úsťový. Velikost úsťového tlaku má velký vliv na děje probíhající na ústí hlavně [2].

1.2.4 Energetická bilance

Při výstřelu vznikají i jiné typy energií. Jsou to energie tepelná a energie kinetická. Energii výstřelu můžeme rozdělit na kinetickou energii, která představuje asi 30-40 % energie střely. Dále se zde nachází tepelná energie, která je předána součástem zbraně (asi 10-15 % z energie střely). Vnitřní a tepelná energie plynů tvoří zbytek celkové energie střely. Vyskytují se zde i dvě zanedbatelné energie, první je energie rotační a druhá energie zpětného rázu [2].

I. Tepelná energie

- teplo předané součástem zbraně,
- vnitřní energie plynů,
- tepelná energie plynů,
- třecí síla střel.

II. Kinetická energie

- pohybová energie plynů,
- rotační pohyb střely,
- zpětný ráz zbraně,
- pohyb střely na dráze letu [1] [2].

1.3 Přechodová balistika

1.3.1 Děje na ústí hlavně

1.3.1.1 Rychlost výtoku prachových plynů

V okamžiku, kdy střela začne opouštět ústí hlavně, se v hlavni stále ještě nachází ústový tlak. Tento tlak je mnohokrát větší než atmosférický tlak, a tím pádem na ústí hlavně dojde k velmi rychlému proudění plynů. Toto proudění ovlivňuje nejen letící střelu, ale také zpětně působí na zbraň a střelce [2].

Plyny vytékají z ústí hlavně takzvanou Lavanovou rychlostí. Tuto rychlost můžeme přibližně vypočítat podle následujícího vzorce [2].

$$v_v = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{p_{ú} \cdot V_H}{m_p}} \qquad \text{[m/s]} \tag{3}$$

$p_{ú}$ ..... ústový tlak [bar]

V_H ..... objem vývrtu hlavně a nábojnice [mm^3]

m_p .....hmotnost prachu [g] [2].

Tento výpočet není úplně přesný, ale pro některé výpočty je dostačující. Například u výpočtu zpětného rázu je lepší použít výpočet Lavonova tlaku, než kdybychom měli jen vycházet z odhadů [2].

Lavanův tlak, je tedy tlak vytékajícího plynu z ústí hlavně a jeho hodnota je zhruba 56 % ústového tlaku [2].

1.3.1.2 Proudění plynů na ústí hlavně jeho účinky

Z ústí hlavně uniká plyn ještě před tím, než z ústí hlavně vyletí střela. A to jako sloupec vzduchu, který před sebou vytláčí střela z hlavně. Dále zde jsou pozorovatelné prachové plyny, které z důsledků netěsnosti mezi střelou a vývrtem hlavně unikají a předbíhají střelu [2].

Obr. 1. Proudění plynů na ústí hlavně [7].

Plyny v hlavni jsou stále pod vysokým tlakem (Lavalovým tlakem), jakmile střela opustí ústí hlavně, tak se tyto plyny začnou rozpínat do okolí a začnou se zrychlovat.

Střela letí pomaleji než vytékající plyny z ústí hlavně, přičemž rychlost plynů je tak velká, že často dochází ke vzniku rázové vlny (nadzvukové obtékaní střely). Tím pádem plyny začnou obtékat střelu a předběhnou ji. To můžeme pozorovat na (obr.1), který byl pořízen vysokorychlostní kamerou [2].

Obtékaní střely vytékajícími prachovými plyny není symetrické. Velká rychlost obtékajících plynů, střelu dokáže nepatrně zrychlit. Obtékající plyny ale mají i špatný vliv na střelu. A to tím že vyvolávají v blízkosti ústí hlavně příčné síly. Tyto síly mají velký vliv na rozkmitání střely v blízkosti ústí hlavně. Popisované rozkmitání střely má vliv na přesnost zásahů terče.

Prachové plyny se ve vzdálenosti několika desítek centimetrů zpomalí tak moc, že je střela předběhne [2].

1.3.1.3 Světelný jev

Na ústí hlavně také pozorujeme světelné jevy. Máme dva druhy těchto jevů.

- Plamen z ústí hlavně: zde se jedná o to, že prachová zrna nejsou ještě plně shořelé a opouští ústí hlavně ještě když hoří.
- Plamen na ústí hlavně: při tomto jevu se vznítí horké prachové plyny po smíchání se vzdušným kyslíkem [2].

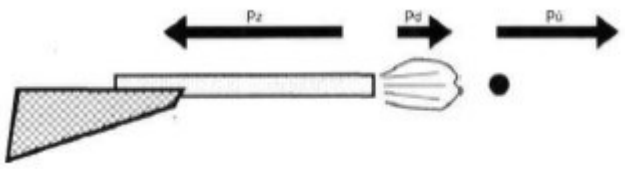
Tato oblast balistiky se zabývá zkoumáním pohybu střely, od okamžiku opouštění hlavně zbraně, do doby, než na střelu přestanou působit nashromážděné povýstřelové zplodiny a jejich případným zachycením na okolních překážkách [1] [2].

1.3.2 Zpětný ráz

Mechanické působení zbraně na střelce s opačným působením, než je směr letu střely.

1.3.2.1 Příčiny zpětného rázu

Při výstřelu na sobě střelec pociťuje mechanické působení zbraně (zpětný ráz), které vychází ze zákona zachování hybnosti. Toto mechanické působení je způsobeno působením hybnosti střely a vytékajících prachových plynů z ústí hlavně. Tyto dvě hybnosti mají směr letu střely. Opačně proti nim působící stejně velká hybnost zbraně. To vidíme na (Obr. 2.) P_z – hybnost zbraně, P_d – hybnost prachových plynů, $P_ú$ – hybnost střely [2].



Obr. 2. Zpětný ráz [2].

1.3.2.2 Stanovení zpětného rázu

Při stanovení zpětného rázu se zaměříme na velikost úsťové rychlosti střely, kterou také nazýváme impulz ústí hlavně $p_{ú}$ a impulz prachových plynů p_d. Výpočet velikosti úsťové rychlosti střely znázorňuje vzorec (4). Pro výpočet impulzu vytékajících plynů z hlavně se používá vzorec (5) [2].

Součtem úsťové rychlosti střely $p_{ú}$ a impulzu prachových plynů p_d dostaneme přibližnou velikost impulzu zpětného rázu p_z (viz rovnice 6) [2].

$$p_{ú} = 0{,}001 \,.\left(m + \frac{1}{2} \,.m_p\right).v_{ú} \tag{4}$$

m ..... hmotnost střely [g]

m_p ..... hmotnost prachové náplně [g]

$v_{ú}$ ..... úsťová rychlost střely [m/s]

$$p_d = 0{,}001 \,.m_p.v_v \qquad [\text{N} \,.\, \text{s}] \tag{5}$$

Jakmile střela vyletí z ústí hlavně, tak plyny, které vytékají za ní mají Lavanovu rychlost v_v. Tuto rychlost vypočítáme pomocí vzorce (3).

$$p_z = p_{ú} + p_d \qquad [\text{N} \,.\, \text{s}] \tag{6}$$

1.3.2.3 Zdvih ústí hlavně

Prakticky veškeré krátké palné zbraně jsou konstruovány tak, že hlaveň leží nad bodem opření zbraně o dlaň nebo o rameno střelce. Bod opření a směr zpětného rázu neleží ve stejném místě, ale jsou od sebe vzdáleny určitou vzdáleností (viz Obr.3.) [2].

Při výstřelu ze zbraně tak vzniká podnět, který otáčí zbraní kolem středu otáčení hlavní vzhůru. Hlaveň krátkých palných zbraní se před opuštěním střely z hlavně zvedne až o několik milimetrů. Tento děj se pravidelně u krátkých palných zbraní opakuje, ale střelec už jej nebere moc na vědomí. Rozdíl by poznal, kdyby ze stejné zbraně střílel náboje s rozdílnými impulzy zpětného rázu. Otáčení hlavně směrem vzhůru pokračuje neustále i poté, jakmile střela vyletí z hlavně zbraně [2].

Obr. 3. Točivý moment působící na zbraň [2].

U krátkých zbraní se střed otáčení nachází přibližně v polovině hřbetu rukojeti, a to je důvodem proč se u těchto zbraní víc pociťuje otáčení hlavně než zpětný ráz. U dlouhých zbraní je tomu naopak protože jejich střed otáčení je uprostřed botky [2].

1.3.2.4 Možnosti ovlivnění zpětného rázu

Zpětný ráz můžeme ovlivňovat mnoha způsoby. Pokud nezáleží na velikosti úsťové rychlosti střely, tak není nic jednoduššího než přejít na náboje s menšími impulzy zpětných rázů. Pokud se ale úsťová rychlost má zachovat tak máme možnosti:

- Zmenšení hmotnosti střely – pokud zmenšíme hmotnost střely tím pádem se změní hybnost střely a ta ovlivňuje zpětný ráz.
- Zvětšením hmotnosti zbraně – Provádí se u sportovních zbraní, a to tím že přidáme závaží na zbraň.

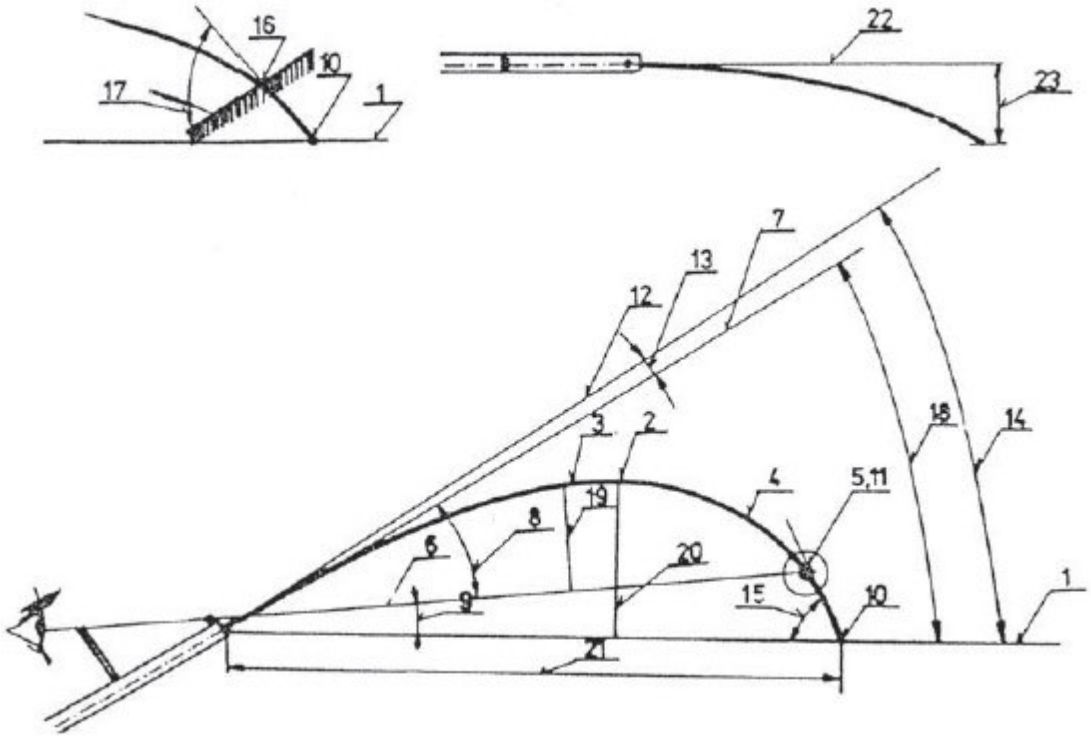
Na zmírnění impulzu zpětného rázu by se dali použít i prachové plyny, které vytékají z ústí hlavně. A to tím způsobem, že bychom je odvedli přímo proti letu střely, jenže tento způsob se nedá použít z důvodů velkého ohrožení střelce. Používají se úsťové brzdy, využívá se zde úsťových prachových plynů, které jsou šikmo dopředu odvedeny od letu střely. To velmi sníží energii otáčivého pohybu zbraně [2].

Zpětný ráz je mechanické působení na střelce s opačnou energií, než je energie střely a energie prachových plynů vytékajících z hlavně. Zpětný ráz má velký vliv na přesnost střelby, protože ovlivňuje střelce silou, která působí na jeho opření zbraně a také má velký vliv na zdvih ústí hlavně. Je několik způsobů, jak ho můžeme ovlivnit [2] [6].

1.4 Vnější balistika

Zabývá se působením různých faktorů na střelu ve fázi letu. Dva nejdůležitější faktory působící na střelu při fázi letu, jsou zemská přitažlivost a odpor vzduchu (prostředí), kde zemská přitažlivost působí na tzv. balistickou křivku. Tím můžeme popisovat dráhu střely k cíli. Z přechodové a vnější balistiky se využívají zjištěné závěry pro určení vzdálenosti střelby či stanoviště střelce [4] [5].

Balistickou křivku je složité popsat, jelikož na střelu působí neustále se měnící vlivy. Do těchto vlivů patří například teplota, nadmořská výška, hustota vzduchu a také vítr [7].



Obr. 4. Balistická křivka 1- úroveň ústí, 2- vrchol dráhy střely, 3- vzestupný oblouk, 4- sestupný oblouk, 5- zaměřovací bod, 6- záměrná, 7- náměrná, 8- zaměřovací úhel, 9- polo-

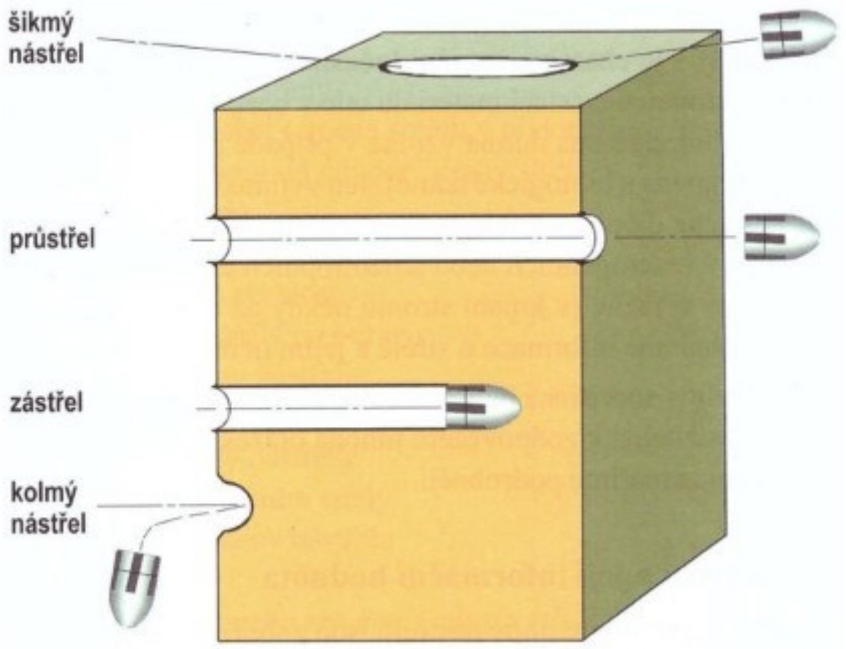
hový úhel,10- bod dopadu, 11- bod zásahu, 12- vystřelená, 13- úhel zdvihu, 14- úhel výstřelu, 15- úhel dopadu, 16- bod nárazu, 17- úhel nárazu, 18- náměr, 19- převýšení dráhy střely, 20- výška dráhy střely, 21- výstřelová rovina, 23- derivace střely [8].

Vnější balistika se zaměřuje na střelu po výletu z ústí hlavně a na vlivy, které na ní působí při letu až po dobu kdy střela dopadne na cíl. Tento let střely ovlivňuje spoustu vlivů, dva nejdůležitější jsou síla odporu vzduchu a zemská přitažlivost [4] [5] [7].

1.5 Terminální (koncová) balistika

Zabývá se pohybem a účinky střely v zasaženém objektu, ať už v živém nebo neživém. Účinky střel na živých cílech se zabývá ranivá balistika, která úzce navazuje na soudní lékařství a vojenskou balistiku [1] [2] [9] [10].

Základní typy kontaktů střely s cílem jsou znázorněny na obr.5



Obr. 5. Základní typy kontaktů střel s cílem [1].

- **Nástřel –** dělíme na dva druhy kolmý nástřel a šikmý nástřel. Kolmý nástřel je kontakt střely s povrchem cíle s malou dopadovou rychlostí střely, zanechává po sobě mělkou prohlubeň a střelu nacházíme spadenou před cílem. Při šikmém nástřelu střela nevnikne do cíle, ale odráží se od cíle a s pozměněnou dráhou letu dopadá daleko za cílem a ve velkém poloměru dopadu.
- **Zástřel –** je to vstřelový otvor, který nepronikl skrz cíl a na konci vstřelového otvoru můžeme očekávat střelu.
- **Průstřel –** jedná se o otvor kruhového tvaru po střele, který prochází celou šířkou cíle. Střelu nacházíme za cílem ve vzdálenosti, která je určena zbytkovou energii střely.
- **Postřel –** střela se cíle dotkne jen tečně, po kontaktu zůstanou jen oděrky a střela pokračuje o své dráze letu bez velkých změn [1].

Terminologie v terminální balistice:

- **vstřelová strana –** strana cíle, která je ke střelci natočena a střela ní vniká do cíle,
- **výstřelová strana –** strana cíle, která je vzdálenější od střelce, na této straně zkoumáme zbytkovou energii střely,
- **vstřelový otvor –** vzniká při vniknutí střely do cíle, která poruší povrch cíle. Ze vzniklého otvoru můžeme zjistit jakou měla střela ráži, z jakého materiálu byla vyrobena a jiné,
- **výstřelový otvor –** je to místo kde střela opouští cíl. Zanechává zde informace o své zbytkové energii a může zde zanechat i otěry materiálu ze kterého je vyrobena,
- **střelný kanál –** spojení mezi vstřelovým otvorem a výstřelovým otvorem, střelný kanál bývá většinou nepřímý, jelikož střely pronikají cílem cestou nejmenšího odporu. Ve střelném kanálu se nachází důležité informace o střele a jejím ničivém účinku,
- **stopa nástřelu –** stopa nástřelu může poskytovat nejrůznější informace, např. složení materiálu střely, informace o konstrukci a typu střely, o směru a úhlu dopadu střely a jiné [9].

Terminální balistika je odvětví balistiky, které se zabývá účinkem střely po dopadu na cíl a stop, které střela zanechá na nebo vně cíle. Cíle můžeme dělit na cíle neživé a cíle živé. Jakákoliv střela zanechává na různorodých cílech jiné stopy [9].

1.6 Postterminální balistika

Je to experimentální odvětví balistiky, toto odvětví posouvá balistiku dále do prostředí 21století. Zabývá se jevy, které se dějí jakmile střela nebo její části (sekundární projektily) opustí cíl nebo části zasaženého cíle. Jelikož sekundární projektily opouští cíl zpravidla nestabilizovaně, tak se zde nedají použít pravidla vnější ani terminální balistiky. Jedná se v ní o množství otázek, které musí balistika řešit často [1].

Nemůžeme se v ní opřít ani o teoretické nástroje, zbývá nám už jen experimentální přístup. Tento přístup využívá nejmodernější technologii např. rychlého digitálního videozáznamu nebo fotografii [1].

Často dochází při různých střeleckých incidentech ke vzniku různých sekundárních projektilů, odražená střela od silnice, betonového obrubníku, podlahy bytů a dlažby a jiných pevných částí. Střela se může deformovat, roztříštit na menší sekundární projektily anebo uvolnit kousek cíle který zasáhla. Při zásahu střely do oběti může vzniknout sekundární projektil z úlomků kostí, ty se pak začnou chovat nepředvídatelně a zhoršují ohledání [1].

Postterminální balistika využívá nejmodernějšího zařízení pro experimentální dokázaní dopadu sekundárních projektilů na další cíle. Které byly zasaženy buď zdeformovanou střelou nebo jejími částmi čí úlomky, které střela uvolnila z cíle [1].

2 STŘELNÉ ZBRANĚ

Zbraň je souhrnný název označující prostředek k obraně, útoku nebo usmrcení zvěře.

Zbraně se rozdělují dle použití na sečně, úderné, bodné a vrhací zbraně, které se dále dělí na plynové, palné a mechanické.

V rámci této bakalářské práce se dále zabývám zbraněmi palnými [2].

2.1 Palné zbraně

Palné zbraně rozdělujeme dle několika kritérií, jako např.: způsobu ovládání (krátké/ dlouhé) nebo funkčního principu (jednoranová/ opakovací/ samonabíjecí) [2].

2.1.1 Krátké palné zbraně

Pojem pistole označuje zbraň, jejíž náboje jsou uloženy v zásobníku (kapacita 8-16), z něhož se nabíjí do nábojové komory. Pistole mají většinou dvojčinné spoušťové ústrojí. Slouží pro sportovní střelbu, osobní obranu anebo pro vojenské využití pro střelbu na 50 metrů.

Revolvery jsou zbraně konstruované jako opakovací. Typické je nastavení nábojové komory s nábojem před hlaveň s napnutím kohoutku a pootočením nábojového válce.

Samopaly jsou plně automatické palné zbraně, které díky malému zpětnému rázu mají závěrové konstrukce jednoduché. Teoretická rychlost střelby neboli kadence, je zhruba 600 – 800 ran/ minuta [1] [2].

2.1.2 Dlouhé palné zbraně

Vojenské dlouhé palné zbraně se dělí na útočné pušky, lehké kulomety a odstřelovačské pušky.

Lovecké zbraně jsou na rozdíl od vojenských jednoranové vícehlavňové zbraně.

Mezi typické sportovní zbraně řadíme kulovnice nebo brokovnice pro loveckou sportovní střelbu [1] [2].

2.2 Části palné zbraně

Moderní zbraně se obvykle skládají z desítek součástí. Zákon o zbraních (119/2002 Sb.) stanovuje, které části zbraně podléhají registraci. Hlavní části střelné zbraně tvoří: hlaveň, vložná hlaveň, vložná nábojová komora, rám, válec revolveru, pouzdro závěru nebo tělo a závěr [12].

2.2.1 Hlaveň

Technicky se jedná o trubku, na jejímž konci se nachází nábojová komora, která svým tvarem a svými rozměry odpovídá danému náboji. Tím je přímo určen typ střeliva. Vnitřní prostor (vývrt) hlavně, kde dochází k urychlení střely, může být hladký, drážkovaný nebo stočený do šroubovice. Průměr tohoto vnitřního prostoru hlavně poté nazýváme ráže. Hladký vývrt slouží ke střelbě kulových nebo šípových střel, drážkovaný vývrt uvádí střelu do rychlé rotace kolem své podélné osy, což poskytuje relativně stabilní dráhu letu. Ráže drážkovaných hlavní, je vyjadřována jako průměr mezi drážkami vývrtu (mezi tzv. poli), ráže hladkých hlavní (u brokovnic) jako výsledek vzorce:

$$d = 42{,}431\sqrt[3]{\frac{1}{n}} \tag{7}$$

d ..... teoretický průměr hlavně

n ..... broková ráže (tj. číslo udávající počet olověných koulí o průměru shodném s průměrem vývrtu, jež lze odlít z jedné anglické libry) [2] [11].

2.2.2 Závěr

Závěr je zařízení, které slouží k otvírání a zavírání zadního konce hlavně před a po nabytí. U moderních zbraní poté spíše podpírá nábojnici proti působícím tlakům plynů.
Může být uzamčený (u zbraně připravené k výstřelu), nebo neuzamčený (u zbraní s nízkým výkonem, proti zpětnému pohybu závěru tak působí pouze vratná pružina) [2] [12].
Závěrových systémů existuje mnoho typů: záklopkový, lůžkový (zbraně s pohyblivou hlavní), válcový (otáčivý/ přímotažný) a blokový (vertikální/ otáčivý/ horizontální). Zvláštní

skupinou jsou revolvery, kde funkci závěru zastává otáčivý válec s vícero nábojovými komorami [12] [13].

2.2.3 Bicí a spoušťové ústrojí

K iniciaci náboje v jakékoli palné zbrani slouží bicí a spoušťové ústrojí, které tvoří úderník, bicí kohout, bicí pružina, spoušťová pálka, pružina spouště a spoušť. Spoušťové mechanismy se dělí podle způsobu ovládání (napínání a vypouštění) bicího mechanismu. Liší se od sebe zejména odporem a délkou chodu spouště. Dělíme na zbraně s jednočinnou (Single Action -SA), dvoučinnou (Double Action – DA) nebo výlučně dvoučinnou spouští (Double Action Only – DAO) [2] [12].

Bicí pružina dodává energii potřebnou k odpálení náboje a může se napínat různými způsoby. U zbraní s SA spouští se pružina může napínat ručně (pomocí bicího kohoutku/ pohybem závěru), nebo zaklouzávajícím uzávěrem u samonabíjecích zbraní. U zbraní s DA spouští je také možno pružinu napnout tlakem na spoušť, zatímco u DAO pouze tímto protlačením. Součástí bicího a spoušťového ústrojí jsou také pojistky, bránící nechtěnému výstřelu [2].

2.2.4 Mířidla

Z důvodu působení tíhového zrychlení a zakřivení dráhy střely, musí podélná a záměrná osa vývrtu hlavně svírat tzv. záměrný úhel. Ten se nastavuje pomocí mířidel. Mířidla dělíme na otevřená a optická. U otevřených mířidel je zapotřebí mířit pomocí dvou, co nejvíce vzdálených bodů. U optického mířidla – zaměřovacího dalekohledu, se záměrný úhel nastaví sklopěním optické osy vzhledem k ose vývrtu hlavně [2].

3 STŘELIVO

Střelivem označujeme veškeré nábojnice, náboje, střelný prach, zápalky, střely a jiné součásti které jsou používány k nabíjení zbraní. Na těchto součástech se zachovávají informace o střelné události a tím pádem jsou v balistice pod drobnohledem odborníků [1] [10].

Střelivo dělíme do dvou kategorií. První kategorii je dělené střelivo, které se používá do zbraní vyrobených před rokem 1870. Druhou kategorii jsou jednotné střely, které se začaly používat do zbraní v druhé polovině 19. století a používají se dodnes [1] [10].

3.1 Dělené střelivo

Dělené střelivo se nabijí po jednotlivých částech přímo do hlavně. Nejdříve pečlivě vyčistíme hlaveň, poté do ní nasypeme dané množství nejčastěji černého prachu. Teď se do hlavně vloží střela, která se zabalí do namazané tkaniny a nabijákem se zarazí až po prachovou náplň.

Nyní máme nabito, teď si nachystáme zápalku. Jsou různé varianty zapálení, nasypáním černého prachu do mističky zámku, zapálením doutnáku upnutého ve skřipci anebo se nasadí perkusní zápalka na piston [1].

3.2 Jednotné střelivo

Jednotná střela se neustále vyvíjí a po několika storočním vývoji se ustálilo její složení. Skládá se tedy z nábojnice, která obsahuje také zápalku. Do nábojnice se vkládá hnací složka a poté se vloží střela [10].

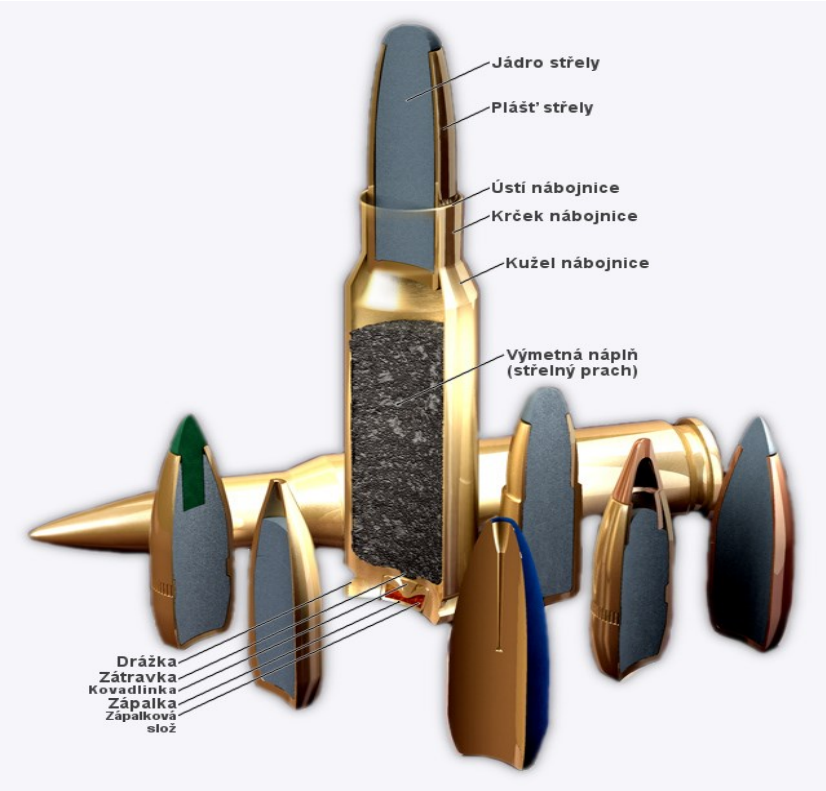
- Střela
- Hnací složka
- Zápalka
- Nábojnice

3.2.1 Střela

Střela musí splňovat podmínky, které jsou na ni kladeny. Dostatečná hmotnost, aerodynamický tvar a konstrukční uspořádání. Střely můžeme dělit do čtyř kategorií.

3.2.1.1 Jednotná střela

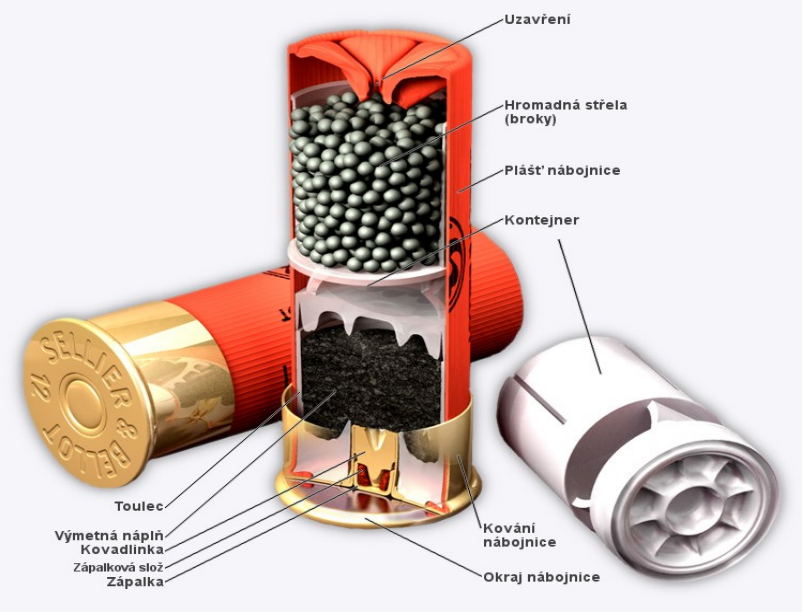
Říka se ji také střela kulová. Vyrábí se buď z jednoho materiálu nebo může být složena z pláště a jádra. Pro lepší představu je znázorněna na Obr.6. [1].



Obr. 6. Jednotná střela [15].

3.2.1.2 Hromadná střela

Je známa také pod názvem střela broková. Tvoří ji drobné projektily (broků), které mají za úkol lepší pravděpodobnost zasáhnout cíl, než střela kulová. Využívá se zde různý počet malých projektilů. Brokovou střelu vidíme na Obr.7. [1].



Obr. 7. Hromadná střela [15].

3.2.1.3 Plynová střela

V nábojnici je místo střely vložen aerosol nebo krystalická látka, která je uzavřena plastovým víčkem. Po zažehnutí dojde k odpaření látky a ta je vytlačena prachovými plyny směrem k cíli [1].

3.2.1.4 Speciální střela

Jsou to střely, které jsou určeny k nesmrtícímu účinku na zasaženém cíli [1].

3.2.2 Hnací složˇ

Je to náplň nábojnice, která při zažehnutí zápalkou během krátké doby zahoří a vyrobí plyn o velkém tlaku. Chemickým složením a tvarem zrn můžeme ovlivňovat rychlost hoření [1].

3.2.3 Zápalka

Je tvořena z citlivé třaskaviny na náraz zápalníku. Zažehnutí zápalkou je řešeno dvěma způsoby. Okrajovým zápalem zápalková slož je umístěna v okrajích dna nábojnice. Středový zápal složе se používá u většiny nábojů a nábojek. Tento druh zápalky má dvě varianty, a to zápalku typu Berdan a zápalku typu Boxer [1].

3.2.4 Nábojnice

Veškeré nábojnice do ručních palných zbraní jsou buď cel, nebo alespoň jejich část zhotoveny z kovu. Nábojnice se vyrábí v lahvovitém nebo ve válcovém tvaru. U dna jsou opatřeny okrajem, drážkou pro vytahovák nebo dosedacím kroužkem [1].

Kovové nábojnice se mohou používat vícekrát, takzvané přebíjení je ekonomicky výhodné a nabízejí ho i někteří malovýrobci [1].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ÚČINEK STŘEL NA PEVNÝ MATERIÁL

Dopad střely na tuhou překážku charakterizuje krátká doba působení velkého tlaku a sil. Vlastnosti materiálů střely a cíle určují následnou deformaci. Matematické modely, např. vniku a průchodu střely cílem, tyto děje popisují a prezentují hlavní veličiny, které ovlivňují balistickou odolnost materiálu [2].

Schopnost střely prorazit desku určité tloušťky (průbojný účinek) závisí na její dopadové kinetické energii.

$$E_d = \frac{1}{2} . m_q . v_d^2 \tag{8}$$

E_d ..... dopadová energie [J]

m_q ..... hmotnost střely [kg]

v_d ..... dopadová rychlost střely [ms^{-1}].

Dopadovou rychlost střely, jež je nezbytná k tomu, aby střela dané ráže a hmotnosti právě pronikla deskou určité tloušťky a mechanických vlastností nazýváme limitní dopadová rychlost střely (v_{lim}) [17].

4.1 Střižný model

Tento model se používá u křehkých a tenkých dopadových materiálů a rychlosti střel nižších než 1000 ms^{-1}. Při průstřelu by nemělo docházet k žádným tvarovým změnám, a předpokládáme že střela z desky „vystřihne“ kus ve tvaru válečku nebo disku. Díky střižnému napětí a střižné ploše se stanoví střižná práce, která odpovídá energii střely E_s [2].

$$E_s = C_s . d . D^2 \tag{9}$$

E_s ..... energie střely [J]

d ..... ráže [mm]

D ..... tloušťka desky [m]

C_s ..... konstanta charakterizující střih daného materiálu [-].

Rozšířením výše zmíněného vzorce se dá vyjádřit tloušťka materiálu v závislosti na energetické hustotě ED.

$$D = \frac{\pi}{4.C_s}.\sqrt{ED.d} = C_s.\sqrt{ED.d} \quad (10)$$

D ..... tloušťka desky [m]

C_s ..... konstanta charakterizující střih daného materiálu [-]

ED ..... energetická hustota [J/g]

d ..... ráže [mm].

Druhá odmocnina součinu energetické hustoty a ráže je úměrná tloušťce prostřeleného materiálu. Střela větší ráže bude mít lepší průbojné vlastnosti, při zachování stejné energetické hustoty (rychlost střely, vzdálenost od terče atd.) [2] [17].

4.2 Průtlačný model

I tento model se používá pro střely o rychlostech nižších než 1000 ms^{-1}. Na rozdíl od střižného modelu ale průtlačný model počítá s plasticky přetvarovatelným cílem a předpokládá, že střela při průchodu odtlačuje materiál do stran. Odtlačený objem je pak úměrný průtlačné energii E_p (Martelova energie) [2].

$$E_p = C_p.\frac{\pi}{4}.d^2.D \quad (11)$$

E_p ..... průtlačná energie

C_p ..... součinitel úměrnosti materiálu [-]

d ..... ráže [mm]

D ..... tloušťka desky [m].

Pokud poté tento vzorec podělíme plochou příčného průřezu střely dané ráže, zjistíme, že energetická hustota ED je úměrná hloubce průniku střely do materiálu cíle [2].

$$D = \frac{1}{C_p}.ED = C_p.ED \quad (12)$$

D ..... tloušťka desky [m]

C_p ..... součinitel úměrnosti materiálu [-]

ED ..... energetická hustota [J/g].

Model je možno použít u většiny tvrdých a tvarovatelných materiálů [2] [17].

4.3 Účinek střely na dřevo

Účinek střely na různé cílové materiály (dřevo, kovy, zemina, měkké cíle) můžeme charakterizovat její schopností proniknout cílem, tedy průbojností. Průbojnost střely je nejčastěji hodnocena dle hloubky vniknutí do cíle, nebo dle počtu prostřelených vrstev ve 24, definovaně oddělených, tenkých vrstvách cíle. Cílový materiál se poté pro experimentální účely vybírá dle výkonu zbraně a účelu testu [18].

Pro hodnocení dopadu střely na cíl sledujeme 4 nejdůležitější faktory:

i) vlastnosti cíle (pevnost, tvar, hustota a tloušťka, u dřeva také dále kvalita a obsah vody),
ii) vlastnosti střely (materiál a složení, tvar),
iii) dopadová rychlost střely (může být optimální, nebo vyšší či nižší; při vyšší dopadové rychlosti, než je rychlost optimální, dochází k roztříštění střely při dopadu na cíl; zatímco při nižší dopadové rychlosti dochází k jejímu odrazu od cíle) [18].

Stejně jako v jiných materiálech, tak i ve dřevě, střely vykazují charakteristické chování. Dlouhá střela se při průchodu dřevem natáčí kolem své osy, přičemž se sníží energetická hustota (z důvodu zvětšení účinného příčného průřezu) a tedy i zkrácení hloubky vniku. Pro hloubku vniku je zde rozhodující úhel náběhu (snižující se s narůstající vzdáleností střelby) a stabilita střely.

U celoplášťové střely je rozhodujícím faktorem kvalita (hustota) dřeva, tedy je-li měkké nebo tvrdé. V měkkém dřevě nedocházím k deformacím střely, nebo jen velmi zanedbatelným. Ve tvrdém dřevě (popřípadě zasažení suku) ke tvarovým změnám střely dochází [2].

5 POUŽÍTÉ ZBRANĚ A STŘELIVO

Pro experimentální porovnání ničivých účinků zbraní byly vybrány čtyři typy zbraní. První zbraní je samonabíjecí pistole italského výrobce Beretta model 71, do které se používají malorážkové náboje 22 Long Rifle. A tři další vybrané zbraně jsou českého (československého) původu. První z těchto zbraní je samonabíjecí pistole CZ vzor 45 s ráží 6,35 mm Browning, druhou zbraní je samonabíjecí pistole CZ vzor 83 ráže 7,65 mm Browning. A poslední z testovaných zbraní je sportovní samonabíjecí pistole CZ Shadow 2 ráže 9 mm Luger. V plánu bylo zařadit do testovaných zbraní i zástupce dlouhých palných zbraní. Byla vybrána samonabíjecí puška CZ 858 kalibru 7,62 x 39 mm, ale při střelbě se puška střelci zasekla a nepodařilo se ji zprovoznit.

5.1 Samonabíjecí pistole Beretta model 71

Beretta model 71 (Obr. 8.) je jednočinná pistole Italské výroby s ráží 22 Long Rifle. Její nízká hmotnost a kompaktní rozměry umožňují snadné skryté nošení. Zbraň byla především určena pro civilní trh, ale stala se i služební pistolí pro Italskou policii. Velkou oblibu získala u izraelského Mossadu. Italský výrobce ukončil její výrobu v roce 1985 [19].

Obr. 8. Samonabíjecí pistole Beretta vzor 71 [Vlastní].

Tab. 1. Parametry zbraně Beretta model 71 [19].

Parametry zbraně	
Ráže	22 Long Rifle
Kapacita zásobníku	8
Celková délka	165 mm
Délka hlavně	87 mm
Hmotnost	660 g

Do Beretty model 71 se používá střelivo ráže 22 Long Rifle (Obr. 9.). Tento náboj má olověnou střelu s váhou 2,6 g a vodícím kroužkem. Tyto náboje se používají pro sportovní i rekreační účely [20].

Obr. 9. Náboj 22 Long Rifle [Vlastní].

5.2 Samonabíjecí pistole CZ vzor 45

Samonabíjecí pistole CZ vzor 45 (Obr. 10.) je určená pro osobní ochranu. Z toho důvodu se na zbrani nenachází žádná mířidla. Její kompaktní rozměry jsou velkým přínosem pro snadné skryté nošení. U této zbraně konstruktéři použili ráži 6,35 mm. Zbraň, která byla použita při experimentu byla vyrobena v roce 1946. [21].

Obr. 10. Samonabíjecí pistole CZ vzor 45 [Vlastní].

Tab. 2. Parametry zbraně CZ vzor 45 [21].

Parametry zbraně	
Ráže	6,35 mm Browning
Kapacita zásobníku	8
Celková délka	128 mm
Délka hlavně	63,9 mm
Hmotnost	410 g

Do pistole CZ vzor 45 bylo použito střelivo ráže 6,35 mm Browning(Obr.11.). Celoplášťová střela nepodléhá tak velké deformaci jako olověná střela a její váha je cca 3,3g [22].

Obr. 11. Náboj 6,35 mm Browning [Vlastní].

5.3 Samonabíjecí pistole CZ vzor 83

Pistole CZ vzor 83 (Obr.12.) je velmi oblíbenou zbraní v civilní sféře, pro svoji velkou spolehlivost a jednoduchost. Rozměry zbraně nejsou zase tak velké, tak že se dá pohodlně skrytě nosit [23].

Obr. 12. Samonabíjecí pistole CZ vzor 83 [Vlastní].

Tab. 3. Parametry zbraně CZ vzor 83 [23].

Parametry zbraně	
Ráže	7,65 mm Browning
Kapacita zásobníku	15
Celková délka	172 mm
Délka hlavně	97 mm
Hmotnost	750 g

V samonabíjecí pistoli CZ vzor 83 bylo použito střelivo 7,65 mm Browning (Obr. 13.) Pro tento náboj se po celém světě vyráběly různé zbraně, ale pro potřeby dnešní doby už je nevyhovující. Při použiti na obrannou palbu na malý zastavující účinek. V civilní sféře se stále hojně využívá [24].

Obr. 13. Náboj 7,65 mm Browning [Vlastní].

5.4 Samonabíjecí pistole CZ Shadow 2

Pistole CZ Shadow 2 (Obr.14.) byla vyvinuta především pro závodní účely. Elitní střelci, kteří spolupracovali na vývoji této zbraně, kladli velký důraz na to, aby zbraň co nejvíce přispěla k rychlosti a co možná největší přesnosti při zavodní střelbě [25].

Obr. 14. Samonabíjecí pistole CZ Shadow 2 [Vlastní].

Tab. 4. Parametry zbraně CZ Shadow 2 [25].

Parametry zbraně	
Ráže	9 mm Luger
Kapacita zásobníku	19
Celková délka	217 mm
Délka hlavně	125 mm
Hmotnost	410 g

V samonabíjecí sportovní zbrani CZ shadow 2 se používá střelivo 9 mm Luger (Obr.15.). Náboj se vyrábí v mnoha variacích, můžeme najít cvičné náboje s dřevěnou nebo papírovou střelou až po střely svítící a dokonce i střely hromadné [25].

Obr. 15. Náboj 9 mm Luger [Vlastní].

6 EXPERIMENT

Experiment byl zaměřen na posouzení ničivých účinků vybraných palných zbraní na jeden druh terče. Předpoklad pro tento experiment bylo že se s zvyšujícím se kalibrem (ráží) dochází i ke zvyšování se ničivého účinku na vybraném terči.

6.1 Terč

Jako terč (Obr. 16.) bylo použito 5 dřevěných smrkových desek s rozměry:

- výška 400 mm
- šířka 158 mm
- tloušťka 60 mm.

Pátá deska nebyla ve skutečnosti využita, kvůli problémům se zbraní CZ 858 viz kapitola 5.

Desky byly upevněny do stojanu z pórobetonových tvárnic, pro zajištění stability při zásahu z přední i zadní strany. Pro zvýšení stability terče byla využita i elektrikářská lepící páska. Terč byl upevněn tak, aby střela dopadala kolmo na vlastní plochu desky.

Obr. 16. Fotografie terče [Vlastní].

6.2 Průběh experimentu

Pokusná střelba z vybraných zbraní byla provedena na střelnici ve Velkých Pavlovicích, okres Břeclav.

Terč byl umístěn ve vzdálenosti 7 metrů od střeleckého stavu (Obr. 17. a 18.).

Střelba ze 4 vybraných zbraní probíhala minimálně ve třech opakováních, aby se dosáhlo obecných testovacích kritérii (vznik trojúhelníku tvořený třemi dopadovými krátery po střelách ve vzdálenosti menší než 10 cm). Po důkladném upevnění terče a opuštění střelného pole, střelec (Obr. 18.) nabil zásobník první testované zbraně Beretta model 71 s kalibrem 22 Long Rifle. Do zásobníku byly nabity vždy 4 náboje dané ráže. Dále následovalo nasazení bezpečnostních brýlí a chráničů sluchu pro ochranu střelce i ostatních přítomných osob. Střelec nasadil do zbraně zásobník, natáhl závěr a provedl nastřílení střel do terče. Jakmile střelec vystřelil poslední ránu, zkontroloval jestli se v komoře zbraně nenachází náboj a poté vysunul prázdný zásobník. Zbraň i zásobník odložil na odkládací plochu ve střeleckém stavu a po odložení zbraně opustil střelec střelecký stav. Následně bylo bezpečné zkontrolovat rozmístění střel a vyměnit terč za nový. Poté se mohlo pokračovat ve střelbě dalších ráží.

Po dostřílení byl uklizen střelecký stav od prázdných nábojnic a z dopadové plochy odstraněn stojan z pórobetonových tvárnic.

Obr. 17. Fotografie terče [Vlastní].

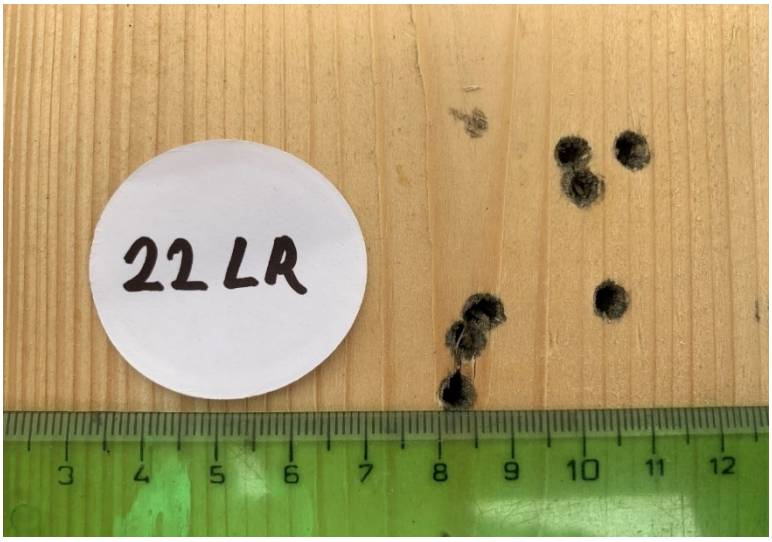
Obr. 18. Střelba na terč [Vlastní].

7 VYHODNOCENÍ NIČIVÝCH ÚČINKŮ STŘEL

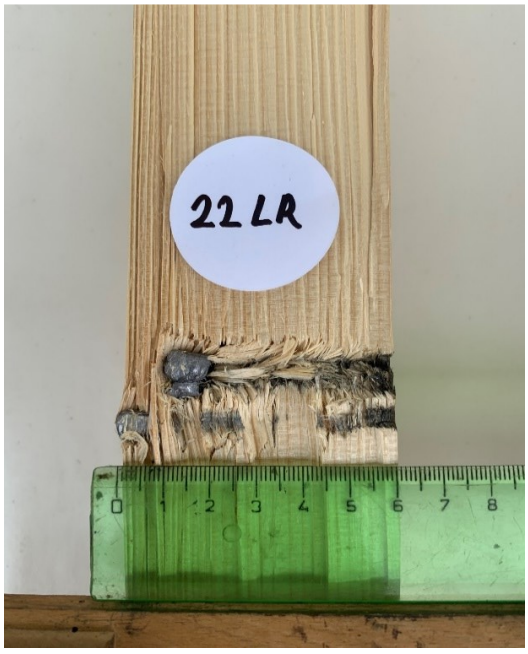
Pro vyhodnocení ničivých účinků střel, bylo třeba změřit délku vstřelového kanálu v terči. Nejlepší variantou pro toto hodnocení bylo rozštípnutí daného terče, aby se mohl co nejpřesněji změřit vstřelový kanál každé střely. Na měření bylo využito pravítko.

7.1 Střelivo 22 Long Rifle

Jako první bylo testováno střelivo 22 Long Rifle (dále jen 22 LR) vystřelené ze samonabíjecí pistole Beretta model 71. Střelba proběhla ze vzdálenosti 7 m od cíle.



Obr. 19. Vstřelová strana-střela 22 Long Rifle [Vlastní].



Obr. 20. Měření hloubky zástřelu střely 22 Long rifle [Vlastní].

Tab. 5. Hloubka zástřelu střely ráže 22 Long Rifle do terče [Vlastní].

Pokus	Hloubka zástřelu [mm]
1	55,0
2	59,0
3	50,0
Průměr	54,6

Na obrázku 19. je vyfotografována vstřelová strana terče a zde je patrné, že vstřelový otvor byl cca 5,6 mm.

Zde je možno si povšimnout, že bylo provedeno 7 testovacích pokusů (výstřelů). Více pokusů bylo provedeno z důvodu zasažení cíle v těsných blízkostech. U druhé a třetí střely od spodního okraje fotografie, došlo při zásahu cíle ke spojení obou deformovaných střel. Totéž můžeme pozorovat v pravé horní části. Tyto pokusy byly z hodnocení vyloučeny.

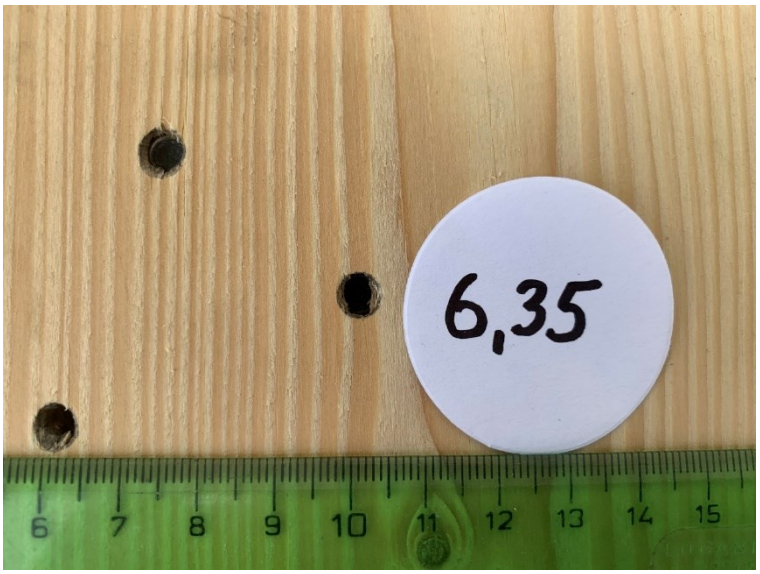
Jak je z tabulky 5. i obrázku 20. patrné, průměrná hloubka zástřelu byla naměřena 54,6 mm. Vzhledem k neprůchozímu střelnému kanálu a neexistenci výstřelového otvoru se v tomto případě jedná o zástřel nikoli průstřel daného cíle.

Na fotografii i v tabulce je také možno si všimnout, že při 2. pokusu došlo téměř k průstřelu, avšak střela zůstala v cíli. Je tedy patrné, že již neměla žádnou zbytkovou energii na vytvoření výstřelového otvoru a penetraci desky.

Při střelbě na dřevěnou desku došlo k razantní deformaci střely (viz příloha).

7.2 Střelivo 6,35 mm Browning

Následně bylo testováno střelivo vystřelené ze samonabíjecí pistole CZ vzor 45. Střelba proběhla ze vzdálenosti 7 m od cíle.



Obr. 21. Vstřelová strana-střela 6,35 mm Browning [Vlastní].

Obr. 22. Měření hloubky zástřelu střely 6,35 mm Browning [Vlastní].

Tab. 6. Hloubka zástřelu střely ráže 6,35 mm Browning do terče [Vlastní].

Pokus	Hloubka zástřelu [mm]
1	46,0
2	51,0
3	53,0
průměr	50,0

Na obrázku 21. je vyfotografována vstřelová strana terče a zde je patrné, že vstřelový otvor byl cca 6,5 mm.

Díky úspěšnosti střelce, kdy se podařilo se zasažení cíle dle obecných testovacích kritérií, byly provedeny právě 3 pokusy (výstřely).

Jak je z tabulky 6. i obrázku 22. patrné, i v tomto případě se jedná o zástřel nikoli průstřel daného cíle. Lze tedy usuzovat, že dopadové energie střel byly nižší než energie potřebná na rozrušení a průchod materiálem a nebyly tudíž ani v tomto případě dostatečné na penetraci cíle.

Průměrná hloubka zástřelu byla naměřena 50,0 mm.

U těchto střel při střelbě na dřevěnou desku došlo pouze k minimální povrchové deformaci střel (viz příloha).

7.3 Střelivo 7,65 mm Browning

Následně bylo testováno střelivo vystřelené ze samonabíjecí pistole CZ vzor 83. Střelba proběhla ze vzdálenosti 7 m od cíle.

Obr. 23. Vstřelová strana-střela 7,65 mm Browning [Vlastní].

Obr. 24. Měření hloubky průstřelu střely 7,65 mm Browning [Vlastní].

Tab. 7. Hloubka průniku střely ráže 7,65 mm Browning [Vlastní].

Pokus	Hloubka průstřelu [mm]
1	> 60
2	> 60
3	> 60
průměr	> 60

Na obrázku 23. je vyfotografována vstřelová strana terče a zde je patrné, že vstřelový otvor byl cca 7,7 mm.

Z fotografie je patrné, že v tomto případě bylo provedeno opět více výstřelů. Jsou zde vyfotografovány 2 pokusy (první zleva a první zprava), které byly do měření započítány. Výstřely v prostřední části fotografie zahrnuty nebyly, z důvodu jejich těsné blízkosti. Třetí pokus, který byl do výsledků zahrnut, leží mimo tuto fotografii (jeho průstřel je zachycen na obrázku 24).

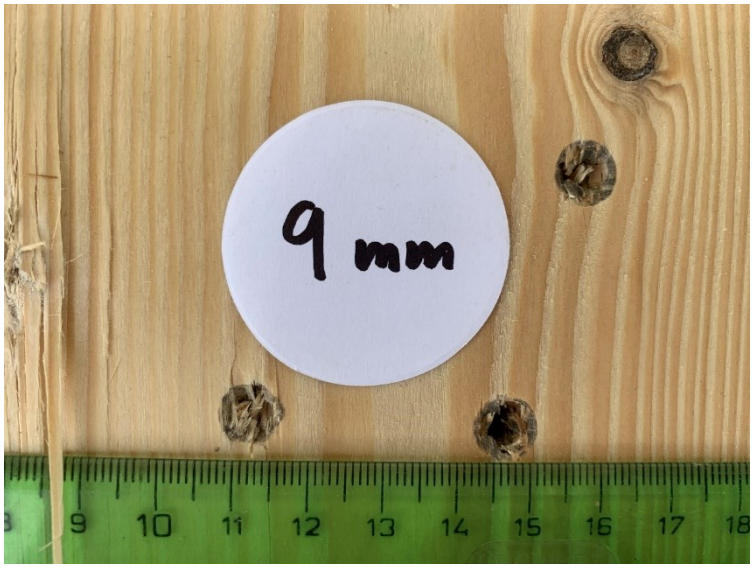
V tomto případě došlo k průstřelu a penetraci daného cíle, jak je patrné z tabulky 7. i obrázku 24. Dopadová energie střel tedy byla vyšší, než energie potřebná na rozrušení a průchod materiálem. Střely tedy následně prošly opačnou stranou cíle (výstřelovým otvorem) a pokračovaly v letu, přičemž následně zůstaly v pórobetonové tvárnici, která sloužila pro upevnění cíle (desky).

Hloubka průstřelu zde tedy byla vyšší než 60, 0 mm (tloušťka daného cíle). Otázkou zůstává, zda při větší tloušťce dřevěného cíle (popř. při jak velké) o stejné hustotě by také došlo k průstřelu, či pouze k zástřelu.

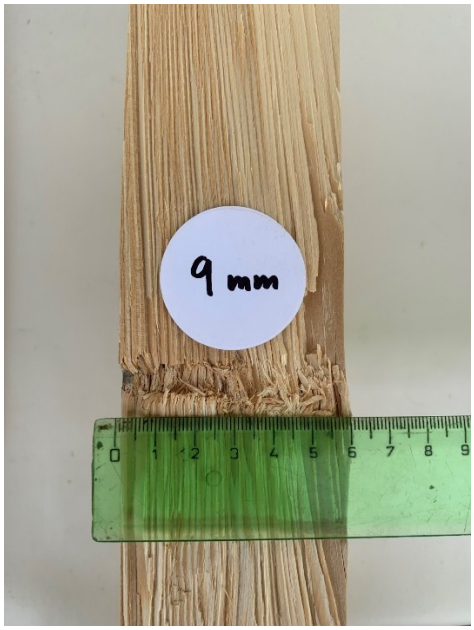
Při střelbě na dřevěnou desku nedošlo k deformacím střel.

7.4 Střelivo 9 mm Luger

Na konec bylo testováno střelivo vystřelené ze sportovní samonabíjecí pistole CZ Shadow 2. Střelba proběhla ze vzdálenosti 7 m od cíle.



Obr. 25. Vstřelová strana-střela 9 mm Luger [Vlastní].



Obr. 26. Měření hloubky průstřelu střely 9 mm Luger [Vlastní].

Tab. 8. Hloubka průstřelu střely ráže 9 mm Luger do terče [Vlastní].

Pokus	Hloubka průstřelu [mm]
1	> 60
2	> 60
3	> 60
průměr	> 60

Na obrázku 25. je vyfotografována vstřelová strana terče a zde je patrné, že vstřelový otvor byl 9,0 mm.

Při poslední střelbě stačily k vyhodnocení výsledků opět pouze 3 výstřely při zachování obecných testovacích kritérií (viz kapitola 7.).

Jak je patrné z tabulky 8. i obrázku 26., i v tomto případě došlo k průstřelu a penetraci daného cíle stejně jako v případě střely 7,65 mm Browning. Tudíž i zde byla dopadová energie střel vyšší než energie potřebná na rozrušení a průchod materiálem. A stejně tak střely následně zůstaly v pórobetonové tvárnici, kde již energie pro průstřel dostatečná nebyla.

Hloubka průstřelu zde tedy byla vyšší než 60, 0 mm (tloušťka daného cíle) a mohlo by se také uvažovat o potřebné tloušťce daného cíle pro zástřel.

Při střelbě na dřevěnou desku nedošlo k deformacím střel.

7.5 Srovnání ničivých účinků střel

Pro vypočítání ničivého účinku střely v procentech byl použit vzorec:

$$u = \frac{100}{d}.x \tag{13}$$

u ..... ničivý účinek [%]

x ..... průměrná hloubka zástřelu, průstřelu [mm]

d ..... tloušťka desky [mm].

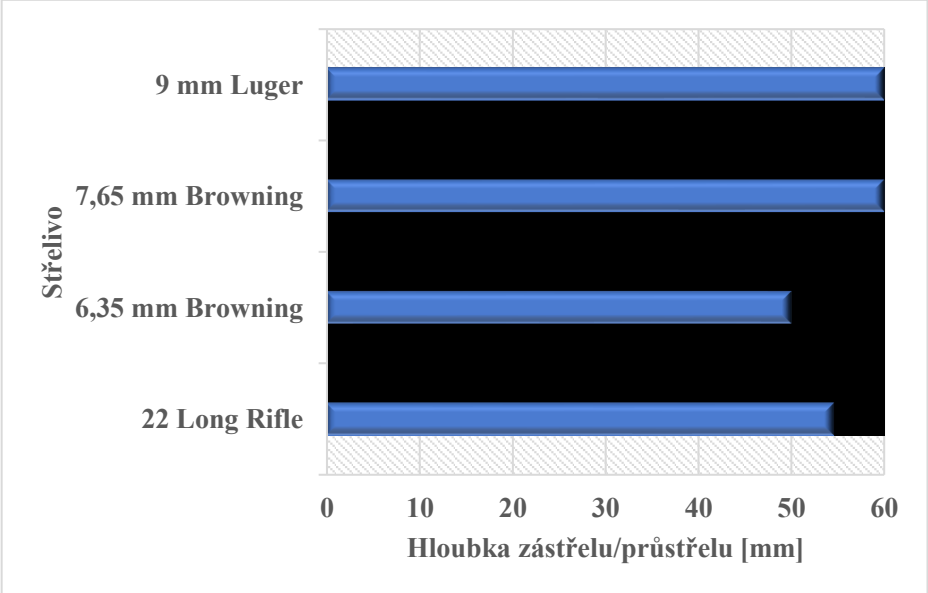
Tab. 9. Srovnání ničivých účinků střel [Vlastní].

Střelivo	Hloubka zástřelu/průstřelu [mm]	Deformace střely	Ničivý účinek [%]
22 Long Rifle	54,6	+	91
6,35 mm Browning	50	-	83,33
7,65 mm Browning	> 60	-	100
9 mm Luger	> 60	-	100

+.....došlo k významné deformaci střely

-.....nedošlo k významné deformaci střely

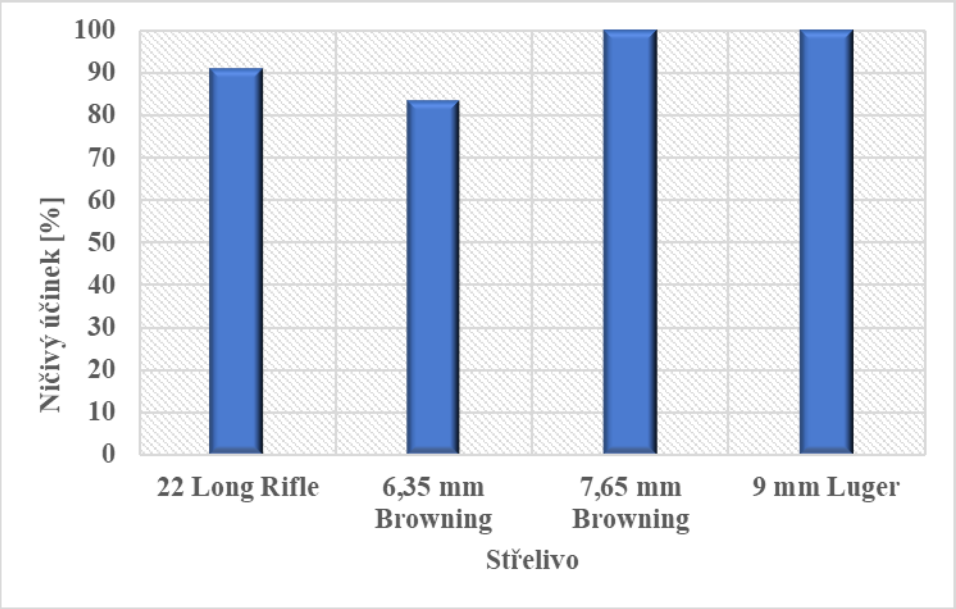
K deformaci střely došlo po vyknutí do cíle pouze u 22 LR, tedy u jediné střely olověné. Deformace zde byla velmi významná (celková tvarová rozdílnost), nikoli jako u střel celoplášťových, kde došlo pouze k mírnému povrchovému poškození.



Obr. 27. Graf srovnání hloubky zástřelu/průstřelu u jednotlivého střeliva [Vlastní].

Při střelbě na dřevěný cíl bylo zjištěno, že pouze u střel 9 mm Luger a 7, 65 mm Browning došlo k průstřelu daného cíle. Jak již bylo popisováno v předchozím textu, byla díky tomuto zjištění prokázána vyšší dopadová energie těchto střel, než je energie potřebná na rozrušení a průchod tímto materiálem.

U střely 22 LR poté došlo k zástřelu až do hloubky 54,6 mm (± 5 mm). A u střely 6,35 mm Browning do hloubky 50,0 mm (± 4 mm). Ani u jedné z těchto střel nebyla prokázána taková dopadová energie, aby došlo k průniku střely výstřelovým otvorem. Rozdílné hodnoty jednotlivých měření mohly být způsobeny například úhlem dopadu střely na desku, nehomogenností materiálu atd.



Obr. 28. Graf srovnání ničivých účinků na cíl u jednotlivého střeliva [Vlastní].

Ničivý účinek vybraných střel a zbraní byl srovnáván jako procentuální vyjádření hloubky zástřelu/ průstřelu k tloušťce daného cíle (viz rovnice 13). Můžeme si tedy povšimnout, že samonabíjecí pistole CZ vzor 83 ráže 7,65 mm Browning a CZ Shadow 2 ráže 9 mm Luger prokázaly 100 % ničivé účinky na zvoleném cíli o dané tloušťce. U těchto ráží došlo k průstřelu daného cíle při všech opakováních (výstřelech). Střely byly poté nalezeny v pórobetonové tvárnici za cílem. Menší ničivý účinek by mohl teoreticky nastat se vzrůstající tloušťkou dřevěné desky, či zvolením jiného druhu dřeva (nebo materiálu).

V experimentu měla samonabíjecí pistole italské výroby Beretta model 71 nejmenší ráži (22 LR), a i přesto prokázala ničivé účinky na cíli z 91 %.

Samonabíjecí pistole CZ vzor 45 ráže 6,35 mm Browning prokázala nejmenší ničivý účinek, a to pouze 83 %.

Z výsledků tedy vyplývá, že zvolený cíl (smrková dřevěná deska o tloušťce 60 mm), má dostatečnou balistickou odolnost jen vůči střelám 22 LR a 6,35 Browning a tedy 50 % odolnost vůči celkovému výběru střeliva v rámci této práce.

Dále také bylo zjištěno, že celoplášťové střely nepodléhají významné tvarové deformaci při průstřelu (zástřelu) smrkové desky o tloušťce 60 mm a méně.

ZÁVĚR

Experimentální terminální balistika je nepostradatelnou součástí výzkumu při vývoji nových materiálů k balistické ochraně a je také hojně využívána v kriminalistické praxi. Jsou zkoumány ničivé účinky střel na živé a neživé cíle a také interakce, ke kterým dochází při dopadu střely na cíl.

Tato bakalářská práce byla zaměřena na experimentální terminální balistiku a hodnocení ničivých účinků střel na neživém terči. Cílem práce bylo zpracování rešerše literatury, vztahující se k tématu balistiky a vymezení fenomenologických a etiologických aspektů, čemuž je věnována teoretická část práce. Praktická část práce se poté zabývá porovnáním ničivých účinků vybraných testovaných zbraní na dřevěném terči. Hypotézou pro testování bylo, že při zvyšování ráže použitého střeliva se bude zvyšovat ničivý účinek na daný cíl, při zachování konstantní vzdálenosti střelce od terče.

Jako terč byla zvolena smrková deska o výšce 400 mm, šířce 158 mm a tloušťce 60 mm, která byla na střelnici při experimentu zasazena mezi pórobetonové tvárnice pro zajištění stability. Pro experiment byly zvoleny tyto zbraně: samonabíjecí pistole Beretta model 71 s ráží 22 LR, samonabíjecí pistole CZ vzor 45 s ráží 6,35 mm Browning, samonabíjecí pistole CZ vzor 83 s ráží 7,65 mm Browning a sportovní samonabíjecí pistole CZ Shadow 2 s ráží 9 mm Luger. Experimentální střelba proběhla na střelnici ve Velkých Pavlovicích (okres Břeclav) a cíl byl vzdálen 7 m od střeleckého stavu při všech pokusech.

Výsledkem experimentu bylo zjištění, že střeliva 7,65 mm Browning a 9 mm Luger měly na tento cíl 100 % ničivý účinek, zatímco střelivo 22 Long Rifle mělo ničivý účinek 91 % a 6,35 mm Browning účinek 83 %.

Střeliva 9 mm Luger a 7, 65 mm Browning byly na testovaném cíli vzájemně neporovnatelné, jelikož obě dosáhly maximálního ničivého účinku. Hypotézu tedy u těchto střel nebylo možné vyvrátit ani potvrdit. Ale Beretta model 71 měla teoreticky dle hypotézy dosáhnout nejmenšího ničivého účinku ze všech testovaných zbraní, jelikož měla ve skutečnosti nejmenší ráži. V experimentu ale přesto dosáhla vyššího ničivého účinku na daném cíli než pistole CZ vzor 45, a to o 8 %. I hloubka zástřelu byla u Beretty model 71 o necelých 5 mm větší.

Dle výsledků experimentu tedy byla hypotéza vyvrácena.

V návaznosti na tuto bakalářskou práci bych chtěl v navazujícím magisterském studiu pokračovat v experimentální balistice, a to s více různými cíli a střelivem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] PLANKA, Bohumil. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2010. ISBN 978-80-7380-036-9.

[2] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0749-8.

[3] STRAUS, Jiří a František VAVERA. *Dějiny československé kriminalistiky slovem i obrazem II.: (od roku 1939 po současnost)*. Praha: Police history, 2005. ISBN 80-86477-28-2. str. 71-77

[4] JIRSÁK, Čestmír a Pravoslav KODYM. *Vnější balistika a teorie střelby*. Praha: Naše vojsko, 2017. ISBN 978-80-206-1650-0.

[5] LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. Přeložil Zdeněk HURNÍK. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0708-0.

[6] TALANDA, Jakub. *Srovnání vlivu dvouhmotového a hydraulického bufferu na zpětný ráz samonabíjecí pušky* [online]. Brno, 2019. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/176862. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Jan Vančura.str.14-17

[7] Střelecká příprava: Základy balistiky. *Inovace-SEBS-ASEBS: Balistika* [online]. Kamenice 5, 625 00 Brno: © 2011 Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, 2013-01-25 18:36:16, 2013-01-25. Dostupné z: https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika

[8] KRIVJANSKÝ, Tomáš. Myslivecké střelectví: Balistika teoreticka experimentalní. *Kdelovit* [online]. Copyright © 2020 WM Travel a.s. All rights reserved, 2020, 27.02.2015. Dostupné z: https://www.kdelovit.cz/cz/clanky/myslivecke-strelectvi/balistika-teoreticka-experimentalni

[9] BUCHAR, Jaroslav a Josef VOLDŘICH. *Terminální balistika*. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1222-2.

[10] KOVÁRNÍK, Libor a Miroslav ROUČ. *Zbraně a střelivo*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-030-7.

[11] KEJVAL, L. *Ideový návrh dvouhlavňové brokovnice.* Ostrava 2012. Bakalářská práce. Technická univerzita v Ostravě, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování.

[12] LUGS, Jaroslav. *Ruční palné zbraně: soustavný přehled ručních palných zbraní a dějin jejich výroby*. Praha: Svojtka & Co., 2003. Dějiny vojenství. ISBN 80-7237-664-0.

[13] ŽUK, Aleksandr Borisovič. *Revolvery & pistole*. Vyd. 3. dopl. Praha: Naše vojsko, 2003. ISBN 80-206-0664-5.

[14] KOVÁRNÍK, Libor a Miroslav ROUČ. *Zbraně a střelivo*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-030-7.

[15] Nauka o střelivu: Střelecká teorie. *Zbraně kvalitně.cz* [online]. © 2005–2020 CZECHNOLOGY. Dostupné z: https://zbranekvalitne.cz/zbrojni-prukaz/nauka-o-strelivu

[16] CARAS, Ivo. *Střelivo: do ručních palných zbraní*. Praha: ARS-ARM, 1995. ISBN 80-900833-8-2.

[17] KHEML, P. *Vliv tloušťky vlákny vyztuženého kompozitu na odolnost vůči extrémnímu zatížení.* Praha 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Experimentální centrum.

[18] PANÁČEK, R. *Bezpečnostní studie balistické odolnosti vybraných materiálů.* Ostrava 2017. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostních služeb.

[19] Zbraň zabijáků Mossadu. *Security Magazín* [online]. Copyright © 2014-2020 Security Media, 22.3.2016. Dostupné z: https://www.securitymagazin.cz/security/zbran-zabijaku-mossadu-1404049708.html

[20] .22 Long Rifle. *Zbraně.cz* [online]. © 2019 ZBRANĚ.cz, 22.3.2016. Dostupné z: https://www.zbrane.cz/strelivo/raze/22-long-rifle

[21] SKRAMOUŠSKÝ, Jan. Pistole ČZ vzor 45. *Vojenský historický ústav Praha* [online]. 2020 © Vojenský historický ústav Praha, 22.3.2016. Dostupné z: http://www.vhu.cz/pistole-cz-vzor-45/

[22] 6,35 Browning. *Zbraně.cz* [online]. © 2019 ZBRANĚ.cz, 22.3.2016. Dostupné z: https://www.zbrane.cz/strelivo/raze/6,35-browling

[23] SKRAMOUŠSKÝ, Jan. CZ 83. *Česká zbrojovka* [online]. © 2009 - 2011 Česká zbrojovka. Dostupné z:https://web.archive.org/web/20110904005240/http://www.czub.cz/cz/catalog/79-pistole-cz/PC/CZ_83.aspx

[24] 7,65 Browning. *Zbraně.cz* [online]. © 2019 ZBRANĚ.cz, 22.3.2016. Dostupné z: https://www.zbrane.cz/strelivo/raze/7,65-browling

[25] Samonabíjecí pistole CZ Shadow 2, ráže 9mm Luger. *Alfa tactical* [online]. Copyright 2011 - 2020, alfatactical. Dostupné z: https://www.alfatactical.cz/ceska-zbrojovka-as-samonabijeci-pistole-cz-shadow-2-9x19.html

[26] 9 mm Luger. *Zbraně.cz* [online]. © 2019 ZBRANĚ.cz, 22.3.2016. Dostupné z: https://www.zbrane.cz/strelivo/raze/9-mm-luger

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

22 LR 22 Long Rifle.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Proudění plynů na ústí hlavně [7]. 16
Obr. 2. Zpětný ráz [2]. 17
Obr. 3. Točivý moment působící na zbraň [2]. 19
Obr. 4. Balistická křivka 1- úroveň ústí, 2- vrchol dráhy střely, 3- vzestupný oblouk, 4- sestupný oblouk, 5- zaměřovací bod, 6- záměrná, 7- náměrná, 8- zaměřovací úhel, 9- polohový úhel,10- bod dopadu, 11- bod zásahu, 12- vystřelená, 13- úhel zdvihu, 14- úhel výstřelu, 15- úhel dopadu, 16- bod nárazu, 17- úhel nárazu, 18- náměr, 19- převýšení dráhy střely, 20- výška dráhy střely, 21- výstřelová rovina, 23- derivace střely [8]. 20
Obr. 5. Základní typy kontaktů střel s cílem [1]. 21
Obr. 6. Jednotná střela [15]. 28
Obr. 7. Hromadná střela [15]. 29
Obr. 8. Samonabíjecí pistole Beretta vzor 71 [Vlastní]. 35
Obr. 9. Náboj 22 Long Rifle [Vlastní]. 36
Obr. 10. Samonabíjecí pistole CZ vzor 45 [Vlastní]. 37
Obr. 11. Náboj 6,35 mm Browning [Vlastní]. 38
Obr. 12. Samonabíjecí pistole CZ vzor 83 [Vlastní]. 38
Obr. 13. Náboj 7,65 mm Browning [Vlastní]. 39
Obr. 14. Samonabíjecí pistole CZ Shadow 2 [Vlastní]. 40
Obr. 15. Náboj 9 mm Luger [Vlastní]. 41
Obr. 16. Fotografie terče [Vlastní]. 42
Obr. 17. Fotografie terče [Vlastní]. 43
Obr. 18. Střelba na terč [Vlastní]. 44
Obr. 19. Vstřelová strana-střela 22 Long Rifle [Vlastní]. 45
Obr. 20. Měření hloubky zástřelu střely 22 Long rifle [Vlastní]. 45
Obr. 21. Vstřelová strana-střela 6,35 mm Browning [Vlastní]. 47
Obr. 22. Měření hloubky zástřelu střely 6,35 mm Browning [Vlastní]. 47
Obr. 23. Vstřelová strana-střela 7,65 mm Browning [Vlastní]. 49
Obr. 24. Měření hloubky průstřelu střely 7,65 mm Browning [Vlastní]. 49
Obr. 25. Vstřelová strana-střela 9 mm Luger [Vlastní]. 51
Obr. 26. Měření hloubky průstřelu střely 9 mm Luger [Vlastní]. 51

Obr. 27. Graf srovnání hloubky zástřelu/průstřelu u jednotlivého střeliva [Vlastní]. 53
Obr. 28. Graf srovnání ničivých účinků na cíl u jednotlivého střeliva [Vlastní]. 54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Parametry zbraně Beretta model 71 [19]......36
Tab. 2. Parametry zbraně CZ vzor 45 [21]. 37
Tab. 3. Parametry zbraně CZ vzor 83 [23]. 39
Tab. 4. Parametry zbraně CZ Shadow 2 [25]......40
Tab. 5. Hloubka zástřelu střely ráže 22 Long Rifle do terče [Vlastní]......46
Tab. 6. Hloubka zástřelu střely ráže 6,35 mm Browning do terče [Vlastní]. 48
Tab. 7. Hloubka průniku střely ráže 7,65 mm Browning [Vlastní]. 50
Tab. 8. Hloubka průstřelu střely ráže 9 mm Luger do terče [Vlastní]. 52
Tab. 9. Srovnání ničivých účinků střel [Vlastní]. 53

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Tvarová deformace olověné střely ráže 22 LR.

Příloha PII: Povrchové poškození celoplášťové střely 6,35 mm Browning.

Příloha P I: TVAROVÁ DEFORMACE OLOVĚNÉ STŘELY RÁŽE 22 LR.

Příloha PII: POVRCHOVÉ POŠKOZENÍ CELOPLÁŠŤOVÉ STŘELY 6,35 MM BROWNING