

Vliv materiálu střel na rozptyl rychlosti střel

Bc. František Hudeček

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. František Hudeček**
Osobní číslo: **L21301**
Studijní program: **N1032A020002 Bezpečnost společnosti**
Specializace: **Ochrana obyvatelstva**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Vliv materiálu střel na rozptyl rychlosti střel**

Zásady pro vypracování

- Zpracujte teoretický vstup do problematiky střeliva a letových vlastností střel.
- Provedte vhodný výběr střel a tyto střely popište.
- Za pomoci zvolených metod proveďte měření vybraných vzorků.
- Na základě zjištěných výsledků měření formulujte závěry.

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

Seznam doporučené literatury:

1. BARNES, Frank C. *Cartriges of the World*. (16th ed.). WI: Krause Publication, 2019. ISBN 978-1-9462-6773-3.
 2. KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střely, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2013. ISBN 80-206-0749-8.
 3. MASSARO Philip P. *The ABC's of Reloading*. 10th Edition. S.I.: Gun Digest Books, 2021. ISBN 7819511155272.
- Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ficek, Ph.D.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. dubna 2024**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 4. prosince 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

V Uherském Hradišti, dne: 26. 4. 2024

Jméno a příjmení studenta: Bc. František Hudeček

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá měřením rychlostí střel 9 mm vyrobených z různých materiálů. Hlavním cílem práce je navrhnout, připravit a provést experiment balistického měření k určení vlivu materiálu střely na rozptyl rychlostí střel. Praktická část práce zahrnuje balistická měření na osmi různých vzorcích střel vyrobených z materiálů běžných pro jejich výrobu a dostupných k jejich pořízení. Všechny střely měly srovnatelnou hmotnost a byly použity při výrobě nábojů pro tento experiment. Měření rychlosti těchto projektilů bylo provedeno za pomoci přístrojů pro měření rychlosti střel, používajících technologii založenou na Dopplerově jevu, a následně byly určeny střední hodnoty a směrodatné odchylky. Tyto hodnoty mohou využít střelci v praxi nebo poslouží jako základ pro další zkoumání.

Klíčová slova: materiál, projektil, rozptyl, rychlost, střela

ABSTRACT

This study focuses on quantifying the velocities of 9 mm projectiles made from various materials. The main aim of this study is design, prepare, and conduct a ballistic measurement experiment to determine the influence of projectile material on the dispersion of muzzle velocities. The practical part of the study includes ballistic measurements on eight different samples of bullets made from materials commonly used in their production and readily available for buyer. All bullets had comparable mass and were used in the manufacture of cartridges for this experiment. The velocity of projectiles was measured using instruments utilizing Doppler effect-based technology, and subsequently, mean values and standard deviations were determined. These results have the potential to serve practical shooters as well as provide a basis for further research in the field of ballistics.

Keywords: material, projectile, dispersion, velocity, bullet

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Martinu Fickovi, Ph. D., za vedení a odborné připomínky a za ochotu vést práci na dané téma.

Dále bych chtěl poděkovat všem střelcům IPSC v ČR a v zahraničí, kteří měli trpělivost odpovídat na mé dotazy, zvláště pak Josefu Rakušanovi, střelci CZ shooting teamu, za cenné detaily a připomínky při laborování a přebíjení střeliva.

V neposlední řadě také děkuji své přítelkyni, rodině a kolegům v zaměstnání, za vytvoření podmínek ke studiu a podporu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ POJMY A PRÁVNÍ RÁMEC	12
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY – BALISTIKA, STŘELA A MATERIÁL STŘEL.....	12
1.2 PRÁVNÍ RÁMEC ZÁKONŮ DRŽENÍ ZBRANÍ	13
2 HISTORIE A VÝVOJ STŘELIVA	15
3 FYZIKÁLNÍ ASPEKTY STŘEL	18
3.1 POHYB PROJEKTILU	18
3.1.1 Newtonovy zákony pohybu.....	18
3.2 BALISTIKA STŘEL	23
3.2.1 Vnitřní balistika.....	23
3.2.2 Přechodová balistika	24
3.2.3 Vnější balistika.....	25
3.2.4 Terminální balistika	25
3.3 FYZIKÁLNÍ PARAMETRY STŘEL.....	25
3.3.1 Hmotnost.....	26
3.3.2 Rychlost střely.....	27
3.3.3 Průměr střely	28
3.3.4 Tvar střely	28
3.3.5 Energie střely	29
3.3.6 Rotace střely.....	29
4 MATERIÁLY STŘEL	31
4.1 MATERIÁLY PRO VÝROBU STŘEL A JEJICH VLASTNOSTI.....	31
4.2 ODOLNOST MATERIÁLU VŮČI TEPLOTĚ A VLHKOSTI.....	33
4.3 VÝZKUM TÝKAJÍCÍ SE MATERIÁLU STŘEL	34
5 DÍLČÍ ZÁVĚR	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
6 FYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ RYCHLOSTI VYBRANÝCH STŘEL	38
6.1 VYBRANÁ ZBRAŇ	38
6.2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	39
6.2.1 Labradar	40
6.2.2 Garmin Xero C1 Pro	41
6.2.3 Váhy střelného prachu.....	43
7 VÝBĚR MATERIÁLU	44
7.1 VZORKY OLOVĚNÝCH STŘEL	44
7.2 VZORKY PLÁŠŤOVÝCH STŘEL	48

9.1 ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH HODNOT.....	53
ZÁVĚR	60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
SEZNAM OBRÁZKŮ	67
SEZNAM TABULEK.....	68

ÚVOD

V dnešní době se střelba a související tematika stávají stále více diskutovaným a kontroverzním tématem ve společnosti. Vzhledem k nedávným případům střelby a násilí s použitím zbraní je bezpečnost společnosti jedním z nejvýznamnějších témat doby. Mnoho lidí považuje vyšší obtížnost přístupu k zbraním za zásadní k ochraně společnosti před trestnou činností a náhodnou střelbou. Zatímco pro některé jedince představuje střelba a právo na vlastnictví zbraní významnou součást jejich kultury a identity, pro jiné jsou zbraně spojené s nebezpečím, násilím a potenciálním ohrožením veřejného zdraví a života. Vzdělávání a prevence jsou také důležité součásti diskuze o střelbě a držení zbraní. Poskytování vzdělání o bezpečném zacházení se zbraněmi a prevence rizika nezákonného nebo nebezpečného použití může být klíčem k minimalizaci rizik spojených s vlastnictvím zbraní. Celkově lze konstatovat, že pohled na střelbu a držení zbraní z hlediska současné společnosti je velmi různorodý a závisí na mnoha faktorech, včetně politického a kulturního kontextu, osobních zkušeností a hodnot jednotlivců.

Tato diplomová práce se zaměřuje a hlouběji zkoumá vliv materiálu střel na rozptyl jejich rychlosti. Prostřednictvím experimentálních měření a analýzy budou zkoumány různé typy materiálů používaných při výrobě střel a jejich potenciální vliv na stabilitu a konzistenci rychlosti projektilů.

Rozptyl rychlosti střel je jedním klíčových faktorů při posuzování přesnosti střelby a efektivity střelby na různé vzdálenosti. Pochopení tohoto jevu může vést k lepší optimalizaci konstrukce střel a zlepšení výkonu zbraní a výsledků samotných sportovních střelců. Dalším z faktorů, který ovlivňuje chování střel, je materiál, ze kterého jsou vyrobeny. Materiál střely je hojně diskutované téma i z hlediska blížícího se omezení či úplného zákazu olova pro použití ve střelách v rámci návrhů EU na regulaci použití toho materiálu pro jejich výrobu, potažmo dopadu na životní prostředí. Tato problematika rezonuje ve společnosti střelců už delší dobu a je zde vyvíjena iniciativa od samotných střelců a odborníků v oblasti střelectví, ať už ve formě nezávislých studií či vzniku společenství pro ochranu práv střelců.

Porozumění problematice balistiky může vést k lepšímu pochopení faktorů ovlivňujících přesnost střelby a poskytnout základ pro další výzkum v této oblasti a poskytnutí exaktních dat pro střelce, kteří si vyrábějí náboje svépomocí, aby dosáhli co nejlepších výsledků ve sportovní střelbě.

CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem této práce je navrhnout, připravit a provést experiment balistického měření k určení vlivu materiálu střely na rozptyl rychlosti střel. Kromě toho se snaží identifikovat výhody a nevýhody různých materiálů projektilů v kontextu s jejich chováním během letu.

V teoretické části práce bude provedena rešerše literatury, která se zabývá balistikou střel a vlivem použitých materiálů na jejich chování. Tato část bude zaměřena také na klíčové fyzikální aspekty projektilů a studium relevantních výzkumů týkajících se tohoto tématu. V praktické části bude navržen experimentální postup pro měření rozptylu rychlosti střel vyrobených z různých materiálů. Také bude zvolena vhodná zbraň a měřicí technologie pro provádění experimentu. Experiment bude realizován za podmínek, které nalezneme v příslušné části práce. Vzorky střel, které se použijí k výrobě nábojů, budou pečlivě analyzovány a změřeny. Při výrobě nábojů se využijí data od výrobců střelného prachu a zkušenosti střelců, kteří si náboje pro sportovní střelbu vyrábějí sami. Naměřená data budou důkladně analyzována a bude provedena statistická analýza rozptylu rychlosti střel v závislosti na použitém materiálu. Výsledky poté budou podrobně porovnány mezi jednotlivými materiály střel, abychom lépe porozuměli jejich vlivu na stabilitu rychlosti střel.

Pro interpretaci výsledků diplomové práce budou využity tyto relevantní vědecké metody:

Metoda analýzy – při této metodě se složitý systém rozděluje na jednotlivé části, které jsou následně zkoumány v souvislosti s ostatními komponentami. Tato metoda bude využita při získávání dat při měření vzorků střel.

Metoda komparace – zde se provádí porovnání a srovnání podobných či odlišných zjištění. Tento postup bude uplatněn při porovnávání naměřených výsledků různých typů střel.

Metoda dedukce – to je postup, při kterém se vychází z obecných principů, zákonů nebo hypotéz, a používá se k odvození konkrétních závěrů či důsledků.

Metoda indukce – je proces, při kterém se z konkrétních pozorování, zkušeností nebo dat usuzuje na obecně platné zákony, principy nebo hypotézy. Tento postup zahrnuje odvozování závěrů na základě opakovaných pozorování konkrétních jevů nebo vzorů a generalizaci těchto pozorování na celkové pravidlo či zákon.

Metoda experimentu – tato metoda se soustředí na shromažďování informací, provádění testů a ověřování stanovených hypotéz.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY A PRÁVNÍ RÁMEC

V úvodní kapitole práce jsou blíže definovány základní pojmy, kterými je balistika, střela a materiál střel. Dále je popsán právní rámec, který formuje držení zbraní a jejich rozdělení do jednotlivých kategorií.

1.1 Základní pojmy – balistika, střela a materiál střel

Balistika (řec. ba'llein, "vrh") je věda, která se zabývá pohybem, chováním a účinky projektilů, zejména střel, gravitačních bomb, raket a podobně. Je to věda nebo umění navrhování a střelení projektilů za účelem dosažení požadovaného výkonu. Balistické těleso je těleso, které se může volně pohybovat, chovat a může být měněno v parametrech vzhledu, obrysu nebo struktury okolními podmínkami, látkami nebo silami, jako je tlak plynů ve zbraní, gravitace nebo teplota a mnohem více. Informace o balistice střelných zbraní se používají ve forenzní vědě. Odděleně od balistických informací zahrnuje zkoumání značek střelných zbraní a nástrojů analýzu důkazů o střelných zbraních, střelivu a nástrojích s cílem zjistit, zda byla určitá střelná zbraň nebo nástroj použit při spáchání trestného činu (Plíhal et al. 2020).

Střela – když lidé mluví o „kulce“ v běžném jazyce, často mají na mysli náboj, což je třídičné těleso (z pohledu hlavních komponent) se skutečnou střelou uloženou na samém konci nebo začátku, záleží na úhlu pohledu. Náboj je věc, kterou nabijete do pušky, a střela je část náboje, která opustí hlaveň po výstřelu. Náboje jsou trochu jako ohňostroj a jsou uspořádány do tří sekcí či hlavních komponent:

- nábojnice se zápalkou,
- prachová náplň,
- střela (Caras, 1995).

Na dně nábojnice je zápalka: malý „oheň“, který iniciuje větší. Další částí nábojnice, v podstatě „hlavním motorem“ střely, je chemická směs nazývaná střelný prach. Jeho úkolem je dostat střelu ze zbraně k cíli. V přední části nábojnice je uložena střela, představující zužující se kovový, popřípadě jiný materiál obvykle ve tvaru válce, který zasáhne cíl vysokou rychlostí. Zužuje se k určitému bodu hlavně proto, aby byl snížen odpor vzduchu při letu. (Caras, 1995).

Podle Barnese (2019) jsou náboje klasifikovány na základě typu zážehu, tvaru nábojnice a typu základny. Hoření náplně náboje je zahájeno zápalem. Pokud je zápalka rozložena

kolem okraje náboje, jedná se o zápalku s okrajovým zápalem. Pokud je zápalka obsažena v samostatné nábojnici uprostřed, jedná se o zápalku středovou. To znamená, že zápalka je odpálena nárazem kladiva nebo úderu palného pístu. Existují dva typy středových zápalak, které jsou v současné době běžně používané: Boxer a Berdan.

Materiál střel – projektily s kovovým pláštěm z velké části nahradily obyčejné olověné střely přibližně ve stejné době, kdy bezdýmný prach nahradil prach černý ve většině střeliva pro moderní zbraně. Vyšší tlaky a teploty produkované bezdýmným prachem dovedly více, než by dokázalo unést obyčejné olovo. To bylo překonáno přidáním vnějšího pláště z tvrdšího kovu k olověným střelám. Vzhledem k tomu, že čistá měď se obtížně zpracovává za studena, staly se standardním materiálem pláště slitiny mědi. V moderních pláštích převládají dvě slitiny mědi, poměr měď:zinek 95:5 a poměr měď:zinek 90:10. Volba slitiny závisí na tloušťce pláště a na množství práce potřebné k dosažení této tloušťky. Pevnější bronzová slitina je běžná v tenkých tloušťkách, které se používají k výrobě střel do ručních zbraní.

V některých částech světa je měkká ocel běžnějším materiálem pláště. Ocel je levná, ale obtížněji zpracovatelná. Téměř všechny ocelové pláště jsou ošetřeny antikoročním prostředkem pro zajištění rozměrové stability v průběhu času. Toho se obvykle dosáhne aplikací transparentních laků nebo pokovením oceli mědí (Caras, 1995).

1.2 Právní rámec zákonů držení zbraní

Pod pojmem "zbraň" rozumějí různé právní předpisy často různé věci. V právu se nejčastěji objevují dvě koncepte pojmu zbraň, které jsou:

Obecné pojetí (trestněprávní definice) – podle této koncepce je zbraní cokoli, co může učinit útok proti tělu důraznějším (srov. § 118 trestního zákoníku). V tomto pojetí může být zbraní v zásadě jakýkoli předmět, látka či jiný prostředek nebo ovladatelná energie, které jsou použity k útoku proti tělesné integritě jiného člověka. Použití zbraně v tomto slova smyslu je typicky důvodem pro uložení vyšší sankce za protiprávní jednání.

Správní pojetí (definice zákona o zbraních) – zbraní v tomto pojetí se rozumí užší množina podle určitých technických hledisek specifikovaných předmětů. V případě českého zákona o zbraních jde o střelné zbraně a střelivo do nich. Do jeho působnosti však spadají i některé další předměty – střelivo, některé doplňky a příslušenství zbraní či nálezy munice. Účelem tohoto pojetí je regulace držení zbraní, jejich nabývání a jiné způsoby nakládání s nimi (Zbraně podléhající zákonu o zbraních a podmínky jejich nabývání a držení, 2021).

Zbraně podléhající zákonu o zbraních, kategorie zbraní, konkrétně zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních), ve znění pozdějších předpisů, upravuje střelné zbraně a střelivo do nich. Střelnou zbraní se rozumí zbraň, u které je funkce odvozena od okamžitého uvolnění energie při výstřelu, zkonstruovaná pro požadovaný účinek na definovanou vzdálenost. Zákon o zbraních definuje šest kategorií zbraní a s každou z těchto kategorií spojuje různou míru požadavků a podmínek, které je nutné splnit k jejich získání, resp. kladených na jejich držitele. Kategorie A a A-I jsou „zakázané zbraně“ neboli zbraně na výjimku. Kategorie B jsou „zbraně podléhající povolení“, C, C-I jsou „zbraně podléhající ohlášení“ a kategorie D jsou „zbraně nepodléhající registraci“. Zbraně kategorie A, A-I, B a C může nabývat do vlastnictví, držet nebo nosit pouze osoba k tomu oprávněná – držitel zbrojního průkazu nebo držitel zbrojní licence. Zbraně kategorie C-I a D může nabývat do vlastnictví, držet a za určitých podmínek též nosit jakákoli svéprávná plnoletá osoba nebo právnická osoba i tehdy, pokud nemá zbrojní průkaz nebo zbrojní licenci (Zbraně podléhající zákonu o zbraních a podmínky jejich nabývání a držení, 2021).

Zákon o zbraních je nyní velmi pečlivě studován a upravován, a to hlavně v souvislosti s množícími se útoky střelnými zbraněmi nejen u nás, ale i v zahraničí. Podle fundovaných osob a s ohledem na zákony zavedené v jiných zemích je zákon o zbraních v ČR na velmi vysoké úrovni a zásahy do něj jsou jen „trendového“ charakteru. Příkladem může být chystané opětovné zkrácení platnosti zbrojního průkazu z 10 let na 5 let; takto to již přitom bylo zavedeno v minulosti. Všichni střelci nyní vyhlíží, co novela zákona přinese a jaké to bude mít dopady na jejich práci, sport, koníček či zálibu ve sbírkách.

2 HISTORIE A VÝVOJ STŘELIVA

Následující kapitola je blíže zaměřena na historii a vývoj střeliva, která sahá od vrhání kamenů přes objev střelného prachu, mušketové koule až k prvním kulkám a následně projektilům, které známe i dnes. Popisuje evoluci střeliva přes čas a prostor, sleduje jeho transformace od počátečních experimentů s různými materiály a konstrukčními technikami po dnešní precizní výrobu. Každý krok v historii vývoje střeliva představoval nové výzvy a příležitosti. Při prozkoumávání této historie se odkrývá bohatá paleta inovací, které formovaly efektivitu, přesnost a účinnost střeliva, s výrazným dopadem v oblasti vojenské, lovecké a sportovní střelby.

Lushetich (2020) ve své knize uvádí, že nejstarší munice zahrnovala věci jako kameny a další přírodní předměty, které byly vrženy. Někdo s opravdu dobrou paží mohl svým hodem dosáhnout i rychlosti 42 m/s, což je rychlý míč basebalového nadhazovače. Nejnovější archeologické informace poukazují na to, že vrhaná kopí byla používána asi před 460 tis. lety. V těchto případech byla celá zbraň municí. První použití nástroje k odeslání předmětu na cestu bylo reprezentováno lukem a šípem. S tímto vývojem se munice zmenšila, přesto mohla způsobit značné poškození při dopadu. Nejstarší luky mohly vysílat šípy rychlostí až 52 m/s, zatímco modernější luky mohly dosáhnout až 122 m/s.

Howard (2014) ve své knize píše, že skutečný přechod ke střelivu, které známe dnes, začíná v Číně kolem roku 100 př. n. l. za vlády císaře Wu Di. Líbilo se mu vládnoutí a rozhodl se, že chce žít věčně, a tak nařídil svým alchymistům, aby našli elixír pro věčný život. Rané experimenty zahrnovaly ledek (který nyní známe jako dusičnan draselný) a síru. Mnohaleté experimentování vyvrcholilo přidáním dřevěného uhlí v 8. století. Zpočátku se používalo k léčbě kožních chorob a zabíjení hmyzu, ale nakonec bylo zjištěno, že s přidáním tepla má výbušné vlastnosti a lze jej použít k pohonu předmětů. Čerstvé bambusové výhonky byly naplněny střelným prachem, který je poháněl k nebi, čímž vznikl raný ohňostroj. To se používalo na festivalech i s vírou, že to odhání zlé duchy a přináší štěstí. Rychle bylo zjištěno, že zapracování této technologie do zbraně by poskytlo obrovskou výhodu v bitvě, takže bambusové trubice s pohonnou látkou byly přivázány k šípům a tím vznikly první rakety.

Spencer et al. (2015), píše, že v polovině 11. století čínská dynastie Song používala to, co je známé jako ohnivé kopí. To byla raná směs plamenometu a děla. Ve 13. století již následovala plnohodnotná děla. Ta navždy změnila podobu válčení. Díky nim se projektilům

zvýšil dostřel a také přesnost. První střelivo do děl byly kulaté kameny. Do kanónu byla nejprve nabita prachová nálož a následně zvolená střela. Ke střelbě byl použit zdroj zapálení „pomalá zápalka“, který se dotkl malého otevřeného otvoru v zadní části vývrtu, který přímo zapálil prach a vystřelil munici z hlavně.

Od té doby prošla zbraňová technologie významným zmenšením, aby bylo možné je používat manuálně. Technologie pro odpalování projektilů prodělala mnoho vylepšení a dnes takové technologie považujeme za střelné zbraně. Vyvinula se také metoda zapalování. Od dotykového otvoru k integrálnímu hořícímu knotu přes první mechanismy – zámky, které usnadnily manipulaci, zdokonalily princip zážehu a časování výstřelu. Po prvních doutnákových zámcích přišly komplikované a drahé kolečkové zámky, následovaly zámky křesadlové, u nichž po stisknutí spouště kámen sklouzl po křesací plošce a jiskry zažehly iniciační prachovou slož, a dále pokračovaly až do dnešní podoby konstrukce nábojů s integrovaným zažehnutím. Kolem těchto historických zbraní se vyvinula i samotná munice. Následovala výroba koulí určených pro střelné zbraně z litiny. To vyžadovalo vysoké teploty a speciální vybavení a jejich výroba byla poměrně drahá. Litina je považována za relativně tvrdý materiál, což způsobovalo rychlé opotřebení hlavně. K překonání těchto potíží se začalo používat olovo, protože bylo měkčí a tolik nepoškozovalo hlavně. Má také mnohem nižší bod tání, takže koule bylo možné tavit pomocí ohně ve formě. Tyto rané koule se nazývaly „kulky“ podle francouzského boulette, což znamená „malá koule“ (Hazell, 2021, s. 116).

První kulky byly menší než hlaveň střelné zbraně a byly jednoduše shozeny na prachovou nálož. To bylo později rozšířeno o ucpání volného místa kolem kulky pomocí ucpávky, což ji udrželo pevně na místě. Následně bylo vynalezeno žlábkování, což kulce umožnilo kontakt s drážkami v hlavni. To zvýšilo přesnost i dosahovanou vzdálenost doletu. Již ve 14. století byly používány papírové nábojnice. To zahrnovalo prachovou náplň a kulku uvnitř papírového obalu. Konec papíru byl uříznut nebo ukousnut. Typické „mušketové koule“ měly rychlost přibližně 120 až 365 m/s. V roce 1808 vynalezl Jean Samuel Pauly první plně soběstačný náboj (Wallace, 2018). Měl měděný základ s roznětkou pro zapálení střelného prachu. Zbytek pouzdra byl buď mosazný, nebo papírový, a obsahoval střelný prach a kulatou kulku. V roce 1826 vyvinul Henri-Gustave Delvigne válcový projektil (Curley a McKenna, 2010, s. 93). Pevně přiléhal k hlavni a při výstřelu byl naváděn drážkami. To však deformovalo kulku, což zhoršilo přesnost. Dále bylo testováno mnoho různých tvarů včetně projektilů čtvercového tvaru.

Ve třicátých letech 19. století se kulky začaly formovat podobně jako moderní projektily. Právě Delvigne vynalezl válcový projektil s kónickým hrotem (Shah, 2017). Tento vynález byl dále rozvíjen tak, že projektil zahrnoval i drážky známé jako *cannelures*, které posunuly těžiště vpřed pro zlepšení letových vlastností. Následně byl vytvořen dutý úsek v zadní části projektilu, který byl opatřen materiálem, jako je dřevo, který se pod tlakem roztáhl. Slavný „Minnie Ball“ vyvinul Claude-Edienne Minie a byl to první projektil tohoto typu, který používala armáda, konkrétně britská (Coffman, 2018).

V roce 1832 Francouz Casimir Lefauchaux vynalezl náboj „Pinfire cartridge“. V tomto kovovém náboji byla zápalná směs zapálena úderem na malý kolík, který radiálně vyčnívá těsně nad základnou nábojnice. Pinfire cartridge představoval jeden z prvních praktických návrhů kovové nábojnice a patentován byl v roce 1835 (Flatnes, 2013). V roce 1846 Benjamin Houllier vynalezl první plně kovovou samostatnou nábojnici (Goodier, 2015, s. 112). Další velký skok v rozvoji technologie představovala střela s pláštěm. V roce 1882 podplukovník Eduard Ruben zkonstruoval první olovenou střelu s měděným pláštěm. Povrch olovené kulky se mohl roztavit v důsledku tepla získaného z tření a plynů. Vyšší teplota tání mědi umožnila vyšší rychlost, aniž by se kulka během letu deformovala (Hazell, 2021). V roce 1886 vynalezl Paul Vielle první bezdýmný prach, který byl nazván „Poudre B“. Tento vynález zredukoval kouř na bojišti, což pomohlo velitelům předávat rozkazy (Bergman, 2009).

Lepší chápání aerodynamiky nakonec vedlo k vývoji střely Spitzer, která měla hrot ve tvaru věže (Haag, 2015). Toto je nejčastěji používaný tvar pro moderní střely. Kombinace technologií Spitzer a „boat tail“ (tvar střely inspirovaný kapkou, za účelem snížení odporu vzduchu) umožňuje moderním nábojům z ručních zbraní dosáhnout rychlosti přes 1220 m/s (Penn-Barwell a Helliker, 2017). V průběhu let se objevily další účelově vyrobené střely, včetně ocelového jádra pro hlubší průnik, které měly dutinu vyplněnou pomalu hořící pyrotechnickou náloží, jež umožnila vidět dráhu střely pouhým okem.

Střelivo urazilo od kamenů dlouhou cestu a neustále probíhá jeho vývoj. Pokrok nás přivedl od vrhaných kamenů, přes projektily poháněné samostatnou mechanickou nebo chemickou silou, až po samostatné, sériově vyráběné náboje typu „vše v jednom“. Budoucnost střeliva a zbraní je široce otevřená. Další velký skok v munici může přijít v podobě elektrické baterie napájející lasery, miniaturní jaderné reakce nebo možná nějaké dosud neobjevené technologie.

3 FYZIKÁLNÍ ASPEKTY STŘEL

Tato kapitola poskytne hlubší pochopení a porozumění mechanismům, které ovlivňují pohyb střeliva v letové fázi. Ta začíná okamžikem, kdy je spoušť pistole stlačena a spustí se mechanismus, který uvolňuje střelu z hlavně zbraně. Poté, co je výstřelem uvolněn, projektil putuje v hlavní zbraně. Během tohoto krátkého okamžiku je střela urychlována v důsledku tlaku plynů vytvořených výbuchem střelného prachu. Jakmile střela opustí ústí hlavně, začne se pohybovat směrem k cíli. Její pohyb je nyní určen primárně zákonem zachování hybnosti a gravitací.

3.1 Pohyb projektilu

Projektil se pohybuje po parabolické dráze. Jeho rychlost postupně klesá kvůli gravitaci, až nakonec dosáhne své maximální výšky a začne klesat zpět k zemi. Pokud se nepočítá s odporovými silami, pohyb projektilu lze popsat jako rovnoměrný pohyb vodorovný a pohyb s konstantním zrychlením ve svislém směru, tzn., že při pohybu projektilu existují dva současné nezávislé přímočaré pohyby:

- podél osy x: rovnoměrná rychlost zodpovědná za horizontální (dopředný) pohyb projektilu,
- podél osy y: rovnoměrné zrychlení zodpovědné za vertikální pohyb projektilu (směrem dolů) (Wee et al. 2012).

Úhel, pod kterým je projektil vystřelen, spolu s jeho počáteční rychlostí určuje trajektorii pohybu. Čím větší je počáteční rychlost a úhel, tím dále projektil doletí a tím méně bude ovlivněn gravitací. Pokud je projektil vystřelen v atmosféře, může být ovlivněn aerodynamickým odporem, třením, dnovým sacím odporem a rázovou vlnou, která brání jeho pohybu. Tento odpor závisí na tvaru projektilu a rychlosti. (Wee et al. 2012).

3.1.1 Newtonovy zákony pohybu

Sir Isaac Newton pracoval v mnoha oblastech matematiky a fyziky. Teorii gravitace vyvinul v roce 1666, když mu bylo 23 let. V roce 1686 představil své tři zákony pohybu v „Principia Mathematica Philosophiae Naturalis“. Rozvinutím svých tří pohybových zákonů způsobil Newton revoluci ve vědě. Newtonovy zákony spolu s Keplerovými zákony vysvětlovaly, proč se planety pohybují spíše po eliptických drahách než po kruzích (Kneubuehl, 2022).

První Newtonův zákon – Zákon setrvačnosti

První Newtonův zákon pohybu, také známý jako zákon setrvačnosti, je základní princip, který popisuje chování objektů bez vnějších vlivů. Termín „zákon setrvačnosti“ zdůrazňuje koncept setrvačnosti, který odkazuje na vlastnost pevných objektů odolávat změnám ve stavu jejich pohybu. Tato myšlenka vychází z pozorování, že předměty si přirozeně udržují svůj současný klidový nebo pohybový stav a odolávají jakýmkoli změnám, pokud na ně nepůsobí vnější síla. Pojmenováním prvního zákona pohybu „Zákon setrvačnosti“ Newton zdůraznil tuto inherentní vlastnost objektů a položil základy pro pochopení toho, jak mohou síly způsobit změny v pohybu. První Newtonův pohybový zákon říká, že objekty přetrvávají ve svém současném stavu pohybu, pokud nejsou vnější silou nuceny se chovat jinak. Ať už je objekt v klidu, nebo v rovnoměrném pohybu, bude v tomto stavu pokračovat, jestliže na něj nepůsobí vnější síla. Jedním z klíčových poznatků, které poskytuje první Newtonův zákon, je, že objekt si bude udržovat konstantní rychlost v nepřítomnosti čisté síly vyplývající z nevyvážených sil působících na objekt. Pokud je objekt již v pohybu, bude pokračovat v pohybu stejnou rychlostí a směrem. Stejně tak, pokud je objekt v klidu, zůstane nehybný. Zavedení další vnější síly však způsobí změnu rychlosti objektu v závislosti na velikosti a směru působící síly (Kneubuehl, 2022).

Druhý Newtonův zákon – Zákon síly

Druhý Newtonův pohybový zákon poskytuje hlubší pochopení toho, jak tělesa reagují na vnější síly. Zákon popisuje vztah mezi silou působící na těleso a výsledným zrychlením. Podle druhého Newtonova zákona je síla působící na objekt rovna součinu jeho hmotnosti a zrychlení. Matematicky vyjádříme Newtonův druhý zákon takto:

$$F = m \times a, \quad (1)$$

kde F představuje sílu (N), m je hmotnost objektu (kg) a a je vytvořené zrychlení (m/s). Tato rovnice ukazuje, že zrychlení objektu je přímo úměrné velikosti síly působící ve stejném směru jako síla a nepřímo úměrné hmotnosti objektu. Pochopením druhého Newtonova zákona můžeme určit, jak moc se objekt zrychlí, když je vystaven specifické síle. Rovnice zdůrazňuje vztah mezi silou, hmotností a zrychlením a poskytuje kvantitativní rámec pro analýzu dynamiky objektů v pohybu. Vyjádření druhého Newtonova zákona

ukazuje základní princip, který řídí vztah mezi silou a zrychlením ve fyzice. S tímto zákonem lze získat kvantitativní pochopení toho, jak vnější síly ovlivňují pohyb objektů na základě jejich hmotnosti a výsledného zrychlení, které prodělávají (Kneubuehl, 2022).

Třetí Newtonův zákon – Zákon akce a reakce

Třetí Newtonův pohybový zákon odhaluje vztah mezi silami, kterými působí interagující tělesa. Třetí Newtonův pohybový zákon říká, že pro každou akci existuje stejná a opačná reakce. Když dvě tělesa interagují, působí na sebe silami, které jsou stejné velikosti a opačného směru. Tento zákon zdůrazňuje koncept, že síly se vždy vyskytují ve dvojicích. Pro ilustraci tohoto principu si představme například knihy položené na stole. Protože kniha působí směrem dolů silou rovnající se její váze na stůl, stůl naopak působí na knihu stejnou a opačnou silou. K tomu dochází, protože kniha mírně deformuje povrch stolu, což způsobuje, že stůl zase zatlačí zpět na knihu, podobně jako stlačená pružina uvolňující svou energii. Tento třetí pohybový zákon má hluboké důsledky, včetně zachování hybnosti. Impuls síly je vlastnost pohybujících se objektů určená jejich hmotností a rychlostí. Podle třetího Newtonova zákona zůstává celková hybnost izolovaného systému konstantní. To znamená, že v jakékoli interakci zůstává celková hybnost před a po interakci stejná, bez ohledu na použité síly. Pochopení třetího Newtonova zákona pohybu prohlubuje chápání vzájemného propojení a rovnováhy ve fyzickém světě. Poskytuje rámec pro analýzu a předpovídání účinků sil v různých scénářích, od každodenních interakcí až po složité mechanické systémy (Kneubuehl, 2022).

3.1.2 Aerodynamika střeliva

Když střela letí vzduchem, působí na ni dva druhy sil, které určují její dráhu vzduchem. První je gravitační síla, další je aerodynamika. Na vystřelený projektil působí několik druhů aerodynamických sil:

- odpor,
- vztlak,
- boční síly,
- Magnusova síla,
- tlumící síla rotace,
- tlumící síla stoupání,

- Magnusova příčná síla (Shen, 2020).

Nejdůležitější z těchto aerodynamických sil je odpor. Všechny ostatní jsou velmi malé ve srovnání s rotací střely. Aerodynamický odpor působí vždy proti směru pohybu střely vzduchem. To znamená, že odpor prostředí má vždy tendenci zpomalit střelu. Jak se během trajektorie mění směr pohybu střely, mění se i směr odporové síly. Odpor je velmi komplexní funkcí rychlosti střely vzhledem ke vzduchu a kriticky závisí na jeho hustotě (Shen, 2020).

Vztlak

Díky tomu, že se střela pohybuje s nenulovým úhlem, vektor odporu vzduchu není rovnoběžný s vektorem rychlosti střely. Síla odporu vzduchu se tak dá rozložit na dvě složky:

- čelní odpor proti směru rychlosti,
- kolmo na něj působící vztlaková síla (Kneubuehl, 2022).

Výsledkem působení vztlakové síly je derivace střely, protože odpor vzduchu nepůsobí v těžišti a v důsledku toho střela rotuje. Pro přesný výpočet střelby u velkých úhlů výstřelu je do výpočtu nutné zahrnout i vztlakovou sílu (Kneubuehl, 2022).

Odpor vzduchu

Kneubuehl (2022, s. 75) v souvislosti s odporem vzduchu hovoří o dynamickém tlaku, který byl odvozen z Bernoulliho rovnice a vypočte se:

$$p_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2, \quad (2)$$

kde p_s je dynamický tlak v N/m^2 , ρ je hustota vzduchu v kg/m^3 a v_0 rychlost střely v m/s .

V aerodynamice a balistice se dynamický tlak používá jako vztažný tlak pro vyjádření všech momentů a sil. Součinitel odporu vzduchu je prezentován součinem tlaku působícího na povrch tělesa a velikost plochy, na niž tlak působí. Odpor dynamického tlaku lze vypočítat:

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 \cdot A_o, \quad (3)$$

kde odpor dynamického tlaku F_s je v N a A_o vztažnou plochu, která pro účely balistických výpočtů odpovídá ploše příčného průřezu střely.

Balistický koeficient (BC) je termín, který balistikové používají k měření schopnosti konkrétní střely projít atmosférou nebo odolat odporu vzduchu. Jedná se o velmi složité téma, a přestože je založeno na vědeckém vzorci, koncept přesného měření BC je někdy subjektivní a může být dokonce základem pro argumentaci. Balistický koeficient střely je reprezentován desetinnou částí čísla. Čím vyšší číslo, tím lépe bude střela odolávat odporu vzduchu (Massaro, 2015, s. 31).

Massaro (2021) ve své knize popisuje, že střely s kulatým a plochým nosem, které udržují svou váhu vpřed, zaberou v komoře méně místa ve srovnání s dlouhou střelou spitzer boat tail. Špičaté projektily projdou vzduchem snadněji než střely s kulatým nebo plochým nosem a odolají účinkům odporu vzduchu, přičemž si udrží rychlost i energii na větší vzdálenosti. Přidáním ocasu (boat tail) a šikmé základny střely je možné zvýšit schopnost odolávat odporu vzduchu a zasažení vzdálených cílů se stane dosažitelnější.

Stabilita střely

Obecná definice stability vztahující se k letu je taková, že pokud dojde k narušení osy letícího projektilu, přirozeně znovu vyrovná svou osu se směrem letu. Jinými slovy, bude se přirozeně vřhat do proudění vzduchu. Střely, kterým chybí ocas (boat tail), jsou staticky nestabilní a takové střely dosahují stabilního letu rotací a vytvářením tuhosti z rotující hmoty, která je dostatečná k tomu, aby odolávala aerodynamické nestabilitě. Aby bylo dosaženo skutečné gyroskopické stability, musí být střela roztočena dostatečně rychle. To je důvod, proč je důležité znát stoupání hlavně a požadavky na rychlost rotace každé střely, o které uvažujete. Neotáčí-li se projektil dostatečně rychle, nebude létat s plným potenciálním balistickým koeficientem, a to kvůli nadměrnému kolísání. Nedostatečná rotace může vést k nejednotnému letu střely, což může ovlivnit její přesnost a dosah. Střela může začít rychle ztrácet svou stabilní trajektorii a může mít omezený dosah, což může být nebezpečné při střelbě na dlouhé vzdálenosti (Kneubuehl, 2022).

Podle Hearda (2011) existují tři hlavní typy trajektorií střel: ploché, klenuté a zakřivené. Plochá dráha nastává, když střela postupuje v přímé linii od hlavně k cíli. To je obvykle možné pouze na krátké vzdálenosti, protože gravitace rychle stáhne střelu dolů. Klenutá trajektorie je, když střela cestuje v oblouku nahoru, než spadne zpět dolů k cíli. To je nejběžnější trajektorie pro střelbu na velké vzdálenosti. Zakřivená trajektorie nastává, když se střela pohybuje po zakřivené dráze v důsledku vnějších faktorů, jako je vítr nebo překážky v její dráze. Existuje několik faktorů, které mohou ovlivnit dráhu střely. Jedním

z nejdůležitějších je hmotnost střely. Těžší střela se obvykle pohybuje pomaleji a klesá rychleji než lehčí střela. Svou roli může hrát i tvar střely, protože aerodynamičtější tvar bude mít menší odpor vzduchu a lépe udrží svou rychlost. Rychlost, kterou se střela pohybuje, je také klíčová, protože rychlejší střela bude mít obvykle plošší trajektorii. A konečně úhel, pod kterým je střela vypálena, může ovlivnit její trajektorii, protože vyšší úhel bude mít za následek více klenutou trajektorii.

3.2 Balistika střel

Studium střelby projektilů, jejich letu a toho, jak zasahují cíl, se nazývá balistika. Obvykle je spojována s projektily vystřelenými ze zbraní, s raketami či řízenými střelami. Porozumění balistice je nezbytné pro dosažení přesných a účinných výsledků při používání střelných zbraní. Balistika je také důležitá pro vývoj a zdokonalování zbraní a munice.

3.2.1 Vnitřní balistika

Vnitřní balistika je podobor balistiky, ve kterém se zkoumá a studuje pohon střely. U zbraní vnitřní balistika pokrývá dobu od iniciace zápalky do okamžiku, kdy střela opouští hlaveň zbraně. Studium vnitřní balistiky je důležité pro konstruktéry a uživatele střelných zbraní všech typů, od malorážek a pistolí až po špičkové dělostřelectvo (Plíhal et al. 2020, s. 24).

Projektily vystřelené z pušky mohou mít více energie než podobné střely vystřelené z ruční zbraně. Více střelného prachu lze také použít v nábojnicích do pušek, protože nábojové komory mohou být navrženy tak, aby vydržely větší tlaky (50 000 až 70 000 psi pro pušky oproti 30 000 až 40 000 psi pro komoru ručních zbraní). Vyšší tlaky vyžadují větší pistoli s větším zpětným rázem, která se pomaleji nabíjí a generuje více tepla, jež způsobuje větší opotřebení kovu. V praxi je obtížné měřit síly v hlavni zbraně, ale jedním snadno měřitelným parametrem je rychlost, se kterou střela opouští hlaveň (úst'ová rychlost). Řízená expanze plynů z hořícího střelného prachu vytváří tlak (sílu působící na plochu). Oblast je zde základna střely (ekvivalent průměru hlavně) a je konstantní. Proto bude energie přenášená na střelu (s danou hmotností) záviset na hmotnosti krát síla krát časový interval, po který je síla aplikována. Poslední z těchto faktorů je funkcí délky hlavně. Cesta střely v hlavni je charakterizována rostoucím zrychlením, jak na ni tlačí expandující plyny, ale klesajícím tlakem v hlavni, jak plyn expanduje. Až do bodu klesajícího tlaku platí, že čím delší hlaveň, tím větší zrychlení střely. Jak projektil prochází hlavní pistolí, dochází k menší deformaci, nazývané deformace zpětného chodu. To je důsledkem menších (zřídka větších)

nedokonalostí nebo odchylek v rýhování nebo stopách po nástroji uvnitř hlavně. Vliv na následnou dráhu letu střely je obvykle nevýznamný (Carlucci, 2018).

3.2.2 Přejíchodová balistika

Přejíchodová balistika je charakteristická studiem chování střely od okamžiku, kdy opustí ústí hlavně, až do vyrovnání tlaku za střelou, takže leží mezi vnitřní balistikou a vnější balistikou. Přejíchodová balistika je komplexní obor, který zahrnuje řadu proměnných, které nejsou zcela pochopeny, nejde tedy o exaktní vědu. Když střela dosáhne ústí hlavně, unikající plyny jsou stále v mnoha případech pod tlakem stovek atmosfér. Jakmile projektil opustí hlaveň a poruší těsnění, plyny se mohou volně pohybovat kolem projektilu a expandovat do všech směrů. Tato expanze je to, co dává střelbě její explozivní zvuk (ve spojení se zvukovým třeskem projektilu), a je často doprovázena jasným zábleskem, jak se plyny spojují s kyslíkem ve vzduchu a dokončují hoření. Hnací plyny pokračují v působení síly na střelu a střelnou zbraň ještě krátkou chvíli poté, co střela opustí hlaveň. Jedním z podstatných prvků je zajistit, aby tato síla nevychýlila střelu z její dráhy. Nejhorší případ nastane tehdy, když jedna strana střely opustí hlaveň dříve. To způsobí, že plyn unikne v asymetrickém vzoru a odtlačí střelu pryč z této strany. Většina střelných zbraní má úst'ovou rychlost vyšší, než je okolní rychlost zvuku, a dokonce i v podzvukových nábojnicích unikající plyny překročí rychlost zvuku a vytvoří rázovou vlnu. Tato vlna se rychle zpomalí, jak se expandující plyn ochladí, čímž se sníží rychlost zvuku v expandujícím plynu, ale nablízko může být tato rázová vlna velmi škodlivá. Výbuch z ústí z vysoce výkonného náboje může doslova roztrhat měkké předměty v jeho blízkosti, jak neopatrní střelci z pistole na nastřelovací lavici občas zjistí, když ústí zbraně sklouzne zpět za jejich oporu, např. pytel s pískem, a výstřel oporu naplněnou pískem roztrhne (Carlucci, 2018).

Potlačovače záblesků a zvuku (flash hider a silencer) jsou nejzřejmější zařízení, která fungují v přejíchodové balistické oblasti. Oba mění proudění unikajícího plynu, aby se snížily účinky úst'ového výbuchu. Tlumiče záblesků zavádějí turbulence do mísení horkých plynů nasycených palivem unikajících z ústí hlavně a okolního vzduchu bohatého na kyslík, čímž snižují účinnost spalování a tím snižují velikost a jas záblesku. Tlumiče zvuku zpomalují expanzi plynů, umožňují jejich ochlazení a snižují rychlost, kterou unikají, aby se zabránilo vzniku rázové vlny (Carlucci, 2018).

3.2.3 Vnější balistika

Vnější balistika se zabývá letem projektilu poté, co opustí zbraň a přestanou na něj působit spaliny hoření vytékající z hlavně. Jeden z hlavních vlivů na jeho let má gravitační síla, která způsobuje, že projektil letí po přibližně parabolické dráze. Dalším efektem je tažení střely okolním vzduchem. Pokud se projektil netočí, nebo pokud se klopí, uletí kratší vzdálenost s menší přesností. Pokud se točí, jeho let bude rovnější a střela obvykle dosáhne většího dosahu a lepší přesnosti. Na velké vzdálenosti je dráha letu střely ovlivněna také rotací Země kolem její osy. Dráha letu se na severní polokouli zakřivuje mírně doprava a na jižní polokouli mírně doleva. Země není dokonalá koule, proto nepatrná změna gravitačního pole má malý vliv na dráhu letu na velmi dlouhé vzdálenosti. Tyto geobalistické efekty jsou zvláště důležité u řízených střel dlouhého doletu a kosmických lodí (Carlucci, 2018).

3.2.4 Terminální balistika

Terminální balistika, někdy nazývaná také koncová balistika, se zabývá chováním střely a jejími dopady na cíl v okamžiku, kdy dosáhne svého cíle. To zahrnuje studium průniku střely do cíle, její deformace, rozšíření, přenosu energie a všechny další aspekty, které ovlivňují účinnost střely (Rosenberg, 2012).

3.3 Fyzikální parametry střel

Většina moderních střel spadá do dvou kategorií: obyčejné olovené střely (kované nebo lité) a střely s pláštěm (těžké jádro obklopené vnějším pláštěm z kluzného kovu). V těchto dvou kategoriích existuje široká škála konstrukcí střel určených ke zvýšení výkonu pro konkrétní účel. Kategorie fyzických vlastností střel jsou rozsáhlé a lze je použít k vyhledávání referenčních materiálů pro střely s podobnými vlastnostmi. Mezi primární fyzikální vlastnosti střel patří:

- hmotnost,
- průměr,
- druh materiálu a jeho chemické složení,
- magnetické vlastnosti,
- délka,
- povrchová úprava,

- konstrukce základny,
- základní tvar (Caras, 1995, s. 13-15).

3.3.1 Hmotnost

Podle Kneubuehla (2022, s. 13) je hmotnost základní vlastností každého tělesa a projevuje se následujícími způsoby:

- tíha (gravitace) – veličinou je tíhová hmotnost a projevuje se tím, že jedno těleso vyvolá změnu pohybového stavu jiného tělesa,
- setrvačnost – veličinou je setrvačná hmotnost, ke změně pohybového stavu tělesa je nutné vnější působení, proti kterému dané těleso vyvíjí odpor.

Tíhová i setrvačná hmotnost jsou vzájemně úměrné a poměr mezi nimi nevyjadřuje žádná fyzikální zákonitost.

System hmotnosti v grain (1 grain = 0,0648 g) se používá k vyjádření hmotnosti střel či střelného prachu. Měření v grain (gr) je měřicí systém k popisu hmotnosti nábojového projektilu. Tento systém určování hmotnosti pomáhá určit správnou velikost munice pro konkrétní střelecké účely. Existuje několik faktorů, které je třeba zvážit při výběru správné hmotnosti střely:

Ráže – vnitřní průměr hlavně je prvním faktorem, který je třeba vzít v úvahu při výběru střeliva. Náboje musí pasovat do zásobníku, komory a hlavně, což vyžaduje specifickou velikost náboje. Náboje se dodávají v řadě ráží a hmotností v grainech. Vyšší grainy, tedy vyšší hmotnost, má za následek těžší projektil, ale rozdíl není vždy patrný.

Balistika – hmotnost munice ovlivňuje balistiku (rychlost, energii a celkový výkon střely). Balistika určuje mechaniku toho, jak se střela chová, a je důležitým faktorem při výběru hmotnosti náboje, aby odpovídala jejímu účelu.

Energie – grainy ovlivňují energii zpětného rázu (odtlačení, které střelec pociťuje od zbraně po výstřelu) a energii dostřelu. Zde platí, že těžší střela bude mít větší zpětný ráz, zatímco lehčí střela bude mít menší. To ovšem nemusí být vždy pravidlem s ohledem na množství prachové náplně. Stejně tak hmotnost střely ovlivňuje energii, se kterou dopadne na cíl (Satterfield, 2013, s. 67).

3.3.2 Rychlost střely

Úst'ová rychlost, je rychlost střely, když opouští hlaveň zbraně. Je to počáteční rychlost udělovaná projektilu a výrazně se liší v závislosti na několika faktorech, kterými jsou:

Délka hlavně – rychlost střely závisí, alespoň částečně, na délce hlavně zbraně. Delší hlavně, jako u pušek, obecně poskytují více prostoru pro hnací plyny k urychlení střely, což má za následek její vyšší rychlost.

Odpor vzduchu – působí jako zpomalovací síla, která brání pohybu střely. Tvar a konstrukce střely ovlivňují její schopnost překonat tento odpor.

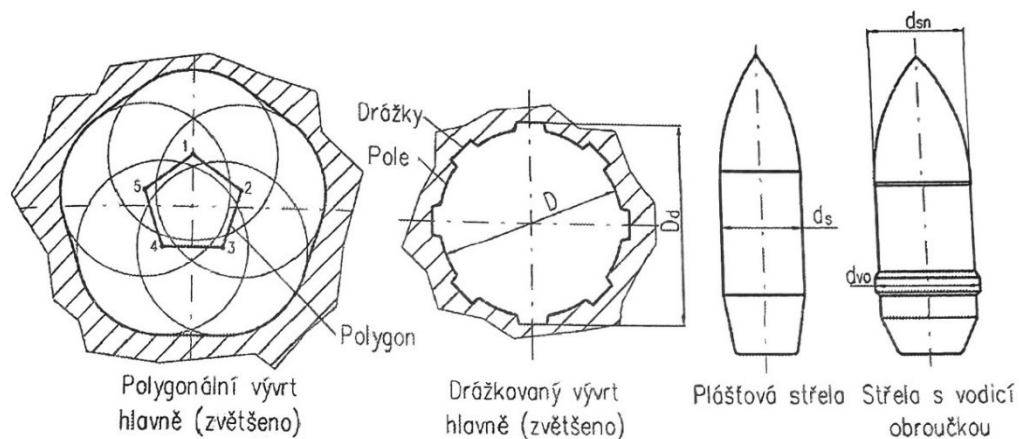
Hmotnost střely – může také ovlivnit úst'ovou rychlost. Lehké střely se obvykle pohybují vyšší počáteční rychlostí ve srovnání s těžšími střelami.

Typ náboje – jako je náboj s okrajovým zápalem nebo náboj se středovým zápalem, může ovlivnit rychlost střely nebo druh zápalky, která iniciuje prachovou slož.

Tlak plynu – generovaný při výstřelu ovlivňuje rychlost střely a vyšší tlak plynu má často za následek vyšší rychlost střely (Buckmore, 2018).

3.3.3 Průměr střely

Kusák (2008, s. 7) uvádí, že průměr střely d_s se liší od průměru vývrtu hlavně D u plášťových střel, kdy $d_s > D$ a u střel s vodící obroučkou, kde $d_{sn} < D < d_{vo} < D_d$. (d_{sn} je průměr střely nad vodící obroučkou, D je průměr vývrtu hlavně, d_{vo} je průměr vodícího obroučku



a D_d představuje průměr vrcholu drážek vývrtu hlavně. Vše je znázorněno na obrázku 1.

Obrázek 1 Vztah mezi rozměry vývrtu hlavně a střely, převzato a upraveno ze zdroje Kusák (2008, s. 7)

Kalibr střely odkazuje na průměr střely, ale často přesně nereprezentuje ráži zbraně. Neexistuje žádný stanovený standardizovaný systém pojmenování různých kalibrů a je nepravděpodobné, že někdy bude. To, že se munice vejde do zbraně, neznamená automaticky, že by se s ní mělo střílet, protože to může zbraň poškodit a způsobit vážné zranění nebo smrt (Massaro, 2015).

3.3.4 Tvar střely

Caras (1995) uvádí, že střely jsou vyráběny v mnoha různých tvarech. Existují dva faktory, které určují tvar střely. Prvním je, jak se střela chová za letu ve vzduchu, a druhým faktorem je její chování při zasažení zamýšleného cíle. Tvar střely se proto odvíjí od jejího zamýšleného účelu. Pro lov na velké vzdálenosti nebo pro jakýkoli jiný účel, kde hrají roli dostřel a přesnost, je tendence upřednostňovat dlouhé střely s jemně zakřivenými zúženými hroty, které udržují rychlost a stabilitu za letu lépe než některé jiné tvary. U sebeobraný nebo lovu na blízko, jako u ručních zbraní, kde nejde o dostřel a přesnost, je tendence spíše ke střelám s velkými tupými dutými střelami (JHP). Ty se při dopadu roztáhnou a způsobí mnohem větší poškození než pevná střela. Pro obecnou střelbu nebo terčovou střelbu

je výběr tvaru střely do značné míry na osobních preferencích. Většina lidí volí nejlevnější variantu. Majitelé poloautomatických zbraní obecně dávají přednost hladším zaobleným střelám. Při použití revolveru je výběr tvarů střel mnohem obsáhlejší.

3.3.5 Energie střely

Kneubuehl (2022, s. 16) uvádí, že pružně zdeformovaná, zdvižená a pohybující se tělesa jsou sama schopná konat práci. Energie je definována jako způsobilost tělesa konat práci. Pohybující se těleso má kinetickou energii a zdvižené těleso potenciální energii. Energie a práce je přitom z fyzikálního pohledu veličina stejného druhu. Vždy může dojít pouze k přeměně energie na práci nebo naopak, ale v žádném případě nemůže energie ani práce být zničena. Nelze ji ani vytvořit. Pohybovou (kinetickou) energii pohybujícího se tělesa je možné určit ze vztahu:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (4)$$

kde E_{kin} je v J, m je hmotnost v kg a v je rychlost tělesa v m/s. Potenciální energii napnuté pružiny je možné určit ze vztahu:

$$E_{pot} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2, \quad (5)$$

kde D je konstanta pružiny v N/m a x prodloužení pružiny v m. Poškození materiálu střelou i nepružná deformace představují přeměnu energie na práci. Zde se však nejedná o čistě mechanické děje a energie střely je předávána (jak molekulární struktuře materiálu, tak i uvolněna v podobě tepla) ve formě práce.

3.3.6 Rotace střely

Hatcher (2015) ve své knize popisuje, že znalost skutečné rychlosti rotace střel je velmi důležitá. Rychlost rotace dramaticky ovlivní výkon střely a je také důležitá z pohledu integrity střely. Pokud je rotace střely příliš vysoká, dojde k zahřátí pláště a také ke zvýšení odstředivé síly působící na plášť. Kombinace tepla, tření a odstředivé síly může způsobit selhání pláště a „rozpad“ střely. Rychlost rotace střely je také důležitá z pohledu její přesnosti. Téměř všechny moderní zbraně používají střely se stabilizovanou rotací. Drážkování hlavně uděluje projektilu rotaci, když prochází vývrtem. Tato rotace stabilizuje střelu v letu. Různé střely potřebují k optimálnímu výkonu různé rychlosti rotace. Obecně

řečeno mezi střelami stejné ráže potřebují delší náboje ke stabilizaci více otáček než kratší. Obecně se má za to, že u zápalkových střel je nejlepší přesnosti dosaženo při minimálních otáčkách, které plně stabilizují konkrétní střelu na vzdálenosti, na kterou musí střela fungovat.

Kneubuehl (2022, s. 89) uvádí, že se střela chová podobně jako setrvačnick, který rotuje kolem své podélné osy. Eulerovy setrvačnickové rovnice, představující zvláštní případ zákona zachování točivosti, popisují pohyb rotační střely. Pokud je úhel náběhu střely konstantní a je rotačně symetrická, platí pro ni stabilizační podmínka:

$$s = \frac{J_x^2 \cdot \omega^2 \cdot \tan(\delta)}{4 \cdot J_q \cdot M} > 1, \quad (6)$$

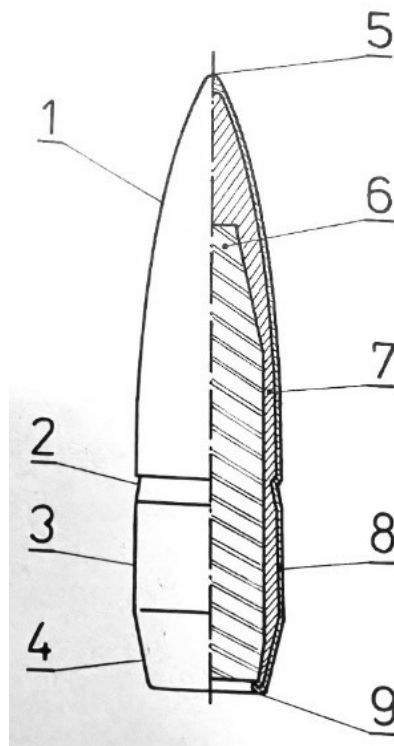
kde J_x je podélný a J_q radiální moment setrvačnosti, ω je úhlová rychlost, d je úhel náběhu a M moment síly odporu vzduchu.

4 MATERIÁLY STŘEL

V této kapitole budou podrobně rozebrány jednotlivé materiály používané pro různé druhy střel. Dále bude popsána odolnost materiálu střel vůči teplotě a vlhkosti a v neposlední řadě se tato kapitola bude zabývat i výzkumem materiálů pro střely.

4.1 Materiály pro výrobu střel a jejich vlastnosti

Caras (1995, s. 15, 16) ve své knize píše, že nejprve se jako materiál pro výrobu plášťů střel (viz obrázek 2) používala měď. Pozdější vývoj však ukázal, že slitiny mědi a zinku v poměru 90 % Cu a 10 % Zn (tombak) nebo 80 % Cu a 20 % Zn jsou lepší. Další materiál, u kterého byl zjištěn benefit v podobě nezanechávání stop nánosů, byl mědinikl. V rámci Evropy se běžně pro výrobu plášťů střel používá také hlubokotažná ocel, která je plátovaná mědiniklem nebo tombakem. Neoptimálnější tloušťka pláště byla určena jako 5 % tloušťky plátovaného materiálu. Z hlediska úspornosti se obvykle používá jednostranné plátování, i když lepší je oboustranné. Plátování poskytuje přitom velmi účinnou povrchovou ochranu střel. Střely s pláští z hlubokotažné oceli mohou být také poniklovány, nicméně skladování takových střel vyžaduje zvýšenou opatrnost. V USA se proto zásadně používá tombak. Pro jádra plášťových střel se obvykle používá olovo, které je legováno antimonem kvůli zvýšení tvrdosti. U střel s tombakovým pláštěm je nutné legovat olovo 7 až 10 % antimonu. U ocelových plášťů střel neplátovaných i plátovaných se používá olovo s 1,5 až 2,5 % antimonu. Na olověné košilky kombinovaných střel se používá olovo s 0,5 % antimonu.



Obrázek 2 Konstrukce střely, Zdroj: Caras (1995, s. 15).

1 – přední ogivál, 2 – drážka, 3 – vodící část, 4 – zadní část střely, 5 – špička, 6 – ocelové jádro, 7 – olověná košilka, 8 – plášť, 9 – lem,

Caras (1995, s. 26) dále uvádí, že jsou také střely:

- homogenní vyrobené z jednoho materiálu, jako např. Black Talon, (materiál gilding – slitina mědi a zinku) nebo HTV (materiál slitina mědi),
- průbojné, které mají plnoolověné jádro kvůli dosažení vyšší průraznosti nahrazené železem,
- brokové, jejichž plášť je tvořen plastovým kontejnerem,
- plastické, tvořené válečkem z umělé hmoty.

Mechanické a fyzikální vlastnosti materiálů pro výrobu střel jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Materiály pro výrobu střel a jejich hustota, Zdroj: Kneubuehl (2022)

Materiál	Pevnost v tahu [N/mm ²]	Modul pružnosti E [N/mm ²]	Hustota [kg/m ³]
ocel Ck 45	660-780	210000	7850
pancéřová ocel	1200	210000	7850

Materiál	Pevnost v tahu [N/mm ²]	Modul pružnosti E [N/mm ²]	Hustota [kg/m ³]
měď	220	124000	8930
nikl	440	210000	8900
měď-nikl	630	125000	8880
mosaz	600	110000	8600
tombak	470	120000	8800
tvrdé olovo	45	16000	10950
hliník	50-130	71000	2700
dural	250-400	73000	2990
wolfram	1400	400000	19300

4.2 Odolnost materiálu vůči teplotě a vlhkosti

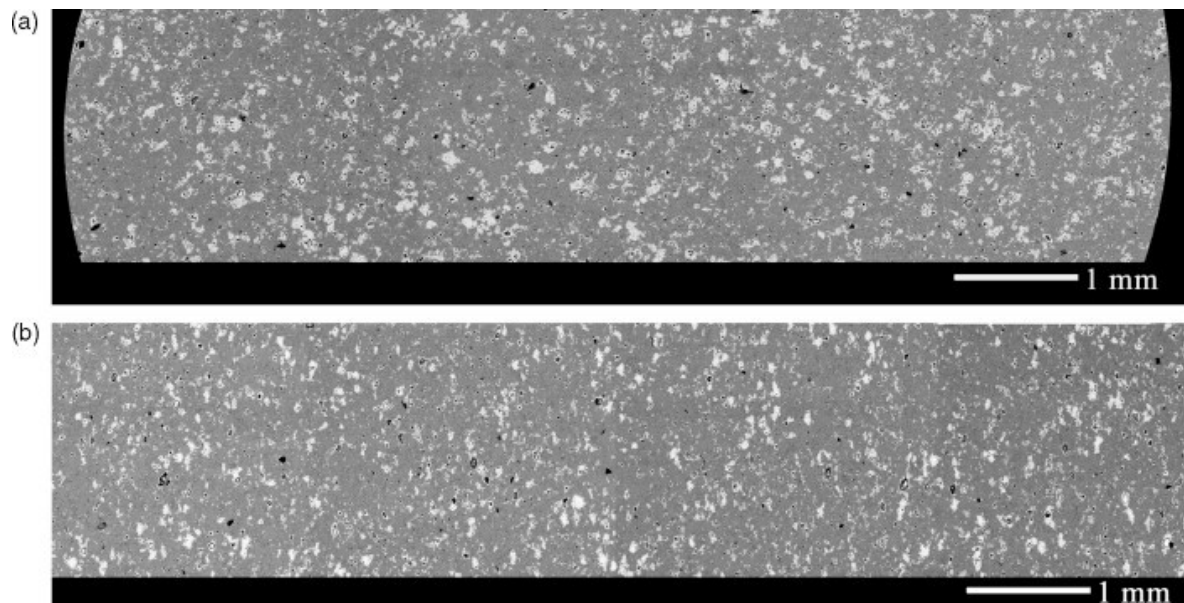
Teplota a vlhkost jsou hlavní parametry, které ovlivňují životnost střeliva během doby skladování. Udržování přiměřené úrovně vlhkosti ve výrobních prostorách a skladech zbraní a střeliva je nezbytné pro zajištění jejich kvality a spolehlivosti. Příliš nízká nebo příliš vysoká vlhkost ve skladovacích nebo výrobních prostorách může způsobit vznik koroze a plísně a způsobit vady střeliva. Udržování správné úrovně relativní vlhkosti 50-60 % ve skladovacích prostorách munice zajišťuje maximální bezpečnou skladovatelnost. Relativní vlhkost nad 60 % by měla být kontrolována pomocí odvlhčovače, protože nadměrná vlhkost může být hlavní příčinou poškození munice. Například dusičnan amonný, střelný prach a pevná paliva jsou extrémně citlivé na vlhkost a jsou zcela neúčinné, pokud jsou skladovány v místech s vysokou vlhkostí. Studie ukázaly, že příliš vysoká úroveň vlhkosti může poškodit střelivo, příliš nízká úroveň vlhkosti může způsobit elektrostatické výboje a teplota vyšší než 25 °C může zesílit degradační reakci určitých součástí uvnitř výbušnin. Pro dosažení optimálních podmínek pro skladování výbušných materiálů je žádoucí udržovat teplotu a relativní vlhkost v určitých mezích, ideálně relativní vlhkost v muničním skladu na 50–60 %, a teplotní úroveň mezi 5 až 25 °C (Carlucci, 2018).

Chao, Zhiqiang a Weichao (2020) ve své studii zkoumali charakteristiky prostředí skladování munice na ostrovech v Západočínském a Jihočínském moři. Sledovali mechanismus environmentálních faktorů ovlivňujících změnu kvality munice, jakými byla vysoká teplota, vlhkost a solné mlhy. Na základě analýzy a výzkumu problémů existujících ve skladech munice v ostrovním prostředí bylo zjištěno, že teplota, vlhkost a koroze solnou mlhou jsou nejdůležitější a přímé příčiny degradace výkonnosti munice v procesu skladování. Z toho důvodu by měl muniční sklad přijmout přiměřená kontrolní opatření podle klimatických charakteristik a vlastních podmínek, přizpůsobit opatření místním podmínkám a zlepšit spolehlivost skladování munice.

4.3 Výzkum týkající se materiálu střel

Banovic (2007) ve své studii hodnotil mikrostrukturu a mechanické chování komerčně dostupných lámavých střel. Projektily byly vyrobeny slisováním smíchaných prášků mědi a cínu do tvaru s následným tepelným zpracováním při nízké teplotě. Mikrostruktura (obrázek 3) byla složena z minoritních fázových shluků (Cu_3Sn , Cu_6Sn_5 a nezreagovaný Sn) heterogenně distribuovaných v měděné matici. V těchto shlucích bylo uzavřeno přibližně 5 % porozity. Těsný statistický rozptyl v měření tvrdosti podle Rockwella ukázal, že nerovnoměrná mikrostruktura materiálu neovlivnila celkové mechanické chování jednotlivých střel.

Irschik et al. (2014) ve své studii pojednává o vlivu úlomků střel zůstávajících v jedlých tkáních lovené vysoké zvěře. V závislosti na velikosti, tvaru a materiálových charakteristikách mohou fragmenty představovat chemické nebo fyzikální nebezpečí. Používání olovnatých střel často vede ke kontaminaci masa úlomky olova různé velikosti nebo „olověným prachem“ a konzumace takového masa přispěje k absorpci olova u lidí. Kromě toho je olovo, usazené v životním prostředí, spojováno s otravou chráněných druhů volně žijících živočichů (dravých ptáků). K dispozici jsou „bezolovnaté“ náboje různého složení a konstrukce. Většina z nich je buď ze slitin mědi, nebo jde o náboje s pláštěm s cínovým jádrem. Bylo prokázáno, že úlomky mědi uložené v mase a vystavené skladování a zpracování masa pravděpodobně nepředstavují pro spotřebitele chemické riziko. Velké úlomky uložené v mase mohou představovat fyzické nebezpečí při požití, ale experimenty naznačují, že jejich význam jako chemické nebezpečí (tj. úlomky uvolňující kov při simulovaném kyselém trávení) pro člověka je malý.



Obrázek 3 Mikrostruktura křehkých střel Cu–Sn, převzato
a upraveno ze zdroje Banovic (2007).

Obrázek ukazuje rozložení pórovitosti (černá) a minoritních fázových shluků (světle šedá) v měděné matrici (tmavě šedá), zobrazeno pomocí elektronového mikroskopu (a) axiální směr, (b) radiální směr.

5 DÍLČÍ ZÁVĚR

V teoretické části práce byl uveden základní právní rámec zbraní a střeliva, kategorie zbraní a jejich podmínky držení, historie a vývoj střeliva. V dalších kapitolách se poté práce zabývá teoretickými vstupy do oblastí fyzikálních aspektů střeliva, pohybem střely, balistikou a vlastnostmi střel, které ovlivňují její pohyb.

Z výše uvedené teoretické analýzy je patrné, že materiál použitý při výrobě střel má významný vliv na rozptyl rychlosti střel. Různé materiály mají odlišné mechanické vlastnosti, které ovlivňují proces výroby a tím i konzistenci výsledných střel. Tyto rozdíly mohou vést k variabilitě v rychlosti střel, což má přímý dopad na přesnost a konzistenci střelby.

Například olověné střely mají tendenci mít konzistentnější rychlosti než ocelové střely, protože olovo je měkčí materiál, který je snáze formovatelný. Naopak ocelové střely mohou mít větší rozptyl rychlosti kvůli jejich pevnější struktuře a náchylnosti k odchyilkám během výrobního procesu. Na druhé straně můžeme použít více prachu, střely mají větší rychlost a plášť střely to vydrží, olověná střela se strhne.

Je tedy důležité brát v úvahu materiál střel při plánování a provádění střelby, zejména při požadavku na vysokou přesnost a konzistenci výkonu zbraně. Dále by mohlo být užitečné provést další experimentální studie zaměřené na přesnější kvantifikaci rozptylu rychlosti střel různých materiálů a na vývoj metod pro minimalizaci těchto rozdílů. Takové studie by mohly vést k vylepšení konstrukce střel a zbraní a k dosažení lepších výsledků v praxi.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 FYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ RYCHLOSTI VYBRANÝCH STŘEL

Cílem praktické části bylo získání vzorků střel pro provedení experimentálního měření jejich rychlostí. Po změření jejich reálných hodnot tyto střely byly laborovány na základě doporučení střelců a tabulek výrobců střeliva. Vyrobene střelivo poté bylo vystřeleno v sériích z vybrané zbraně bez jakýchkoli úprav a jejich rychlost byla zaznamenána na dvou přístrojích pro měření rychlosti projektilů. Hodnoty byly poté porovnány a na základě výsledků měření jsou stanoveny první hypotézy. Na závěr byly porovnány maximální odchylky všech střel s cílem vybrat střelu s nejmenším rozptylem rychlosti.

6.1 Vybraná zbraň

Pro měření rychlosti střel byla vybrána pistole tuzemské výroby od České zbrojovky CZ TS 2 Orange v ráži 9x19. Pistole je vytvořena v souladu s posledními trendy v IPSC divizi Standard a přináší několik inovací. Hlavním prvkem je těžká leštěná hlaveň, která přináší řadu výhod, včetně zvýšené přesnosti a lepší manipulace se zbraní. Závěr je vybaven napínacími drážkami jak na horní, tak na přední části, a hlaveň spolu se závěrem a rámem jsou ručně lícovány, aby se minimalizovaly tolerance a dosáhlo se optimální funkce. Ze zbraně před provedením experimentu bylo vystřeleno zhruba pět tisíc ran, což na „těžkou hlaveň“ je téměř zanedbatelné množství. Naopak můžeme konstatovat, že zbraň je zaběhnutá a všechny funkční části dosedly, jak je požadováno CZ TS 2 ORANGE (2024).



Obrázek 4 CZ TS2 Orange, Zdroj: CZ TS 2 ORANGE (2024).

Tabulka 2 Technická specifikace CZ TS 2 Orange, Zdroj: CZ TS 2 ORANGE (2024)

Celkové rozměry v x š x d (mm)	225 × 45 × 152
Délka hlavně (mm)	130
Hmotnost s prázdným zásobníkem (g)	1350
Ráže	9x19
Kapacita zásobníku (9x19)	20 ran
Materiál rámu	ocel
Odpor SA spouště (N)	8

6.2 Měřicí přístroje

Pro potřeby měření rychlosti projektilů byly zajištěny dva radarové měřiče rychlosti projektilů. Jsou to zařízení, která využívají princip radaru k detekci a měření rychlosti pohybujících se objektů, jako jsou např. střely. Tyto měřiče fungují tak, že vysílají rádiové signály (radarové pulsy) směrem k pohybujícímu se objektu a pak měří časový úsek, než

se signál odrazí od objektu a vrátí zpět k radaru. Na základě změny frekvence signálu mezi vyslaným a přijatým signálem lze vypočítat rychlost pohybujícího se objektu pomocí Dopplerova jevu.

6.2.1 Labradar

Labradar je přístroj pro získávání rychlosti střel z pušek, brokovnic (pouze broky), pistolí, vzduchových pistolí, luků, kuší a paintballových zbraní. Přístroj měří na základě Dopplerova jevu, což je nejpřesnější metoda měření rychlosti, která je k dispozici. Jeho přesnost není závislá na světelných podmínkách nebo na tom, zda je přesně paralelní s fotoelektrickými senzory, což by mohlo vést k falešným čtením. Má spoustu funkcí, ale jako největší výhodu zde vidím možnost vytváření nových sérií měření a jejich zaznamenávání, okamžitého výpočtu průměrné rychlosti a zobrazení maximálního rozptylu výstřelů Labradar – Personal Velocity Radar (2022).

Tabulka 3 Technická specifikace převzato a upraveno ze zdroje Labradar – Personal Velocity Radar (2022).

Popis funkce	Specifikace
Požadavek na napájení	6 AA baterií nebo napájení USB, 800 mA
Frekvenční rozsah	24,080 až 24,168 GHz, kroky kanálu 8 MHz
Minimální čas mezi střelami	2 sekundy
Rozsah rychlosti	17 – 1189 m/s
Přesnost	$\pm 0,1\%$ (± 1 m/s při 1 000 m/s)
Rozměry a hmotnost	290 mm x 260 mm x 60 mm, 592,6 g



Obrázek 5 Labrador na stativu Zdroj: Labrador – Personal Velocity Radar (2022)

6.2.2 Garmin Xero C1 Pro

Garmin Xero C1 Pro Chronograf je kapesní chronograf, který dokáže měřit rychlost projektilu od 30 do 1524 metrů za sekundu. Měření je založeno na Dopplerově jevu. Přístroj je doplněn ovládacím tlačítkem a intuitivním uživatelským rozhraním, které usnadňuje čas strávený na střelnici. Lze ho propojit s chytrým telefonem aplikací ShotView. Za obrovskou výhodu a posun oproti Labradoru můžeme považovat rozměry a váhu (161 g) a také již zmiňované propojení s telefonem, kde si uložená data může střelec uchovávat pro pozdější použití a přehled Xero® C1 Pro Chronograph (2024).

Tabulka 4 Technická specifikace, převzato a upraveno ze zdroje Xero® C1 Pro Chronograph (2024)

Popis funkce	Specifikace
Požadavek na napájení	integrována lithium-iontová baterie, USB-C
Frekvenční rozsah	2,4 GHz při 4,04 dBm maximu a 24 GHz při 18,68 dBm maximu antény
Minimální čas mezi střelami	výrobce neudává
Rozsah rychlosti	30 – 1524 m/s
Přesnost pro pistoli	± 0,4 %
Rozměry a hmotnost	130 mm x 115 mm x 138,5 mm, 161 g se stativem



Obrázek 6 Garmin Xero C1 Pro, Zdroj: Xero® C1 Pro Chronograph (2024)

6.2.3 Váhy střelného prachu

Pro vážení střel a dávek střelného prachu byla použita digitální váha značky Frankford Arsenal Platinum Series. Váha nabízí vysokou přesnost vážení.

Tabulka 5 Technická specifikace, převzato a upraveno ze zdroje Přebíjení STROBL.CZ (2024)

Popis funkce	Specifikace
Požadavek na napájení	220 V adaptérem nebo čtyřmi bateriemi typu AA
Přesnost	0,1 grainů
Maximální zatížení	1500 grainů (97 gramů)
Rozměry a hmotnost	121 mm x 51 mm x 142 mm, 400 g



Obrázek 7 Váha Arsenal Platinum Series, Zdroj: Přebíjení STROBL.CZ

7 VÝBĚR MATERIÁLU

V této kapitole jsou popsány vzorky, které pro tuto práci byly shromážděny. V rámci objektivitu a také výrobního tajemství jsou vzorky označeny pouze čísly. Pod vyobrazením daného vzorku střely jsou údaje od výrobce, pokud takové údaje byly dostupné, a také údaje či hodnoty, které byly naměřeny vlastním měřením či vážením.

7.1 Vzorky olověných střel

Střela 1



Obrázek 8 Olověná střela 1, Zdroj: vlastní

Kalibrovaná olověná střela s povrchovou úpravou. Střely jsou potažené barvou na olovo.

Tabulka 6 Rozměry a váha střely 1, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,099	8,125
Průměr (mm)	9	9,05
Délka (mm)	-	15,77
Povrchová úprava	Barva	Barva

Střela 2



Obrázek 9 Olověná střela 2, Zdroj: vlastní

Litá olověná střela v poměru 10 % antimon, 2 % cín z kokily Lee TL-356-124-2R, kalibrovaná. Střela je pokryta práškovou barvou – vypalovací.

Tabulka 7 Rozměry a váha střely 2, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,099	8,262
Průměr (mm)	9	9,09
Délka (mm)	-	15,22
Povrchová úprava	Prášková barva	Prášková barva

Střela 3



Obrázek 10 Olověná střela 3, Zdroj: vlastní

Kalibrovaná olověná střela odlévaná v malých sériích. Povrchová úprava PTFE.

Tabulka 8 Rozměry a váha střely 3, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,099	8,236
Průměr (mm)	9	9,12
Délka (mm)	-	14,5
Povrchová úprava	PTFE (Polytetrafluorethylen)	PTFE (Polytetrafluorethylen)

Střela 4



Obrázek 11 Olověná střela 4, Zdroj: vlastní

Kalibrované olověné střely s mazivem naneseným v drážce.

Tabulka 9 Rozměry a váha střely 4, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,035	8,003
Průměr (mm)	9	9,05
Délka (mm)	-	14,2
Povrchová úprava	Bez povrchové úpravy	Bez povrchové úpravy

7.2 Vzorčky plášťových střel

Střela 5



Obrázek 12 Plášťová střela 5, Zdroj: vlastní

Olovené jádro je pokovené pomocí procesu galvanizace čistým elektrolytickým měděným pokovením. Poté jsou střely kalibrovány na požadovaný průměr.

Tabulka 10 Rozměry a váha střely 5, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	7,970	8,003
Průměr (mm)	9	9,06
Délka (mm)	-	14,83
Povrchová úprava	Poměděné	Poměděné

Střela 6



Obrázek 13 Plášťová střela 6, Zdroj: vlastní

Střela se skládá z olověného jádra a mosazného pláště CuZn30 non-magnetic.

Tabulka 11 Rozměry a váha střely 6, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,035	8,055
Průměr (mm)	9,02	9,03
Délka (mm)	-	15,66
Povrchová úprava	Cu Zn 30 non-magnetic	Cu Zn 30 non-magnetic

Střela 7



Obrázek 14 Plášťová střela 7, Zdroj: vlastní

Celoplášťová střela (Full Metal Jacket). Olovené jádro je překryto kovovým pláštěm Cu Zn 30 a měděným krycím kroužkem, zabraňujícím uvolňování zplodin z čela oloveného jádra do ovzduší při výstřelu. Označení takového náboje je NON TOX.

Tabulka 12 Rozměry a váha střely 7, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,035	7,951
Průměr (mm)	9	9,03
Délka (mm)	-	15,15
Povrchová úprava	TFMJ Cu Zn 30	TFMJ Cu Zn 30

Střela 8



Obrázek 15 Plášťová střela 8, Zdroj: vlastní

Celoplášťová střela (Full Metal Jacket). Olověné jádro je překryto kovovým pláštěm Cu Ni a měděným krycím kroužkem, zabraňujícím uvolňování zplodin z čela olověného jádra do ovzduší při výstřelu. Označení takového náboje je NON TOX.

Tabulka 13 Rozměry a váha střely 8, Zdroj: vlastní

	Udávané výrobcem	Naměřené
Váha (g)	8,035	7,990
Průměr (mm)	9	9,02
Délka (mm)	-	15,2
Povrchová úprava	TFMJ Cu Ni	TFMJ Cu Ni

8 PŘÍPRAVA STŘELIVA

Při výrobě střeliva se klíčovým rozhodnutím stalo stanovení správného množství střelného prachu pro každý náboj. S ohledem na použití osmi různých typů střel se nabízely dvě možnosti: buď vytvořit specifickou laboraci pro každou střelu individuálně, nebo použít stejnou pro všechny. S ohledem na to, že hlavním cílem je zkoumat rozptyl rychlostí, byla vybrána stejná laborace pro všechny typy střel i při vědomí, že střely nebudou dosahovat požadovaných rychlostí, které by případně splňovaly hodnotu pro výpočet PF (power factor), který je stanovený pravidly IPSC pro jednotlivé divize. Minimálním PF se v tomto sportu zabezpečuje objektivita a hlavně bezpečnost při použití střelných zbraní.

Pro experiment bylo vyrobeno 10 ks nábojů od každého typu střely. Byly použity nábojnice Sellier&Bellot 9 mm Luger, do kterých byla zalisována zápalka Fioocchi 4.4 SP. Dále po konzultaci se zkušenými střelci a výrobcí vlastních nábojů bylo rozhodnuto použít 0,246 g střelného prachu od výrobce Reload Swiss, a to konkrétně typ RS12. V současnosti se jedná o nejrychlejší prach, který Reload-Swiss nabízí. Střelný prach RS12 je vhodný pro množství pistolových a menších revolverových ráží. Zejména vhodný je RS12 tam, kde RS20 nestihne úplně vyhořet. Celková délka náboje byla stanovena na 29 mm, maximální OAL (The overall length) pro 9 mm Luger je 29,69 mm, tudíž je zde stále dostatečná rezerva. Vlastními prostředky bylo vyrobeno 80 kusů testovaných nábojů na přebíjecím lisu Dillon 650 XL. Tyto přebíjecí lisy firma Dillon již nevyrábí, pro experiment je ale zcela vhodný, nabízí možnosti nastavení používaných nástrojů v krátkém čase a v souvislosti s tímto experimentem se tato funkce stala výhodou, která zkracovala čas výroby jednotlivých sérií nábojů o značné množství.



Obrázek 16 Testované náboje s usazenými střelami, Zdroj: vlastní

9 MĚŘENÍ RYCHLOSTI – VÝSLEDKY

Pro vlastní provedení měření byla vybrána veřejná střelnice u Olomouce. Tato střelnice byla vybrána záměrně z několika důvodů. Střelnice disponuje pěti palebnými postaveními, umožňujícími střelbu na vzdálenost až 50 metrů. Je navržena tak, aby byla vhodná pro střelbu z dlouhých i krátkých zbraní jak staticky, tak i za pohybu, a její střeliště není rozměrově velké. Pro měření byla zarezervována celá střelnice z toho důvodu, aby výstřely z ostatních kójí nenarušovaly probíhající měření. Střelbu na této střelnici můžete vést pouze za dohledu správce střelnice, který je přítomný pouze po dohodě s majitelem střelnice, a po předchozí rezervaci na daný den a čas. Tím byly dodrženy všechny zákonné podmínky pro provedení měření a vlastní střelby. Měření bylo provedeno 13. 3. 2024 od 14:00 hod. do 16:00 hod. Teplota vzduchu se pohybovala kolem 11,5°C, vítr byl západní o rychlosti 8 km/h, vlhkost 72 % a tlak vzduchu byl 1016 hPa, beze srážek. Měřicí přístroje byly umístěny podle návodu výrobců. Podmínky pro měření byly vhodné po celou dobu experimentu.

9.1 Zpracování získaných hodnot

V následující podkapitole jsou uvedeny výsledky experimentu, který se zaměřil na měření rychlosti střel.

Tabulka 14 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní

Střela 1	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V₁	326,4	325,8
V₂	325,1	324,4
V₃	323,0	324,2
V₄	324,8	325,5
V₅	323,6	323,5
V₆	323,9	323,6
V₇	326,4	326,2
V₈	323,6	324,2
V₉	319,6	320,0
V₁₀	317,5	317,9
Průměr	323,4	323,5
Směrodatná odchylka	1,8	1,7

Tabulka 15 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní

Střela 2	Labrador (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	327,0	328,0
V ₂	323,6	324,4
V ₃	318,7	318,4
V ₄	315,1	314,9
V ₅	324,5	325,5
V ₆	320,9	321,3
V ₇	318,7	318,7
V ₈	315,4	315,4
V ₉	325,7	325,9
V ₁₀	320,9	322,0
Průměr	321,0	321,4
Směrodatná odchylka	3,0	3,4

Tabulka 16 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní

Střela 3	Labrador (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	313,8	313,7
V ₂	316,6	316,3
V ₃	319,6	319,4
V ₄	311,7	311,5
V ₅	313,5	313,0
V ₆	324,8	324,8
V ₇	317,8	315,4
V ₈	321,8	321,0
V ₉	317,2	316,4
V ₁₀	316,0	315,4
Průměr	317,3	316,7
Směrodatná odchylka	2,7	2,8

Tabulka 17 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní

Střela 4	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	307,7	307,5
V ₂	306,8	306,7
V ₃	306,5	307,0
V ₄	307,4	308,4
V ₅	309,3	308,6
V ₆	308,1	308,4
V ₇	308,4	308,6
V ₈	310,5	310,3
V ₉	311,7	313,5
V ₁₀	318,7	317,3
Průměr	309,5	309,6
Směrodatná odchylka	2,3	2,2

Tabulky 14–17 zobrazují hodnoty naměřené u střel vyrobených z olova. Směrodatná odchylka naměřená Labradarem se pohybuje od 1,8 do 3,0 u čtyř vzorků olověných střel. U přístroje Garmin je odchylka 1,7 – 3,4. Je možné pozorovat odchylku v měření obou přístrojů v řádech desetin jednotek m/s, což je pro naše měření zanedbatelný rozdíl. Nicméně rozdíl mezi hodnotami obou přístrojů nabádá daný jev hlouběji prozkoumat. U olověných střel ráže 9 mm s odchylnou v průměru (0,05 – 0,12 mm) se nejmenší rozdíl v rychlostech pohybuje u střely s povrchovou úpravou barva a použité technologii povlakování. Lze tedy na základě získaných dat u vzorků olověných střel pomocí indukce vyvodit hypotézu: Barvení povlakováním zlepšuje povrchové vlastnosti střely, ta nabývá na průměru a lépe vytěsňuje hlaveň zbraně, čím stabilizuje rozptyl rychlosti střel. Tuto hypotézu však bude nutné v budoucnu ověřit.

Tabulka 18 Naměřené hodnoty pláštěvá střela, Zdroj: vlastní

Střela 5	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	284,3	282,1
V ₂	291,6	290,5
V ₃	281,8	281,4
V ₄	288,2	290,5
V ₅	284,3	283,0
V ₆	282,4	281,5
V ₇	283,7	283,0
V ₈	285,8	285,6
V ₉	282,7	282,8
V ₁₀	280,0	281,7
Průměr	284,5	284,2
Směrodatná odchylka	2,2	2,5

Tabulka 19 Naměřené hodnoty pláštěvá střela, Zdroj: vlastní

Střela 6	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	287,9	285,7
V ₂	291,9	291,3
V ₃	285,5	285,1
V ₄	297,7	297,0
V ₅	293,1	291,3
V ₆	281,8	281,7
V ₇	285,2	285,1
V ₈	286,4	287,6
V ₉	285,8	288,0
V ₁₀	293,1	293,0
Průměr	288,8	288,6
Směrodatná odchylka	3,7	3,3

Tabulka 20 Naměřené hodnoty pláštěvá střela, Zdroj: vlastní

Střela 7	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	281,2	281,7
V ₂	280,0	279,7
V ₃	282,4	282,2
V ₄	284,3	285,3
V ₅	282,1	282,8
V ₆	279,7	279,1
V ₇	281,2	280,9
V ₈	281,8	281,5
V ₉	284,3	284,8
V ₁₀	280,9	281,9
Průměr	281,8	282,0
Směrodatná odchylka	1,1	1,3

Tabulka 21 Naměřené hodnoty pláštěvá střela, Zdroj: vlastní

Střela 8	Labradar (m/s)	Garmin (m/s)
V ₁	305,0	303,3
V ₂	312,0	309,9
V ₃	314,2	313,7
V ₄	306,8	307,5
V ₅	309,3	308,8
V ₆	311,4	312,2
V ₇	311,1	311,4
V ₈	312,0	313,3
V ₉	313,8	313,6
V ₁₀	314,5	314,2
Průměr	311,0	310,8
Směrodatná odchylka	2,2	2,5

Tabulky 18–21 zobrazují hodnoty naměřené u střel s pláštěm. Směrodatná odchylka naměřená Labradarem se pohybuje od 1,1 do 3,7 u 4 vzorků plášťových střel a u přístroje Garmin je odchylka 1,3 – 3,3. Z těchto výsledků je možné stanovit výsledek. Nejkonstantnější rychlost střely je naměřena u střely vyrobené s pláštěm Cu Zn 30. Měděno-zinkové slitiny mají několik výhod, které je činí atraktivními pro výrobu střeliva. Jsou odolné a mají dobrou odolnost proti korozi, což znamená, že střely vyrobené z těchto slitin mohou zůstat dlouho stabilní a spolehlivé. Navíc mají tyto slitiny dostatečnou pevnost a tvrdost, což je důležité pro účinnou funkci střeliva.

Z hodnot naměřených u plášťových střel lze stanovit hypotézu. Tvrdost pláště střely je nositelem nižší deformace povrchu střely při výstřelu a pohybu hlavní a garantuje nejnižší rozptyl rychlosti.

10 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V níže uvedených tabulkách je souhrn naměřených sledovaných hodnot všech vzorků střel, které byly pro experiment použity. V tabulkách 22 a 23 jsou uvedeny hodnoty naměřené oběma přístroji pro dané vzorky a aritmetický průměr bylo následně možné použít k vypočtení dílčích odchylek jednotlivých měření rychlosti. Směrodatné odchylky se rovnaly absolutní hodnotě rozdílu naměřené rychlosti V_{1-10} a průměrné rychlosti.

Tabulka 22 Výsledky měření na zařízení Labrador, Zdroj: vlastní

	Průměrná rychlost (m/s)	Směrodatná odchylka
Střela 1	323,4	1,8
Střela 2	321,0	3,0
Střela 3	317,3	2,7
Střela 4	309,5	2,3
Střela 5	284,5	2,2
Střela 6	288,8	3,7
Střela 7	281,8	1,1
Střela 8	311,0	2,2

Tabulka 23 Výsledky měření na zařízení Garmin Xero C1 Pro, Zdroj: vlastní

	Průměrná rychlost (m/s)	Směrodatná odchylka
Střela 1	323,5	1,7
Střela 2	321,4	3,4
Střela 3	316,7	2,8
Střela 4	309,6	2,2
Střela 5	284,2	2,5
Střela 6	288,6	3,3
Střela 7	282,0	1,3
Střela 8	310,8	2,5

Ze získaných dat vyplývá, že stejně laborované střely létají rozdílnými rychlostmi, a to s ohledem na materiál, ze kterého jsou střely vyrobeny, ale i v závislosti na průměru, na který jsou kalibrovány. Na základě komparace údajů o průměrné rychlosti střel a směrodatné odchylky lze vyvodit, že olověná střela létá větší rychlostí než střela plášťová a nejlepší letové vlastnosti a nejnižší disperzi mezi výstřely má celoplášťová střela (TFMJ) vyrobená z pláště Cu Zn 30.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá vlivem materiálu střely na konstantnost rychlosti střel. Na základě výsledků lze stanovit resumé, že materiál střely ovlivňuje letové vlastnosti střel, a to konkrétně rychlost. Rozdíly mezi používanými materiály jsou v této práci zdokumentovány. Závěry jsou následující:

Na základě statistické analýzy a srovnání rychlostí při experimentu byl vyvozen závěr o vlivu tvrdosti pláště střely na konstantnost rychlosti střely. Tvrdost pláště střely je klíčový faktor pro minimalizaci deformace povrchu střely při střelbě a pohybu v hlavni. To zaručuje konzistentní a přesnou střelbu s minimálním rozptylem rychlostí.

Barvení povlakováním má potenciál zlepšit povrchové vlastnosti střely, což může vést k nárůstu jejího průměru a lepšímu těsnění v hlavni zbraně. To by mohlo stabilizovat rozptyl rychlosti střelby. Nicméně tato hypotéza vyžaduje další ověření v budoucnosti.

Nepodařilo se najít žádnou existující vědeckou práci, která by se komplexně zabývala touto specifickou oblastí. Proto je tato práce považována za původní a s vysokým stupněm originality. Práce přináší soubor poznatků, které je třeba v dalším období podrobit teoretickému ověření a experimentálnímu potvrzení.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout, připravit a provést experiment balistického měření k určení vlivu materiálu střely na rozptyl rychlosti střel. Cíl práce byl splněn za vynaložení vlastních prostředků a přístrojů k vlastnímu měření. Pro konečné potvrzení závěrů této práce je nutné provést komplexnější studie.

V této práci byla uplatněna primárně vědecká metoda zkoumání, konkrétně metoda experimentu. Vlastními prostředky byl stanoven zkušební vzorek, sestávající z osmi vzorků střel. U čtyř olověných a čtyř vzorků plášťových střel byly zaznamenány skutečné parametry pro porovnání s parametry výrobců a tyto vzorky poté byly shodně laborovány ve střelivo pro pozdější použití.

Experiment měření proběhl na venkovní střelnici v zaznamenaných klimatických podmínkách a připravené vzorky střel byly vystřeleny v sériích po deseti ranách. Rychlosti všech měřených vzorků byly získány pomocí dvou nezávisle na sobě měřících přístrojů. Výsledky byly zdokumentovány a následně vyhodnoceny. Zajímavým zjištěním bylo, že střely bez ohledu na podobnou váhu $\pm 0,31\text{g}$ létaly podobnou rychlostí s ohledem na materiál, ze kterého byly střely vyrobeny. Tzn., že olověné střely létaly podobnou

rychlostí jako plášťové střely, které byly v řádech desetin m/s sice nižší, ale také podobné. Dalším zajímavým jevem při měření rychlostí byl rozdíl v naměřených rychlostech obou přístrojů, kdy vykazovaly po celou dobu rozdíl v naměřených hodnotách. Toto zjištění nabádá k hlubšímu prozkoumání a snaze výsledky verifikovat, i když jsou výsledky v toleranci chybovosti obou přístrojů. Nejkonstantnější rychlost střely je naměřena u střely vyrobené s pláštěm Cu Zn 30 a největší rozptyl rychlosti střel byl zaznamenán u olověných střel vyrobených v malých sériích s běžně dostupnou povrchovou úpravou.

Poznatky této práce jsou využitelné jak pro znalce v oboru balistiky, tak pro sportovní střelce, kteří si vyrábějí závodní munici sami a snaží se nastavit parametry nábojů tak, aby splňovali požadovaný výkon střel stanovený střeleckou disciplínou a zároveň optimalizovali chování zbraně při výstřelu a aby jim oba tyto faktory poté zabezpečily bezpečný průběh závodu se snahou o co nejlepší výsledek.

Zkoumaná oblast je velice široká a pro jednoho vědce s možnostmi, které závisejí na jeho schopnostech zabezpečit věcně daný experiment, se daná oblast může stát jeho celoživotním dílem. Proto by bylo vhodné experiment rozložit na menší části a sledovat letové vlastnosti vzorků pouze vybrané střely.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BANOVIC, S. W. Microstructural characterization and mechanical behavior of Cu–Sn frangible bullets. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2007, Vol. 460-461, s. 428-435. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509307001967>. [Citováno 2024-04-02].

BARNES, Frank C. *Cartridges of the World*. 16th ed. WI: Krause Publication, 2019. ISBN 978-1-9462-6773-3.

BERGMAN, Yoel. Paul Vieille, Cordite & Ballistite. *Icon* [online]. 2009, s. 40-60.

Dostupné z:

https://www.researchgate.net/publication/374998435_PAUL_VIEILLE_CORDITE_BALLISTITE. [Citováno 2024-04-02].

BREEZE, John; PENN-BARWELL, Jowan G.; KEENE, Damian; O'REILLY, David; JEYANATHAN, Jeyasankar; MAHONEY, Peter F. *Firearms and Bullets*. In: *Ballistic Trauma: A Practical Guide*, 2017. ISBN 9783319613642.

BUCKMORE JR, Alvah. *The Science of Small Arms Ballistics*. CRC Press, 2018. ISBN 978-1-77188-650-5.

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

CARLUCCI, Donald E. *Ballistics: theory and design of guns and ammunition*. Third Edition. CRC Press, 2018. ISBN 978-1-138-05531-5.

COFFMAN, Vonda. *The Story of William F. Stancil, a Private in the 14th Georgia Volunteer Infantry*. Lulu.com, 2018. ISBN 978-1-387-92571-1.

CURLEY, Robert; MCKENNA, Amy (ed.). *The 100 most influential inventors of all time*. The Rosen Publishing Group, 2010. ISBN 978-1-61530-042-6.

CZ TS 2 ORANGE. 2024. [online]. Prodej zbraní. Dostupné z: https://www.prodej-zbrani.cz/pistole/competition/CZTS2ORANGE__s438x7946p.html. [Citováno 2024-03-31].

DE CARPENTIER, Giliam JP. Analytical ballistic trajectories with approximately linear drag. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014, Vol. 2014, s. 1-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2014/463489>. [Citováno 2024-04-02].

FLATNES, Oyvind. *From musket to metallic cartridge: A practical history of black powder firearms*. Crowood, 2013. ISBN 978-1-84797-594-2.

Frankford Arsenal Digitální váha Platinum Series. 2024. [online]. Přebíjení STROBL.CZ - Přebíjení nábojů, střelba, lov, myslivost. Dostupné z: https://www.strobl.cz/frankford-arsenal-digitalni-vaha-platinum-series_p7163. [Citováno 2024-04-02].

GOODIER, John. *Firearms: An Illustrated History: The Definitive Visual Guide*. Reference Reviews, 2015. ISBN 978-1-4093-4797-2.

HAAG, Lucien C. Base Deformation of Full Metal-Jacketed Rifle Bullets as a Measure of Impact Velocity and Range of Fire. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology* [online]. 2015, Vol. 36, Issue 1, s. 16-22. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25594572/>. [Citováno 2024-04-02].

HATCHER, Julian S. *Textbook of pistols and revolvers: Their ammunition, ballistics and use*. Simon and Schuster, 2015. ISBN 978-1-62914-519-8.

HAZELL, Paul. *The Story of the Gun: History, Science, and Impact on Society*. Springer International Publishing, 2021. ISBN 978-3-030-73651-4.

HEARD, Brian J. *Handbook of firearms and ballistics: examining and interpreting forensic evidence*. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-0-470-69460-2.

HOWARD, Michael C. *Transnationalism in ancient and medieval societies: the role of cross-border trade and travel*. McFarland, 2014. ISBN 978-0-7864-6803-4.

CHAO, Song; ZHIQIANG, Li; WEICHAO, Si. Influencing Factors Analysis of Ammunition Storage in Reef Environment and Countermeasures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. IOP Publishing, 2020. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/510/5/052022/meta>. [Citováno 2024-03-31].

IRSCHIK, Iris; WANEK, C.; BAUER, F.; SAGR, M. Composition of bullets used for hunting and food safety considerations. *Trends in game meat hygiene: from forest to fork* [online]. 2014, s. 283-289. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/publication/284221845_Composition_of_bullets_used_for_hunting_and_food_safety_considerations. [Citováno 2024-03-31].

KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. 2. vydání. Praha: Naše vojsko, 2022. ISBN 978-80-206-1398-1.

KUSÁK, Jan. *Základy konstrukce munice I. (ZKM I.): licenční studium*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-123-8.

Labradar - Personal Velocity Radar. 2022. [online]. The Chronograph Era Is Over. Dostupné z: <https://mylabradar.com/labradar/>. [Citováno 2024-03-31].

LUSHETICH, Natasha. *Big Data-A New Medium?*. Routledge, 2020. ISBN 978-0-367-33383-6.

MASSARO, Philip P. *The ABC's of Reloading*. 10th Edition. S.I.: Gun Digest Books, 2021. ISBN 978-1-951115-527-2.

MASSARO, Philip. *Understanding Ballistics: Complete Guide to Bullet Selection*. Gun Digest Books, 2015. ISBN 978-1440243363.

PLÍHAL, Bohumil; BEER, Stanislav; KOMENDA, Jan; JEDLIČKA, Luděk a KUDA, Bohuslav. *Balistika*. 3. doplněné vydání. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2020. ISBN 978-80-7582-330-4.

ROSENBERG, Zvi; DEKEL, Erez. *Terminal ballistics*. Berlin: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-25305-8.

SATTERFIELD, Hammond. *Hand Guns, Concealed Carry, Gun Laws, Other Concerns, and Things You Should Know*. Third edition. IUniverse, 2013. ISBN 978-1-4759-8694-5.

SHAH, Nisha. Gunning for war: Infantry rifles and the calibration of lethal force. *Critical Studies on Security* [online]. 09. Jun. 2017, Vol. 5, Issue 1, s. 81-104. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21624887.2017.1330600>. [Citováno 2024-03-31].

SCHLICHTING, Daniela, et al. Copper and zinc content in wild game shot with lead or non-lead ammunition—implications for consumer health protection. *PLoS One* [online]. 21. September 2017, Vol. 12, Issue 9. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28934259/>. [Citováno 2024-03-31].

SPENCER, Dan, et al. *Journal of Medieval Military History*. Boydell & Brewer, 2015. ISBN 978-1-78327-057-6.

WALLACE, James Smyth. *Chemical analysis of firearms, ammunition, and gunshot residue*. CRC Press, 2018. ISBN 978-1498761543.

WEE, Loo Kang, et al. Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education* [online]. 2012, Vol. 47, Issue 4, s. 448. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/47/4/448>. [Citováno 2024-03-31].

Xero® CI Pro Chronograph. 2024. [online]. Garmin. Dostupné z: <https://www.garmin.com/en-US/p/771164>. [Citováno 2024-03-31].

Zbraně podléhající zákonu o zbraních a podmínky jejich nabytí a držení. 2021. [online]. Ministerstvo vnitra České republiky. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/zbrane-podlehajici-zakonu-o-zbranich-a-podminky-jejich-nabyvani-a-drzeni.aspx>. [Citováno 2024-01-28].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BC	Balistic Coefficient
CZ team	Czech Team
FMJ	Full Metal Jacket
HTV	Heat Transfer Vinyl
IPSC	International Practical Shooting Confederation
JHP	Jacketed Hollow Point
NON TOX	Non Toxic
OAL	The Overall Length
PF	Power Factor
PTFE	Polytetrafluorethylen
RS	Reload Swiss
SP	Small Pistol
TFMJ	Total Full Metal Jacket
TS	Tactical Sport

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vztah mezi rozměry vývrtu hlavně a střely, převzato a upraveno ze zdroje Kusák (2008, s. 7)	28
Obrázek 2 Konstrukce střely, Zdroj: Caras (1995, s. 15).	32
Obrázek 3 Mikrostruktura křehkých střel Cu–Sn, převzato a upraveno ze zdroje Banovic (2007).	35
Obrázek 4 CZ TS2 Orange, Zdroj: CZ TS 2 ORANGE (2024).	39
Obrázek 5 Labrador na stativu Zdroj: Labrador – Personal Velocity Radar (2022).....	41
Obrázek 6 Garmin Xero C1 Pro, Zdroj: Xero® C1 Pro Chronograph (2024)	42
Obrázek 7 Váha Arsenal Platinum Series, Zdroj: Přebíjení STROBL.CZ.....	43
Obrázek 8 Olověná střela 1, Zdroj: vlastní	44
Obrázek 9 Olověná střela 2, Zdroj: vlastní	45
Obrázek 10 Olověná střela 3, Zdroj: vlastní	46
Obrázek 11 Olověná střela 4, Zdroj: vlastní	47
Obrázek 12 Plášťová střela 5, Zdroj: vlastní	48
Obrázek 13 Plášťová střela 6, Zdroj: vlastní	49
Obrázek 14 Plášťová střela 7, Zdroj: vlastní	50
Obrázek 15 Plášťová střela 8, Zdroj: vlastní	51
Obrázek 16 Testované náboje s usazenými střelami, Zdroj: vlastní.....	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Materiály pro výrobu střel a jejich hustota, Zdroj: Kneubuehl (2022).....	32
Tabulka 2 Technická specifikace CZ TS 2 Orange, Zdroj: CZ TS 2 ORANGE (2024)	39
Tabulka 3 Technická specifikace převzato a upraveno ze zdroje Labrador – Personal Velocity Radar (2022).	40
Tabulka 4 Technická specifikace, převzato a upraveno ze zdroje Xero® C1 Pro Chronograph (2024).....	42
Tabulka 5 Technická specifikace, převzato a upraveno ze zdroje Přebíjení STROBL.CZ (2024).....	43
Tabulka 6 Rozměry a váha střely 1, Zdroj: vlastní.....	44
Tabulka 7 Rozměry a váha střely 2, Zdroj: vlastní.....	45
Tabulka 8 Rozměry a váha střely 3, Zdroj: vlastní.....	46
Tabulka 9 Rozměry a váha střely 4, Zdroj: vlastní.....	47
Tabulka 10 Rozměry a váha střely 5, Zdroj: vlastní.....	48
Tabulka 11 Rozměry a váha střely 6, Zdroj: vlastní.....	49
Tabulka 12 Rozměry a váha střely 7, Zdroj: vlastní.....	50
Tabulka 13 Rozměry a váha střely 8, Zdroj: vlastní.....	51
Tabulka 14 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní.....	53
Tabulka 15 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní.....	54
Tabulka 16 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní.....	54
Tabulka 17 Naměřené hodnoty olověná střela, Zdroj: vlastní.....	55
Tabulka 18 Naměřené hodnoty plášťová střela, Zdroj: vlastní	56
Tabulka 19 Naměřené hodnoty plášťová střela, Zdroj: vlastní	56
Tabulka 20 Naměřené hodnoty plášťová střela, Zdroj: vlastní	57
Tabulka 21 Naměřené hodnoty plášťová střela, Zdroj: vlastní	57
Tabulka 22 Výsledky měření na zařízení Labrador, Zdroj: vlastní	59
Tabulka 23 Výsledky měření na zařízení Garmin Xero C1 Pro, Zdroj: vlastní	59