

Policejní akademie České republiky v Praze

Fakulta bezpečnostně právní

Katedra profesní přípravy

Vlivy optických jevů ve vnější balistice

**Effects of optical phenomena in external
ballistics**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Mgr. Michal Ninger

Autor práce:

Jan Mařík

Praha 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury

V Praze dne 10. 03. 2023

.....

Jan Mařík

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem optických jevů v balistice střelných zbraní. V úvodní kapitole práce je popsán zbraňový systém a jeho hlavní části. Dále jsou v této části střelné zbraně i střelivo rozděleny do jednotlivých kategorií. V následující kapitole se práce věnuje balistice střelby na dlouhé vzdálenosti, dělení balistiky a stabilizaci střel za letu. Hlavní kapitolou celé bakalářské práce jsou optické jevy a popis jednotlivých částí těchto pozoruhodných jevů, mezi které patří mimo jiné refrakce, mirage a index lomu světla. Je zde uvedeno také použití v praxi a doporučení, jak těmto optickým vlivům alespoň částečně předejít. Poslední kapitola této práce se věnuje povětrnostním vlivům, které mají dopad na dráhu letu střely.

Klíčová slova

Balistika, mirage, index lomu světla, optika, refrakce, stabilizace střel, střelivo, zbraně

Annotation

This bachelor's thesis deals with the influence of optical phenomena in the ballistics of firearms. In the introductory chapter of the thesis, the weapon system and its main parts are described. Furthermore firearms and ammunition shall be divided into individual categories. In the following chapter, the thesis deals with the ballistics of shooting at long distances, dividing ballistics and stabilization of missiles in flight. The main chapter of the entire bachelor's thesis is optical phenomena and the description of individual parts of these remarkable phenomena, which include refraction, mirage, and index of refraction of light, among other topics. Practical use and recommendations are also presented here, specifically how to at least partially prevent these optical effects. The last chapter of this work is devoted to weather effects that have an impact on the flight path of the projectile.

Keywords

Ammunition, ballistics, firearms, index of refraction of light, mirage, optics, refraction, stabilization of missiles

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Mgr. Michalovi Ningerovi za odborné konzultace a rady v průběhu zpracování této bakalářské práce.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Anotace | 3 |
| Obsah | 5 |
| Úvod | 7 |
| 1. Zbraňový systém | 8 |
| 1.1 Zbraň | 8 |
| 1.1.1 Hlaveň | 11 |
| 1.1.2 Mířidla | 12 |
| 1.2 Střelivo | 18 |
| 1.2.1 Vyhodnocování zásahu | 22 |
| 1.2.2 Chyby výstřelu | 23 |
| 2. Balistika | 25 |
| 2.1 Vnitřní, přechodová a cílová balistika | 26 |
| 2.2 Vnější balistika | 27 |
| 2.3 Stabilizace střel | 29 |
| 2.3.1 Stabilizace střel za letu šípovou stabilizací – křídélky | 32 |
| 2.3.2 Stabilizace střel náběžnou hranou | 32 |
| 2.3.3 Stabilizace střel rotací | 33 |
| 3. Optické jevy | 35 |
| 3.1 Optika | 35 |
| 3.1.1 Geometrická optika | 35 |
| 3.1.2 Index lomu | 37 |
| 3.1.3 Fermatův princip | 38 |
| 3.1.4 Optické soustavy | 38 |
| 3.2 Refrakce | 40 |
| 3.3 Mirage | 42 |
| 3.3.1 Spodní zrcadlení | 42 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.3.2 | Svrchní zrcadlení | 43 |
| 3.3.3 | Vícenásobné zrcadlení | 44 |
| 3.3.4 | Použití v praxi | 44 |
| 3.3.5 | Tepelné clony hlavně | 45 |
| 4. | Povětrnostní vlivy | 46 |
| 4.1 | Vítr | 46 |
| 4.2 | Aerodynamika | 47 |
| 4.3 | Teplota vzduchu | 47 |
| 4.4 | Slunce | 48 |
| 4.5 | Nadmořská výška | 49 |
| 4.6 | Děšť | 49 |
| | Závěr | 51 |
| | Seznam použité literatury | 52 |
| | Seznam příloh..... | 54 |
| | Přílohy práce | 55 |

Úvod

Fata morgana. První, co mě při tomto slově napadne, je pustá poušť a ztracený člověk, který se mylně domnívá, že nedaleko před ním je oáza života. Avšak je to jen optický klam, který způsobuje zrcadlení vzduchu, zmíněná oáza může být desítky kilometrů vzdálená. Tento pozoruhodný jev však nevzniká pouze na poušti, ale můžeme ho spatřit i v našich zeměpisných šířkách. Stačí se za horkého letního dne podívat nad rovnou rozpálenou asfaltovou silnicí, teplý vzduch se nad ní tetelí a my máme pocit, jakoby se auta přijíždějící k nám vznášela. Ať již tento jev nazýváme jakkoliv, v některých profesích může způsobit nemalé problémy.

Například geodeti se s tímto jevem setkávají často při zaměřování zemské plochy. Při střelbě na dlouhé vzdálenosti dokáže zrcadlení vzduchu také způsobit obtíže. Střelba z palných zbraní a vše s ní spojené mne zajímá již mnoho let, proto jsem se rozhodl toto téma podrobněji prostudovat a sepsat o něm bakalářskou práci.

Zásadní pro tuto práci bude zjistit, jaký účinek mají na střelbu na dlouhé vzdálenosti přírodní jevy. Jakým způsobem ovlivňuje správné zamíření teplota vzduchu, jak lze tomuto jevu předejít, k čemu se používají různé clony dalekohledového zaměřovače, co je to refrakce? To jsou otázky, na které se tato práce snaží odpovědět.

První kapitola práce pojednává o střelné zbraní, zbraňovém systému, jeho hlavních částech a také o samotném zásahu v cíli. K výstřelu patří také chyby, které střelec ať chce nebo nechce, občas udělá. Proto je důležité si tyto chyby uvědomit a pokusit se jim předejít.

Následující kapitola rozebírá balistiku, její čtyři základní fáze, od samého zmáčknutí spouště přes dráhu letu střely až do jejího nárazu v cíli. V této kapitole je nejdůležitější vnější balistika, neboť právě ona zkoumá dráhu letu střely, která je nejvíce ovlivňována vnějšími vlivy.

Optické jevy jsou nedílnou součástí vnější balistiky, leckdy působí na střelce v takové míře, že trefit cíl, je téměř nemožné. Třeba již zmíněné vlnění vzduchu střelci znesnadňuje zaměřit a trefit cíl, který neustále „létá“ ze strany na stranu. V takovém případě hrají velkou roli jeho zkušenosti a někdy i trocha štěstí. Tyto jevy jsou popsány ve čtvrté kapitole.

Poslední kapitola této bakalářské práce je věnována povětrnostním vlivům, které mají také zásadní dopad na dráhu letu střely a na výsledný účinek střely v cíli.

1. Zbraňový systém

Hlavními částmi zbraňového systému jsou hlaveň, mířidla a střelivo. Pro dosažení nejlepších výsledků musí být hlaveň, mířidla i střelivo vyrobeny v nejvyšší kvalitě. Před uvedením do provozu musí být každý zbraňový systém správně seřízen neboli nastřelen. Nastřelení se zpravidla provádí v prostředí, které se nejvíce podobá podmínkám zásahu, tedy stejná nadmořská výška a průměrná teplota okolí. Dále se nastřelení provádí na vzdálenost 100 metrů, kdy je důležité znát teplotu okolního vzduchu, nadmořskou výšku, čas výstřelu, sílu a směr větru a také polohu slunce. Ideální podmínky panují za bezvětří, tehdy pokud je obloha polojasná.

1.1 Zbraň

Definovat slovo zbraň lze z hlediska zákona třemi způsoby. Dle §118 zákona číslo 40/2009 Sb. se zbraní rozumí cokoli, čím je možno učinit útok proti tělu důraznějším. Dále se zbraní podle §56 odstavce 5 zákona číslo 273/2008 Sb. o Policii České republiky rozumí zbraň střelná včetně střeliva a doplňků zbraně, vyjma vrhacího prostředku majícího povahu střelné zbraně podle jiného právního předpisu s dočasně zneschopňujícími účinky, dále zbraň bodná a sečná, výbušnina, speciální výbušný předmět, průlomový pyrotechnický prostředek a speciální náloživo. Do třetice je zde nejdůležitější zákon, a to zákon číslo 119/2002 Sb. o střelných zbraních a střelivu, kde jsou zbraně podrobněji popsány. Z celého výčtu zákonného znění jsou pro tuto bakalářskou práci nejdůležitější zbraně střelné.

Střelné zbraně se dále rozdělují dle druhu energie pohánějící střelu na:

- palné, které využívají k pohybu střely deflagrací střelivin, což vede k prudkému vývinu plynů ve vývrtu hlavně
- mechanické, které využívají k pohybu střely mechanickou energii
- plynové, které využívají k pohybu střely vzduch nebo jiný plyn

- elektromagnetické, které využívají k pohybu střely elektromagnetické pole ¹

Podle druhu můžeme střelné palné zbraně rozdělit například na:

- pistole, tj. krátké zbraně, které mají buď pevnou, nebo pohyblivou hlaveň s vývrtem, který obsahuje nábojovou komoru. Z hlediska konstrukce mohou být jednohlavňové i vícehlavňové, jednoranové, opakovací, samonabíjecí nebo i automatické;
- revolvery, kterými jsou krátké zbraně s pevnou hlavní a otáčivým válcem s nábojovými komorami, které se mezi jednotlivými výstřely natáčí do osy hlavně;
- pušky (také karabiny, útočné pušky, kulovnice, odstřelovací pušky), kterými jsou dlouhé zbraně s drážkovaným vývrtem. Z hlediska stupně automatizace mohou být jednoranové, opakovací, samonabíjecí nebo automatické;
- brokovnice, kterými jsou dlouhé i krátké zbraně s hladkým vývrtem s jednou nebo více brokovými hlavními;
- kombinované zbraně, tj. především lovecké zbraně se dvěma a více hlavními, které mají různý vývrt;
- samopaly, kterými jsou ruční automatické zbraně konstruované na pistolový náboj;
- osobní obranné zbraně (Personal Defence Weapon - PDW), kterými jsou ruční automatické zbraně konstruované na speciální náboj;
- kulometry, kterými jsou automatické zbraně používající výkonný puškový náboj nebo speciální velkorážový náboj. Z hlediska mobility jsou dnes kulometry přenosné nebo lafetované;
- granátometry, kterými jsou speciální zbraně určené pro vymetení nebo vystřelení speciálních granátů. Z hlediska konstrukce mohou být ruční, podvěsné a lafetované;

¹ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 8*

- minomety jsou speciální vojenské zbraně, které slouží k vystřelování dělostřeleckých min. Z hlediska mobility rozdělujeme minomety na přenosné, tažené a samohybné, z hlediska ráže na lehké, střední a těžké;
- děla, která patří mezi nejvýkonnější vojenské zbraně. Například dle kritéria délky hlavně a způsobu střelby na cíl se dnes dělí na kanóny, houfnice a kanónové houfnice.²

Dlouhé střelné zbraně se dále dělí na opakovací a samonabíjecí.

Charakteristikou opakovací zbraně je skutečnost, že energie střelného prachu je využita pouze k vystřelení střely. Nabití nového náboje ze zásobníku je tedy prováděno ručně ovládaným závěrem. Mezi hlavní výhody opakovacích pušek patří jejich jednoduchá konstrukce, nenáročnost na vnější podmínky, spolehlivá funkce mechanismů, životnost mechanismů a v neposlední řadě vysoká přesnost střelby. Základní puškové mechanismy jsou závěr, zásobník a mířidla.³

Samonabíjecí dlouhé střelné zbraně jsou zbraně, u kterých tlak plynů vzniklých při výstřelu vyhodí prázdnou nábojnici a obtáhne závěr. Obtažením závěru se nabije do nábojové komory nový náboj ze zásobníku. Mechanismus samonabíjecí dlouhé zbraně však umožňuje střelbu pouze jednotlivými ranami.

Podle kritéria držení zbraně při střelbě dělíme ruční zbraně na krátké zbraně a dlouhé zbraně.

Krátká zbraň je zbraň, jejíž konstrukce předpokládá střelbu za použití jedné ruky. Jedná se především o pistole a revolvery.⁽¹⁾

Dlouhá zbraň je zbraň, jejíž konstrukce předpokládá střelbu za použití obou rukou a zpravidla s opřením zbraně do ramene. Nejvhodnějším příkladem

² JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavně zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 9, 10*

³ ŽUK, Aleksandr Borisovič. *Pušky a samopaly. Praha: Naše vojsko, 1992. ISBN 80-206-0150-3, s. 40*

jsou pušky, brokovnice, kombinované zbraně, samopaly, PDW a přenosné kulometry.⁴

Části zbraně

Střelná palná zbraň má několik hlavních součástí, bez kterých by nebylo možné ze zbraně vystřelit. Tyto hlavní části mají zpravidla své výrobní číslo. Mezi základní části patří hlaveň, spoušť, bicí mechanismus, pojistný mechanismus, závěr, záchyt závěru, zásobník a válec revolveru. Nesmíme však zapomenout na rám zbraně, ve kterém jsou všechny tyto části uloženy. Rám je vybaven další neméně důležitou částí, a to jsou mířidla. Každá dlouhá střelná zbraň (vyjma některých brokovnic) má pevná mířidla a pro možnost použití optických zaměřovačů lze modernější zbraně používané u ozbrojených složek vybavit neboli osadit montážními lištami, takzvanými raily.

1.1.1 Hlaveň

Hlaveň je jednou z nejdůležitějších částí zbraně. Slouží k vedení střely v potřebném směru od okamžiku jejího uvedení do pohybu v místě čela hlavně až do opuštění hlavně v místě zvaném ústí. Při této fázi dochází k přeměně tlakové energie vzniklé hořením výmetné náplně v kinetickou energii střely. Hlaveň má válcový tvar a je složena ze tří částí, které na sebe navazují – nábojové komory, přechodového kužele a vývrtu. Vývrt hlavně neboli drážkování může být hladký (v případě brokovnic nebo hlavní pro šípově stabilizované střely) nebo opatřený drážkováním, které je šroubovitého tvaru. Při výstřelu z hlavně opatřené drážkováním je udělena střele rotace, která střelu stabilizuje na její dráze letu. Průměr tohoto drážkování se nazývá ráže hlavně.

Ráže hlavně u brokových zbraní je značena zvláštním způsobem. Jedná se o číslo, které udává počet olověných koulí odlitých z jedné anglické libry (0,453 kg). Tyto koule musí projít suvně hlavní brokovnice.

⁴ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 10*

Životnost hlavní pušek není nekonečná. Každý výrobce udává k vyrobené zbraně zaručenou životnost hlavně, která by měla za výrobce stanovených podmínek, jako je například použití správného střeliva a správné údržby zbraně, zaručovat přesnost střelby. Životnost hlavní pušek SAKO TRG - 22 pro policejní odstřelovače ráže .308 (7,62x51 mm) by měla být minimálně 10 000 výstřelů, pušky SAKO TRG – 42 ráže .338LM (8,6x70 mm) pak minimálně 5 000 výstřelů.

Přesnost zbraně je při výběru odstřelovačské pušky obvykle nejdůležitější věcí. Rozptyl $\frac{1}{4}$ MOA na vzdálenost 100 yardů (91 m) je sice skvělý, ale pro střelbu na dlouhé vzdálenosti nepříliš nutný. Je dobré vědět o vaší pušce, že je schopná toho dosáhnout, takže za případná minutí terče můžete dávat vinu jen sami sobě. Aby se dalo střílet přímo s chirurgickou přesností, měla by policejní odstřelovačka mít maximální rozptyl $\frac{1}{2}$ MOA nebo méně. Ještě rozptyl 1 MOA svědčí o dobré přesnosti, ale pro střelbu na dlouhé vzdálenosti již nevyhovuje. K vlastní chybě, kterou nutně udělá každý střelec, již nepotřebujete přidávat ještě chybu nepřesné zbraně. Bohužel vysoce přesné zbraně jsou také velmi drahé.⁵

Přesnost 1 MOA je zkratka pro úhlovou minutu neboli $1/60$ stupně. Často se využívá pro posouzení přesnosti zbraně a pro velikost kliku puškohledu, kdy 1 MOA odpovídá zhruba 26,6 mm na vzdálenost 100 yardů (91 m). Pro zlehčení se tato hodnota zaokrouhluje na jeden palec (25,4 mm) na 100 yardů nebo 1,13 palců na 100 m. Tento údaj se používá pro určení velikosti jednoho kliku na rektifikačním točítku zaměřovače, případně pro velikost záměrného bodu u zaměřovačů kolimátorových.

1.1.2 Mířidla

Mířidla slouží k zamíření zbraně na záměrný bod neboli cíl. Pro přesnou střelbu musí být mířidla seřizena tak, aby na požadovanou vzdálenost procházela záměrná osa mířidla cílem – dále kapitola 2. Balistika. Mířidla se dle své konstrukce dělí do dvou hlavních kategorií na mechanická a optická. Dále

⁵ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 83

je mechanická mířidla možno dělit na otevřená a dioptriová a optická na optickomechanická a optoelektronická.

1.1.2.1 Mechanické zaměřovače otevřené

Mechanický zaměřovač otevřený je nejjednodušší typ zaměřovače. Tvoří jej tři konstrukční prvky, hledí, muška a základna tohoto mechanického zaměřovače. Pro správné zamíření je třeba mušku a hledí zaměřovače navést na záměrnou neboli přímkou spojující střelcovovo oko a záměrný bod na cíli přes mířidla. Muška musí být při zamíření opticky ve stejné výšce jako hledí a musí být umístěna v jeho středu. Dále je nutné, aby zbraň nebyla příčně nakloněná. U brokovnic je mechanický zaměřovač otevřený tvořen pouze muškou a lištou, případně dvěma muškami.

Pro správný nástřel a rektifikaci zbraně musí být muška nebo hledí konstruováno tak, aby umožňovalo jak vertikální, tak horizontální posun.

Některá hledí mechanických otevřených zaměřovačů jsou vybavena nastavením zvoleného úhlu pro střelbu na větší vzdálenosti. Toto hledí se nazývá sektorové nebo také stavitelné.

Při střelbě za zhoršených světelných podmínek se mechanická otevřená mířidla opatřují vysoce kontrastními nebo svítícími barvami. Pro tyto účely se využívají kontrastní a fluorescenční barvy, optická vlákna nebo tritiové ampulky.

Hlavní výhodou otevřených mechanických zaměřovačů je jednoduchost konstrukce a z ní vyplývající nízká cena. Hlavní nevýhodou otevřených mechanických zaměřovačů je nutnost současného pozorování 3 bodů – mušky, hledí a cíle. Tyto body jsou v natolik rozdílných vzdálenostech, že ani zdravé oko je nemůže současně vnímat ostře. To je zdrojem chyb v zamíření a nedostatky těchto druhů zaměřovačů se zvětšují při snížené viditelnosti a zrakové vadě střelce.⁶

⁶ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 74, 75, 76*

1.1.2.2 *Mechanické zaměřovače dioptriové*

Dioptr je zvláštním druhem mechanického zaměřovače. Je charakterizován hledím ve tvaru kruhové clony s malým průměrem, který je srovnatelný s průměrem pupily oka. Princip zamíření tímto zaměřovačem je dán tím, že oko je schopné nalézt rychle a s velkou přesností střed mezikruží i za předpokladu, že kontury jejího čela jsou pozorovány neostře. Oko je možné bezprostředně přiblížit k hledí, nemusíme dbát pracovní vzdálenosti oka. Tím je dána možnost prodloužit základnu zaměřovače a tím také zvýšit přesnost zamíření.

Hlavní předností tohoto zaměřovače je především to, že střelec uvádí do koincidence pouze dva body, mušku a záměrný bod v cíli a že ve srovnání s klasickými mechanickými mířidly zmenšuje akomodační interval oka ze 4 dioptrií na asi 1,5 dioptrie. Kromě zpřesnění zamíření se snižuje i únava oka.

K nevýhodám dioptru patří hlavně omezení zorného pole střelce a i to, že dioptr pracuje i jako clona omezující množství světla dopadajícího na oko, takže tímto zaměřovačem je ztížené zamerování zbraně za zhoršených světelných podmínek.

Dioptr se používá především ke sportovní střelbě na kruhové terče, od zavedení tohoto druhu zaměřovače pro vojenské zbraně bylo upuštěno z důvodů těchto dvou nevýhod.

Hlavním nedostatkem mechanických zaměřovačů je optická záměrná, která je tvořena středem pupily oka, hledím, muškou a cílem. Hledí, muška a cíl se při zamíření nezobrazují ostře. Zvýšení přesnosti zamíření tak vede přes zobrazení těchto konstrukčních prvků se stejnou ostrostí.⁷

1.1.2.3 *Optické zaměřovače dalekohledové – puškohledy*

Puškohled neboli optický zaměřovač je optické zařízení upevněné pomocí montážních lišt k tělu zbraně, nejčastěji odstřelovačské nebo lovecké pušky. Jedná se o subjektivní optickou soustavu - dalekohled se záměrnou osnou, díky kterému je možno zasáhnout cíl na delší vzdálenost. Optika je

⁷ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 76, 77, 78*

umístěna namísto pevných mířidel. Pro zamezení průniku slunečního záření a zkreslení cíle se používá na optické puškohledy oční clona.

Dalekohled je optická soustava určená k pozorování vzdálených předmětů. Použití dalekohledu umožňuje pozorovateli vidět vzdálené předměty a prostor pod většími úhly. Všechny předměty se tak jeví přiblížené. Jedná se tedy o složenou optickou soustavu, která má totožné obrazové ohnisko jednoho členu (objektivu) s předmětovým ohniskem druhého členu (okuláru). Kromě těchto dvou členů jsou v dalekohledové soustavě ještě další komponenty – zrcadla, zesilovače obrazu, převraccí soustavy, hranoly, zesilovače jasů, aj. Ideální optická soustava ohniskové vzdálenosti dalekohledové soustavy je rovna nekonečnu, takováto optická soustava nemá reálná ohniska, nazývá se proto afokální.⁸

Promítnutím obrazu cíle do roviny záměrné značky je dosaženo mnohem větší přesnosti než u mechanických zaměřovačů.

Základem prakticky všech dalekohledových zaměřovačů je Keplerův dalekohled, který se skládá z objektivu a spojného okuláru.

Keplerův dalekohled vytváří výškově a stranově převrácený obraz. Proto je nutné jej doplnit vhodnou převraccí soustavou. Tuto funkci plní u zaměřovačů určených pro ruční zbraně nejčastěji čočková převraccí soustava. U zaměřovačů určených pro hlavňové zbraně větších ráží (nad 12,7 mm) a zbraně lafetované v bojové technice pak lze využít rovněž hranolové převraccí soustavy.

V současnosti se s hranolovými převraccími soustavami můžeme setkat i u zaměřovačů malorážových zbraní. Dalekohledový zaměřovač dále obsahuje ohniskovou destičku se záměrnou osnovou.⁹

Přesnost zamíření zaměřovacím dalekohledem se odvíjí od několika faktorů. Mezi nejdůležitější patří tvar záměrné značky, osvětlení a tvar cíle,

⁸ BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1, s. 44

⁹ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]*. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 81

rozlišovací schopnost oka, kontrast cíle vůči pozadí, zvětšení dalekohledu a jeho paralaxa, aj.¹⁰

Paralaxa je optická chyba puškohledu, která vzniká při zamíření na krátkou i velkou vzdálenost a při pohledu oka do puškohledu mimo optickou osu. Pokud střelec zamíří skrz puškohled v ose, zůstává poloha místa zásahu zachována. Pokud ale střelec míří šikmo, objeví se záměrný bod proti záměrné osnově nepatrně posunutý. Tento pohyb je způsobený tím, že je dalekohled seřízen do nekonečna, jako afokální, zamíření se však provádí na cíl v určité vzdálenosti, takže obraz cíle leží v jiné rovině než záměrná osnova. Zmenšení paralaxy dosáhne výrobce tím, že nastaví zaměřovač na konečnou vzdálenost.

Dalším typem dalekohledu je Galileův dalekohled. Ten se skládá z dvoučočkového tmeleného objektivu a rozptylného okuláru. Galileův dalekohled však neobsahuje clonu zorného pole, vignetující clonou je v tomto případě objímka objektivu. Stupeň vignetování tak závisí na průměru objímky objektivu a na poloze oka pozorovatele. Ve vojenských přístrojích však tyto dalekohledy nemají uplatnění, neboť u nich není možno použít záměrné osnovy na ohniskové destičce.¹¹

K zabránění průniku přicházejících laserových paprsků se u vojenských puškohledů používá laserový filtr. Ten se montuje na přední část puškohledu. Jeho čočka je žlutě zbarvená a slouží mimo jiné k ochraně oka střelce. Nevýhodou tohoto filtru může být odraz světla nebo zkreslení barev obrazu, čímž ztěžuje identifikaci cíle.¹²

1.1.2.4 Optické zaměřovače optoelektronické

Optoelektronické zaměřovače neboli kolimátory se používají při střelbě z dlouhých případně i krátkých zbraní. Na těle zbraně jsou pevně připevněny pomocí montážních lišt (railů) a zastupují pevná mechanická mířidla. Kolimátory usnadňují míření, neboť přenášejí záměrný bod na cíl a tudíž nedochází k jeho

¹⁰ BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1, s. 88, 89

¹¹ BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1, s. 50

¹² LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 41

rozostření jako u použití mechanických mířidel. V neposlední řadě je pak zamíření s kolimátorem rychlejší díky tomu, že není nutné opakovaně zaostřovat na mušku a na cíl.¹³

Holografické kolimátory pracují na principu přenášení záměrného bodu ze světelné diody na ohniskovou destičku, kde se zobrazuje záměrný bod nebo jiný obrazec do nekonečna. Záměrný bod se pak zobrazí přes polopropustné zrcadlo kolimátoru na zamířený terč. Velikost tohoto bodu určují výrobci kolimátorů, například s velikostí 1 MOA - takto veliký bod zakryje na vzdálenost 100 m zhruba 3 cm plochy na terči. Zobrazený záměrný bod se stejně jako jeho velikost liší podle výrobce. Lze se setkat se záměrným bodem v podobě tečky, tečky s kruhem, tečky s křížem apod. Dle konstrukce se dělí na neprůhledové a průhledové.¹⁴

Prvotní kolimátor byl konstrukčně řešen jako neprůhledový. Zamíření tímto kolimátorem se provádí pomocí obou očí. Jedním okem je pozorován záměrný bod kolimátoru promítnutý na ohniskové destičce, zatímco druhé oko pozoruje samotný cíl. V hlavě se pak tyto obrazy spojí v jeden. Tento kolimátor neodráží vnitřní průsvit, a tak nehrozí prozrazení střelce. Nevýhodou však může být ztráta části zorného pole střelce nebo nemožnost použití v případě střelcovy oční vady.¹⁵

Dnes jsou již kolimátory vyráběny jako průhledové zaměřovače. Konstrukčně jsou řešeny jako tubusové, které vzhledově připomínají puškohledy, nebo jako otevřené, které připomínají průhledové okénko s rámem. Kolimátory jsou vybaveny vícenásobným zvětšením, případně bez zvětšení. V případě kolimátoru bez zvětšení lze použít přídavný dalekohled.

Přídavný denní dalekohled nebo také zvětšovací modul se používá společně s kolimátorem k zaměřování cílů a střelbě na větší vzdálenosti z dlouhých zbraní. Konstrukce dalekohledu umožňuje optimalizaci záměrného bodu kolimátoru v zorném poli dalekohledu. Umisťuje se stejně jako kolimátor

¹³ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání.* Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 80

¹⁴ *Kolimátory - Úvod pro začátečníky.* ARMED.cz [online]. Copyright © 2008 [cit. 13.01.2023]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/clanky/kolimatory-uvod-pro-zacatecniky/>

¹⁵ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]. 1. vydání.* Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 78

na montážní lištu za zaměřovačem. Jak již název vypovídá, dalekohled se uplatňuje v denních podmínkách a lze jej použít i pro samotné pozorování.

1.2 Střelivo

Každá zbraň dokáže být jen tak přesná, jak přesné je střelivo, které se z ní střílí.¹⁶

Střelivo (munice) je souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do střelných zbraní. Základní význam konstrukce náboje má výmetná prachová náplň. Výmetnou prachovou náplň tvoří střelivina s přesně danou hmotností, která dodává střele hnací sílu potřebnou k samotnému výstřelu. Základními druhy střelivin používanými v současné době u nábojů pro pistole, pušky a brokovnice jsou nitrocelulózoové a nitroglycerinové bezdýmné prachy.

Nábojem je celek určený pro nabíjení hlavňových palných zbraní. Z hlediska konstrukce typický náboj obsahuje střelu (příp. hromadnou střelu), výmetnou prachovou náplň, nábojnici (příp. kování + plášť nábojnice) a zápalku (příp. zážehovou slož v okraji nebo ve dnu nábojnice).¹⁷

Střela je část náboje, která je určena k zasažení cíle. Konstrukce jednotné střely musí především zabezpečit:

- ochranu prachové náplně před vnějšími vlivy při skladování, při manipulaci a při nabíjení,
- utěsnění prachových plynů v hlavni při výstřelu,
- stabilitu letu střely v atmosféře s cílem dosáhnout požadované přesnosti střelby,
- požadovaný účinek střely v cíli,
- minimální ohrožení zdraví střelce,
- minimální opotřebení vodící části vývrtu hlavně,
- minimální ekologickou zátěž pro životní prostředí.

¹⁶ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 27

¹⁷ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]*. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 15, 18

Konstrukce hromadné střely nezabezpečuje plnění prvních dvou požadavků a požadavku minimálního opotřebení vývrtu hlavně.¹⁸

Podíl vnější balistiky na konstrukci munice záleží ve stanovení optimální relace mezi počáteční rychlostí střely, její hmotností a tvarem pro dosažení požadovaného dostřelu, ve stanovení vhodných otáček střely a dalších charakteristik, které ovlivňují pravidelnost letu střely v atmosféře a které dávají předpoklady pro splnění požadavku na přesnost střelby.

Při výrobě munice vnější balistikové úzce spolupracují s muničními, zbraňovými i dalšími odborníky. Řeší otázky, které patří do oblasti teoretické vnější balistiky, která využívá poznatků z mnoha vědních oborů, především teoretické mechaniky, matematiky, fyziky, aerodynamiky atd.¹⁹

Dělení střeliva podle druhu a ráže:

- malorážové - pro malorážové zbraně (do 20 mm) nesené nebo lafetované na vozidlech,
- dělostřelecké - pro dělostřelecké zbraně (20 mm a více), např. kanóny, houfnice, bezzákluzová děla, minomety a raketomety,
- ostatní střelivo - veškeré ostatní střelivo, jako např. signální střelivo, střelivo granátometů, ručních protitankových a protiletadlových zbraní, apod.

Střelivo malorážových palných zbraní je tvořeno náboji a nábojkami nejrůznějšího konstrukčního provedení a určení.

Základní rozdělení malorážového střeliva je podle velikosti, ráže a určení:

- mikrorážové,
- malorážkové a flobertkové,
- střední ráže,

¹⁸ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavně zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 15*

¹⁹ JIRSÁK, Čestmír a Pravoslav KODYM. *Vnější balistika a teorie střelby. Praha: Naše vojsko, 2017. ISBN 978-80-206-1650-0, s. 11*

- velkorážní,
- brokové,
- pro expanzní zbraně a přístroje,
- beznábojnicové.

Jako malorážové střelivo bývá obvykle označeno střelivo ráže od 4,5 do 6 mm s hmotností střel 3 – 4 gramy. Jedním z nejnovějších nábojů je náboj vyráběný pro speciální policejní jednotky, který svými rozměry snadněji prochází přes balistickou ochranu. Jedná se o náboj 4,6 x 30, ten lze použít například ve zbrani HK MP7. Nejrozšířenější je však v současné době náboj americké konstrukce .223 Remington (5,56 x 45 mm) a ruská konstrukce 5,45 x 39 mm. Dále například náboj 5,7 x 28 mm. Toto střelivo řadíme mezi střelivo střední balistické výkonnosti.

Střelivem střední ráže se označuje střelivo pro pistole, revolvery, útočné a odstřelovací pušky. Toto střelivo je v ráži 6 – 9 mm.

Velkorážové střelivo je střelivo používané stejně jako střelivo střední ráže v pistolích, revolverech a odstřelovačích puškách. Jeho rozměry jsou však větší, jedná se o rozměry 9 mm – 20 mm.

Pistolový náboj se skládá z nábojnice válcového, lahvovitého nebo kuželovitého tvaru, která obsahuje zápalku a drážku. Zápalka slouží k iniciaci prachové náplně uvnitř nábojnice. Drážka pak slouží k vytažení nábojnice vytahovačem z nábojové komory. Další hlavní částí náboje je střela, jejíž délka bývá 1 – 2,5 násobek ráže zbraně. Rychlost střely se pohybuje v rozmezí 240 – 500 m/s a její kinetická energie je 100 – 800 J. Náboje typu Magnum mají výkon vyšší, 1400 – 200 J.²⁰

Revolverový náboj je určen pro střelbu z revolverů. Na rozdíl od nábojnice pro pistole jsou nábojnice pro revolvery vybaveny přečnávajícím okrajem dna, který se opírá o zadní stěnu válce. Tím vymezuje hloubku zasunutí náboje do nábojové komory a zároveň díky němu lze nábojnici vytáhnout vytahovačem z válce. Délka střel bývá v rozmezí 1,2 – 2 násobku ráže. Rychlost střel se pohybuje od 210 do 350 m/s, kinetická energie od 150

²⁰ REGULI, Zdenko. *Základy balistiky* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>

do 600 J. Náboje typu Magnum pak mají rychlost v rozmezí 380 – 550 m/s a energii 700 – 2500 J.

Náboje pro útočné pušky jsou náboje střední balistické výkonnosti určené pro střelbu z automatických dlouhých palných zbraní nebo útočných pušek. Podobně jako pistolové náboje i náboje pro útočné pušky mají nábojnici ve tvaru lahve. Mezi hlavní důvody jejich vzniku patří úspora hmotnosti zbraně i munice, úspora nákladů na výrobu, větší kapacita zásobníku a nižší zpětný ráz. Náboje pro útočné pušky vznikly až v průběhu II. světové války. Délka střel je 3,5 - 5 násobek ráže. Rychlost střel se pohybuje okolo 600 - 750 m/s a kinetická energie činí 1200 – 2100 J.

Puškové náboje jsou určeny ke střelbě z pušek a kulometů. Rozdělují se na vojenské, lovecké a sportovní. Mezi těmito druhy jsou však jen malé rozdíly, vojenské náboje byly základem loveckých a sportovních.²¹

V současné době patří k nejrozšířenějším vojenským puškovým rážím:

- 7,62 x 51 – standard NATO (lovecký ekvivalent 308 Win),
- 7,62 x 39 (7,62 mm Kalašnikov, 7,62 mm vz. 43),
- 7,62 x 54 R (7,62 mm Mosin, 7,62 mm vz. 59),
- 5,56 x 45 – standard NATO (lovecký ekvivalent 223 Rem),
- 5,45 x 39,5 (5,45 mm Kalašnikov),
- 12,7 x 99 (50 BMG).²²

Nábojnice brokových nábojů jsou složeny z kovového dna a plastového pláště. Střely brokových nábojů jsou buď jednotné (například Special Slug) nebo hromadné, které tvoří několik broků. U brokových nábojů se rychlost střel ani kinetická energie neudávají. Vhodnost nábojů se určuje velikostí broků a hmotností brokové náplně nebo jednotné střely. Policejní speciální jednotky dále používají například střely vyrážecí.²³

²¹ REGULI, Zdenko. *Základy balistiky* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>

²² KOMENDA, Jan. *Střelivo loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2006. ISBN 80-248-1254-1, s. 75

²³ REGULI, Zdenko. *Základy balistiky* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>

1.2.1 Vyhodnocování zásahu

Pokud použijeme ke střelbě za stejných podmínek stejnou zbraň, stejnou minuci z jedné výrobní šarže a dodržíme pečlivě přesnost zamíření, bude každá střela z důvodu náhodných příčin opisovat svoji dráhu a nedosáhneme naprosto shodných zásahů. Tomuto jevu se v balistice říká rozptyl. Důvodů rozptylu je hned několik – vliv střelce, různé hmotnosti prachových náplní nábojů, chemické vlastnosti prachových náplní, různá hmotnost střel, vliv zbraně, změny úhlů výstřelu a zamíření, jiné atmosférické podmínky, atd.

Vliv střelce spočívá v chybě zamíření. Lidské smysly nejsou naprosto dokonalé, proto dochází těsně před výstřelem k rozdílu mezi správnou polohou osy hlavně a skutečnou polohou osy hlavně. Ani technika však není neomylná, vliv zbraně je další příčinou rozptylu zásahů. Zbraně jsou vyráběny v rámci dovolených provozních a výrobních tolerancí, mohou mít tedy různé odchylky od nominálních hodnot.²⁴

Střední bod zásahu vzniká tehdy, jestliže jsou zásahy uskupeny okolo bodu zamíření na cíli. Ke správnému výpočtu se používá tzv. grafická metoda určení. Při této metodě se nejčastěji střelí pět výstřelů na cíl. Z těchto výstřelů se poté vyberou libovolně dva zásahy, které se spojí úsečkou. Střed této úsečky se označí, např. číslem 1, a spojí se s dalším libovolným bodem zásahu. Vzniklý bod číslo 2 leží v první třetině mezi bodem zásahu a bodem číslo 1. Další bod označen číslem 3 bude ležet v první čtvrtině úsečky mezi bodem zásahu a bodem číslo 2. Střední bod zásahu bude poté v jedné pětině úsečky mezi bodem číslo 3 a posledním bodem zásahu v cíli. Tato metoda je velmi jednoduchá a zároveň přesná. Naopak jako nevýhoda se může jevit nutnost většího rozptylu zásahů.

Další používanou jednoduchou metodou určení polohy středního bodu zásahu je opět metoda grafická, kdy se větší množství zásahů rozdělí přímkou napůl tak, aby v každé polovině byl shodný počet zásahů. Takto rozdělené zásahy se opět rozdělí pomocí přímky napůl, v každé čtvrtině však musí být

²⁴ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 88

stejný počet střel. Průsečík těchto dvou přímek nám znázorňuje střední bod zásahu. Nevýhodou této metody je však nízká přesnost určení.²⁵

Přesnost zbraně lze měřit několika různými způsoby. Velmi přesnou metodu používají výrobci vojenských zbraní a střeliva. Metoda střední odchylky spočívá v nalezení středního bodu ze skupiny několika zásahů a následného změření vzdálenosti jednotlivých zásahů od tohoto bodu. Aby bylo možné stanovit spolehlivou průměrnou odchylku zásahů od středního bodu, střílejí se obvykle skupiny po pěti nebo deseti výstřelech. Při výpočtu střední odchylky se snižuje vliv vyloženě „ulétlých“ střel, protože výsledný poloměr velikosti skupiny reprezentuje většinu zásahů.²⁶

1.2.2 Chyby výstřelu

Při střelbě dochází k různým účinkům, které zhoršují výsledné zásahy v cíli. Jedná se například o nesprávné zamíření zbraně nebo rušivé vlivy na dráze letu střely. Tyto chyby se dělí na systematické a náhodné.

Většina rovnic pro řešení drah střel je odvozena pro normální meteorologické a balistické podmínky. Pro normální podmínky jsou sestaveny i veškeré střelecké podklady (balistické sborníky, tabulky střelby, osnovy optických zaměřovacích systémů). Reálná střelba je však vždy vedena za podmínek odlišných od normálních. Zanedbáním těchto odchylek při přípravě prvků střelby vznikají systematické chyby, které se pravidelně opakují u všech ran a zhoršují přesnost střelby. K vyloučení negativního vlivu těchto chyb na přesnost střelby je nutné provést opravy prvků střelby.²⁷

Druhou skupinu chyb tvoří chyby náhodné, které lze rozdělit na chyby zamíření a chyby rozptylové. Opakující se chyby zamíření (také chyby prvků střelby) jsou způsobeny chybami při určování prvků střelby a při jejich nastavení na zbrani (zamíření). Do této skupiny se řadí chyby vzniklé nesprávným

²⁵ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 92

²⁶ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 117

²⁷ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 79

provedením meteorologických oprav, chybným odhadem délky, popř. i rychlosti a směru pohybu cíle.

Chyby zamíření mají obecně náhodný charakter, u určité skupiny výstřelů provedených za dosažitelně shodných podmínek je však jejich vliv na přesnost stejný jako u chyb systematických. Proto se často nazývají chyby pseudonáhodné. Svou povahou se tedy tyto chyby u definované skupiny výstřelů řadí do teorie oprav, ovšem jejich eliminace není možná, neboť je nelze uspokojivě kvantifikovat.²⁸

Mezi další rušivé vlivy, které mají za následek špatné zásahy v cíli, lze jmenovat teplotu střeliva. Při zahřátí střeliva jeho prachová náplň hoří rychleji, tlak plynů a ústřední rychlost střely se tak zvyšují. Tím může dojít ke změnám v poloze zásahů. Z tohoto důvodu je podstatné nevystavovat střelivo přímému slunci. Také výrobní nepřesnosti v podobě různých hmotností prachových náplní, objemu nábojnice apod. mohou způsobit rozdíly v počáteční rychlosti střely, což může mít za následek změnu polohy zásahu.

²⁸ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 79

2. Balistika

Slovo „balistika“ je řeckého původu. Označuje vědeckou disciplínu, jejímž předmětem zkoumání jsou dráhy letu vržených těles. V souvislosti s rozšířením palných zbraní se z balistiky stala věda, která zkoumá všechny děje a jevy související s pohybem střely. Časem se vyvinula specializovaná odvětví balistiky:

- vnitřní balistika; zabývá se ději probíhajícími při výstřelu v hlavní palné zbraně,
- přechodová balistika; zkoumá pohyb střely na ústí hlavně a všechny rušivé vlivy zbraně a prachových plynů působící v tento okamžik na střelu,
- vnější balistika; zkoumá dráhy střel ve vzduchu a děje, které mohou pohyb střely ovlivnit,
- koncová (cílová) balistika; studuje průběh vnikání střely do cíle o hustotě podstatně větší než je hustota vzduchu.

První teoretická balistická bádání byla – jak původní význam slova napovídá – zasvěcena vrhu těles. Jejich autory byli Leonardo da Vinci v 15. a Galileo Galilei v 16. století. Až o dalších 200 let později se objevil zájem o zkoumání jevů v palných zbraních. V 18. století se uskutečnila první měření počáteční rychlosti střely pomocí balistického kyvadla. V 19. století byly zformulovány první rovnice, které představovaly teoretický popis vnitrobalistických dějů. Nejmladší balistickou disciplínou je koncová balistika. Uznání si získala především s nástupem obrněných vozidel za 1. světové války.²⁹

²⁹ KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: Střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2022. ISBN 978-80-206-1398-1, s. 53

2.1 Vnitřní, přechodová a cílová balistika

Vnitřní balistika se zabývá jevy, které střelu ovlivňují od okamžiku výstřelu do okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně. Výstřel je velmi krátký děj, při kterém vznikají vysoké teploty, zrychlení a současně působí velké síly. K jevům, kterými se vnitřní balistika zabývá, patří například tlaky působící na střelu, prachová slož náboje, rychlost střely procházející vývrtem hlavně a rychlost úderu zápalníku. Slouží tedy k přesnému výpočtu druhu, tvaru a rozměru prachových zrn náboje, jejich hmotnosti vzhledem k hmotnosti střely a k požadované ústové rychlosti.³⁰

Průběh výstřelu se dá rozdělit do dvou fází. První fází je iniciace, kdy zápalník zbraně narazí na zápalku střely, čímž dojde k iniciaci prachové náplně v nábojnici. Při hoření střelného prachu se zvyšuje tlak v nábojnici. Druhá fáze je způsobena překonáním počátečního tlaku v nábojnici, který uvolní střelu z ústí nábojnice. Rychlost střely se dále zvyšuje vlivem stoupajícího tlaku.

Přechodová balistika se věnuje vlivům vytékajících plynů, vzniklých hořením prachové náplně, působících na střelu v okamžiku opuštění ústí hlavně. Tyto plyny z části obtékají střelu, neboť jsou rychlejší, a z části působí na dno střely, čímž ji urychlují. Maximální rychlosti však střela dosahuje ve vzdálenosti dvacetinásobku ráže hlavně, poté je již vliv vytékajících plynů nepatrný. Kromě vytékajících plynů lze při výstřelu spatřovat u ústí hlavně i světelné jevy. Ty jsou způsobeny zahořením prachových plynů po smísení s kyslíkem nebo také tím, že střela opustí hlaveň ještě před dohořením prachové náplně. Druhou variantu světelného jevu lze pozorovat u zbraní s krátkou hlavní.³¹

K přechodové balistice by se dal přiřadit i zpětný ráz. Jeho příčina spočívá v zákoně zachování hybnosti. Před výstřelem je hybnost zbraně nulová, to znamená, že je v klidu. Při výstřelu působí na střelu tlakové plyny, které ji pohánějí směrem dopředu, jejich hybnost je tedy ve směru letu střely. Tuto hybnost musí vyvažovat opačně orientovaná ale stejně velká hybnost, tedy

³⁰ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 115

³¹ KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: Střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2022. ISBN 978-80-206-1398-1, s. 66

hybnost zbraně. Zpětný ráz lze ovlivnit několika způsoby. Nejjednodušší řešení je použití střeliva s menší ústovou rychlostí střely. Další možností je zvýšení hmotnosti zbraně, toho lze dosáhnout například přidáním závaží, nebo naopak snížením její hmotnosti. V neposlední řadě lze ke zmírnění zpětného rázu zbraně využít plyny vytékající z ústí hlavně. K tomuto účelu se používají ústové brzdy, pomocí kterých lze do značné míry omezit otáčení zbraně.³²

Cílová neboli terminální balistika se zabývá účinkem střely po zásahu v cíli. Cílem v tomto případě je lidské nebo zvířecí tělo, které je zapotřebí vyřadit nejlépe jedním jediným výstřelem. Dále se cílová balistika zabývá například střelbou přes sklo.

Terčem je lidské tělo a bodem zásahu nikoli jeho střed, ale určité malé místo. Zásahy hlavy a hrudi přivodí různě stupně okamžitého zneschopnění člověka. Zásahy ostatních částí těla způsobí dočasné znehybnění a mohou končit smrtí. Námořní pěchota rozděluje účinky zásahu do čtyř kategorií:

- 1) okamžitý smrtelný zásah
- 2) smrtelný zásah
- 3) vyřazovací smrtelný zásah
- 4) vyřazovací zásah

Příslušníci námořní pěchoty tomu říkají chirurgický zásah.³³

2.2 Vnější balistika

K hlavním úkolům vnější balistiky patří výpočet drah střel a řešení otázek spojených s pravidelností jejich letu v atmosféře. V obou těchto oblastech se vnější balistika jednak podílí na konstrukčním řešení zbraňových systémů, především střel, jednak hodnotí vlastnosti vyvinutých kompletů a konečně zpracovává tabulky střelby a jiné pomůcky potřebné pro vedení palby.³⁴

³² KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: Střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2022. ISBN 978-80-206-1398-1, s. 68

³³ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 106, 107

³⁴ JIRSÁK, Čestmír a Pravoslav KODYM. *Vnější balistika a teorie střelby*. Praha: Naše vojsko, 2017. ISBN 978-80-206-1650-0, s. 11

Střela se po výstřelu pohybuje po dráze jejího letu neboli po balistické křivce. Za letu na ni působí rušivé vlivy okolí, mezi něž patří odpor vzduchu, síla tíže, Magnusova a Poissonova síla a také povětrnostní vlivy jako vítr, déšť, teplota, tlak vzduchu, apod. Z těchto důvodů dochází ke změnám dráhy letu střely. Vnější balistika proto zkoumá jejich průběh a vlastnosti.³⁵

Balistická křivka je skutečná dráha, po které střela letí a měří se v palcích (mm) nad nebo pod záměrnou (osou mířidel) v jakémkoliv bodě. Začíná u ústí hlavně, kde je pod záměrnou, protože mířidla jsou namontována nad úroveň osy vývrtu hlavně. Může a nemusí protnout záměrnou před bodem protnutí záměrné a výstřelné, což je záměrný bod pro nastřelení zbraně. Za tímto bodem střela klesá pod úroveň záměrné a její poloha se vyjadřuje v minusových hodnotách. Údaje o tvaru balistické křivky se používají k výpočtu velikosti náměru (výškového seřízení) potřebného k tomu, aby se střela dostala do záměrného bodu při nastřelení na jinou vzdálenost.³⁶

Pro správné pochopení balistické křivky je třeba vysvětlit několik hlavních pojmů používaných ve vnější balistice.

- Náměrná – prodloužená osa hlavně zamířené zbraně před výstřelem
- Záměrná – přímka spojující oko, mířidla zamířené zbraně a cíl
- Výstřelná – prodloužená osa hlavně v okamžiku opuštění střely
- Bod výstřelu – bod, ve kterém střela opustí hlaveň
- Vrchol dráhy střely – svislá výška dráhy střely nad úrovní ústí
- Bod zásahu – bod, na kterém střela dopadne na povrch cíle
- Bod nárazu – bod na povrchu terénu, na který střela dopadne mimo cíl
- Bod doletu – bod, na němž střela na sestupném oblouku dráhy střely protíná úroveň ústí zbraně
- Vodorovný dostřel – vodorovná vzdálenost mezi bodem výstřelu a bodem doletu
- Derivace střely – odchylka rotující střely od výstřelné roviny směrem do strany vyvolaná rotační stabilizací střely kolem její podélné osy

³⁵ JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavně zbraně a střelivo [online]. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5, s. 87*

³⁶ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 160*

- Úhel zdvihu – úhel mezi náměrnou a výstřelnou
- Úhel záměru – úhel mezi záměrnou a náměrnou
- Úhel náměru – úhel mezi záměrnou a úrovní ústí
- Vzestupná oblouk – část dráhy střely mezi bodem výstřelu a vrcholem dráhy střely
- Sestupný oblouk – část dráhy střely mezi vrcholem dráhy střely a bodem doletu případně bodem nárazu

Vodorovná vzdálenost bodu výstřelu a bodu doletu se nazývá dostřel. Tato veličina je základním parametrem každé zbraně. Dostřel lze dělit na dostřel účinný a dostřel maximální.

Účinný dostřel je největší vzdálenost od bodu výstřelu, na které je zaručena efektivnost použití zbraňového systému. Efektivnost tvoří požadavky na přesnost střely a účinek střely v cíli. Přesnost střely je dále vyjádřena pravděpodobností zásahu cíle, účinek střely v cíli je vyjádřen ranivostí, průbojností nebo zastavujícími schopnostmi střely.

Maximální dostřel udává maximální vzdálenost dopadu střely od bodu výstřelu. Jedná se pouze o informativní údaj, který se používá například při ohraničení vzdálenosti ohrožených prostorů při střelbě, kam mohou dopadnout střely nebo jejich části. Tohoto dostřelu dosahují střely vystřelené pod úhlem menším 45° .³⁷

2.3 Stabilizace střel

Každá střela musí být během svého pohybu po dráze letu stabilizována tak, aby se její podélná osa odchylovala od vektoru okamžité rychlosti (tj. od tečny ke dráze střely) v přijatelných mezích. Pokud by střela za letu nebyla stabilní, poklesl by v důsledku zvýšení celkového odporu podstatným způsobem

³⁷ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 10, 11

její dostřel, zhoršila by se přesnost střelby a nebylo by dosaženo ani požadovaného účinku v cíli.³⁸

Po opuštění hlavně na střelu působí síly, které odchylují střelu od její osy a tím ji destabilizují. Nestabilní střely se za letu převrací podél celé své dráhy nebo jen v některém jejím úseku.

Mezi tyto síly patří:

- Tíže neboli gravitace
- Odpor vzduchu – působí jak na čelní hranu střely, tak i na její spodní část; je proměnný v různých nadmořských výškách
- Odpor tření
- Magnusova síla
- Coriolisova síla
- Povětrnostní vlivy
- Nepravidelné obtékání střely plyny uvnitř hlavně zbraně
- Nevyváženost střely a nepravidelný tvar střely
- Rozkmitání střely v hlavní a rozkmitání samotné hlavně³⁹

Z těchto důvodů jsou střely stabilizovány do přijatelných mezí.

Jak již bylo v předchozích odstavcích naznačeno, na střelu působí za letu po její dráze zemské síly. Tyto síly by se daly rozdělit do dvou skupin:

- základní – odpor vzduchu a síla tíže
- doplňkové – Magnusova, Poissonova, Coriolisova síla

Na střelu v místě ležícím mimo těžiště působí odpor vzduchu. U střel stabilizovaných rotací tato síla působí před těžištěm střely (v místě blíže přední části střel), u střel stabilizovaných šípovou stabilizací působí za těžištěm. Tato veličina není konstantní, záleží na rychlosti a tvaru střely. Odpor vzduchu má dvě složky, a to čelní odpor, který snižuje rychlost střely a má vliv na vlastnosti, dostřel a účinek střely, vztlak, který může mít vliv na rozptyl drah střel.

³⁸ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 68

³⁹ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 36, 68

Odpor vzduchu při nadzvukové rychlosti střely je způsoben čelním odporem vzduchu na špičce střely a vznikem čelní vlny, odporem dna střely, třením vzduchu o celý povrch (plášť) střely, dále vytvářením dnových vln zředění, vln od nerovností povrchu střely (drážka po zakroužení ústí nábojnice, mazací drážky) a rotací střely kolem své osy. Zásadní význam má čelní odpor. Aerodynamicky nejvýhodnější tvar je dlouhý, štíhlý přední ogivál a štíhlá zadní část střely.⁴⁰

Síla tíže je dána součinem hmotnosti střely a tíhového zrychlení. Vychází z Newtonova gravitačního zákona, který udává hodnotu gravitačního zrychlení dle vzdálenosti od středu Země. Tato hodnota je v České republice $9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Magnusova síla je doplňková síla, neboť ovlivňuje dráhu letu střely pouze nepatrně a její výpočet bývá velmi obtížný. Tato síla vzniká při pohybu rotujících těles v atmosféře a její vliv bývá nejvýraznější u rotačně stabilizovaných střel v okamžiku, kdy vane silný příčný vítr a kdy střela dosahuje pouze malé rychlosti. Příčný vítr, který na pravotočivou střelu působí zprava, posouvá její střední bod zásahu směrem dolů, naopak příčný vítr působící zleva posouvá střední bod zásahu směrem nahoru. Tato síla se projevuje pouze u střel puškových zbraní při střelbě na dlouhé vzdálenosti.

Druhou pravidelnou doplňkovou silou je tzv. síla Poissonova, která je stejně jako síla Magnusova silou aerodynamickou. Působí na střely stabilizované rotací. Vlivem zakřivení dráhy se střela pohybuje s jistým kladným úhlem náběhu, tj. přední část střely je častěji nad tečnou ke dráze, než pod touto tečnou. Pokud je střela v poloze nad tečnou, dochází ke stlačování vrstvy atmosféry pod tělem střely. Po této vrstvě se pak střela odvaluje ve smyslu vlastní rotace střely (u pravotočivých střel doprava).⁴¹

Poissonova síla je podobná derivaci střely, proto se do derivace započítává.

⁴⁰ CARAS, Ivo. *Střelivo do ručních palných zbraní*. Praha: Ars-Arm, 1995. ISBN 80-900833-8-2, s. 151

⁴¹ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 36, 37, 46, 48

2.3.1 Stabilizace střel za letu šípovou stabilizací – křídélky

Šípová stabilizace střel je založena na podobném principu jako stabilizace lukostřeleckých šípů. Jedná se tedy o využití aerodynamických sil, které působí na střelu za jejím těžištěm. Toto se dosahuje použitím křídélkového stabilizátoru v zadní části střely. Ruční palné zbraně využívají šípovou stabilizaci jen zcela výjimečně v rámci experimentů, případně jednotných střel do brokovnic. Šípová stabilizace se tak využívá ke střelbě z plynových zbraní nebo, jak bylo naznačeno v první větě, ke střelbě z mechanických zbraní. Díky šípové stabilizaci však mohou být střely větší délky, díky čemuž mohou dosahovat větších účinků v cíli.⁴²

Stabilizace střel za letu křídélky se používá dále například u dělostřeleckých podkaliberních granátů, jejichž samotná střela je menší než průměr hlavně.

2.3.2 Stabilizace střel náběžnou hranou

Střely stabilizované náběžnou hranou jsou takové střely, které mají nestandardní tvar přední části. Jedná se o čelní odporovou plochu, která je téměř kolmá ke směru proudění vzduchu. Samotná střela má poté válcový tvar. Tyto střely využívají aerodynamických sil tak, že čelní hrana odráží vzduch od válcové části a ten působí až v její zadní části, kde dochází ke třecímu odporu. Odpor vzduchu tak působí až za těžištěm střely.

Mezi hlavní nevýhody této stabilizace střel patří horší aerodynamické vlastnosti, které jsou způsobeny velkou čelní odporovou plochou. Jako další nevýhody lze jmenovat závislost odporu vzduchu na rychlosti střely. Jakmile střela ztratí rychlost, rozkýve se a ztrácí stabilitu. Z těchto důvodů se střely se stabilizací náběžnou hranou používají pouze výjimečně, případně je stabilizace střel doplněna stabilizací šípovou.⁴³

⁴² KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 75

⁴³ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 76

2.3.3 Stabilizace střel rotací

Nejčastěji se při střelbě z ručních palných zbraní využívá stabilizace pomocí rotace střely. Aby bylo možno střelu rotačně stabilizovat, musí být hlaveň vybavena drážkovým vývrtem. Jak jsem již v kapitole číslo 2 naznačil, vývrt je jednou z několika částí hlavně. Střely jsou konstruovány tak, aby při výstřelu došlo k zaříznutí pláště nebo jádra střely do drážek vývrtnu, čímž je zajištěn rotační pohyb střely kolem její podélné osy. Díky velké úhlové rychlosti, řádově 10^2 až 10^3 s^{-1} , dochází ke stabilizaci střely na dráze jejího letu. Rotační nebo také gyroskopická stabilizace střel umožňuje střelám zachovat si polohu osy rotace, i když na střelu působí destabilizující síly. Za letu působí na střelu odpor vzduchu, při stabilizaci rotací však na rozdíl od předešlých dvou druhů stabilizace, na její přední část.

Špička střely se v důsledku působení klopného momentu odchýlí vpravo od výstřelné roviny. Tím se v prostoru pootočí i odporová síla R , která opět vyvolá odezvu v podobě odchýlení osy střely ve směru kolmém. Výsledkem je tzv. precesní pohyb, krátce precese střely, tj. periodický otáčivý pohyb osy střely kolem tečny ke dráze. Osa střely opisuje precesní kužel, jehož vrcholový úhel je dvojnásobkem úhlu náběhu a který slouží jako měřítko úrovně stability střely za letu. Precesní pohyb je rušen tzv. nutacemi – rychlým kmitáním osy střely kolem rovnovážné polohy, definované precesním kuželem. Nutace je především důsledkem dynamické nevyváženosti střely.

Pokud je délka střely neúměrně veliká vzhledem k ráži zbraně nebo pokud jsou otáčky střely nízké, je střela nestabilní. Opakem je střela přestabilizovaná, což způsobuje velmi vysoká úhlová rychlost střely. Přestabilizování střely však ovlivňuje její rozptyl.⁴⁴

Se stabilizací střel rotací souvisí i další pojem, a to je derivace. Střela se vlivem otáčivého pohybu kolem své podélné osy a vlivem odporu vzduchu, který působí na její přední část, odklání na stranu otáčení od výstřelné roviny. Derivace se neúměrně zvyšuje po celé dráze letu střely a tím vzniká křivka

⁴⁴ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 70

dráhy střely odchýlená do strany od výstřelné roviny. Derivace je při střelbě z krátkých zbraní zanedbatelná, projevuje se při střelbě z dlouhých zbraní na dálky přesahující stovky metrů, přičemž hodnota derivace je několik centimetrů.⁴⁵

⁴⁵ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 74

3. Optické jevy

3.1 Optika

Lidé a zvířata jsou vybaveni smysly, díky nimž mohou cítit, slyšet, chutnat, dotýkat se a hlavně vidět okolní předměty. Zrakový vjem je jeden z nejdůležitějších smyslů člověka. Okem lze pozorovat specifické vlastnosti předmětů, ať jde o jejich tvar, velikost, barvu, apod. Tyto předměty jsou viditelné v případě, jestliže se od nich odrážejí paprsky světla nebo pokud světlo samy vyzařují.

Optika je fyzikální věda zabývající se studiem světla, jevů spojených se světlem a vidění. Zkoumá, jak se paprsky světla chovají v optických soustavách. Lze ji rozdělit na tři kategorie. Optika geometrická, která bude popsána v následujících odstavcích, se věnuje studiu světelných paprsků. Optika fyzikální vysvětluje podstatu světla a světelných jevů, optika fyziologická studuje samotné vidění.⁴⁶

3.1.1 Geometrická optika

Geometrická optika nebo též optika paprsková pracuje s pojmy a předpoklady obyčejné geometrie. Chápe světelné jevy jako geometrické pojmy; svítící bod se pokládá za matematický bezrozměrný bod a světelný paprsek za matematickou přímku. Geometrická optika je založena na zákonech, jejichž platnost je tím lepší, čím kratší je vlnová délka světla. Umožňuje řešit zobrazovací úlohy, které jsou při respektování vlnového charakteru světla matematicky náročné a málo přehledné.⁴⁷

Teorie geometrické optiky je založena na následujících zákonech:

- zákon přímočarého šíření světla v homogenním prostředí,
- zákon nezávislosti šíření světla,
- zákon lomu na hranici dvou průhledných prostředí,
- zákon odrazu.⁴⁸

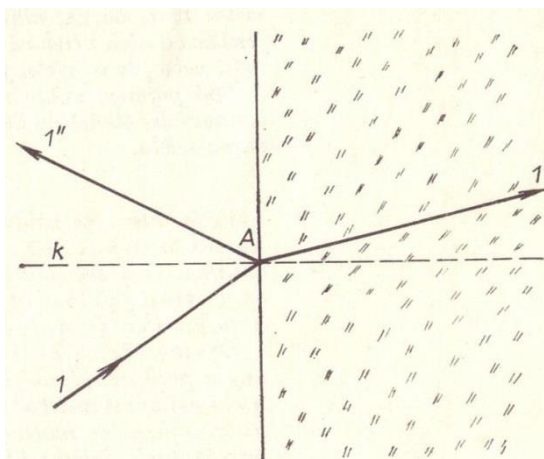
⁴⁶ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 33

⁴⁷ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 33

⁴⁸ BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1, s. 4

Světlo se v souladu se zákonem přímočarého šíření v homogenním prostředí šíří mezi dvěma body po přímce, spojnici těchto dvou bodů. Tyto přímky jsou představovány paprsky, které se žádným způsobem neovlivňují a jsou na sobě nezávislé. To je podstata zákona nezávislosti šíření světla.⁴⁹

O zákon odrazu a lomu lze hovořit tehdy, jakmile paprsek jednobarevného světla dopadá na rozhraní dvou optických prostředí. Paprsek světla se dělí na dva paprsky, které dále postupují dvěma směry. Lomený paprsek je ten, který postupuje do druhého prostředí, paprsek, který zůstává v prvním prostředí, se nazývá odražený.



Obr. 1, Odraz a lom světla na rozhraní dvou optických prostředí⁵⁰

1 - dopadající paprsek, 1' – lomený paprsek, 1'' – odražený paprsek, A – bod dopadu, k – kolmice dopadu

Šíření světla mezi dvěma opticky různými prostředími popisuje zákon lomu neboli Snellův zákon. Paprsek dopadá pod úhlem ε na rozhraní dvou prostředí s indexy lomu n a n' , kde se lomí pod úhlem ε' . Tyto úhly se měří od kolmice dopadu k .⁵¹

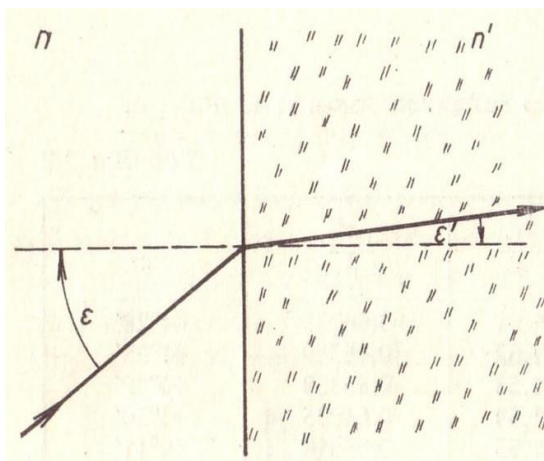
Z uvedeného dále vyplývá:

$$n' \cdot \sin \varepsilon' = n \cdot \sin \varepsilon$$

⁴⁹ BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1, s. 4

⁵⁰ Obr. 1, viz POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 34

⁵¹ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 34



Obr. 2, Lom světelného paprsku⁵²

Lom světelného paprsku závisí na hustotě optického prostředí, kterým prochází. Paprsek se v bodě dopadu může lámat ke kolmici nebo od kolmice. Pokud se paprsek šíří z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího, láme se ke kolmici. Pokud se však paprsek šíří z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, láme se směrem od kolmice. Lom světelného paprsku v tomto případě může být roven 90° , takovýto úhel dopadu se značí jako mezní úhel. Jestliže paprsek dopadá pod úhlem větším než je mezní úhel, nedochází k jeho lomu, pouze k jeho odrazu.⁵³

3.1.2 Index lomu

Index lomu prostředí je fyzikální veličina, která v optice znamená poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí. Značí se písmenem n a je bezrozměrná.

Absolutní index lomu je veličina chápaná jako podíl rychlosti šíření světla ve vakuu c a rychlosti šíření světla určité vlnové délky v_λ v daném prostředí.⁵⁴

$$n_\lambda = \frac{c}{v_\lambda}$$

⁵² Obr. 2, viz POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 37

⁵³ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 37

⁵⁴ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 34

Pro praxi má význam index lomu n_λ vzhledem ke vzduchu, tj. poměr rychlosti $v_{o\lambda}$ světla ve vzduchu k rychlosti v_λ světla v uvažovaném prostředí, což je relativní index lomu vzhledem ke vzduchu.

$$n_\lambda = \frac{v_{o\lambda}}{v_\lambda}$$

Světlo se v žádném prostředí nešíří rychleji než ve vakuu, proto je index lomu vždy větší nebo roven 1.

$$n \geq 1$$

Rychlost světla ve vakuu je přibližně $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.⁵⁵

3.1.3 Fermatův princip

Za základní východisko geometrické optiky je považován Fermatův princip. Světlo se šíří tak, že délka optické dráhy po paprsku je kratší než délky optických drah po libovolných jiných křivkách, které leží v okolí paprsku. Doba šíření světla je rovna podílu délky optické dráhy a rychlosti světla ve vakuu. Fermatův princip bývá proto také často formulován jako princip nejkratšího času, tedy, že světlo se šíří mezi dvěma body tak, aby doba šíření byla co nejkratší. Takto ho také Fermat původně vyslovil. Obecněji je ovšem možné ho formulovat tak, že optická dráha mezi dvěma body, kterými prochází světelný paprsek, je extrémální (tj. musí být minimální, maximální nebo musí odpovídat inflexnímu bodu). Řečeno jinak, variace dráhy musí být nulová. Princip se vztahuje na křivky v blízkém okolí, nemusí jít o globální extrém.⁵⁶

Zjednodušeně řečeno, světlo se šíří mezi dvěma body po takové dráze, aby tuto dráhu urazilo za co nejkratší dobu.

3.1.4 Optické soustavy

Optické soustavy jsou zařízení, která buď vytvářejí obraz, jehož pozorování je výhodnější, popř. účelnější než pozorování samotného zobrazovaného předmětu, nebo která využívají vlastností světla a optických prostředí k měřicím účelům. Do první skupiny patří zobrazovací přístroje, do druhé přístroje laboratorní. Zobrazovací přístroje se dále dělí na přístroje

⁵⁵ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 35

⁵⁶ MALÝ, Petr. *Optika*. 2. Praha: Karolinum, 2013. ISBN 978-80-246-2246-0, s. 164

subjektivní, vytvářející neskutečný obraz, a na přístroje objektivní, vytvářející obraz skutečný.

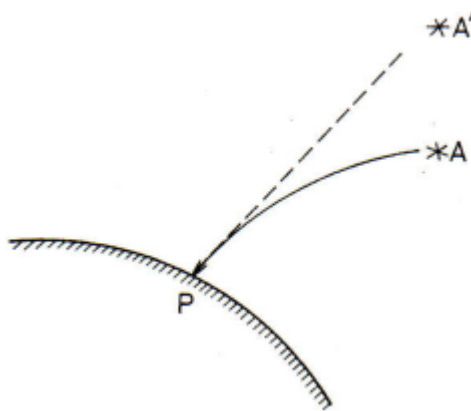
V případě subjektivních optických přístrojů je obraz zaznamenáván pouhým okem, mezi tyto přístroje lze zařadit například lupu, dalekohled, mikroskop nebo také brýle a kontaktní čočky.

Objektivní optické přístroje zaznamenávají obraz na citlivou vrstvu tohoto přístroje, například na film, stínítko nebo projekční plátno. Do této kategorie jsou zařazeny kamery, fotoaparáty, apod.⁵⁷

⁵⁷ POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74, s. 97

3.2 Refrakce

Lomem světelných paprsků vzniká celá řada optických úkazů. Jedním z nich je i atmosférická refrakce. Astronomický objekt, například hvězda, pozorovaný ze zemského povrchu z bodu P , by se při neexistenci lomu světelných paprsků v atmosféře nacházel na obloze v bodě A . Vlivem stále hustších vzduchových vrstev, kterými prochází světelný paprsek hvězdy, se tento paprsek láme ke kolmici. Daná hvězda je proto vnímána ve směru tečny vedené k zakřivenému paprsku v bodě, kde je tento paprsek pozorován, tedy ve směru od bodu P k bodu A' .



Obr. 3, Vznik astronomické refrakce ⁵⁸

Astronomická refrakce je tak dána úhlem spojnic PA' a PA . Tento úhel je pouhým okem zanedbatelný, v astronomii však díky němu lze pozorovat skutečnou polohu astronomických objektů.

V důsledku astronomické refrakce člověk vnímá slunce při východu a při západu o něco výše nad obzorem, než odpovídá jeho skutečné poloze.

Analogickým jevem vůči astronomické refrakci je tzv. refrakce zemská, která je definovaná jako úhel celkového stočení paprsku vycházejícího ze zemského povrchu a procházejícího šikmo vzhůru atmosférou do kosmického prostoru.⁵⁹

Boční refrakce je obdobný jev atmosférické refrakce, který však vzniká v menším prostorovém měřítku. Tato refrakce se způsobena lomem přibližně

⁵⁸ Obr. 3, viz BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 110

⁵⁹ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 110

horizontálních světelných paprsků na nehomogenitách hustoty vzduchu vznikajících nejčastěji intenzivního nerovnoměrného zahřívání zemského povrchu slunečním zářením během dne. Boční refrakce působí veliké obtíže například při geodetických pracích v terénu.

Světelné paprsky se vlivem klesající hustoty vzduchu v atmosféře zakřivují stejně, jako je zakřiven zemský povrch. Paprsky dále pronikají i za obzor a dochází tak k jeho zdánlivému zvednutí. Zvednutí obzoru je tím výraznější, čím rychleji klesá hustota vzduchu s výškou. Příznivé podmínky pro jeho pozorování se vyskytují za situací s mohutnými přízemními inverzemi teploty, kdy se u zemského povrchu nalézá relativně těžký studený vzduch, zatímco teplota roste s výškou, a hustota vzduchu směrem vzhůru proto relativně velmi rychle klesá.⁶⁰

⁶⁰ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 112

3.3 Mirage

Miráž (angl.. mirage), někdy také nazývané jako zrcadlení vzduchu nebo fata morgana, vzniká vlivem stoupajícího teplého vzduchu od povrchu země, kde se mísí se vzduchem studeným. Teplota vzduchu je spjata s jeho hustotou, v teplejším vzduchu se sluneční světlo ohýbá jinak než ve studeném. Takto vzniká v určité výšce nad zemí vlnění vzduchu, které postupně stoupá vzhůru. Vlnění vzduchu zeslabuje při chladném počasí, které ochlazuje zemský povrch a také při mírné rychlosti větru, který jej rozfouká. Zrcadlení vzduchu se projevuje vznikem nepravých obrazů blízkých nebo vzdálených předmětů.

Podobný jev lze pozorovat při vložení tyče do vody. Hustota těchto dvou látek je různá, proto „tyč do vody vložená vypadá jak zlomená“.

Při střelbě na dlouhé vzdálenosti zrcadlení vzduchu způsobuje nemalé potíže. Výhled přes mířidla může být v horkých oblastech rozmazaný nebo úplně zablokovaný. Pohybem vrstev vzduchu se terč zdá být pohyblivý z jedné strany na druhou, případně nahoru a dolů. Dále může docházet k úplnému posunu obrazu pozorovaného dalekohledem. Obraz cíle se posunuje ve směru pohybu zrcadlení vzduchu a jeho posun je nezávislý na směru a rychlosti větru.

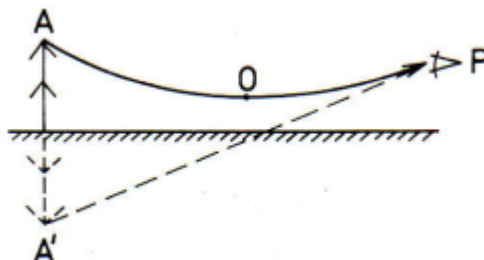
Velikost posunu závisí na kategorii zrcadlení vzduchu. Pokud zrcadlení vzduchu stoupá vzhůru, bude se i obraz terče posunovat vzhůru. Při horním stoupání a větru o rychlosti 3 – 7 mil/hod. (4,8 – 11,3 km/hod.) bude posunutý obraz částečně překrývat terč a částečně bude nad ním. Při vodorovném posunu napříč (z 3. hodiny na 9. a obráceně) bude obraz posunutý pouze stranově.⁶¹

3.3.1 Spodní zrcadlení

Při velmi intenzivním ohřívání zemského povrchu slunečním zářením někdy vzniká situace, za níž v přehřáté přízemní vrstvě vzduchu silné až několik metrů hustota vzduchu s výškou roste. Světelný paprsek postupuje přehřátou

⁶¹ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 208

přízemní vrstvou s anomálním vertikálním růstem hustot vzduchu směrem k pozorovateli (P). Paprsek se nejprve lomí od kolmice a jeho úhel dopadu roste, dokud v bodě O nedosáhne kritické hodnoty potřebné pro totální odraz. Poté se paprsek začne lámat směrem ke kolmici. Pozorovatel pak vidí zrcadlově převrácený obraz objektu A.



Obr. 4, Spodní zrcadlení ⁶²

Spodní zrcadlení je typickým úkazem v horkých oblastech, zejména v pouštích. Zcela běžně se však vyskytuje i u nás, například nad sluncem rozpáleným betonovým nebo asfaltovým povrchem. ⁶³

3.3.2 Svrchní zrcadlení

Světelný paprsek postupuje atmosférou směrem šikmo vzhůru, přičemž vlivem poklesu hustoty vzduchu dochází k lomu od kolmice. Tam, kde hustota vzduchu klesá s výškou zvláště rychle, může úhel sevřený paprskem a vertikálou nabýt kritické hodnoty pro totální odraz. Paprsek se potom ohne zpět k zemskému povrchu a dále prochází stále hustšími vrstvami vzduchu, kdy se láme ke kolmici, až se dostane do oka pozorovatele. Ten poté může spatřit převrácený obraz. ⁶⁴

Svrchní neboli horní zrcadlení je typické pro geografické oblasti, ve kterých se vyskytují mohutné výškové teplotní inverze. Jedná se především o polární oblasti a oblasti suchých tropických pásů. V oblasti střední Evropy je svrchní zrcadlení poměrně vzácným jevem pozorovatelným pouze v zimním

⁶² Obr. 4, viz BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 114

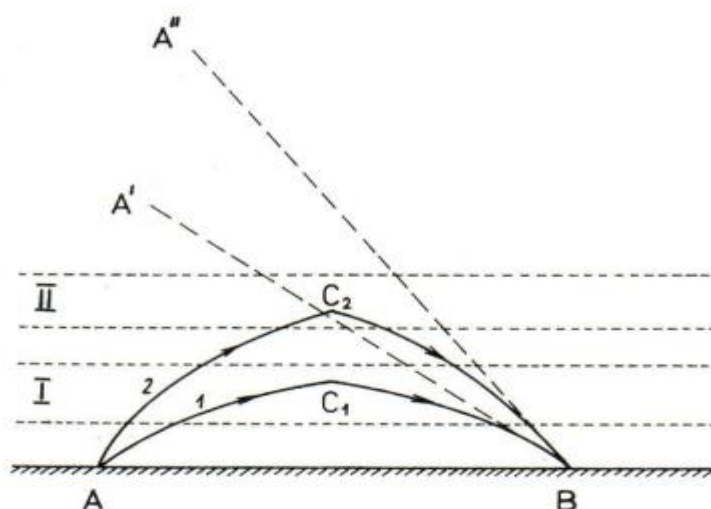
⁶³ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 114

⁶⁴ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 113

období. V chladném období jsou totiž příznivější podmínky pro vytváření mohutných teplotních inverzí.⁶⁵

3.3.3 Vícenásobné zrcadlení

V případě výskytu více vrstev s teplotní inverzí nad sebou, může dojít k vzácnému úkazu, kdy lze pozorovat dva nebo i více obrazů vzdálených objektů nad sebou.⁶⁶



Obr. 5, Svrchní a vícenásobné zrcadlení⁶⁷

1, 2 – světelný paprsek, A – výchozí bod paprsku, B – pozorovatel, I, II – vrstvy teplotní inverze, C₁, C₂ – bod totálního odrazu, A', A'' – převrácený obraz předmětu

3.3.4 Použití v praxi

Zrcadlení vzduchu se při střelbě na dlouhé vzdálenosti používá k určování rychlosti a směru větru. Tato metoda kombinuje všechny možné způsoby zjištění, které vedou k přesnému určení z jaké strany a jakou rychlostí

⁶⁵ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 113

⁶⁶ BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 114

⁶⁷ Obr. 5, viz BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2, s. 113

vítr vane. Zrcadlení lze pozorovat jako zvlněné linky. Vlnění se v pozorovacím dalekohledu mění a pohybuje se všemi směry. Pokud vlnění stoupá přímo vzhůru, znamená to, že vítr vane přímo proti střelci, zezadu nebo je bezvětří. Tento vítr nemá žádný vliv na odchýlení střely a na puškohledu není nutné nastavovat stranovou korekci. Pokud se však vlnění pohybuje bočně, je nutné tuto korekci provést.

Rychlá změna směru větru se v dalekohledu pozná také tím, že se vlnění začne třást. V tuto chvíli je zapotřebí vyčkat na ustálení vlnění v určitém směru a poté opět nastavit stranovou korekci.

Pozorování zrcadlení vzduchu neboli jeho vlnění využívají hlavně sportovní terčovní střelci, kteří díky tomuto jevu dokáží umístit zásahy s velkou přesností.⁶⁸

3.3.5 Tepelné clony hlavně

K zabránění vlnění vzduchu, které je způsobené rozdílnými teplotami mezi hlavní dlouhý zbraně a okolním vzduchem, se používá tzv. lonta neboli tepelná clona hlavně. Jedná se o pruh látky z vysoce odolného elastického materiálu, který se k přední části zbraně přichytí na ústovou brzdu a druhý konec na nosič lenty umístěn pod puškohledem. Při výstřelu dochází k odklonu teplého vzduchu do stran, čímž nevzniká před zaměřovačem již zmíněné vlnění vzduchu.

V případě střelby na dlouhé vzdálenosti za použití tlumiče hluku dochází k vlnění vzduchu před optickým zaměřovačem nejen vlivem vysokých teplot od hlavně, ale i vlivem vysokých teplot ze samotného tlumiče, neboť ten při střelbě shromažďuje velké množství tepla. Pro zajištění jasného obrazu cíle se používá kryt tlumiče hluku, který odolá vysokým teplotám a zmírňuje tvorbu již zmíněného vlnění vzduchu. Jako další výhodu krytu lze uvést ochranu střelce před popálením v případě kontaktu těla s tlumičem. Kryt je vyroben z polymeru a k tlumiči se připevňuje pomocí ocelových svorek.

⁶⁸ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 203

4. Povětrnostní vlivy

4.1 Vítr

Vítr je velmi proměnlivý jev, který významně ovlivňuje pohyb střely po její dráze a přesnost v cíli. Přízemní vítr, který vane ve směru kolmém na výstřelnou rovinu, způsobuje stranové odchýlení střely neboli derivaci.

Pro určení síly větru se používají různé pomůcky jako například Beaufortova stupnice, která uvádí sílu větru vztaženou k různým vlivům pozorovatelných pouhým okem. Zde lze uvést jako příklad sílu větru o rychlosti 39 – 49 km/h (10,8 – 13,8 m/s), kdy se tato rychlost označuje jako vítr silný a způsobuje pohyb silnějších větví stromů.

Určení síly větru by mohlo být problematické při střelbě v zastavěné oblasti, neboť mezi domy se vítr otáčí v nepravidelných směrech a i jeho rychlost se vlivem zúžení a rozšiřování ulic mění. Pro určení směru a rychlosti větru v zastavěných oblastech lze využít různých předmětů z textilních materiálů, jako například vlajky, fáborky apod.⁶⁹

Pro střelbu na dlouhé vzdálenosti je podstatné rozeznávat základní směry větru:

- přední vítr – vítr, který působí proti dráze střely, střelu brzdí a snižuje její energii v cíli, dochází také k nepřesnosti v cíli, střela je pod bodem zamíření
- zadní vítr – vítr, který střelu urychluje, odpor vzduchu je oproti normálním podmínkám menší, dochází k nepřesnosti, střela je nad bodem zásahu
- plný vítr – vítr, který působí pod úhlem 90° horizontálně na střelu, ji vychyluje stranově, dochází k nepřesnosti v cíli
- poloviční vítr – vítr, který působí pod úhlem cca 45° horizontálně na střelu, ji vychyluje stranově, dochází k nepřesnosti v cíli

⁶⁹ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 197

- nárazový vítr – vítr, který je nepředpokladatelný, způsobuje změny dráhy střely, při střelbě rozhodují zkušenosti střelce
- turbulentní vítr – vítr, který vzniká obtékáním předmětů na dráze letu střely (například val na střelnici) a vytváří větrný vál působící na střelu z různých směrů, přesnost závisí na zkušenostech střelce⁷⁰

4.2 Aerodynamika

Aerodynamika letu střely a její letové vlastnosti, tedy i celkový odpor vzduchu proti pohybu střely, jsou výrazně ovlivněny charakterem proudění, tj. charakterem obtékání střely molekulami vzduchu, který popisují tzv. proudnice. Proudnice (proudové vlákno) je myšlená čára, po které se pohybuje určitá částice vzduchu obtékajícího střelu během letu. Soustava proudnic kolem střely vytváří tzv. proudové pole- oblast v okolí pohybující se střely, v níž je charakter pohybu jednotlivých částic vzduchu ovlivněn přítomností střely. Pro hodnocení aerodynamických vlastností střely se využívá její proudnicový obraz, což je graficky znázorněná soustava proudnic charakteristického tvaru v okolí letící střely. V praxi se nejčastěji využívá rovinný proudnicový obraz, odpovídající řezu proudového pole rovinou procházející osou střely, resp. vektorem okamžité rychlosti střely.⁷¹

4.3 Teplota vzduchu

Při zvýšení teploty se hustota vzduchu zmenšuje, dráha letu střely se tak prodlužuje. Záměrné úhly se proto musí měnit v závislosti na teplotách při nástřelu zbraně. Zbraň musí být nastřelena při určité teplotě, která se zaznamená do záznamového deníku zbraně. Od této teploty se dále odvíjí

⁷⁰ LODR, Jan. *Povětrnostní vlivy jako faktor ovlivňující přesnost střelby*. Praha, 2008. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Brych, s. 9

⁷¹ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 33

hodnota kliků na puškohledu, neboť při rozdílných teplotách zhruba o 5 °C se mění nastřelená hodnota.⁷²

4.4 Slunce

Slunce způsobuje nemalé problémy při zamíření na cíl, pokud je v poloze proti střelci. K odstranění vlivu slunečního záření se využívají různé očníkové clony a antireflexní vrstvy. Naopak v případě zhoršení světelných podmínek lze použít filtr k rozjasnění, který se přikládá k přední části optického zaměřovače. Při střelbě na terč s bílou plochou, o který se opírá slunce, dochází k přesvícení a zamíření je složitější. To platí i pro terč s plochou tmavou, pokud je okolí terče světlé.

Zaměřovací dalekohled Unertl 10x

Čočky dalekohledu jsou potaženy vysoce odolnou antireflexní vrstvou HELR, která zvyšuje propustnost světelného záření přibližně na 91% přicházejícího množství. Pokud by čočky nebyly opatřeny antireflexní vrstvou, velké množství světla by se odráželo pryč a obraz v dalekohledu by byl nezřetelný. Čočka o průměru 40 mm produkuje výstupní pupilu o velikosti 4 mm. Dalekohled nemá žádné zařízení pro upevnění přístroje pro noční vidění. Ohnisková vzdálenost činí 3 palce (76,2 mm) a zorné pole dalekohledu je 11 stop na 100 yardů (3,35 m na 91 m).⁷³

Při střelbě za jasného slunečního světla se používají sluneční clony. Tyto zabraňují pronikání slunečních paprsků do zorného pole puškohledu, což umožňuje střelci střílet blíže ke slunci, aniž by došlo k vyblednutí obrazu nebo k odleskům uvnitř puškohledu. Díky clonám je tak pohled přes puškohled jasnější. Další výhodou slunečních clon mohou být jejich antireflexní vlastnosti, které snižují možnost odlesku slunečního paprsku od čočky puškohledu. Sluneční clony také chrání čočku puškohledu před případným poškozením

⁷² LODR, Jan. *Povětrnostní vlivy jako faktor ovlivňující přesnost střelby*. Praha, 2008. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Brych, s. 16

⁷³ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 19

nebo před deštěm. K přední části puškohledu se sluneční clony šroubují pomocí připravených závitů na objímce objektivu. Vyrábí se z nereflexních plastových materiálů.

Čočka objektivu puškohledu je jako zrcadlo. Slunce se v určité poloze od ní odráží směrem k cíli, což je nežádoucí. Zvláště v případě nasazení v bojových oblastech nebo v myslivosti, kdy by prozrazení pozice střelce znamenalo neúspěch. Některé puškohledy jsou však vybaveny antireflexní vrstvou, u jiných je vhodné použít antireflexní clonu. Jedná se o clonu opatřenou mřížkou, která značně sníží nebo eliminuje odraz slunce. Nevýhodou však může být snížení světla vstupující do puškohledu a obraz se tak zdá být tmavší. Upíná se stejně jako sluneční clona pomocí závitu v objímce puškohledu.

4.5 Nadmořská výška

Hustota vzduchu úzce souvisí s nadmořskou výškou. Je závislá na teplotě, tlaku a vlhkosti vzduchu. Stejně jako teplota vzduchu i jeho hustota a tlak s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Pro příklad lze uvést, že hustota vzduchu je ve srovnání s hladinou moře ve výšce 6600 metrů nad mořem poloviční. Z těchto důvodů lze předpokládat, že se vlivem změny nadmořské výšky změní i nástřelné hodnoty zbraně.⁷⁴

4.6 Déšť

Kapky deště mají průměr 0,5 mm až 5 mm. Větší kapky se nevyskytují, neboť jsou rozptýleny odporovými silami. Největší kapky deště dosahují hmotnosti kolem 65 mg, jejich nejvyšší rychlost dopadu činí 10 m/s. Menší kapky se nazývají mrholení.⁷⁵

Při střelbě na vzdálenost 100 m je vliv dešťových kapek na dráhu střely téměř nulový. U větších vzdáleností pohybujících se v několika stovkách metrů

⁷⁴ LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9, s. 161

⁷⁵ KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: Střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2022. ISBN 978-80-206-1398-1, s. 93

může být již střela deštěm ovlivněna, ale i v tomto případě je vliv deště zanedbatelný.

Závěr

V této bakalářské práci bylo pojednáno o balistice střelných zbraní a o optických jevech, které mohou ovlivňovat střelbu na dlouhé vzdálenosti. V přírodě se vyskytuje celá řada jevů, ať již optických nebo povětrnostních, způsobujících střelcům nemalé problémy.

Slunce může způsobovat zkreslení cíle, přímé slunce zářící proti střelci znesnadňuje zamíření cíle, vlivem rozdílné teploty vzduchu v letních měsících vzniká zrcadlení vzduchu, které také komplikuje správnost zásahů. V neposlední řadě mohou střelbu výrazně ovlivňovat také gravitace či vítr působící na střelu po její dráze letu. To vše jsou vlivy, které způsobují chybovost zásahů a na které je člověk krátký. Ani špičkový zbraňový systém nezaručí bezchybný zásah v cíli.

Působení některých z těchto jevů lze alespoň zčásti minimalizovat. Použitím sluneční clony sluneční paprsky pronikají do dalekohledového zaměřovače v menší míře, tepelná clona hlavně snižuje zrcadlení vzduchu vznikající nad hlavní zbraně. Při nárazovém větru lze v určitých okolnostech vyčkat, zda vítr nezeslábne.

Pro správné zásahy v cíli tak hrají hlavní roli zkušenosti střelce.

Seznam použité literatury

Literatura

BALÁŽ, Theodor a Zdeněk ŘEHOŘ. *Optické přístroje LSOZ*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1806-1.

BEDNÁŘ, Jan. *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2.

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

JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo [online]*. 1. vydání. Brno: VUT, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.

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

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

KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0.

KOMENDA, Jan. *Střelivo loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2006. ISBN 80-248-1254-1.

LAU, Mike R. *Vojenský a policejní odstřelovač: Příručka přesné střelby pro armádní a policejní odstřelovače*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 978-80-206-0708-9.

LODR, Jan. *Povětrnostní vlivy jako faktor ovlivňující přesnost střelby*. Praha, 2008. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Brych.

MALÝ, Petr. *Optika*. 2. Praha: Karolinum, 2013. ISBN 978-80-246-2246-0.

POLÁŠEK, Jaroslav. *Technický sborník oční optiky*. Praha: SNTL, 1974. 06-045-74.

ŽUK, Aleksandr Borisovič. *Pušky a samopaly*. Praha: Naše vojsko, 1992. ISBN 80-206-0150-3.

Internetové zdroje

Kolimátory - Úvod pro začátečníky. ARMED.cz [online]. Copyright © 2008 [cit. 13.01.2023]. Dostupné z: <https://www.armed.cz/clanky/kolimatory-uvod-pro-zacatecniky/>

REGULI, Zdenko. *Základy balistiky* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/balistika>

TRŽICKÝ, Tomáš. *Zrcadlení Alp i Ještědu* [online]. 22.11.2012 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/zrcadleni-Alp-i-Jestedu.php>

TYC, Tomáš. *Zrcadlení na rozpálené silnici* [online]. 30.10.2009 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.em.muni.cz/veda-a-vyzkum/1615-zrcadleni-na-rozpalene-silnici>

Seznam příloh

Příloha č. 1 Odstřelovací puška SAKO TRG 22, ráže .308 Winchester (7,62 x 51 mm NATO), dalekohledový zaměřovač Schmidt Bender PM 2 3-20x50

Příloha č. 2 Pohled přes mechanická mířidla samopalu Heckler & Koch MP5 na cíl ve vzdálenosti 10 m

Příloha č. 3 Pohled přes dalekohledový zaměřovač - puškohled Schmidt Bender PM 2 na cíl ve vzdálenosti 15 m

Příloha č. 4 Pohled přes kolimátor EOTech 512

Příloha č. 5 Vybrané střelivo ráže 7,62 x 51 mm NATO - SAKO .308 Win., .308 Win. MEN-SFC, .308 Win. AP

Příloha č. 6 Tepelná clona hlavně

Příloha č. 7 Grafické metody určení polohy středního bodu zásahu

Příloha č. 8 Fáze pohybu střely a rozdělení balistiky hlavnových zbraní

Příloha č. 9 Svrchní zrcadlení

Příloha č. 10 Spodní zrcadlení

Přílohy práce



Příloha č. 1, Odstřelovací puška Sako TRG 22 ⁷⁶



Příloha č. 2, Pohled přes mechanická mířidla ⁷⁷

⁷⁶ foto autor práce

⁷⁷ foto autor práce



Příloha č. 3, Pohled přes dalekohledový zaměřovač – puškohled ⁷⁸



Příloha č. 4, Pohled přes kolimátor ⁷⁹

⁷⁸ foto autor práce

⁷⁹ foto autor práce



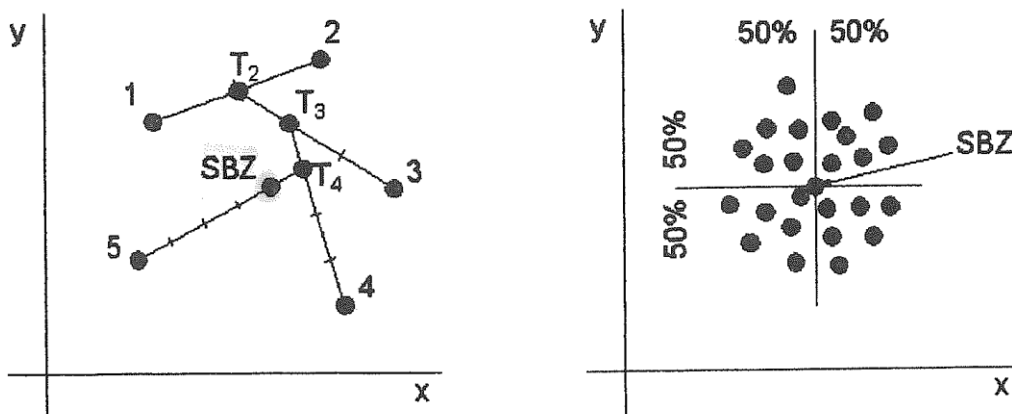
Příloha č. 5, Vybrané střelivo ráže 7,62 x 51 mm NATO ⁸⁰



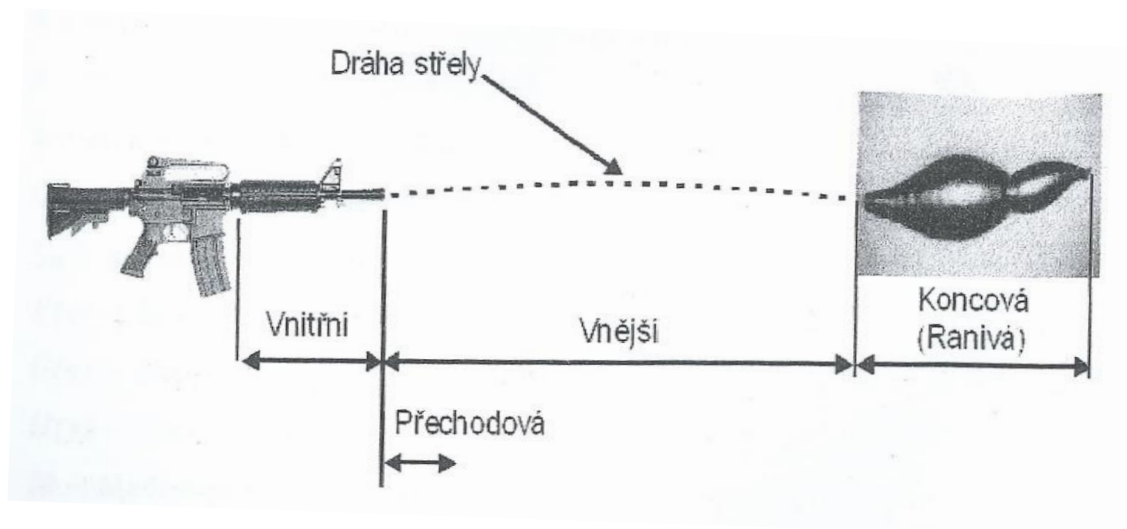
Příloha č. 6, Tepelná clona hlavně neboli lenta ⁸¹

⁸⁰ foto autor práce

⁸¹ foto autor práce



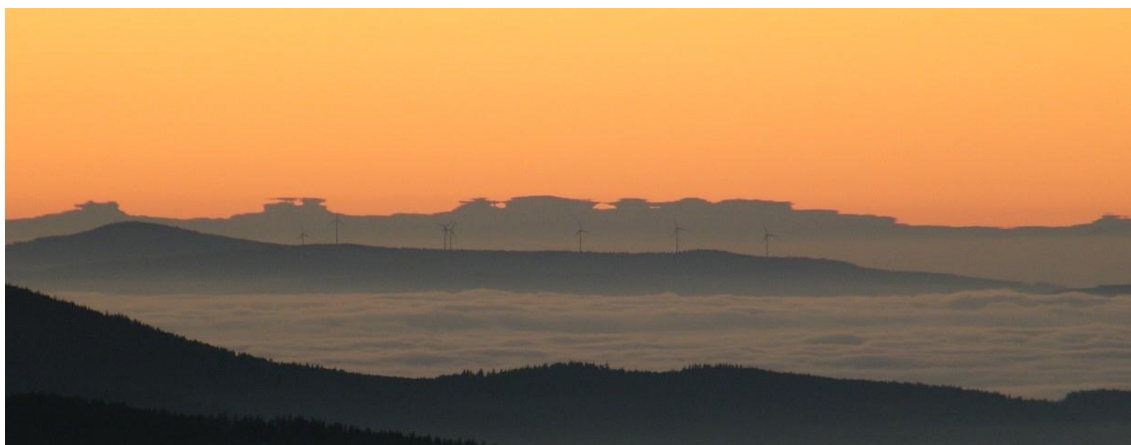
Příloha č. 7, Grafické metody určení polohy středního bodu zásahu ⁸²



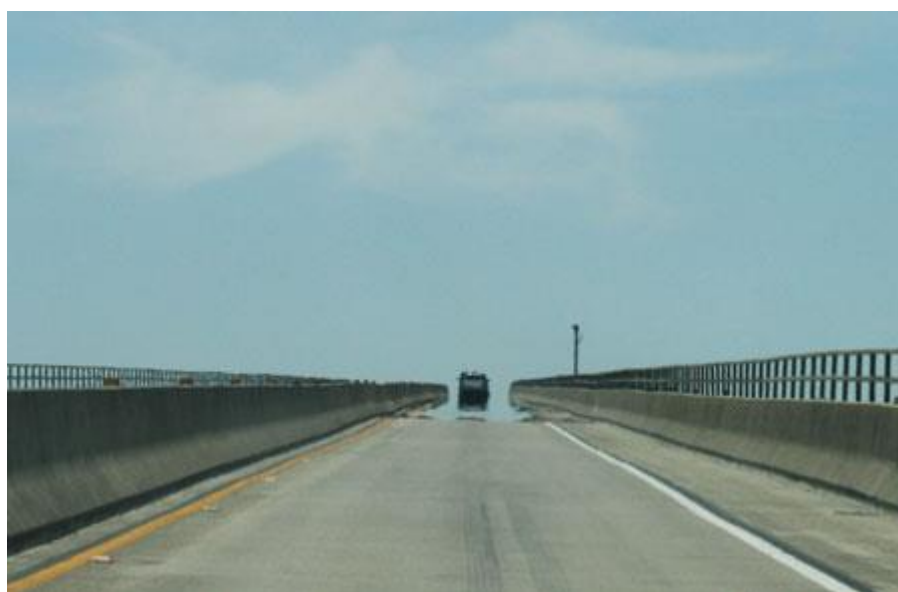
Příloha č. 8, Fáze pohybu střely a rozdělení balistiky hlavních zbraní ⁸³

⁸² KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 93

⁸³ KOMENDA, Jan, Roman VÍTEK a Martin RYDLO. *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1027-0, s. 8



Příloha č. 9, Svrchní zrcadlení předhůří Alp ⁸⁴



Příloha č. 10, Spodní zrcadlení ⁸⁵

⁸⁴ TRŽICKÝ, Tomáš. *Zrcadlení Alp i Ještědu* [online]. 22.11.2012 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/zrcadleni-Alp-i-Jestedu.php>

⁸⁵ TYC, Tomáš. *Zrcadlení na rozpálené silnici* [online]. 30.10.2009 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.em.muni.cz/veda-a-vyzkum/1615-zrcadleni-na-rozpalene-silnici>