

AKADÉMIA OZBROJENÝCH SÍL
generála Milana Rastislava Štefánika

AUTOREFERÁT
DIZERTAČNEJ PRÁCE
ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOTI SYSTÉMOV RIADENIA PALBY
RUČNÝCH ZBRANÍ

2026

Ing. Vrastislav KREHEL

AKADÉMIA OZBROJENÝCH SÍL
generála Milana Rastislava Štefánika

Ing. Vrastislav KREHEL

Autoreferát dizertačnej práce

**ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI SYSTÉMOV RIADENIA PALBY
RUČNÝCH ZBRANÍ**

na získanie akademickej hodnosti philosophiae doctor "PhD."

v študijnom odbore doktorandského štúdia

Obrana a vojenstvo

v študijnom programe Zbraňové systémy, zbrane a ich časti

Liptovský Mikuláš 2026

Dizertačná práca bola vypracovaná v externej forme doktorandského štúdia na Katedre strojárstva Akadémie ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika.

Doktorand: Ing. Vrastislav KREHEL, Katedra strojárstva

Školiteľ: doc. Ing. Teodor BALÁŽ, CSc., Univerzita Obrany Brno

Oponenti: prof. Ing. Martin MACKO, CSc., Univerzita Obrany Brno (ČR)

doc. Ing. Jaroslav VARECHA, Ph.D., AOS

doc. Ing. Zbyněk STUDENÝ, Ph.D., Univerzita Obrany Brno (ČR)

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 2.07.2026 v čase o 11.00 h.

pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce,

ktorej predsedom je prof. Ing. Peter DROPPA, Ph.D.

**na Akadémii ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, Demänová 393,
Liptovský Mikuláš.**

ABSTRACT

KREHEL Vratislav: Improving the Effectiveness of Fire Control Systems for Small Arms [Dissertation Thesis]. Armed Forces Academy of General M. R. Štefánik, based in Liptovský Mikuláš, Department of Mechanical Engineering.

Dissertation supervisor: Assoc. Prof. Ing. Teodor Baláž, CSc., Academic degree: „philosophiae doctor“. Liptovský Mikuláš: Armed Forces Academy of General M. R. Štefánik, 2026. Number of pages 130.

The dissertation thesis “Improving the Effectiveness of Fire Control Systems for Small Arms” deals with the evaluation of factors affecting the accuracy and effectiveness of sniper rifle fire. The firing process is understood as an interconnected chain consisting of the shooter, weapon, ammunition, environment, and target, in which the result is influenced not only by the ballistic trajectory of the projectile, but also by the accuracy of range measurement, aiming quality, weapon and ammunition properties, the sighting system, and environmental conditions. The aim of the thesis is to develop a mathematical-simulation model of a fire control system that enables the analysis of the influence of selected input parameters and their uncertainties on the resulting point of impact and the probability of hitting the target. The model includes errors in range measurement, aiming, correction setting, atmospheric influences, and the dispersion of the weapon, ammunition, and shooter. The output of the model is the determination of the point of impact in the target plane, hit evaluation, and comparison of the significance of individual errors. The practical part of the thesis focuses on obtaining experimental data on the oscillation of the aiming axis, aiming at a moving target, and the accuracy of a laser rangefinder. These data make it possible to refine the simulation model and bring it closer to real firing conditions. The contribution of the thesis lies in the creation of a methodology and simulation tool for the comprehensive evaluation of the effectiveness of a small-arms fire control system, the identification of decisive uncertainties, and the support of technical or training measures aimed at increasing the probability of hit.

Keywords: fire control system, sniper rifle, external ballistics, probability of hit, measurement uncertainties, aiming error, simulation.

1. ÚVOD

V súčasnej dobe je vývoj vojenských vedeckých oblastí, techniky, zbraňových systémov, ale aj ich bojového používania poznamenaný vysokou dynamikou rozvoja. Ako vysoko efektívny nástroj hodnotenia a návrhu je využitie matematických modelov, ktoré umožnia skúmať efektívne použitie zbraňových systémov.

Bojová činnosť vojsk prebieha ako na otvorených priestoroch, tak aj v podstatne členitejších priestoroch ako sú urbanizované, tak aj horské oblasti. Táto skutočnosť núti vojská meniť taktiku boja, kedy sa používa zbraň pri streľbe v zastavanom teréne na krátke vzdialenosti a v okamihu je nútený plniť palebné úlohy pre vedenie streľby na vzdialené ciele. Zbrane a zbraňové systémy sa stávajú sofistikovanejšie a s kombináciou moderných opticko-elektronických prístrojov umožňujúcich meranie takmer všetkých fyzikálnych podmienok streľby (diaľky cieľa, jeho rýchlosť a polohu, stabilizáciu, ...) a to ako v denných, tak aj v podmienkach zhoršenej viditeľnosti.

Vývoj a modernizácia zbraňových systémov ovplyvnila a viedla k vytvoreniu systémov riadenia paľby pre všetky druhy zbraňových systémov, ako napríklad tankové a delostrelecké zbrane. Hlavným cieľom vývoja bolo zvýšenie efektívnosti zbraňového systému, tzn., že splnenie palebnej úlohy muselo prebehnúť za minimálny čas a s minimálnymi nákladmi (t. j. spotrebou munície).

Tento trend modernizácie sa prejavil aj u ručných zbraní, kedy sa nutne skrakuje čas a znižuje spotreba munície, čo vedie k nevyhnutnému zvyšovaniu efektívnosti celého zbraňového systému. A práve na tomto mieste je dôležité zvýrazniť využitie modelu systému riadenia paľby k analýze zbraňového systému.

Systém riadenia paľby odstrelovacej pušky (OP) sa vyznačuje rôznymi stupňami integrácie vyspelejších podsystémov. V najjednoduchšom prípade kedy ich nemá, musí všetky úlohy riešiť strelec sám. V súčasnosti je trend nahrádzať pomalý a nepresný prístup človeka technickými prostriedkami, ktoré zvyšujú presnosť a rýchlosť riadenia paľby.

Ak by teda ZS odstrelovacej pušky nebol vybavený SRP, musel by strelec všetky údaje o ciele (vzdialenosť, prípadný pohyb ...), vlastnostiach prostredia (teplota vzduchu, tlak,

vlhkosť, smer a rýchlosť vetra) a balistické vlastnosti munície (hmotnosť strely, úst'ová rýchlosť, teplota prachovej náplne), vyhodnotiť sám. Ak si predstavíme, že všetky uvedené údaje bude získavať zo zariadení, ako je diaľkomer, anemometer s teplomerom, tlakomer a vlhkomer a balistických tabuliek pre jednotlivé náboje, musel by všetky hodnoty práce vypočítať alebo odčítať z pripravených tabuliek a následne upraviť stranový a výškový posun ohniskovej doštičky v zameriavači. Pritom by musel neustále sledovať cieľ a určiť najvhodnejší okamih pre vykonanie výstrelu. Táto činnosť je náročná nielen z časového ale aj psychologického hľadiska. Na získanie skúseností pre vyriešenie všetkých úloh vyplývajúcich z uvedených hodnôt potrebných na vykonanie jedného výstrelu je dlhotrvajúci výcvik s veľkým množstvom streleckých úloh. A k tomu aj nemalý vplyv talentu.

2. Súčasný stav systémov riadenia strelby pre ručné zbrane

Vývojom výpočtovej techniky, senzorických systémov, optoelektroniky a ich postupná miniaturizácia umožnili, aby sa niektoré prvky systémov riadenia paľby, postupne presúvali aj do oblasti ručných zbraní. Zatiaľ čo v minulosti boli systémy riadenia paľby doménou delostreleckých, tankových, protiletadlových alebo námorných zbraňových systémov, v súčasnosti sa ich vybrané funkcie objavujú aj v zameriavacích prístrojoch určených pre útočné pušky, guľomety, protitankové zbrane a odstrel'ovacie pušky.

Pre strel'bu na krátke a stredné vzdialenosti môže byť postačujúci kompaktný systém založený len na meraní vzdialenosti a jednoduchom výpočte námeru. Pre presnú strel'bu z odstrel'ovacích pušiek na veľké vzdialenosti však takýto prístup nestačí. Pri strel'be na veľké vzdialenosti výrazne rastie význam úplnosti a presnosti vstupných údajov. Okrem vzdialenosti cieľa je potrebné poznať počiatočnú rýchlosť strely, balistický koeficient, hmotnosť strely, výšku osi zameriavača nad osou hlavne, nastrelenú vzdialenosť, teplotu, tlak, vlhkosť vzduchu, smer a rýchlosť vetra, sklon strel'by, prípadne aj rotáciu Zeme a stranový pohyb cieľa. Z toho vyplýva, že systém riadenia strel'by pre odstrel'ovacia puška musí byť chápaný ako širší reťazec prvkov, nie iba ako samotný puškohľad.

2.1. Funkčné prvky systému riadenia strel'by ručných zbraní

Systém riadenia strel'by ručnej zbrane možno z funkčného hľadiska rozdeliť na niekoľko podsystemov. Každý z nich zabezpečuje určitú časť informačného, výpočtového alebo zobrazovacieho procesu. Ich úlohou je znížiť neistotu strelca pri určovaní prvkov strel'by a zvýšiť pravdepodobnosť zásahu cieľa.

Z uvedeného vyplýva, že moderný systém riadenia strel'by ručnej zbrane nie je možné hodnotiť iba podľa kvality optického zameriavača alebo podľa prítomnosti laserového diaľkometra. Rozhodujúca je schopnosť celého systému získať potrebné vstupné údaje, správne ich vyhodnotiť, vypočítať korekciu a doručiť ju strelcovi tak, aby bola použiteľná v reálnych podmienkach.

2.2. Klasifikácia súčasných riešení

Súčasný systémy používané pri presnej strel'be z ručných zbraní možno rozdeliť do niekoľkých základných skupín. Tieto skupiny sa líšia mierou integrácie senzorov, spôsobom výpočtu balistických korekcií, spôsobom zobrazenia výsledku a odolnosťou voči prevádzkovým podmienkam.

Táto klasifikácia ukazuje, že jednotlivé riešenia nemožno porovnávať iba podľa zväčšenia alebo priemeru objektívu. Pri hodnotení systému riadenia strel'by je potrebné posúdiť, či systém dokáže splniť všetky základné funkcie: zistiť vzdialenosť cieľa, zohľadniť balistiku zbrane a náboja, zahrnúť vplyv prostredia, vypočítať korekciu a umožniť jej praktické použitie strelcom.

2.3. Požiadavky na SRP pre presnú strel'bu na veľké vzdialenosti

Presná strel'ba na veľké vzdialenosti kladie na systém riadenia paľby výrazne vyššie nároky ako strel'ba na krátke alebo stredné vzdialenosti. S rastúcou vzdialenosťou narastá čas letu strely, pokles dráhy, citlivosť na vietor, vplyv hustoty vzduchu, význam počiatkovej rýchlosti a význam presnosti merania vzdialenosti. Aj malá chyba v odhade alebo meraní niektorého parametra môže spôsobiť významnú odchýlku bodu zásahu.

Z hľadiska presnej streľby na veľké vzdialenosti predpokladáme, že systém riadenia streľby bude zabezpečovať najmä tieto úlohy:

- identifikácia cieľa,
- lokalizácia, určenie vzdialenosti cieľa,
- výpočet prvkov streľby,
- určenie opráv streľby:
 - o určenie balistických vlastností zbrane a náboja,
 - o zohľadnenie pôsobenia vetra (rýchlosť a smer),
 - o zohľadnenie atmosférických podmienok (teplota, tlak vzduchu),
 - o určenie prevýšenia cieľa,
 - o priečny a pozdĺžny náklon zbrane,
- prenesenie opravených prvkov streľby na zameriavač,
- zamierenie na cieľ,
- výstrel,
- vyhodnotenie zásahu cieľa (pôsobenie zbraňového systému na cieľ),

2.4. Johnsonovo kritérium ako metóda posúdenia pozorovacích schopností zameriavacích prístrojov

Okrem balistických parametrov je pri systémoch riadenia streľby dôležitá aj schopnosť cieľ nájsť. Na tento účel sa používa Johnsonovo kritérium, ktoré patrí medzi základné empirické metódy hodnotenia výkonnosti pozorovacích a zobrazovacích systémov. Jeho autor John Johnson v roku 1958 publikoval štúdiu pre U.S. Armi Night Vision Laboratory, kde určil koľko rozlišovacích prvkov musí cieľ zaberat' v obraze, aby sme ho vedeli zistiť, rozpoznať a identifikovať [31].

Johnsonovo kritérium vychádza z počtu rozlišiteľných períód alebo detailov, ktoré pripadajú na kritický rozmer cieľa. Pre praktické hodnotenie sa rozlišujú tri základné úrovne:

Tabuľka 4 Úrovne Johnsonovho kritéria [31]

Úroveň hodnotenia	Význam	Orientačná hodnota N
Detekcia	zistenie prítomnosti objektu	1 až 2 períódy
Rozpoznanie	určenie typu objektu	približne 4 períódy
Identifikácia	presnejšie určenie objektu	približne 6 až 8 períód

Pri interpretácii výsledkov Johnsonovho kritéria je potrebné zdôrazniť, že ide o teoretické hodnotenie rozlišovacej schopnosti. Výsledky nezohľadňujú všetky reálne faktory, ktoré vplyvajú na pozorovanie cieľa v teréne. Medzi najvýznamnejšie patria kontrast cieľa voči pozadiu, osvetlenie, atmosférický útlm, rozptyl, turbulencie, kvalita optickej sústavy, únava oka.

2.5. Vyhodnotenie

Analýza súčasného stavu ukázala, že systémy riadenia strelby ručných zbraní nemožno hodnotiť iba podľa jedného technického parametra, napríklad zväčšenia puškohľadu, priemeru objektívu, prítomnosti laserového diaľkomera alebo integrovaného balistického výpočtu. Rozhodujúca je schopnosť celého systému zabezpečiť reťazec činností od pozorovania a identifikácie cieľa, cez meranie vzdialenosti a zistenie podmienok strelby, až po výpočet a praktické prenesenie korekcie do zameriavacieho systému.

Johnsonovo kritérium umožnilo posúdiť pozorovacie možnosti vybraných zameriavacích systémov, ale zároveň ukázalo, že teoretické rozlišovacie limity nemožno stotožňovať s reálnym dosahom účinnej strelby. Pri praktickom hodnotení SRP preto musí byť pozorovacia schopnosť zameriavača posudzovaná spolu s balistickými vlastnosťami zbrane, presnosťou merania vzdialenosti cieľa, chybou strelca, podmienkami prostredia a pravdepodobnosťou zásahu cieľa.

3. Cieľ práce

Na základe analýzy súčasného stavu systémov riadenia paľby ručných zbraní, teoretických východísk vonkajšej balistiky a požiadaviek na presnú strelbu z odstrelovacích pušiek bol stanovený hlavný cieľ dizertačnej práce.

Hlavným cieľom dizertačnej práce je vytvoriť a overiť matematicko-simulačný model systému riadenia paľby odstrelovacej pušky, ktorý umožní hodnotiť vplyv vybraných vstupných parametrov, neistôt merania a chýb zamierenia na výslednú polohu zásahu a pravdepodobnosť zasiahnutia cieľa.

Na splnenie hlavného cieľa práce boli stanovené tieto čiastkové ciele:

1. Analyzovať súčasný stav systémov riadenia paľby ručných zbraní so zameraním na ich funkčné prvky, mieru integrácie senzorov, zameriavacie systémy, balistický výpočet, zobrazovanie korekcií a praktickú použiteľnosť pri presnej streľbe z odstrelovacích pušiek. Súčasťou analýzy bude aj posúdenie vybraných optických, digitálnych a optoelektronických zameriavacích systémov vrátane ich schopnosti detekcie, rozpoznania a identifikácie cieľa s využitím Johnsonovho kritéria.

2. Spracovať teoretické východiská potrebné na vytvorenie matematického modelu streľby, najmä rovnice pohybu strely, pôsobenie odporu vzduchu, výpočet dráhy strely, streľbu na prevýšený alebo znížený cieľ, teóriu opráv a pravdepodobnostné hodnotenie zásahov.

3. Vytvoriť modulárny matematicko-simulačný model systému riadenia paľby, ktorý bude vychádzať z reťazca strelec – zbraň – náboj – prostredie – cieľ a umožní samostatne aj kombinovane hodnotiť vplyv strelca, diaľkomera, zbrane, zameriavacieho systému, munície, prostredia, balistického výpočtu a cieľa na výslednú polohu zásahu. Zahnúť do modelu rozhodujúce neistoty a experimentálne získané údaje, predovšetkým chybu merania vzdialenosti, chybu zamierenia, kmitanie zámernej osi, dynamickú chybu pri mierení na pohybujúci sa cieľ, technický rozptyl zbrane a streliva, vplyv atmosférických podmienok, vetra a chyby vznikajúce pri prenose alebo zaokrúhľovaní balistickej korekcie do nastavovacích prvkov zameriavača. Vyhodnotiť vplyv jednotlivých vstupných parametrov a neistôt na pravdepodobnosť zásahu cieľa pomocou simulačných metód, najmä metódou Monte Carlo, pričom výsledkom bude určenie bodu dopadu v rovine cieľa, vyhodnotenie zásahu alebo minútia cieľa, posúdenie kvality zásahu a určenie významnosti jednotlivých faktorov ovplyvňujúcich efektívnosť streľby.

Stanovený cieľ práce vychádza z potreby hodnotiť presnú streľbu z odstrelovacej pušky ako komplexný proces, v ktorom sa spája činnosť strelca, vlastnosti zbrane, munície, zameriavacieho systému, diaľkomera, prostredia a cieľa. Hlavným výsledkom práce má byť matematicko-simulačný nástroj, ktorý umožní analyzovať proces streľby ako systém vzájomne prepojených prvkov a posudzovať vplyv jednotlivých vstupných parametrov a neistôt na výslednú polohu zásahu.

Očakávaným prínosom práce je vytvorenie metodiky, pomocou ktorej bude možné hodnotiť nielen samotnú balistickú korekciu, ale aj vplyv streľca, zameriavacieho systému, diaľkomera, prostredia, munície a cieľa na celkovú pravdepodobnosť zásahu. Takto vytvorený model môže byť využitý pri hodnotení existujúcich systémov riadenia paľby, pri návrhu ich zlepšení, pri porovnávaní rôznych konfigurácií zbraňového systému a pri určovaní technických alebo výcvikových opatrení zameraných na zvýšenie efektívnosti streľby z ručných zbraní.

4. Teória potrebná na vytvorenie matematických modelov SRP.

Úlohou SRP je zvýšenie efektivity paľby. Za efektívny zbraňový systém budeme považovať taký systém, ktorý splní palebnú úlohu s minimálnou spotrebou munície za minimálny čas. Preto si v prvom rade musíme uvedomiť všetky prvky spojené s procesom zamierenia, výstrelu, pohybu strely v priestore, až po moment zásahu cieľa, ktoré nám má SRP zabezpečiť. Našou úlohou nebude zaoberať sa procesom výstrelu, ale prioritne sa budeme venovať etape výstrelu od okamihu opustenia strely hlaveň, až po stret s cieľom. Túto úlohu nám rieši vonkajšia balistika. Budeme si musieť rozanalyzovať diferenciálne rovnice pohybu striel, aj ich dobu letu, aby sme vedeli zistiť okamih stretu strely s cieľom. Ďalej si rozoberieme ploché dráhy striel, keďže OP sú určené pre priamu streľbu. A keďže je každý jeden výstrel a zásah cieľa kombináciou veľkého množstva faktorov, ako je presnosť zamierenia, rýchlosť reakcie, vzdialenosť cieľa a množstva iných faktorov, ktoré sa navzájom ovplyvňujú, budeme sa zaoberať aj pravdepodobnosťou zásahu cieľa. Toto sú úlohy ktoré musíme v našom matematickom modeli zohľadniť.

Teoretická časť práce vytvorila matematický základ potrebný na modelovanie procesu streľby z odstrelovacej pušky. Rozbor rovníc pohybu strely, pôsobenia odporu vzduchu, plochých dráh striel a streľby na prevýšený cieľ umožňuje určiť balistickú dráhu strely a polohu jej dopadu v rovine cieľa. Tieto vzťahy predstavujú základnú časť modelu, ktorá opisuje fyzikálny pohyb strely od okamihu opustenia hlavne až po stret s cieľom.

Ďalšou dôležitou časťou je teória opráv a pravdepodobnostné hodnotenie streľby. Ich význam spočíva v tom, že reálny výstrel nie je určený iba ideálnou dráhou strely, ale aj

odchýlkami vstupných parametrov, chybami zamierenia, rozptylom zbrane a streliva a neistotami prostredia. Pravdepodobnostný opis zásahu preto umožňuje prejsť od jednoduchého výpočtu bodu dopadu k hodnoteniu pravdepodobnosti zasiahnutia cieľa.

5. Posúdenie teórie chýb u SRP.

V procese zamierenia zbrane na cieľ nevznikajú chyby iba v balistickej časti výpočtu, ale aj v procese zamierenia, sledovania cieľa a reakcie strelca. Z tohto dôvodu sme navrhli experimenty zamerané na dve skupiny neistôt: statickú chybu zamierenia, reprezentovanú kmitaním zámernej osi pri rôznych polohách streľby, a dynamickú chybu zamierenia, vznikajúcu pri sledovaní pohybujúceho sa cieľa. Výsledky týchto experimentov následne predstavujú vstupné údaje pre hodnotenie pravdepodobnosti zásahu cieľa v modeli SRP.

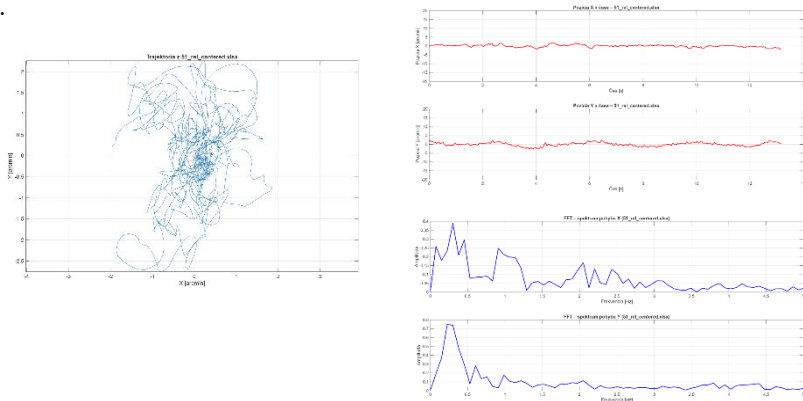
Prvý experiment slúžil na posúdenie kmitania zámernej osi počas zamierenia zbrane na cieľ. Z výsledkov sme potvrdili, ktorá poloha strelca je najvhodnejšia pre streľbu na veľké vzdialenosti. Vykonali sme ho tak, že sme zamierili maketu zbrane s inštalovaným puškohľadom a laserovým značkovačom na cieľ vo vzdialenosti 50 m, ktorý predstavoval kríž na tabuli (obrázok 10). Laserový značkovač bol zámerne vychýlený na stranu aby sme mohli značku na bielom podklade zaznamenávať bez rušivých prvkov v obraze. Úlohou figurantov bolo udržať zámerný kríž puškohľadu na vyobrazenom kríži na bielej tabuli.



Obrázok 11 Tabuľa so značkou a bodom značkovača [autor]

Výsledkom tohto experimentu je overenie faktu, že stabilita zamierenia zbrane na cieľ, je jedným z dôležitých faktorov ovplyvňujúcich pravdepodobnosť zásahu cieľa pri streľbe OP na veľké vzdialenosti. Zo získaných údajov sme pomocou programu MATLAB získali veľký súbor údajov o polohách zámernej osi pri mierení na cieľ. Jeho význam nespočíva len v jeho základnej analýze, pomocou ktorej sme získali frekvenčnú zmenu pozície

zámernej osi, jej uhlovú zmenu a výpočet stredného bodu tohto rozptylu. Veľký význam má aj pri posúdení jednotlivých neistôt, ktoré nám vstupujú pri výpočte pravdepodobnosti zásahu.



Obrázok výsledky experimentu zamierenia v ľahu [autor]

Z hľadiska modelu SRP môžeme získané hodnoty interpretovať ako uhlovú chybu zamierenia v horizontálnej a vertikálnej rovine. Horizontálna zložka chyby ovplyvňuje najmä stranovú odchýlku zásahu, zatiaľ čo vertikálna zložka vstupuje do výslednej výškovej chyby zásahu. Tieto zložky, určené z experimentálnych údajov, sú v ďalšom modeli reprezentované ako náhodné premenné so strednou hodnotou a smerodajnou odchýlkou.

Druhý experiment bol rozdelený na tri úlohy určenie chyby zamierenia na cieľ, predstavujúce najbežnejšie úlohy pri streľbe z OP pri pohybujúcich sa cieľoch. Prvá úloha pozostávala z mierenia na pohybujúci sa automobil z makety odstrelovacej pušky v polohe strelca v ľahu so zbraňou opretou na dvojnožke (obrázok 12) v priečnom smere pohybu cieľa.



Obrázok 12 Poloha strelca počas experimentu [autor]

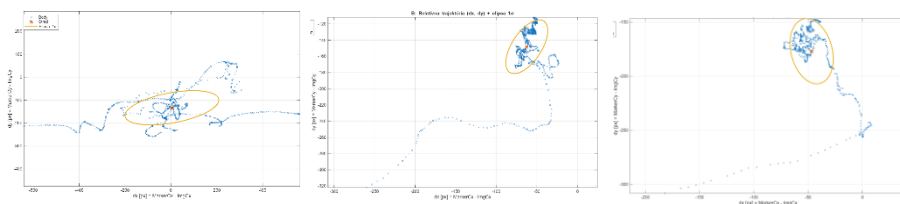
Cieľ predstavovalo osobné vozidlo na ktoré boli upevnené kruhové značky na bočnej strane vozidla ktorých osi boli vo výške 1 m a stredy vzdialené 0,9 m (obrázok 16).

Pre posúdenie vplyvu pohybu cieľa na zamierenie bol vykonaný druhý experiment, ktorý bol rozdelený do troch úloh:

- Úloha číslo jedna – určenie chyby zamierenia pri priečne sa pohybujúcom cieľi.
- Úloha číslo dva – určenie chyby zamierenia na približujúci sa cieľ.
- Úloha číslo tri – určenie chyby zamierenia na vzdäľujúci sa cieľ.



Obrázok Kruhové značky na vozidle v jednotlivých úlohách [autor]



Obrázok Priebeh sledovania zámernej značky a elipsa rozptylu úloha jedna, dva a tri [autor]

Výsledok tohto experimentu nám umožňuje získať ďalšie údaje na posúdenie vplyvov streľca na zamierenie a jeho ovplyvnenie pravdepodobnosti zasiahnutia cieľa. Zároveň bola vytvorená metodika na posúdenie vplyvu pohybu cieľa na zamierenie, ktorou získame objektívne, opakovateľné výsledky.

5.1. Vplyvy parametrov streľby posudzované teoreticky

Analýza vplyvu parametrov zamierenia na námerný uhol

Vykonaná citlivostná analýza ukázala, že pri streľbe na vzdialenosť 800 m má z analyzovaných vstupných veličín najväčší vplyv na neistotu námerného uhla neistota merania vzdialenosti cieľa. Vplyv teploty, tlaku a pozdĺžnej zložky vetra bol v zvolených rozsahoch podstatne menší. Výsledky potvrdzujú, že v modeli SRP musí byť presnosť určenia vzdialenosti považovaná za jeden z dominantných vstupov ovplyvňujúcich pravdepodobnosť zásahu. Zároveň tieto výsledky vytvárajú podklad pre ďalšie hodnotenie vplyvu diaľkomeru, zaokrúhľovania opráv a kvantovania námeru pri nastavovaní puškohľadu.

Vplyv merania vzdialenosti na vertikálnu chybu zásahu

Presnosť zásahu cieľa pri streľbe na veľké vzdialenosti je ovplyvňovaná viacerými zdrojmi neistoty, medzi ktoré patria najmä neistoty merania vzdialenosti, meteorologických veličín, balistických údajov ako je počiatočná rýchlosť strely a aerodynamických parametrov.

Predložená analýza preukázala priamu väzbu medzi neistotou merania vzdialenosti a vertikálnou chybou zásahu vyplývajúcu z diferenciálnej citlivosti balistickej trajektórie. Matematické výsledky ukazujú, že význam tejto neistoty rastie so vzdialenosťou a pri extrémnych diaľkach môže dosahovať kritické hodnoty, ktoré majú výrazný vplyv na pravdepodobnosť zasiahnutia cieľa.

Výsledok nám poskytuje teoretický aj kvantitatívny základ pre hodnotenie presnosti streľby na veľké vzdialenosti a tvorí východisko pre ďalšie analýzy pravdepodobnosti zásahu a kombinácie viacerých zdrojov neistôt.

Určenie vzdialenosti cieľa pomocou impulzného laserového diaľkomeru (ILD)

Súčasný impulzný laserový diaľkomer umožňuje rýchle a presné určenie vzdialenosti cieľa, čo uľahčuje túto úlohu. Už nemusí prebiehať časovo náročné prepočítanie uhlových charakteristík na diaľkové, prípadne podstatne nepresnejšie určovanie odhadom.

Význam presného merania vzdialenosti rastie so vzdialenosťou cieľa, pretože s narastajúcou vzdialenosťou sa zvyšuje čas letu strely, zväčšuje sa pokles trajektórie, narastá vplyv vetra a rastie aj účinok technického rozptylu zbrane a zameriavača. Pri pohybujúcom sa celi sa k týmto vplyvom pridáva aj neistota predikcie jeho budúcej polohy. Z tohto dôvodu je meranie vzdialenosti impulzným laserovým diaľkomerom potrebné chápať nie ako jednorazový úkon, ale ako súčasť dynamického procesu sledovania cieľa a výpočtu palebných prvkov.

Chyba námerného uhla pri nastavovaní puškohľadu

Presnosť zásahu pri streľbe na veľké vzdialenosti je okrem balistických a meteorologických faktorov ovplyvnená aj technickými vlastnosťami zbrane a puškohľadu.

Moderné optické zameriavače umožňujú korekciu námeru po krokoch definovaných uhlovou jednotkou. Najčastejšie je to po 0,25 MOA, 0,125 MOA prípadne 0,1 mrad.

Tieto kroky nám pri priamom zamierení vytvárajú námerný uhol, teda uhlovú odchýlku výstrelnej osi od osi zámernej. Zároveň pri takejto zmene uhla po krokoch nevyhnutne vzniká chyba zamierenia.

Analýza nám potvrdila predpoklad, že kroková zmena námerného uhla spôsobená nastavovacím mechanizmom puškohľadu vedie k vertikálnej chybe zamierenia. Jej hodnota rastie s diaľkou streľby. Pri streľbe na veľké diaľky môže táto chyba dosahovať hodnoty porovnateľné s rozmermi cieľa, čím sa stáva jedným z rozhodujúcich faktorov zníženia pravdepodobnosti zasiahnutia cieľa.

Vplyv priečného náklonu zbrane na pravdepodobnosť zasiahnutia cieľa

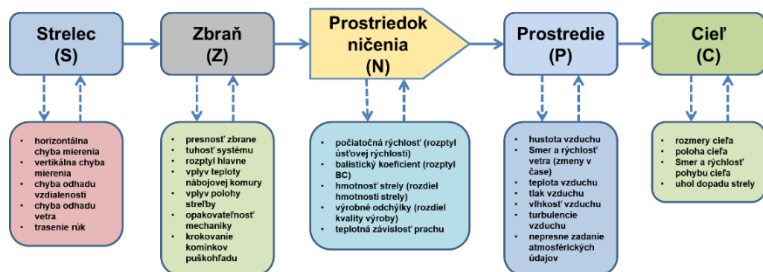
Upevnenie optického zameriavača nám vytvára ďalšiu z neistôt, ktorá vzniká počas mierenia na cieľ. Ide o chybu, ktorá sa v praxi dosť často zanedbáva, ale pri streľbe z odstrelovacej pušky na veľké vzdialenosti má táto neistota významný vplyv na pravdepodobnosť zasiahnutia cieľa. Predstavuje to vytváranie priečného náklonu zbrane ktorý svojim charakterom vytvára ďalšiu systematickú chybu. Môže vzniknúť nesprávnym

upevnením puškohľadu na zbraň, prípadne nesprávnym držaním zbrane, ktoré spôsobí priečny náklon.

Z výsledkov je zrejmé, že ani väčší priečny náklon 14,17° streľbu do vzdialenosti 250 m výrazne neovplyvňuje. Podstatné zníženie pravdepodobnosti zasiahnutia cieľa narastá až za touto hranicou. Prudký pokles pravdepodobnosti vzniká aj pri priečnom náklone 4,648°. Preto je pri streľbe na veľké vzdialenosti nevyhnutné venovať pozornosť aj tejto chyby, ktorá nám vnáša do celého procesu prebiehajúceho od momentu zamierenia po zasiahnutie cieľa ďalšiu neistotu.

6. Komplexné hodnotenie efektívnosti systémov riadenia paľby

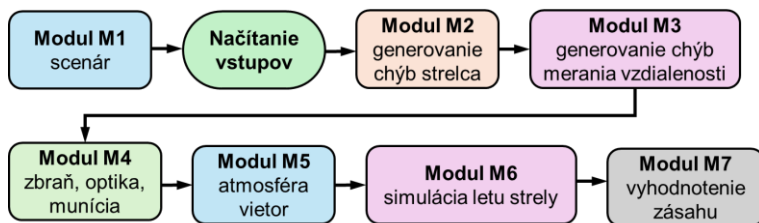
V predchádzajúcich kapitolách sme postupne analyzované rozhodujúce faktory ovplyvňujúce výsledný účinok streľby s použitím systému riadenia paľby ručných zbraní. Jednotlivé analýzy boli zamerané na opis dráhy strely, vplyv neistoty vstupných údajov ako je napríklad presnosť určenia vzdialenosti cieľa, chyby pri nastavovaní námeru pomocou nastavovacích prvkov puškohľadu, vplyv kmitania zámernej osi počas procesu zamierenia, ako aj na pravdepodobnostný charakter rozptylu streľby. Takýto analytický prístup umožnil identifikovať samostatné mechanizmy pôsobenia jednotlivých faktorov, avšak pre komplexné zhodnotenie efektívnosti streľby je nevyhnutné tieto výsledky použiť v jednom modeli.



Obrázok 50 Schéma reťazca streľby a množiny neistôt [autor]

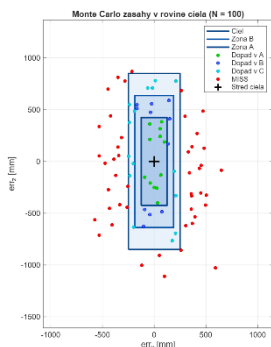
Podstata nášho modelu je postavená na čiastkovom a komplexnom riešení úloh zasiahnutia cieľa. Rozdelili sme si ho na jednotlivé moduly s označením M1 až M7. Prvý modul je označený ako M1. Jeho úlohou je definovať scenár streľby. Predstavuje ho

„M1_scenar_strelby_v3_doplnene.xlsx“ s hárkami rozdelenými na jednotlivé vstupy dôležité pre zadanie balistických, poveternostných údajov a neistôt ovplyvňujúcich výstrel. Základné parametre vieme zadávať ako jednoduché rozptylové hodnoty. V prípade kmitania zámernej osi v procese mierenia je možné zadať rozsah v uhlových jednotkách zadávané v MOA ktoré nám súbor vstupných údajov v háрку „Strelec“ následne preráta na radiány. Priemerná hodnota u trénovaného ostreľovača je v rozsahu do 2 MOA (0,000582 radiánu). Ako demonstráciu vieme použiť aj údaje získané experimentom, ktoré sme spracovali pomocou samostatného skriptu „M2_spracuj_kmitanie_v1.m“. Využili sme len údaje získané pri experimente z polohy strelca v ľahu, keďže sa jedná o najčastejšiu polohu ostreľovača pri plnení streleckých úloh.



Obrázok 55 Schéma dátového toku modelu SRP [autor]

Model SRP predstavuje simulačný model, ktorého cieľom je hodnotiť vplyv technických vlastností a neistôt prostredia na výsledok strelby. Model nepredstavuje úplnú fyzikálnu náhradu reálneho streleckého balistického počítača. Jeho presnosť závisí od kvality vstupných údajov, použitého modelu odporu, kalibrácie balistických koeficientov, kvality experimentálnych údajov o strelcovi a reprezentatívnosti údajov diaľkomera.



Obrázok 56 Simulácia strelby metódou Monte Carlo na cieľ stojaca osoba 0,5x1,7 m vo vzdialenosti 1500 m [autor]

Vytvorený modulárny model M1 až M7 umožňuje tieto vplyvy analyzovať samostatne aj vo vzájomnej kombinácii. Použitie metódy Monte Carlo poskytuje možnosť opakovane simulovať proces výstrelu pri meniacich sa vstupných podmienkach a následne vyhodnotiť pravdepodobnosť zásahu, rozloženie zásahov v rovine cieľa a kvalitu zásahu podľa definovaných zón. Takýto prístup vytvára základ pre objektivnejšie porovnávanie rôznych konfigurácií systému riadenia paľby, posudzovanie váhy jednotlivých neistôt a návrh korekčných opatrení. Model preto nepredstavuje iba výpočtový nástroj, ale aj metodický prostriedok na hodnotenie efektívnosti strelby v podmienkach reálneho prostredia a na podporu ďalšieho vývoja systémov riadenia paľby ručných zbraní.

7. Zhodnotenie vedeckého prínosu

Ciele dizertačnej práce boli splnené a stanovené tézy boli zodpovedané. V práci sa podarilo prepojiť teoretické východiská vonkajšej balistiky, experimentálne získané údaje o správaní strelca a meracích prvkov systému a simulačné metódy do jedného hodnotiaceho rámca. Samotný vedecký prínos dizertačnej práce možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

1. Bol navrhnutý systémový prístup k hodnoteniu efektívnosti strelby z odstrel'ovacej pušky.

Výsledok strelby nie je hodnotený iba ako dôsledok balistickej dráhy strely, ale ako výsledok vzájomného pôsobenia celého reťazca strelec – zbraň – náboj – prostredie – cieľ. Tento prístup umožňuje komplexnejšie hodnotenie systému riadenia paľby ručnej zbrane.

2. Bol vytvorený modulárny matematicko-simulačný model SRP.

Model M1 až M7 umožňuje samostatne aj kombinovane hodnotiť vplyv strelca, diaľkometra, zbrane, puškohľadu, munície, prostredia, balistického výpočtu a cieľa. Modulárna štruktúra umožňuje model ďalej rozširovať, upravovať a používať pre rôzne strelecké scenáre.

3. Do modelu boli zahrnuté reálne alebo experimentálne odvodené neistoty.

Práca zahŕňa chybu zamierenia, kmitanie zámernej osi, chybu merania vzdialenosti, neistoty balistických parametrov, vplyv atmosférických podmienok a chyby vznikajúce

pri nastavovaní korekcií zameriavača. Tým sa model približuje reálnym podmienkam strelby viac ako čistý teoretický balistický výpočet.

4. Bol experimentálne posúdený vplyv polohy strelca na stabilitu zámernej osi.

Experiment preukázal rozdiely medzi mierením v ľahu, v kľaku a v stoji. Získané údaje umožňujú kvantifikovať chybu zamierenia a použiť ju ako vstup do modelu strelca pri hodnotení pravdepodobnosti zásahu.

5. Bol analyzovaný vplyv presnosti merania vzdialenosti na výsledok strelby.

Meranie vzdialenosti patrí medzi rozhodujúce vstupy balistického výpočtu. Práca ukazuje, že nepresnosť určenia diaľky sa prenáša do chyby námeru a môže významne ovplyvniť pravdepodobnosť zásahu, najmä pri strelbe na veľké vzdialenosti.

6. Bola použitá metóda Monte Carlo na hodnotenie pravdepodobnosti zásahu.

Vďaka opakovaným simuláciám pri meniacich sa vstupných podmienkach je možné hodnotiť nielen jeden bod dopadu, ale celé rozloženie zásahov v rovine cieľa, počet zásahov, minútí a kvalitu zásahov v definovaných zónach.

7. Bol vytvorený metodický nástroj na identifikáciu rozhodujúcich zdrojov chýb.

Model umožňuje posúdiť, či je v konkrétnych podmienkach limitujúcim faktorom strelec, zbraň, optický zameriavací prístroj, diaľkomer, munícia, prostredie alebo spôsob nastavenia korekcie. To vytvára základ pre návrh technických alebo výcvikových opatrení na zvýšenie efektívnosti strelby.

8. Výsledky práce sú využiteľné pri hodnotení a optimalizácii systémov riadenia palby ručných zbraní.

Navrhnutý model môže byť použitý pri porovnávaní rôznych konfigurácií zbraňového systému, pri hodnotení významnosti jednotlivých neistôt a pri určovaní opatrení smerujúcich k zvýšeniu pravdepodobnosti zásahu.

Prínos dizertačnej práce spočíva najmä v tom, že spája balistický výpočet, experimentálne údaje, pravdepodobnostné hodnotenie a modulárne modelovanie do jedného funkčného celku. Výsledkom nie je iba výpočet dráhy strely, ale metodika na komplexné hodnotenie efektívnosti systému riadenia palby ručnej zbrane v podmienkach, ktoré sa približujú reálnemu použitiu.

8. Záver

V dizertačnej práci je popísaná problematika zvýšenia efektívnosti systémov riadenia paľby ručných zbraní so zameraním na odstrel'ovacie pušky a presnú strel'bu na veľké vzdialenosti. Systém riadenia paľby je v nej posudzovaný ako širší reťazec vzájomne nadväzujúcich prvkov, ktorý nezahŕňa iba samotnú zbraň a zameriavací prístroj, ale aj strelca, náboj, prostredie, cieľ, spôsob merania vzdialenosti, balistický výpočet a vyhodnotenie výsledku strel'by. Takýto prístup umožňuje posudzovať účinnosť strel'by komplexnejšie než pri izolovanom hodnotení samotnej balistiky alebo samotného optického zameriavača.

Praktická časť práce tým vytvára dôležitý spojovací článok medzi teoretickými vzťahmi, simulačným modelom a reálnym procesom strel'by. Jej prínos spočíva v tom, že do modelu SRP vstupujú merateľné údaje o správaní strelca a meracích prvkov systému. Vďaka tomu možno výslednú pravdepodobnosť zásahu hodnotiť realistickejšie, pretože model nezohľadňuje iba ideálnu balistickú dráhu, ale aj chyby vznikajúce pri zamierení, sledovaní cieľa a meraní vzdialenosti. Experimenty zároveň umožnili určiť, ktoré z týchto chýb majú v konkrétnych podmienkach najväčší vplyv na výsledok strel'by, a tým podporia hlavný cieľ práce – zvýšenie efektívnosti systému riadenia paľby ručných zbraní.

Práca zároveň ukazuje, že efektívnosť systému riadenia paľby nemožno chápať iba ako schopnosť vypočítať správny námer alebo odmer. Reálna efektívnosť je výsledkom súčasného pôsobenia technických, balistických, environmentálnych a ľudských faktorov. Aj presný balistický výpočet môže byť znehodnotený nepresným meraním vzdialenosti, nevhodným odhadom vetra, chybou zamierenia, obmedzením optického systému alebo nepresným prenosom korekcie do zameriavača. Z tohto dôvodu má navrhovaný model význam nielen ako výpočtový nástroj, ale aj ako metodický prostriedok na určenie váhy jednotlivých neistôt v celom reťazci strel'by.

Práca tým vytvára teoretický, experimentálny a simulačný základ pre ďalšie vedecké riešenia a zdokonaľovanie danej problematiky. Jej hlavným prínosom je prechod od klasického balistického výpočtu k systémovému hodnoteniu celého reťazca strel'by.

Experimentálne údaje o kmitaní zámernej osi, mierení na pohybujúci sa cieľ a presnosti merania vzdialenosti umožnia doplniť model SRP o reálne hodnoty neistôt, ktoré vznikajú pri činnosti strelca a prepojených prvkov systému. Vytvorený model je možné použiť nielen na výpočet bodu dopadu strely, ale aj na určenie pravdepodobnosti zásahu, hodnotenie významnosti jednotlivých chýb a návrh opatrení na zvýšenie efektívnosti strelby z ručných zbraní.

9. Zoznam publikovaných prác doktoranda

- [1] KREHEĽ V., *Targeting a ground moving target* 1. vyd. -- Varšava (Poľsko) : Paweł Zimniak - PERITIA, 2024. -- s. 128-129. -- (Technical Systems Degradation). -- Mączak, Jędrzej [Zostavovateľ, editor] ; Radkowski, Stanisław [Recenzent] ; Drożdziel, Paweł [Recenzent]. -- ISBN 978-83-947840-8-9.
- [2] KREHEĽ V., MOZOŁA M., *Analysis of Selected Influences on Handgun Aim Accuracy*, Kaunas (Litva) : Kauno Technologijos Universitetas, 2023. -- s. 296-301. -- (Transport means 2023 (Part I) : Sustainability: research and solutions : proceedings ISSN 1822-296X). -- SCO
- [3] KREHEĽ V., RÁZGA T., *Detection signature of modern technologies in night combat operation*, 1. vyd. -- Varšava (Poľsko) : Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Exploatacyjne, 2025. -- s. 85-88. -- (XXI International Technical Systems Degradation Conference tlačené). -- ISBN 978-83-947840-9-6.
- [4] KREHEĽ V., MOZOŁA M., KŘEPSKÝ M., *Materials and Technologies in the Design of Military Optical Devices*, Liptovský Mikuláš (Slovensko) : Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika. -- (Science & military, ISSN 1336-8885). -- ISSN 1336-8885 2453-7632.
- [5] CHI TOAN DANG, KREHEĽ V., MOZOŁA M., *Zoom Optical System for Thermal Camera in Optical Range 8-14 μ m*, Liptovský Mikuláš (Slovensko) : Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika. -- (Science & military ISSN 1336-8885). -- ISSN 1336-8885 2453-7632.
- [6] BALÁŽ T., NOVÁČKOVÁ K., KREHEĽ V., MOZOŁA M., *Design of Front Additional Lens of Optical Handgun Sights for Virtual Shooting Ranges and Indoor Laboratories* -- 1. vyd. -- Kaunas (Litva) : Kauno Technologijos Universitetas, 2024. -- s. 1032-1037. -- (Transport Means Proceedings of the International Conference tlačené ISSN 1822296X). -- ISSN 1822296X.

- [7] RÁZGA T., BALÁŽ P., MOZOLA M., KREHEL V., *Influence of Bullet Shape on .223 Remington Ammunition Accuracy Analysis*, Liptovský Mikuláš (Slovensko) : Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika. -- (Science & military ISSN 1336-8885). -- ISSN 1336-8885 2453-7632.
- [8] RÁZGA T., BALÁŽ P., KREHEL V., PAGÁČIK J., *The Impact of Aging on the Quality of Ballistic Protection*, Liptovský Mikuláš (Slovensko) : Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, 2025. -- s. 23-31. -- (Science & military tlačené ISSN 1336-8885). -- ISSN 1336-8885 2453-7632.

10. Zoznam bibliografických odkazov

- [1] MÉSZÁROŠ, J., *OPTICKÉ PŘÍSTROJE 3*. Brno: VA AZ, 1990.
- [2] *Puškohľad ATN X-SIGHT 4K PRO 3-14X* dostupné na: <https://www.atncorp.com/x-sight4k-pro-day-night-rifle-scope-3-14x> 28.1.2024.
- [3] *Puškohľad a nočné videnie ATN X-SIGHT 4K PRO* dostupné na: <https://www.huntingland.sk/atn-xsight-4k-pro/> 28.1.2024.
- [4] *Puškohľad a nočné videnie ATN X-SIGHT 4K* dostupné na: <https://www.atncorp.com/x-sight-5-lrf-day-night-rifle-scope-3-15x> 29.1.2024.
- [5] *Puškohľad a nočné videnie ATN THOR 5 XD 2-20X* dostupné na: <https://www.atncorp.com/thermal-scope-thor-5-xd-1280-2-20x> 29.1.2024.
- [6] *Puškohľad a nočné videnie ATN THOR 5 XD LRF 2-20X* dostupné na: <https://www.atncorp.com/thermal-scope-thor-5-xd-1280-lrf-2-20x> 29.1.2024.
- [7] *Puškohľad SWAROVSKI model dS Gen. II 5-25x52 P* dostupné na: <https://www.swarovskioptik.com/int/en/hunting/products/rifle-scopes/ds> 29.1.2024.
- [8] JIRSÁK, Č., KODYM, P. *VNĚJŠÍ BALISTIKA A TEORIE STŘELBY*. Praha: Naše Vojsko, 2017.
- [9] GUSKOV, A. V., MILEVSKIJ, K. E., SOTENKO, A. V., *VONKAJŠIA BALISTIKA*. Novosibirsk, 2010.
- [10] RYBÁR, M., *MODELOVANIE A SIMULÁCIA VO VOJENSTVE*, Ministerstvo obrany Slovenskej republiky, Bratislava, 2000.
- [11] *Zámerný kríž typu DUPLEX*, dostupné na: <https://manopory.sk/cs/Produkt/leupold-fx-3-6x42-wide-duplex/> 2.5.2024.
- [12] BAKITOVÁ, H., UGRON, M., KONTŠEKOVÁ, O., *ZÁKLADY ŠTATISTIKY*, Bratislava, 1979.
- [13] BAKITOVÁ, H., UGRON, M., *PRÍKLADY ZO ŠTATISTICKÝCH METÓD*, Bratislava, 1979.

- [14] ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B., *MATLAB PRO ZAČÁTEČNÍKY*, Praha, 2003.
- [15] ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B., *MATLAB TVORBA UŽIVATELSKÝCH APLIKACÍ*, Praha, 2004.
- [16] ŠVEC, M., VONDRÁK, J., *APLIKOVANÁ OPTIKA A ELEKTRONIKA*, Brno, 2004.
- [17] YODER, P., VUKOBRATOVICH, D., *OPTO-MECHANICAL SYSTEMS DESIGN*, New York, 2015.
- [18] GROSS, H., *HANDBOOK OF OPTICAL SYSTEMS*, Weinheim, 2005.
- [19] HOLST, G. C., *ELECTRO-OPTICAL IMAGING SYSTEM PERFORMANCE, SIXTH EDITION*, Bellingham, Washington, USA 2017.
- [20] *Laserový dial'komer Bushnell YARDAGE PRO LEGEND™* dostupné na: <https://www.bushnell.com/bu-manuals.html> 17.1.2026.
- [21] *Laserový dial'komer Bushnell YARDAGE PRO LEGEND™* dostupné na: <https://www.coueswhitetail.com/forums/topic/42276-sold-now-only-75-bushnell-yardage-pro-scout/> 17.1.2026.
- [22] *Puškohl'ad NIGHTFORCE ATACR 5-25x56mm F1* dostupné na: <https://www.nightforceoptics.com/riflescopes/atacr/atacr-5-25x56-f1> 6.2.2026.
- [23] *Puškohl'ad NIGHTFORCE ATACR 7-35x56mm F1* dostupné na: <https://www.nightforceoptics.com/riflescopes/atacr/atacr-7-35x56-f1> 6.2.2026.
- [24] *Puškohl'ad Schmidt & Bender 5-25x56 PM II* dostupné na: https://www.schmidtundbender.de/en/5-25x56-PM-II-LP-TREMOR3-1cm-cw-DT27-MTC-LT-ST-ZC-CT/689-911-552-G9-E9?utm_source=chatgpt.com 7.2.2026.
- [25] *Puškohl'ad Schmidt & Bender 3-12x50 PM II*, dostupné na: <https://www.schmidtundbender.de/en/3-12x50-PM-II-LP-P4FL-1cm-ccw-DT-ST/644-911-962-92-69A38> 7.2.2026.
- [26] *Puškohl'ad Swarovski Z5i+ 5-26x56 P L*, dostupné na: <https://www.swarovskioptik.com/us/en/hunting/products/rifle-scopes/z5-i-plus/z5i-plus/z5i-plus-5-25x56/Z5-A47U6E46-02#technical-specification> 7.2.2026.
- [27] *Puškohl'ad Zero Compromise Optic ZC527 5-27x56 RD* dostupné na: <https://www.zcompoptic.com/en-us/products/sport-le-mil/zc527-en> 7.2.2026.
- [28] *Puškohl'ad Meopta MeoTac 3-12x50 RD*, dostupné na: https://soldiersystems.net/2017/01/09/meopta-introduces-new-meotac-3-12x50-rd/?utm_source=chatgpt.com 7.2.2026.
- [29] *Puškohl'ad MARCH 5x–40x56 Gen II*. dostupné na: <https://march->

scopes.de/produkt/march-5x-40x56-ffp-rifle-scope/?utm_source=chatgpt.com
7.2.2026.

- [30] HECHT, E., *OPTICS*, Harlow, Essex, United Kingdom, 2017.
- [31] BORN, M.; WOLF, E. *Principles of Optics*. Cambridge University Press. 1999.
- [32] ROGALSKI , A., BIELECKI, Z., *Detection of Optical Signals*, Boca Raton (Florida, USA) 2022.
- [33] *Lavínová fotodióda G14858-0020AA InGaAs APD* dostupné na:
<https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/optical-sensors/apd/ingaas-apd/G14858-0020AA.html> 28.4.2026.
- [34] FERENCZI, F., *Možnosti eliminácie priečného náklonu ostreľovacej pušky*, *Diplomová práca*, Liptovský Mikuláš, 2025.
- [35] LITZ, B., *Applied ballistics for long range shooting. Third edition*, Michigan, 2015.
- [37] *Děl 21-27, 7,62 mm ODSTŘELOVAČSKÁ SAMONABÍJECÍ PUŠKA DRAGUNOV (SVD)*, Praha, 1983.