

AKADÉMIA OZBROJENÝCH SÍL
generála Milana Rastislava Štefánika
Liptovský Mikuláš

AUTOREFERÁT
DIZERTAČNEJ PRÁCE
OPTIMALIZÁCIA REŽIMU PAĽBY
AUTOMATICKÝCH ZBRANÍ

2026

kpt. Ing. Michal MOZOLA

**Akadémia ozbrojených síl
generála Milana Rastislava Štefánika**

Liptovský Mikuláš

Autoreferát dizertačnej práce

**OPTIMALIZÁCIA REŽIMU PALEBY AUTOMATICKÝCH
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 internej forme doktorandského štúdia na Katedre strojárstva Akadémie ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika.

Doktorand: kpt. Ing. Michal MOZOĽA, Katedra strojárstva

Školiteľ: doc. Ing. Teodor BALÁŽ, CSc.

Konzultant: mjr. Ing. Jaroslav KREJČÍ, Ph.D.

Oponenti: prof. Ing. Martin MACKO, CSc. - Univerzita obrany, Brno
doc. Ing. Jaroslav VARECHA, PhD. - AOS
doc. Ing. Zbyněk STUDENÝ, Ph.D. - Univerzita obrany, Brno

Autoreferát bol rozoslaný dňa 5.6.2026

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 02.07.2026 v čase o 09.30 h.

pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce,

ktorej predsedom je prof. Ing. Peter DROPPA, PhD.

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

ABSTRACT

MOZOĽA, Michal: Optimization of automatic weapons fire mode [Dissertation thesis]. General M. R. Štefánik Armed Forces Academy based in Liptovský Mikuláš, Department of Mechanical Engineering. Dissertation supervisor: Asst. Prof. Ing. Teodor BALÁŽ, CSc., Degree: "philosophiae doctor". Liptovský Mikuláš: Academy of the Armed Forces of General M. R. Štefánik, 2026. 155 pp.

This dissertation focuses on the optimization of the firing mode of automatic weapons against small moving aerial targets of the UAS type. The aim of the thesis is to propose a methodological procedure for evaluating fire effectiveness based on hit probability, ammunition consumption and the available engagement time. The work uses an analytical model, Monte Carlo simulation and video analysis of target tracking.

The proposed model makes it possible to determine the minimum number of rounds required to achieve the desired hit probability and to compare it with the number of rounds realistically available within the given time window. The thesis also compares manual target tracking with autotracker-based tracking, showing a reduction in aiming error when automatic tracking is used. The work provides a methodological basis for determining the effective fire limit and the recommended firing mode of an automatic weapon against small aerial targets.

Keywords: automatic weapons, firecontrol system, aiming accuracy, hit probability, UAS, Monte Carlo

Úvod

Táto dizertačná práca sa venuje optimalizácii režimu paľby automatických zbraní. Inak povedané, nejde iba o otázku, koľko rán je možné vystreliť za minútu. Podstatnejšie je, kedy má zbraň strieľať, koľko rán má použiť, za akých podmienok má dávka ešte zmysel a kedy sa už iba míňa munícia bez primeraného prínosu. Aby sa na tieto otázky dalo odpovedať, je potrebné najprv pochopiť systém riadenia paľby zbraňového systému a procesy, ktoré tento systém zabezpečuje. Až následná analýza umožní nájsť priestor na zlepšenie, navrhnúť riešenie, overiť ho a preukázať, či skutočne zvyšuje efektivitu.

Od systému riadenia paľby sa vo všeobecnosti očakáva, že pomôže splniť palebnú úlohu za čo najkratší čas a s čo najnižšou spotrebou munície. To znie jednoducho iba dovtedy, kým sa cieľ nehýbe, nemení vzdialenosť, nezhorší sa viditeľnosť a obsluha nemá na rozhodnutie len zlomok času. V praxi musí systém cieľ objaviť, identifikovať, lokalizovať, určiť parametre jeho pohybu, umožniť voľbu munície, nastaviť prvky paľby, zvoliť vhodný režim paľby a pritom maximalizovať pravdepodobnosť splnenia palebnej úlohy.

Vývoj zbraňových systémov preto nie je otázkou technickej módy, ale nutnosti. Bojisko sa mení dynamicky a nové hrozby nečakajú na to, kým sa im prispôsobí metodika výcviku alebo dokumentácia. Len dôsledná analýza aktuálneho prostredia, správne pomenovanie problému a následné overenie navrhnutých postupov môžu prispieť k tomu, aby bola krajina schopná reagovať včas, primerane a účinne.

1 Ciele dizertačnej práce

Hlavným cieľom dizertačnej práce je navrhnúť a overiť metodický postup hodnotenia režimu paľby automatickej zbrane proti malým pohyblivým vzdušným cieľom typu UAS. Výsledkom nemá byť všeobecné zvyšovanie počtu výstrelov bez kvantifikácie účinku, ale postup, ktorý pri známych vstupných parametroch umožní

určiť predpokladanú pravdepodobnosť zásahu, minimálny potrebný počet výstrelů, reálne využiteľný počet výstrelů v dostupnom časovom okne a na základe toho posúdiť, či je palebná úloha za daných podmienok vôbec splniteľná.

Práca je koncipovaná ako metodicko-modelová práca doplnená o numerickú simuláciu a analýzu reálnych obrazových dát. Jej cieľom nie je nahradiť strelecké skúšky, pretože terč, strela, vietor ani obsluha sa v reálnom priestore nesprávajú podľa toho, čo by sa nám hodilo do modelu. Cieľom je vytvoriť analytický a simulačný rámec, ktorý umožní vyhodnotiť vplyv vybraných faktorov na režim paľby a ktorý môže byť následne spresnený reálnymi skúškami.

Na splnenie hlavného cieľa boli stanovené tieto čiastkové ciele:

1. Identifikovať a formalizovať rozhodujúce faktory ovplyvňujúce účinnosť automatickej paľby proti malým pohyblivým vzdušným cieľom typu UAS a na ich základe vymedziť režim paľby ako optimalizačnú úlohu.
2. Vytvoriť a overiť analyticko-simulačný model hodnotenia režimu paľby automatickej zbrane, ktorý umožní určiť pravdepodobnosť zásahu jednou ranou a dávkou, minimálny potrebný počet výstrelů a maximálny reálne využiteľný počet výstrelů v dostupnom časovom okne.
3. Experimentálne overiť vybrané aspekty sledovania malého pohyblivého vzdušného cieľa prostredníctvom vytvorenia, spracovania a vyhodnotenia videozáznamov.

1.1 Výskumný problém

Moderné bojisko sa pod vplyvom bezpilotných prostriedkov, presne navádzanej munície, senzorických systémov a automatizovaných prvkov velenia a riadenia mení výraznejšie, než by sa ešte pred niekoľkými rokmi zdalo. Medzi najvýznamnejšie nové hrozby patria malé, rýchle a ťažko detekovateľné vzdušné ciele, najmä bezpilotné prostriedky kategórie UAS. Sú malé, pohyblivé, často sa objavujú

krátky čas a obrancovi nedajú luxus dlhého premýšľania. Reakčný čas sa skracuje a priestor na chybu sa znižuje.

Automatické zbrane predstavujú jeden z prostriedkov, ktoré možno proti takýmto cieľom použiť, najmä tam, kde nie je účelné alebo možné nasadiť drahšie raketové, rádiotechnické alebo špeciálne prostriedky protivzdušnej obrany. Samotná skutočnosť, že zbraň dokáže strieľať dávkou, však ešte neznamená, že problém je vyriešený. Účinnosť závisí od presnosti zbrane, rozptylu dávky, schopnosti sledovať cieľ, reakčného času obsluhy, kadencie strelby, vzdialenosti cieľa, geometrie strelby, rýchlosti cieľa a kvality systému riadenia paľby.

Výskumný problém tejto dizertačnej práce spočíva v tom, ako možno na základe analytického modelovania, numerickej simulácie a vyhodnotenia kvality sledovania cieľa určiť taký režim paľby automatickej zbrane proti malému pohyblivému vzdušnému cieľu, ktorý pri zvolených vstupných parametroch dosiahne požadovanú pravdepodobnosť zásahu alebo splnenia palebnej úlohy pri čo najnižšej spotrebe munície a v reálne dostupnom časovom okne.

Osobitná pozornosť je venovaná vzťahu medzi pravdepodobnosťou zásahu jednou ranou, účinkom dávkovej paľby, reakčným časom, dostupným časovým oknom a chybou sledovania cieľa. Práve tieto faktory rozhodujú o tom, či má zmysel predĺžiť dávku, skrátiť reakčný čas, zlepšiť sledovanie cieľa alebo otvorene konštatovať, že za daných podmienok palebná úloha splniteľná nie je.

1.2 Metodika výskumu

Dizertačná práca má charakter aplikovaného výskumu. Inými slovami, nejde o cvičenie v tom, ako pekne popísať zbraňový systém na papieri, ale o snahu vytvoriť použiteľný postup, ktorý pomôže hodnotiť efektivitu automatických zbraní proti malým a pohyblivým cieľom. Výskum preto spája teoretickú analýzu, matematické modelovanie, numerickejšiu simuláciu a spracovanie reálnych obrazových dát. Každá z týchto častí rieši inú časť problému, ale až spolu dávajú odpoveď na otázku, kedy má

automatická paľba ešte zmysel a kedy sa z nej stáva iba neefektívna spotreba munície bez primeraného zvýšenia účinku.

Z metodologického hľadiska ide o kvantitatívne orientovaný výskum. Jeho cieľom je určiť vzťahy medzi parametrami zbraňového systému, vlastnosťami cieľa, spôsobom jeho sledovania, režimom paľby a výslednou pravdepodobnosťou zásahu. Podstatné pritom nie je iba to, že zbraň dokáže vystreliť dávku. Podstatné je, či táto dávka v danom čase, na danej vzdialenosti a pri danej chybe zamierenia reálne zvyšuje šancu na splnenie palebnej úlohy.

Objektom výskumu je zbraňový systém využívajúci automatickú hlavnú zbraň prípadne spriahnutú podpornú automatickú zbraň a systém riadenia paľby pri strelbe na malé pohyblivé vzdušné ciele. Nejde teda iba o samotnú zbraň, pretože zbraň bez schopnosti cieľ zistiť, sledovať, vyhodnotiť a správne naviesť je v tejto úlohe iba posledným článkom reťaze. A ako to už pri reťazi býva, jej pevnosť neurčuje najsilnejší článok, ale ten najslabší.

Prívetom výskumu je režim paľby automatickej zbrane a jeho vplyv na pravdepodobnosť zásahu cieľa, spotrebu munície a čas potrebný na splnenie palebnej úlohy. Režim paľby je v tejto práci chápaný širšie než len počet rán v dávke. Zahŕňa aj otázku, kedy sa má paľba začať, akú dlhú dávku má zmysel viesť, koľko výstrelov je ešte reálne využiteľných a či požadovanú pravdepodobnosť zásahu vôbec možno dosiahnuť v dostupnom časovom okne.

Osobitná pozornosť je venovaná cieľom typu UAS. Tieto ciele sú malé, rýchle, manévrujúce a často sa v účinnej zóne paľby objavia iba na krátky čas. Na rozdiel od učebnicového terča nemajú povinnosť letieť pekne rovno, v primeranej výške a s ohľadom na pohodlie obsluhy. Práve pri nich sa naplno prejavujú limity ručného sledovania, reakčného času obsluhy aj klasických spôsobov vedenia paľby.

Do modelu vstupujú najmä tieto premenné:

- vzdialenosť cieľa,
- rozmery cieľa,

- rýchlosť a smer pohybu cieľa,
- polohový uhol cieľa,
- čas dostupný na vedenie paľby,
- reakčný čas obsluhy alebo systému,
- kadencia zbrane,
- počet výstrelov v dávke,
- rozptyl zbrane v horizontálnom a vertikálnom smere,
- chyba zamierenia,
- chyba sledovania cieľa,
- úst'ová rýchlosť strely,
- čas letu strely,
- pravdepodobnosť zásahu jednou ranou,
- pravdepodobnosť zásahu dávkou.

2 Systémy riadenia paľby automatických zbraní

Systém riadenia paľby, označovaný ako Fire Control System - FCS, predstavuje pre zbraňový systém niečo ako mozog, oči a časť nervovej sústavy v jednom balíku. Nie je to len jedna škatuľka s káblami, ktorá sa priskrutkuje na vežu a tvári sa múdro. Ide o integrovaný súbor mechanických, elektronických a softvérových prvkov, ktorých úlohou je zabezpečiť presné vedenie paľby na cieľ v podmienkach, ktoré sa v praxi len málokedy správajú ukážkovo.

Moderný systém riadenia paľby spracováva informácie o polohe cieľa, jeho pohybe, balistických vlastnostiach munície, stave zbrane a dynamike platformy. Z týchto údajov následne určuje, kam má byť zbraň navedená a kedy má byť výstrel povolený. Inak povedané, systém sa nesnaží odpovedať iba na otázku, kde sa cieľ nachádza teraz, ale aj na omnoho nepríjemnejšiu otázku, kde bude v okamihu, keď k nemu projektil skutočne dorazí.

Hlavným cieľom systému riadenia paľby je minimalizovať chybu medzi referenčnou zámernou priamkou a skutočnou osou hlavne v okamihu výstrelu. Znie to jednoducho, ale práve v tejto vete je ukrytý väčší technický problém, než by sa na prvý pohľad zdalo. Platforma sa pohybuje, cieľ sa pohybuje, kanón má svoju hmotnosť, pohony majú oneskorenie a projektil nelietá podľa prania obsluhy, ale podľa balistiky.

Tento cieľ sa dosahuje kombináciou stabilizácie zameriavacieho systému, sledovania cieľa, balistických výpočtov a riadenia výstrelu prostredníctvom mechanizmu streleckého okna. Každý z týchto prvkov rieši inú časť problému. Ak však jeden z nich výrazne zaostáva, celý systém sa správa podobne ako veľmi šikovný tím, v ktorom jeden člen zabudol prísť na poradu.

Z funkčného hľadiska možno štruktúru systému riadenia paľby rozdeliť na štyri základné subsystemy:

- stabilizácia,
- sledovanie cieľa,
- balistický počítač,
- strelecké okno.

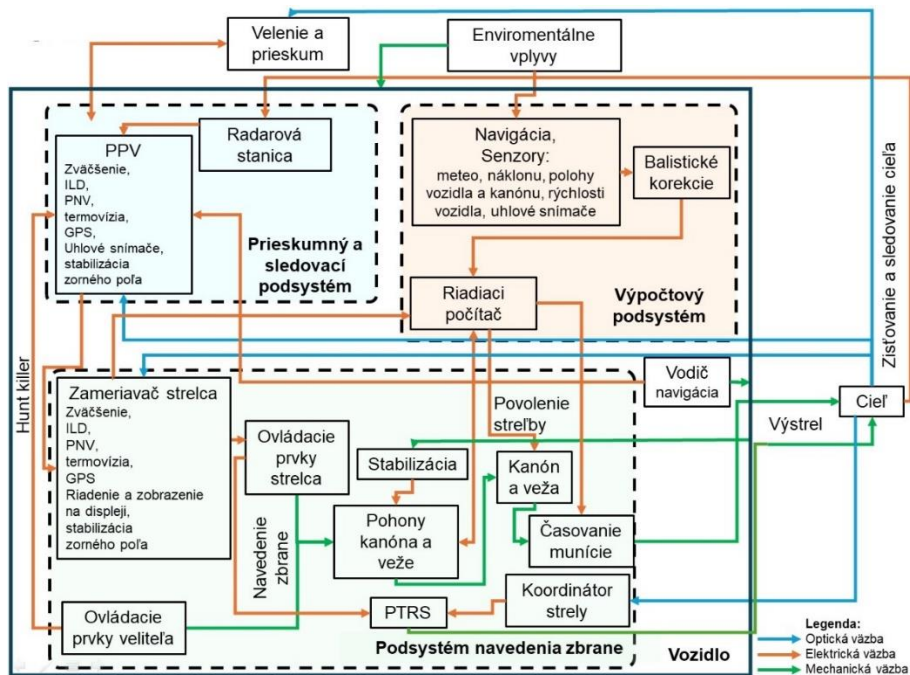
Stabilizácia predstavuje schopnosť systému udržať zameriavaciu líniu alebo os hlavne v požadovanom smere napriek rušivým vplyvom. Človek si jej význam naplno uvedomí až vtedy, keď sa pokúsi presne mieriť z platformy, ktorá sa pohybuje po nerovnom teréne, vibruje, mení rýchlosť a celkovo sa správa úplne inak než statické strelecké stanovište.

Sledovanie cieľa predstavuje proces kontinuálneho určovania polohy cieľa v priestore a jeho pohybových parametrov. Nejde teda o jednorazové zistenie, že cieľ sa niekde nachádza. To by pri pomalom alebo stojacom ciele ešte mohlo stačiť, ale pri malom pohyblivom vzdušnom ciele je takáto informácia neaktuálna takmer v momente, keď ju získame.

Balistický počítač je výpočtový modul systému riadenia paľby. Jeho úlohou je určiť potrebné korekcie smeru výstrelu na základe balistických a geometrických parametrov. Ak stabilizácia drží systém v použiteľnom stave a sledovanie cieľa dodáva informáciu o pohybe cieľa, balistický počítač z týchto údajov robí výpočet, kam má výstrel smerovať.

Strelecké okno predstavuje mechanizmus riadenia výstrelu v systéme riadenia paľby. Jeho úlohou je zabezpečiť, aby bol výstrel realizovaný iba v okamihu, keď sa os kanóna nachádza v povolenom intervale uhlovej odchýlky voči referenčnej optickej zámernej. Inými slovami, systém udelí povolenie vystreliť len vtedy keď výstrel dáva zmysel aj z pohľadu geometrie zamierenia.

Ideová schéma systému riadenia paľby moderného bojového vozidla (Obr. 1) ukazuje všeobecný tok informácií od zistenia cieľa cez jeho sledovanie, spracovanie údajov, výpočet korekcií, navedenie zbrane až po samotný výstrel. Z funkčného hľadiska možno takýto systém rozdeliť na tri základné časti: prieskumný a sledovací podsystem, výpočtový podsystem a podsystem navedenia zbrane. Každá z týchto častí má svoju úlohu a ak jedna z nich zlyhá, celý reťazec prestane spoľahlivo fungovať.



Obr. 1 Schéma systému riadenia paľby moderného bojového vozidla

3 Nové hrozby na modernom bojisku

Charakter ozbrojených konfliktov sa v posledných rokoch výrazne mení v dôsledku rozvoja bezpilotných prostriedkov, presne navádzanej munície, sensorických systémov, digitálneho velenia a automatizovaných prvkov riadenia paľby. Z hľadiska použitia automatických zbraní je významné najmä to, že na bojisku narastá počet malých, rýchlych a ťažko detegovateľných cieľov, ktoré sa objavujú v krátkych časových intervaloch a často pôsobia na malé vzdialenosti.

Medzi najvýznamnejšie ciele tohto typu patria bezpilotné vzdušné prostriedky. Ich rozšírenie zásadne mení požiadavky na obranu jednotiek, pretože aj relatívne lacný prostriedok môže predstavovať vážnu hrozbu pre živú silu, techniku, logistiku alebo veliteľské prvky. Z hľadiska obrany je problematická najmä malá efektívna plocha cieľa, nízka výška letu, vysoká manévrovateľnosť a krátky čas dostupný na reakciu.

Ak chceme hodnotiť účinnosť paľby proti UAS, nestačí povedať, že „dron je dron“. Z pohľadu strelca aj systému riadenia paľby je zásadný rozdiel, či je cieľom malý FPV dron, prieskumný prostriedok alebo samovražedný UAS v terminálnej fáze pôsobenia. Každý z týchto cieľov sa správa inak, dáva obrancovi iný čas na reakciu a iným spôsobom kazí pravdepodobnosť zásahu.

Pre ďalšie matematické modelovanie je vhodné uviesť tri orientačné modelové prípady. Nejde o vyčerpávajúci opis všetkých možných situácií na bojisku, ale o praktické modelové hodnoty, ktoré umožňujú porovnať vplyv veľkosti cieľa, rýchlosti, uhlovej dynamiky a dostupného času na vedenie paľby.

Typológia útokov UAS je preto nevyhnutným základom pre ďalšie modelovanie účinnosti paľby. Každý typ UAS mení vstupné parametre modelu a zároveň určuje, ktorý faktor bude pri obrane dominantný – niekedy čas, inokedy presnosť a veľmi často oboje naraz.

- mení hodnoty vstupných parametrov modelu,
- ovplyvňuje časové obmedzenia,
- mení dominantný faktor účinnosti (čas vs. presnosť).

Uvedené hodnoty predstavujú orientačné modelové parametre, ktoré ilustrujú rozdiely medzi jednotlivými kategóriami UAS. V ďalšom modelovaní sú využité najmä ako zdôvodnenie voľby vstupných premenných, nie ako samostatne vyhodnocované taktické scenáre.

3.1 Geometria útoku UAS voči bránenému objektu

Predchádzajúca kapitola opisovala UAS ako cieľ z hľadiska jeho vlastností. Nasledujúca kapitola sa zameriava na geometriu útoku, teda na spôsob, akým sa tento cieľ pohybuje voči obrancovi alebo bránenému objektu.

Pri príprave obrany proti UAS nemožno zabúdať ani na to, že rovnaký prostriedok môže útočiť rôznym spôsobom. Z hľadiska obsluhy zbrane je rozdiel, či sa

cieľ rúti priamo na ňu, obchádza ju po strane, alebo sa objaví nad hlavou a zhadzuje muníciu zhora. Na základe pozorovania, taktických analýz a skúseností z aktuálnych konfliktov možno útoky UAS rozdeliť do troch základných typov. Každý z nich kladie iné nároky na detekciu, reakčný čas, zameranie a psychickú odolnosť obrancu. [10]

Rozdelenie UAS na FPV drony, prieskumné UAS a samovražedné UAS ukázalo, že jednotlivé kategórie vytvárajú odlišné podmienky palebnej úlohy. Rovnako dôležitá je aj typológia útokov, pretože frontálny, bočný alebo vertikálny útok kladie na zbraňový systém rozdielne nároky. Kapitola tým vytvorila potrebný takticko-technický základ pre modelovanie, pretože ukázala, že účinnosť paľby musí byť posudzovaná vždy vo vzťahu ku konkrétnemu typu cieľa, spôsobu jeho útoku a dostupnému časovému oknu.

4 Balistické aspekty streľby na UAS

S rastúcim využívaním UAS na bojisku vznikla potreba efektívnej obrany proti týmto hrozbám. Štandardné raketové protiletadlové systémy sú určené na ničenie vzdušných cieľov, proti malým a relatívne lacným UAS však nemusia byť hospodárne efektívne. Dôvodom je vysoká cena použitej munície v porovnaní s cenou cieľa. Preto sa vyvinuli špecializované prostriedky a taktiky na ich likvidáciu. [10]

Analýza zamierenia na prevýšený cieľ

Pri streľbe na ciele, ktoré sa nachádzajú mimo roviny ústia hlavne, teda v prípade, že cieľ je výškový (prevýšený alebo pod úrovnňou ústia), nestačí použiť iba základný zámerný (námerový) uhol α_0 určený pre streľbu v rovine.

Ak je však cieľ v uhle ε voči rovine ústia hlavne (tzv. polohový uhol), reálna šikmá vzdialenosť D sa mení a s ňou aj potrebný zámerný uhol α . Podľa parabolickej teórie pohybu sa šikmá vzdialenosť vypočíta ako:

4.1 Posunutie stredného bodu zásahu

Uvedené výsledky nepotvrdzujú iba pokles pravdepodobnosti zásahu so vzdialenosťou, ale najmä význam systematickej chyby spôsobenej zmenou geometrie streľby. Aj relatívne malý posun stredného bodu zásahu môže pri malom celi spôsobiť výrazný pokles PH,1, a tým aj prudký nárast počtu výstrelov potrebných na dosiahnutie požadovanej pravdepodobnosti zásahu.

5 Vplyvy na presnosť streľby

Vplyvy na presnosť streľby by sme mohli rozdeliť do nasledovných skupín:

- vplyvy strelca:
 - o Výcvik,
 - o Technika streľby,
 - o Koncentrácia,
 - o Sila a vytrvalosť,
 - o Mentálna príprava,
 - o Skúsenosť,
- vplyvy zbrane:
 - o Technické (konštrukčné) vplyvy,
 - o Vplyv zameriavacieho zariadenia,
 - o Stabilizácia zbrane,
 - o Kvalita a stav hlavne,
 - o Príprava a nastavenie zbrane,
- vplyvy prostredia:
 - o Poveternostné podmienky,
 - o Výškové rozdiely,
 - o Svetelné podmienky,

Piata kapitola zhrnula rozhodujúce vplyvy na presnosť streľby. Presnosť je výsledkom pôsobenia viacerých faktorov, medzi ktoré patria schopnosti strelca, technický stav zbrane, kvalita hlavne, zameriavacie zariadenie, stabilizácia, príprava

zbrane a vonkajšie podmienky prostredia. Pri streľbe na malé pohyblivé vzdušné ciele sa význam týchto faktorov zvyšuje, pretože aj malá chyba zamierenia alebo oneskorená korekcia môže spôsobiť, že dávka bude vedená mimo priestoru, v ktorom sa cieľ nachádza.

Zameriavacie zariadenia, stabilizácia a digitalizácia zbraňových systémov predstavujú hlavné prostriedky, ktorými možno znižovať chybu zamierenia a podporiť rýchlejšie vedenie paľby. Mechanické mieridlá, optické zameriavače, kolimátory, termovízia či moderné inteligentné zameriavacie systémy majú rozdielne výhody aj obmedzenia, preto ich prínos treba hodnotiť vo vzťahu ku konkrétnej palebnej úlohe. Z pohľadu práce je presnosť streľby jednou z kľúčových vstupných oblastí, pretože priamo ovplyvňuje pravdepodobnosť zásahu a počet výstrelov potrebných na splnenie palebnej úlohy.

6 Spracovanie modelov v prostredí MATLAB

Analýza sledovania cieľa

Na overenie teoretických modelov pohybu cieľa a správania zbraňového systému bolo potrebné analyzovať aj dáta z reálneho sledovania vzdušného cieľa. V predchádzajúcej časti kapitoly boli riešené simulované priebehy pohybu cieľa, ktoré umožňujú sledovať základné veličiny ako vzdialenosť, polohový uhol a uhlovú rýchlosť. Takéto modely sú vhodné na pochopenie základného správania systému, ale reálny pohyb cieľa je omnoho komplikovanejší. V praxi do výpočtu vstupuje nerovnomernosť pohybu cieľa, kvalita obrazu, oneskorenie sledovacieho systému, reakcia obsluhy a taktiež schopnosť zameriavača udržať cieľ v zámernom kríži.

Z tohto dôvodu boli v prostredí MATLAB spracované dva videozáznamy zo sledovania vzdušného cieľa. Videozáznamy boli získané od spoločnosti EVPÚ počas testovania bezposádkovej veže TURRA 30 a bezposádkovej veže Gladius. V oboch prípadoch išlo o sledovanie vzdušného cieľa pomocou zameriavača. Rozdiel bol v

spôsobe sledovania cieľa. Prvý videozáznam zachytával ručné sledovanie cieľa obsluhou pomocou zameriavača. Druhý videozáznam (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**) zachytával sledovanie pomocou autotrackeru.

Pri tejto analýze treba rozlišovať medzi autotrackerom zbraňového systému a programom vytvoreným v MATLABe. Autotracker predstavuje reálny režim sledovania cieľa použitý pri testovaní veže alebo vežičky. MATLAB programy slúžili iba na dodatočné vyhodnotenie videozáznamu a na získanie údajov potrebných pre porovnanie. MATLAB teda v tomto prípade neriadil zameriavač ani vežu, ale spracovával už existujúci záznam. Na spracovanie videozáznamov (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**) bolo vytvorených osem programov, ktoré na seba logicky nadväzujú.

Výsledky práce ukazujú, že efektivita automatickej paľby proti malým UAS závisí od kombinácie presnosti, režimu paľby, času a kvality sledovania cieľa. Dávková paľba pravdepodobnosť zásahu zvyšuje, ale jej účinnosť je obmedzená dostupným časom a spotrebou munície. Predlžovanie dávky preto nemožno považovať za univerzálne riešenie.

Simulácia metódou Monte Carlo ukázala výrazný vplyv prevýšenia cieľa na pravdepodobnosť zásahu. Pri veľkých polohových uhloch vzniká systematický posun stredného bodu zásahu, ktorý môže dramaticky znížiť pravdepodobnosť zásahu aj pri krátkych vzdialenostiach. Tento výsledok potvrdzuje potrebu zahrnúť korekciu polohového uhla do systému riadenia paľby.

Videoanalýza ukázala, že autotracker dokáže v analyzovaných záznamoch výrazne znížiť chybu zamierenia v porovnaní s ručným sledovaním. Zníženie priemernej absolútnej chyby približne o 90,72 % a RMS chyby približne o 91,82 % naznačuje, že automatické sledovanie cieľa môže významne zlepšiť predpoklady na úspešné vedenie paľby pri menšej spotrebe munície.

Zoznam publikovaných prác doktoranda

- [1] PERUN, Peter a MOZOLA, Michal 1988-. *Comparison of vibrations models of small arms barrels*. Brno (Česko): Univerzita obrany v Brně, 2016. S. 139-144 Deterioration, dependability, diagnostics : proceedings. ISBN 978-80-7231-376-1.
- [2] PERUN, Peter; MOZOLA, Michal 1988- a BRIDIK, Lukáš 1982-. *3D modelling of SA VZ. 58 mechanism*. Liptovský Mikuláš (Slovensko): Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, 2016. DVD-ROM, s. 181-184 Výzbroj a technika pozemných síl 2016. ISBN 978-80-8040-537-3.
- [3] KREHEL, Vratislav 1972- a MOZOLA, Michal 1988-. *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.
- [4] RÁZGA, Tomáš 1995-; BALÁŽ, Peter 1995-; MOZOLA, Michal 1988- a KREHEL, Vratislav 1972-. *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.
- [5] KREHEL, Vratislav 1972-; MOZOLA, Michal 1988- a KŘEPSKÝ, Martin. *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.
- [6] DANG, Chi Toan; KREHEL, Vratislav 1972- a MOZOLA, Michal 1988-. *Zoom Optical System for Thermal Camera in Optical Range 8-14 μm* . Liptovský Mikuláš (Slovensko): Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika Science & military. ISSN 1336-8885.

- [7] MOZOĽA, Michal 1988-. *Probability of hitting a moving target*. 1. vyd. Varšava (Poľsko): Paweł Zimniak - PERITIA, 2024. s. 106-107 Technical Systems Degradation. ISBN 978-83-947840-8-9.
- [8] MOZOĽA, Michal 1988- a KLOFÁČ, Alex. *Pistol cartridge model - teaching aid*. 1. vyd. Varšava (Poľsko): Paweł Zimniak - PERITIA, 2024. s. 108-109 Technical Systems Degradation. ISBN 978-83-947840-8-9.
- [9] ĎURICA, Patrik a MOZOĽA, Michal 1988-. *Conceptual design of an improvised firearms from available materials*. 1. vyd. Varšava (Poľsko): Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Exploatacyjne, 2025. s. 93-96 XXI International Technical Systems Degradation Conference. ISBN 978-83-947840-9-6.
- [10] MOZOĽA, Michal 1988-. *Aiming and shooting at a moving target*. 1. vyd. Belehrad (Srbsko): Vojna akademija Beograd, 2025. s. 204-214 Proceedings Military Sciences Social Sciences Military Medicine Defence Technologies. ISBN 978-86-908262-0-9.
- [11] BALÁŽ, T.; NOVÁČKOVÁ, K.; KREHEL, Vratislav 1972- a MOZOĽA, Michal 1988-. *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. ISSN 1822296X.
- [12] RÁZGA, Tomáš 1995-; KREHEL, Vratislav 1972- a MOZOĽA, Michal 1988-. *Interaction of Modern Technology with Thermal Imaging and Night Vision*. 1. vyd. Kaunas (Litva): Kauno Technologijos Universitetas, 2025. s. 755-760 Transport means 2025 : Sustainability: Research and Solutions. ISSN 1822-296X.

Zoznam použitej literatúry a bibliografických odkazov

- [1] „WHEN THINGS GO SIDEWAYS,“ [Online]. Available: <https://tgace.wordpress.com/2014/10/28/>. [Cit. 22 05 2024].
- [2] „High-Angle Fire,“ [Online]. Available: <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/6-40/Ch9.htm>. [Cit. 22 05 2024].
- [3] A. B. CLYMER, „The Mechanical Analog Computers of Hannibal Ford and William Newell,“ [Online]. Available: <https://web.mit.edu/STS.035/www/PDFs/Newell.pdf>. [Cit. 22 05 2024].
- [4] P. Schwartz, „Seakeeper Gyroscopic Stabilization Explained,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=KNDpsBlxUIY&t=4s>. [Cit. 22 05 2024].
- [5] Del-3-1 VOJENSKÝ PREDPIS Obsluhovanie zbraňových systémov delostrelectva a protitankového delostrelectva, Bratislava: GENERÁLNY ŠTÁB OS SR, 2023.
- [6] M. S. Šereševskij, Efektivita strel'by z automatických zbraní, 1979.
- [7] „Shahed-136 Kamikaze UAV, Iran,“ [Online]. Available: <https://www.army-technology.com/projects/shahed-136-kamikaze-uav-iran/>. [Cit. 22 05 2024].
- [8] „China starts testing new drone patrol boat at sea,“ [Online]. Available: <https://www.thetimes.co.uk/article/china-starts-testing-new-drone-patrol-boat-at-sea-sdh7qxxt3>. [Cit. 22 05 2024].
- [9] „Unmanned Ground Vehicle (UGV) Market Size, Analyzing Emerging Trends and Growth Forecast for 2023-2030,“ [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/unmanned-ground-vehicle-ugv-market-size-analyzing>. [Cit. 22 05 2024].

- [10] S. Pettyjohn, „Center for a New American Security,“ 08 February 2024. [Online]. Available: <https://www.cnas.org/publications/reports/evolution-not-revolution>.
- [11] V. ROMANENKO, „Ukrainska pravda 25,“ 22 12 2023. [Online]. Available: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2023/12/22/7434157/>. [Cit. 13 6 2025].
- [12] K. C.-H. L. Boseok, „Firing Command Generation for Close-In Weapon System to Intercept High-Speed Targets,“ *International Journal of Aeronautical and Space Sciences* 25(2), 2024.
- [13] „Ukrinform,“ 14 9 2023. [Online]. Available: <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3761229-nayev-awards-soldiers-who-shot-down-four-shaheds-aircraft-over-sumy-region-with-small-arms.html>. [Cit. 2025 6 13].
- [14] S. F. Egorov, „Shooting Simulator «Inhibitor»: Mathematical Support of Target Layout Animation,“ *Интеллектуальные системы в производство No. 21(3)*, pp. 70-81, 2023.
- [15] C. Cranz, *Lehrbuch der Ballistik*, Berlin: Springer Verlag, 1925.
- [16] „shooterscalculator,“ 12 6 2025. [Online]. Available: <https://shooterscalculator.com/ballistic-trajectory-chart.php>.
- [17] Výcvik ve strelbe ze 7,62mm samopalu vz. 58, Praha: Ministerstvo národní obrany, 1961.
- [18] J. Kocik, „How To Use Iron Sights,“ [Online]. Available: <https://globalordnancenews.com/2023/01/19/how-to-use-iron-sights-aiming-adjusting-by-joseph-kocik/>. [Cit. 22 05 2024].
- [19] „Centra Duplex,“ [Online]. Available: <https://shop.indoorswiss.ch/de/diopter/5312-centra-duplex.html>. [Cit. 22 05 2024].
- [20] „Trijicon 1x25 MRO Reflex Sight,“ [Online]. Available: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1178722-REG/trijicon_2200003_1x25_mro_2_0_moa.html. [Cit. 22 05 2024].

- [21] „PSO-1 Russian Scope,“ [Online]. Available: <https://www.proxibid.com/lotinformation/41992506/pso1-russian-scope>. [Cit. 22 05 2024].
- [22] „Noční vidění - přístroj pro zesilování zbytkového světla,“ [Online]. Available: <https://www.e-myslivost.cz/nocni-videni-pristroj-pro-zesilovani-zbytkoveho-svetla-x31509>. [Cit. 22 05 2024].
- [23] „USING BLACK AND WHITE THERMAL IMAGING VS. COLOR PALETTES IN HEAT VISION CAMERAS,“ [Online]. Available: <https://www.atncorp.com/blog/black-and-white-thermal-imaging-vs-color-palettes-in-heat-vision-cameras>. [Cit. 22 05 2024].
- [24] „TURRA 30,“ [Online]. Available: <https://www.evpu.sk/defence-and-security/defence/dialkovo-ovladana-veza-turra30>. [Cit. 22 05 2024].
- [25] „IDEB 2024: Bojová veža TURRA 30-SA sa približuje k svetovej technologickej špičke,“ [Online]. Available: <https://www.securitymagazin.cz/defence/ideb-2024-bojova-veza-turra-30sa-sa-priblizuje-k-svetovej-technologickej-spicke-1404072171.html>. [Cit. 22 05 2024].
- [26] „Slovakia signs \$1.37 billion deal for 152 CV90s under government-to-government agreement,“ [Online]. Available: <https://www.baesystems.com/en/article/slovakia-signs-deal-for-152-cv90s-under-government-to-government-agreement>. [Cit. 22 05 2024].
- [27] „SMASH 2000 PLUS,“ [Online]. Available: <https://www.smart-shooter.com/products/>. [Cit. 22 05 2024].
- [28] „Army finally picks an optic for Next Generation Squad Weapon,“ [Online]. Available: <https://www.armytimes.com/news/your-army/2022/01/07/army-finally-picks-an-optic-for-next-generation-squad-weapon/>. [Cit. 22 05 2024].
- [29] „All About The XM157 Next Generation Fire Control System for the XM5 Rifle,“ [Online]. Available: <https://www.thetruthaboutguns.com/all-about-the-xm157-next-generation-fire-control-system-for-the-xm5-rifle/>. [Cit. 22 05 2024].

- [30] „Vortex Optics XM157 Overview: The Next Generation Squad Weapon-Fire Control (NGSW-FC),“ [Online]. Available: <https://www.gunsamerica.com/digest/vortex-optics-xm157-overview-the-next-generation-squad-weapon-fire-control-nsgw-fc-2/>. [Cit. 22 05 2024].
- [31] „What Is MATLAB?,“ [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html>. [Cit. 22 05 2024].
- [32] „Russia’s new guided bomb inflicts devastation and heavy casualties on the Ukrainian front lines,“ [Online]. Available: <https://edition.cnn.com/2024/03/10/europe/russian-guided-bomb-ukraine-frontline-intl/index.html>. [Cit. 22 05 2024].
- [33] „Ruské stíhacie bombardéry Su-34 zhodili kĺzavé bomby na nepriateľa,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OSM1n2jSTac&t=16s>. [Cit. 22 05 2024].
- [34] „Bernoulliho schéma,“ [Online]. Available: <https://pdfweb.truni.sk/e-skripta/em6/data/9967f006-9d68-4f5c-9581-0923a1a34c80.html?ownapi=1>. [Cit. 22 05 2024].
- [35] D. Corriveau, C. A. Rabbath a A. Goudreau, „Effect of the firing position on aiming error and probability of hit,“ *Defence Technology*, %1. vyd.5, p. 713–720, 2019.
- [36] İ. Yüksel, *Single Shot Hit Probability Computation for Air Defense Based on Error Analysis*, Ankara, Turkey: Middle East Technical University, 2007.
- [37] K. A. Peterson, *Numerical Simulation Investigations in Weapon Delivery Probabilities*, Monterey, CA, USA: Naval Postgraduate School, 2008.
- [38] L. Baranowski, P. Majewski a J. Szymonik, „Dynamic calculation of the fire zone for anti-aircraft artillery,“ *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, %1. vyd.4, p. 787–798, 2024.

- [39] D. Corriveau, „Validation of the NATO Armaments Ballistic Kernel for use in small-arms fire control systems,“ *Defence Technology*, %1. vyd.3, p. 188–199, 2008.
- [40] L. Baranowski, P. Majewski a J. Szymonik, „Explicit form of the “modified point mass trajectory model” for the use in Fire Control Systems,“ *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, %1. vyd.5, p. 1167–1175, 2020.
- [41] J. Wang, Y. Liu a H. Song, „Counter-Unmanned Aircraft System(s) (C-UAS): State of the Art, Challenges, and Future Trends,“ *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, %1. vyd.3, p. 4–29, 2021.
- [42] G. Lykou, D. Moustakas a D. Gritzalis, „Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies,“ *Sensors*, %1. vyd.12, 2020.
- [43] U. Seidaliyeva, L. Iipbayeva, K. Taissariyeva, N. Smailov a E. T. Matson, „Advances and Challenges in Drone Detection and Classification Techniques: A State-of-the-Art Review,“ *Sensors*, %1. vyd.1, 2024.
- [44] J. A. P. C. Centre, *A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems*, Kalkar, Germany: Joint Air Power Competence Centre, 2021.
- [45] U. D. o. Defense, *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, U.S. Department of Defense, 2021.
- [46] N. S. a. T. Organization, „Defeat of Low, Slow and Small (LSS) Air Threats,“ NATO Science and Technology Organization, 2023.
- [47] S. Pettyjohn, „Evolution Not Revolution: Drone Warfare in Russia’s 2022 Invasion of Ukraine,“ Center for a New American Security, Washington, DC, USA, 2024.
- [48] A. Yilmaz, O. Javed a M. Shah, „Object Tracking: A Survey,“ *ACM Computing Surveys*, %1. vyd.4, 2006.

- [49] D. J. Dwyer, S. Hogg, L. Wren a G. Cain, „Improved laser ranging using video tracking,“ rev. *Acquisition, Tracking, and Pointing XVII*, 2003.
- [50] C. Shen, Z. Wen, W. Zhu, D. Fan a M. Ling, „Optimizing Controls to Track Moving Targets in an Intelligent Electro-Optical Detection System,“ *Axioms*, %1. vyd.2, 2024.
- [51] I. Pemčák, J. Skala a J. Bača, „Suitability of Using Different Types of Shotgun Shells in Defence Against Low-Slow-Small UAV,“ *Science & Military*, %1. vyd.2, p. 5–10, 2022.
- [52] H. Chouhan, Kartikeya, K. Ram, A. Ahmed, M. Singh a N. Bhatnagar, „Rifle Burst Fire Testing – Probability of Number of Impacts on Hard Armour Panel,“ rev. *Personal Armour Systems Symposium*, 2023.
- [53] D. o. t. A. Headquarters, Rifle and Carbine, Washington, DC, USA: Department of the Army, 2016.
- [54] D. o. t. A. Headquarters, Crew-Served Machine Guns, 5.56-mm and 7.62-mm, Washington, DC, USA: Department of the Army, 2003.
- [55] N. A. T. Organization, Multi-Calibre Manual of Proof and Inspection (M-CMOPI) for NATO Small Arms Ammunition, NATO Standardization Office, 2020.