

AKADÉMIA OZBROJENÝCH SÍL
generála Milana Rastislava Štefánika

AUTOREFERÁT

DIZERTAČNEJ PRÁCE

**ANALÝZA SPOLUPRÁCE AKTÍVNEHO SYSTÉMU ODPRUŽENIA
BOJOVÉHO VOZIDLA A SYSTÉMU STABILIZÁCIE HLAVŇOVÉHO
ZBRAŇOVÉHO SYSTÉMU**

2026

kpt. Ing. Tomáš RÁZGA

AKADÉMIA OZBROJENÝCH SÍL
generála Milana Rastislava Štefánika

kpt. Ing. Tomáš RÁZGA

Autoreferát dizertačnej práce

**ANALÝZA SPOLUPRÁCE AKTÍVNEHO SYSTÉMU ODPRUŽENIA
BOJOVÉHO VOZIDLA A SYSTÉMU STABILIZÁCIE HLAVŇOVÉHO
ZBRAŇOVÉHO SYSTÉMU**

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. Tomáš RÁZGA, Katedra strojárstva

Školiteľ: doc. Ing. Vladimír POPARDOVSKÝ, Ph.D., A. O. S. gen. M. R. Štefánika

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

prof. Ing. Karel FRYDRÝŠEK, Ph.D., FEng., TU Ostrava (ČR)

doc. Ing. Maroš ECKERT, Ph.D., Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka

Autoreferát bol rozoslaný dňa 20.05.2026

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 02.07.2026 v čase o 08.00 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

RÁZGA, Tomáš: The cooperation analysis of the combat vehicle active suspension system and the stabilization system of the barrel weapon. The Armed Forces Academy of General Milan Rastislav Štefánik (Liptovský Mikuláš, Slovak Republic). Department of machine engineering. Dissertation's Thesis Supervisor: Asst. Prof. Ing. Vladimír POPARDOVSKÝ, PhD. Liptovský Mikuláš: The Armed Forces Academy of General Milan Rastislav Štefánik, 2026, 165 pp.

The subject of work is the analysis of cooperation between control systems of active suspension and vertical stabilization of the gun barrel. As a chassis platform, we assume an unmanned ground vehicle (UGV) with a remote-controlled weapon station (RCWS). The analyzing of cooperation of the mentioned subsystems is realized on base MATLAB/Simulink simulations. The result of these simulations is a contribution assessment of the stabilized chassis platform to the operation of the gun barrel stabilization control system.

Keywords

weapon station, active suspension, UGV, barrel stabilization.

1. ÚVOD

Práca sa zaoberá problematikou presnosti strelby mobilných bojových vozidiel počas jazdy v nerovnom teréne, ktorá predstavuje komplexný dynamický problém. Pri pohybe vozidla dochádza k budeniu kmitov podvozku vplyvom nerovností povrchu, pričom tieto kmity sa prenášajú na nadstavbu a následne na zbraňový systém. Výsledkom je vznik uhlových odchýlok hlavne, ktoré priamo ovplyvňujú presnosť zásahu cieľa.

Súčasný prístup často rieši dynamiku podvozku a stabilizáciu zbrane oddelene, čo však nezohľadňuje ich vzájomnú interakciu. V reálnom systéme ide o úzko prepojené subsystémy, kde dynamické vlastnosti jedného priamo ovplyvňujú druhý. Z tohto dôvodu je cieľom práce analyzovať ich spoluprácu ako jeden integrovaný systém a identifikovať možnosti zlepšenia jeho dynamických vlastností.

Ako modelová platforma je uvažované bezposádkové pozemné vozidlo (UGV) vybavené diaľkovo ovládanou zbraňovou stanicou (RCWS), kde je stabilita systému kľúčovým faktorom bojovej účinnosti. Analýza je realizovaná pomocou simulačných modelov v prostredí MATLAB/Simulink, ktoré umožňujú detailne skúmať dynamické javy a ich vzájomné väzby.

2. Dynamika odpruženia podvozkovej platformy

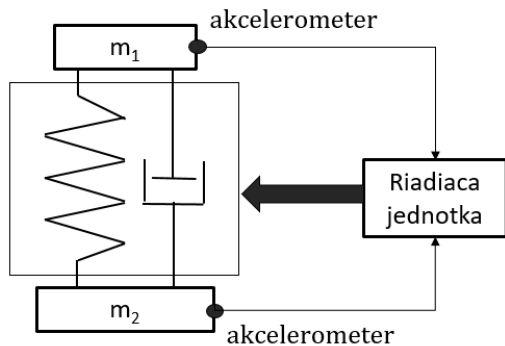
Kapitola sa zaoberá teoretickým a matematickým popisom odpruženia vozidla ako dynamickej mechanickej sústavy. Podvozok je modelovaný pomocou štvrtinového modelu vozidla, ktorý pozostáva z odpruženej a neodpruženej hmoty prepojenej pružnými a tlmiacimi prvkami. Tento model umožňuje popísať vertikálny pohyb systému pomocou diferenciálnych rovníc a analyzovať jeho odozvu na budenie spôsobené profilom cesty.

V práci sú rozlíšené tri základné typy odpruženia: pasívne, semiaktívne a aktívne. Pasívne odpruženie je charakterizované pevne danými parametrami tuhosti a tlmenia, čo obmedzuje jeho schopnosť reagovať na meniace sa podmienky. Semiaktívne odpruženie

umožňuje meniť tlmiace vlastnosti systému, avšak nezasahuje priamo do energetickej bilancie systému. Aktívne odpruženie predstavuje najpokročilejší prístup, keďže zavádza riadiacu silu generovanú na základe meraných veličín, čím umožňuje aktívne potláčať vibrácie.

Z frekvenčného hľadiska má podvozok dominantné módy v pásme približne 1–3 Hz, ktoré zodpovedajú pohybu karosérie. Pri určitých podmienkach môže dochádzať k rezonancii v stredných frekvenčných pásmach, čo vedie k výraznému zosilneniu vibrácií. Tieto vibrácie predstavujú hlavný zdroj poruchového budenia pre stabilizačný systém zbrane.

Aktívne odpruženie možno v tomto kontexte chápať ako riadený mechanický filter, ktorý dokáže redukovať amplitúdu vibrácií ešte pred ich prenosom na nadstavbu vozidla. Tým sa vytvárajú priaznivejšie podmienky pre činnosť stabilizačného systému, čo je kľúčové pre dosiahnutie vysokej presnosti streľby počas jazdy.



Obr. 1 Schéma aktívneho odpruženia

3. Princíp stabilizácie hlavne

Kapitola sa zaoberá princípom stabilizácie hlavného zbraňového systému ako riadeného rotačného systému. Základným cieľom stabilizácie je udržať požadovaný smer hlavne napriek poruchovým pohybom platformy. Tento cieľ sa dosahuje pomocou spätnej

väzby, ktorá na základe merania uhlovej rýchlosti alebo orientácie generuje kompenzačný zásah.

Kľúčovým prvkom stabilizačného systému sú gyroskopické snímače, ktoré umožňujú presné meranie rotačných pohybov. V práci sú popísané základné typy gyroskopov, vrátane mechanických, optických (FOG, RLG) a MEMS gyroskopov. Moderné systémy využívajú najmä bezkontaktné gyroskopy, ktoré poskytujú vysokú presnosť a spoľahlivosť.

Stabilizačný systém je následne realizovaný ako regulačný obvod, ktorého úlohou je minimalizovať regulačnú odchýlku medzi požadovaným a skutočným uhlom hlavne. Dynamika tohto systému je priamo ovplyvnená vlastnosťami zbraňového systému, najmä jeho momentom zotrvačnosti a tlmením.

Zásadným poznatkom je, že stabilizácia hlavne nie je izolovaný problém. Vibrácie a rotačné pohyby podvozku predstavujú poruchový vstup, ktorý musí regulátor neustále kompenzovať. Preto kvalita stabilizácie závisí nielen od návrhu regulátora, ale aj od dynamických vlastností podvozковой platformy.

4. Ciele a metodika práce

Hlavným cieľom práce je analyzovať spoluprácu medzi aktívnym odpružením a stabilizáciou hlavne a vyhodnotiť ich vplyv na presnosť streľby počas jazdy. Dôraz je kladený na identifikáciu vzájomných väzieb medzi subsystémami a na návrh vhodného spôsobu ich integrácie.

Metodika práce je založená na tvorbe matematických modelov jednotlivých subsystémov, ich implementácii v prostredí MATLAB/Simulink a následnej simulácii ich dynamickej odozvy. Postup riešenia zahŕňa:

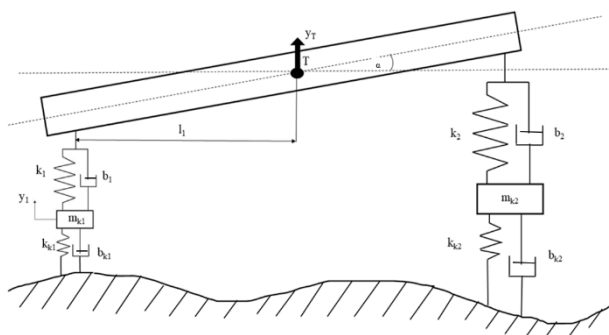
- návrh modelu odpruženia podvozku,

- návrh modelu zbraňového systému,
- návrh regulačného systému stabilizácie,
- integráciu subsystémov do jedného modelu,
- analýzu rôznych variantov prepojenia a ich porovnanie.

Výsledky sú vyhodnocované pomocou parametrov, ako sú maximálna odchýlka, RMS chyba a čas zotrvania systému v definovanom streleckom okne.

5. Tvorba modelu odpruženia

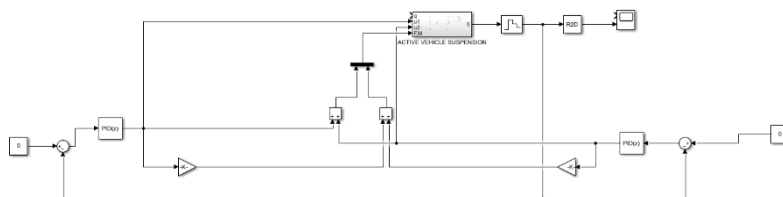
V tejto kapitole je vytvorený simulačný model odpruženia podvozku vychádzajúci z polovičného modelu vozidla. Model je implementovaný v prostredí Simulink a umožňuje simulovať dynamickú odozvu systému na rôzne typy budenia, napríklad prejazd nerovností.



Obr. 2 Polovičný model pruženia kolesového vozidla

Sú modelované pasívne aj aktívne varianty odpruženia. Pri aktívnom odpružení je zavedená riadiaca sila generovaná regulátorom na základe meraných veličín, čo umožňuje aktívne potláčať vibrácie.

Výstupom modelu sú časové priebehy posunutí, rýchlostí a zrýchlení jednotlivých častí systému, ktoré predstavujú vstup pre stabilizačný systém. Model tak tvorí základ pre následnú analýzu interakcie medzi podvozkom a zbraňou.



Obr. 3 Model aktívneho odpruženia vozidla

6. Tvorba modelu zbrane a stabilizácie

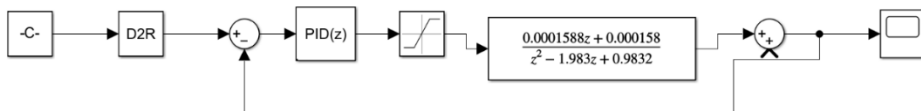
Kapitola sa zaoberá modelovaním dynamiky hlavného zbraňového systému a návrhom stabilizačného regulátora. Na základe experimentálnych meraní sú identifikované dynamické parametre systému, najmä moment zotrvačnosti a tlmiaci koeficient.



Obr. 4 Experimentálne meranie dynamických parametrov

Na základe týchto parametrov je zostavený matematický model zbrane, ktorý je následne analyzovaný z hľadiska stability a dynamickej odozvy. Regulátor stabilizácie je navrhnutý ako digitálny PID regulátor, ktorý je diskretizovaný pomocou metódy ZOH.

Stabilita systému je hodnotená pomocou analýzy pólov v z-rovine, pričom podmienkou stability je ich poloha vo vnútri jednotkovej kružnice. Navrhnutý regulátor umožňuje dosiahnuť požadovanú dynamiku systému a efektívne kompenzovať poruchy spôsobené pohybom podvozku.



Obr. 5 Model stabilizácie zbraňovej nadstavby

7. Celkový model systému

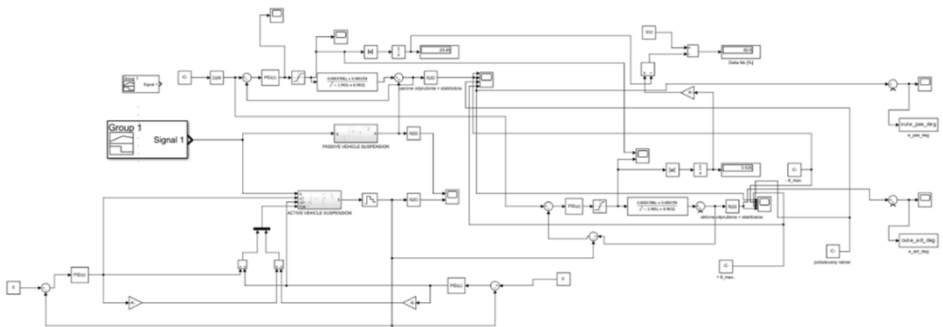
V tejto kapitole sú jednotlivé subsystemy prepojené do jedného integrovaného modelu. Vzniká komplexný simulačný model, ktorý umožňuje analyzovať reálnu interakciu medzi odpružením podvozku a stabilizáciou hlavne.



Obr. 6 Bloková schéma spolupráce odpruženia a stabilizácie UGV

Sú navrhnuté a porovnané rôzne varianty prepojenia medzi subsystemami, pričom sa hodnotí ich vplyv na dynamickú odozvu systému. Výsledky ukazujú, že vhodné prepojenie subsystemov má zásadný vplyv na kvalitu stabilizácie.

Porovnanie pasívneho a aktívneho odpruženia potvrdzuje, že aktívne odpruženie výrazne znižuje amplitúdu poruchového budenia a tým zlepšuje podmienky pre činnosť stabilizačného systému.



Obr. 7 Integrovaný simulačný model porovnania stabilizácie zbrane pri pasívnom a aktívnom odpružení podvozovej platformy

8. Optimalizácia streleckého okna

Kapitola sa zaoberá kvantitatívnym hodnotením presnosti stabilizačného systému prostredníctvom definície tzv. streleckého okna. Strelecké okno predstavuje interval prípustnej uhlovej odchýlky hlavne, pri ktorej je ešte zabezpečený zásah cieľa. Tento prístup umožňuje previesť dynamickú chybu stabilizácie na prakticky interpretovateľný výsledok – pravdepodobnosť zásahu.

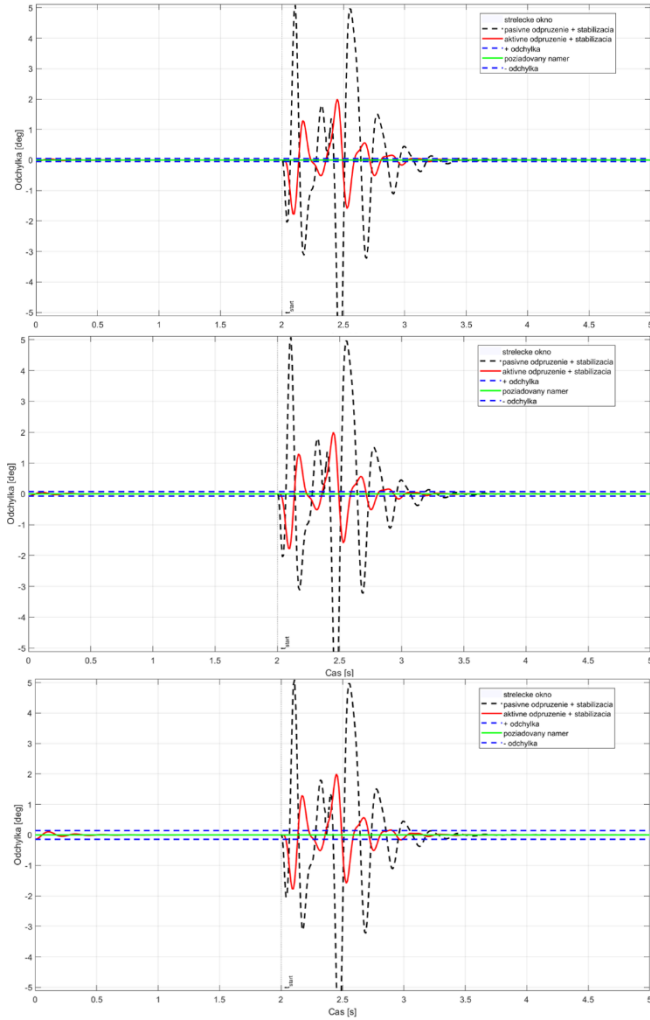
Definícia streleckého okna vychádza z geometrického vzťahu medzi uhlovou chybou a lineárnou odchýlkou zásahu na cieľovej vzdialenosti. Pre malé uhly možno túto závislosť aproximovať lineárnym vzťahom, čo umožňuje stanoviť maximálnu prípustnú uhlovú chybu pre rôzne typy cieľov (napr. stojaca osoba, ležiaca osoba, vozidlo) a rôzne vzdialenosti.

V rámci práce boli stanovené referenčné námerové uhly pre vzdialenosti 100 m, 200 m a 300 m a pre rôzne výšky cieľov. Na základe týchto parametrov boli určené hranice streleckého okna, ktoré slúžia ako hodnotiace kritérium pri simuláciách.

Tabuľka 1 Referenčné hodnoty námeru

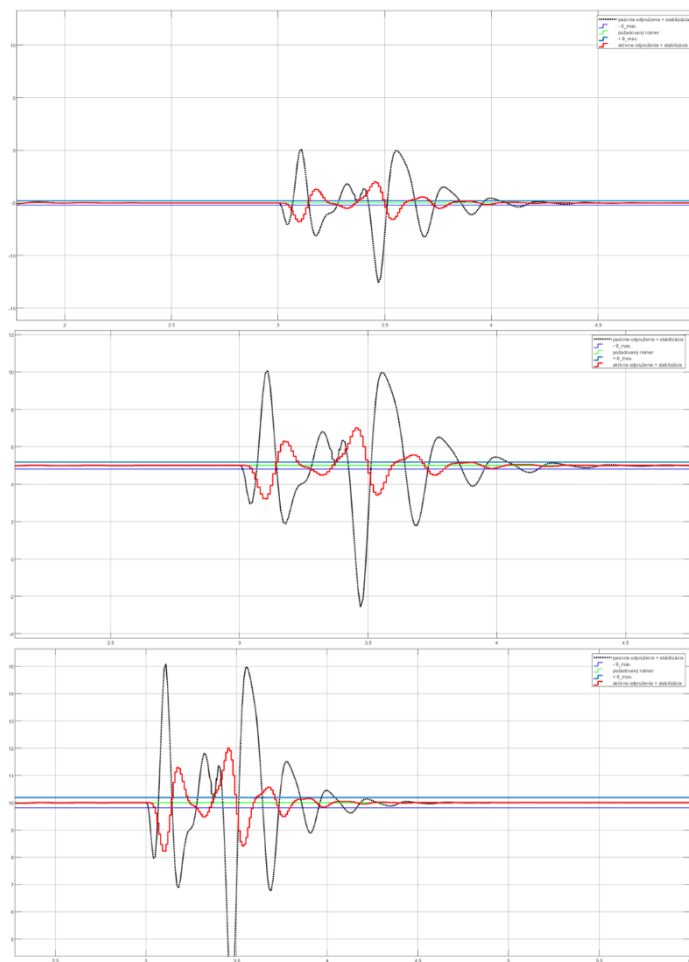
cieľ	vzdialenosť	referenčný uhol námeru
stojaca osoba	100m	+0,143°
stojaca osoba	200m	+0,072°
stojaca osoba	300m	+0,048
ležiaca osoba	100m	-0,229°
ležiaca osoba	200m	-0,115°
ležiaca osoba	300m	-0,076°
vozidlo	100m	+0,200°
vozidlo	200m	+0,100°
vozidlo	300m	+0,067°

Kľúčovým krokom bolo porovnanie troch variantov prepojenia medzi systémom odpruženia a stabilizáciou hlavne. Výsledky ukázali, že jednotlivé varianty vedú k výrazne odlišnej dynamike systému, pričom najvhodnejší variant zabezpečuje najmenšie odchýlky a najdlhší čas zotrvania v streleckom okne.



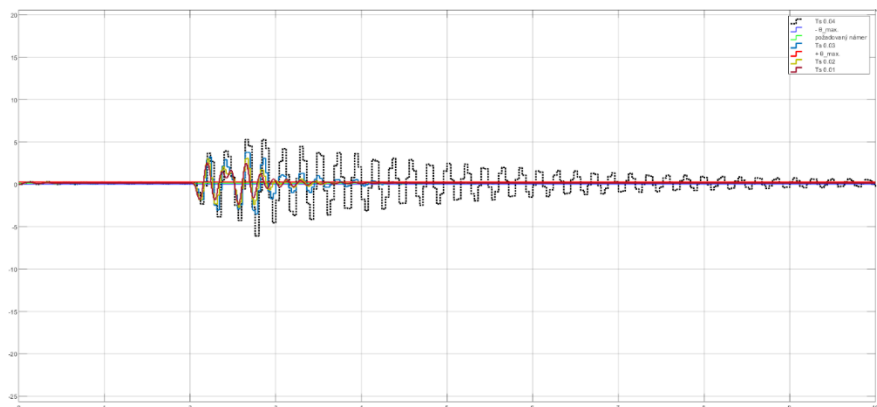
Obr. 8 Simulačná odozva najvhodnejšieho variantu systému pri požadovaných námerových uhloch $-0,076^\circ$, $-0,115^\circ$ a $-0,229^\circ$ (ležiaca osoba na vzdialenosti 300m, 200m a 100m)

Ďalšia analýza bola zameraná na vplyv väčších námerových uhlov (-5° , 5° a 10°), ktoré reprezentujú reálnejšie bojové situácie. Ukázalo sa, že pri väčších uhloch rastie náročnosť stabilizácie a zvyšuje sa citlivosť systému na poruchové budenie.



Obr. 9 Porovnanie simulačných odoziev variantu 3 pri námere -5° , 5° a 10°

Osobitná pozornosť bola venovaná vplyvu periódy vzorkovania diskrétného PID regulátora. Zvyšovanie periódy vzorkovania vedie k zníženiu presnosti riadenia a k zhoršeniu dynamickej odozvy systému, čo sa prejavuje poklesom času zotrvania v streleckom okne. Na druhej strane, menšia perióda vzorkovania zvyšuje výpočtovú náročnosť systému.



Obr. 10 Odozvy systému pre rôzne hodnoty periódy vzorkovania T_s pri námerovom uhle $0,143^\circ$

Optimalizácia preto spočíva v hľadaní kompromisu medzi presnosťou stabilizácie a nárokmi na výpočtový výkon riadiaceho systému. Výsledky ukazujú, že vhodne zvolená perióda vzorkovania spolu s aktívnym odpružením umožňuje dosiahnuť výrazné zlepšenie stabilizácie oproti pasívnemu systému.

Zásadným výsledkom kapitoly je potvrdenie, že strelecké okno predstavuje vhodné kritérium pre hodnotenie kvality stabilizácie, keďže priamo reflektuje praktickú použiteľnosť systému v reálnych podmienkach.

Záver

Práca prináša viacero vedeckých a aplikačných prínosov v oblasti analýzy a riadenia zbraňových systémov na mobilných platformách. Hlavným prínosom je formulácia problému stabilizácie hlavne ako integrácie dvoch vzájomne previazaných subsystémov – odpruženia podvozku a stabilizačného systému. Na rozdiel od tradičných prístupov, ktoré tieto oblasti riešia oddelene, práca ukazuje, že ich spoločná analýza vedie k realistickejšiemu popisu dynamiky systému.

Ďalším významným prínosom je vytvorenie komplexného simulačného modelu v prostredí MATLAB/Simulink, ktorý umožňuje analyzovať interakciu medzi mechanickými a riadiacimi subsystémami. Tento model je univerzálny a môže byť využitý aj pri ďalšom výskume alebo návrhu riadiacich algoritmov.

Dôležitým prínosom je aj experimentálna identifikácia dynamických parametrov zbraňového systému, ktorá zvyšuje vierohodnosť modelu. Kombinácia experimentálnych a simulačných prístupov umožňuje lepšie priblížiť model reálnemu správaniu systému.

Z pohľadu riadenia je prínosom návrh diskrétno PID regulátora stabilizácie hlavne vrátane analýzy jeho stability v z-rovine. Práca zároveň poukazuje na význam voľby periódy vzorkovania ako kritického parametra digitálneho riadenia.

Za kľúčový prínos možno považovať zavedenie konceptu streleckého okna ako hodnotiaceho kritéria. Tento prístup prepája dynamickú odozvu systému s praktickou schopnosťou zasiahnuť cieľ, čím poskytuje jednoznačný a fyzikálne interpretovateľný ukazovateľ kvality stabilizácie.

Z aplikačného hľadiska práca potvrdzuje, že aktívne odpruženie má výrazný pozitívny vplyv na stabilizáciu hlavne. Redukciou vibrácií podvozku sa znižuje zaťaženie stabilizačného systému, čo vedie k zlepšeniu presnosti strelby a zvýšeniu efektivity zbraňového systému.

Zároveň je potrebné kriticky uviesť, že model je zjednodušený a nezohľadňuje všetky reálne vplyvy, ako sú nelinearity, spätný ráz zbrane alebo komplexné interakcie s terénom. Tieto aspekty predstavujú priestor pre ďalší výskum.

Dizertačná práca sa zaoberala analýzou spolupráce aktívneho systému odpruženia podvozkovej platformy a systému stabilizácie hlavňového zbraňového systému. Na základe vytvorených matematických modelov a simulačných analýz bolo preukázané, že dynamické vlastnosti podvozku majú zásadný vplyv na kvalitu stabilizácie hlavne.

Výsledky práce potvrdzujú, že aktívne odpruženie dokáže efektívne potláčať vibrácie prenášané na zbraňový systém, čím zlepšuje podmienky pre činnosť stabilizačného regulátora. Vhodne navrhnutý regulačný systém v kombinácii s optimalizovanou periódou vzorkovania umožňuje dosiahnuť výrazné zlepšenie presnosti stabilizácie.

Použitie konceptu streleckého okna umožnilo prepojiť technické parametre systému s praktickou schopnosťou zásahu cieľa, čím sa dosiahlo realistické hodnotenie účinnosti systému.

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že integrácia aktívneho odpruženia a stabilizácie hlavne predstavuje perspektívny smer vývoja moderných bojových vozidiel. Navrhnutý prístup vytvára základ pre ďalší výskum v oblasti pokročilých riadiacich systémov, optimalizácie dynamiky vozidiel a zvyšovania presnosti zbraňových systémov v reálnych podmienkach.

9. Zoznam publikovaných prác doktoranda

- [1] KRÁLOVÁ A., RÁZGA T., *Placement options for a reflex sight on CZ P-09 pistol*. Proceedings of 20th Technical Systemes Degradation Conference. Technical Systemes Degradation 2024, Varšava (Poľsko) : Paweł Zimniak - PERITIA, 2024. – [tlačená forma]. – [angličtina]. – ISBN 978-83-947840-8-9. O2-category.
- [2] RÁZGA T., POPARDOVSKÝ V., *Cooperation between Control Systems of UGV Active Suspension and Gun Barrel Vertical Stabilization of Weapon*, Transport Means 2023, Kaunas (Litva) : Kauno Technologijos Universitetas, 2023. -- s. 979-985. -- (Transport means 2023 (Part II) ISSN 1822-296X). V2-category.
- [3] RÁZGA T., POPARDOVSKÝ V., *Modern Control Method of Vertical Stabilization of a Weapon Station Placed on a Mobile Platform*, Transport Means 2025, Kaunas (Litva) : Kauno Technologijos Universitetas, 2025. -- s. 1007-1011. -- (Transport Means 2025 ISSN 1822-296X). V2-category.

- [4] RÁZGA T., KREHEL V., MOZOLA M., *Interaction of Modern Technology with Thermal Imaging and Night Vision*, Transport Means 2025, Kaunas (Litva) : Kauno Technologijos Universitetas, 2025. -- s. 755-760. -- (Transport Means 2025 ISSN 1822-296X). V2-category.
- [5] GÁLIKOVÁ J., RÁZGA T., *Analysis of the influence of muzzle devices on muzzle velocity*. Proceedings of 22nd Technical Systemes Degradation Conference. Technical Systemes Degradation 2026, Varšava (Poľsko) : Paweł Zimniak - PERITIA, 2026. – [tlačená forma]. – [angličtina]. – ISBN 978-83-975547-0-2. V2-category.
- [6] ILAVSKÝ M., RÁZGA T., *Conceptual design of a trip flare*. Proceedings of 21st Technical Systemes Degradation Conference. Technical Systemes Degradation 2025, Varšava (Poľsko) : Paweł Zimniak - PERITIA, 2025. – [tlačená forma]. – [angličtina]. – ISBN 978-83-947840-9-6. V2-category.
- [7] RÁZGA T., PERUN P., *Influence of bullet weight on .223 Remington ammunition accuracy analysis*. Výzbroj a technika ozbrojených síl 2019, Liptovský Mikuláš (Slovensko), ISBN: 978-80-8040-585-4, AFD-category.
- [8] KREHEL V., RÁZGA T., *Detection signature of modern technologies in night combat operation*. Proceedings of 21st Technical Systemes Degradation Conference. Technical Systemes Degradation 2025, Varšava (Poľsko) : Paweł Zimniak - PERITIA, 2025. – [tlačená forma]. – [angličtina]. – ISBN 978-83-947840-9-6. V2-category.
- [9] RÁZGA T., BALÁŽ P., MOZOLA M., KREHEL V., *Influence of Bullet Shape on .223 Remington Ammunition Accuracy Analysis*, Science & Military (magazin), 2024, No. 2, Volume 19, page 29-35, ISSN 1336-8885 (print), ISSN 2453-7632 (online), V3-category.
- [10] MARKO M., KADLUB V., MITUNÍK R., RÁZGA T., HANDZILKO J., *Ošetrovanie vozidla T-815 ML MK IV*, Bulletin č.2/ 2022, Bull 20-2, Bulletinová služba - ÚLZ Trenčín, 2022, I1-category.
- [11] RÁZGA T., BALÁŽ P., KREHEL V., PAGÁČIK J., *Influence of Bullet Shape on .223 Remington Ammunition Accuracy Analysis*, Science & Military (magazin), 2025, No. 2, Volume 21, page 23-31, ISSN 1336-8885 (print), ISSN 2453-7632 (online), V3-category.

10. Zoznam bibliografických odkazov

- [1] ALEXANDRU, Catalin. ALEXANDRU, A comparative analysis between the vehicles' passive and active suspensions. International journal of mechanics volume 5, 2011
- [2] KUMAR Shallendra, Active and Passive Suspension System Performance under Random Road Profile Excitations. International Journal of Acoustics and Vibration, volume 25, 2020
- [3] TATAR Ahmed, Modeling od Non-linear Effect in Remote Controlled Stabilized Gun Systems, Master of Science Degree, Department of Mechanical Engineering, 2018
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor: Martin Hartl, Miloš Vlk. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.
- [6]. POPARDOVSKÝ, Vladimír. Analýza a riadenie strojných mechanizmov. Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, Liptovský Mikuláš, 202. ISBN 978-80-8040-604-2
- [7] POPARDOVSKÁ, Eva. CUTTOVÁ, Miroslava. Analýza a pevnostné kontroly strojných mechanizmov. Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika, Liptovský Mikuláš, 202. ISBN 978-80-8040-604-2
- [8] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.
- [9] Listová pružnice. ZÍTKO, Martin. Pojezdy: Vypružení. [online]. Dostupné z:
- [10] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jirí. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [11] BUI VIET DUNG. MACKO, Martin. TRAN DINH DUNG. ČERVENKA, Martin. KŘÍST, Zbyněk. Research on Vibrations of an Unmanned Vehicle on Random Road Surfaces. International Conference on Military Technologies (ICMT), 2022.

- [12] DANG, Ba Ngoc. PHAM, Huu Nguyen. Vibration of the Weapon System Mounted on Unmanned Ground Vehicles. *Applied Physics*, 2023.
- [13] BUI, Viet Dung. MACKO, Martin. DANG, Ba Ngoc. PHAM, Huu Nguyen. Calculating the dynamic disturbances of weapon systems on unmanned ground vehicles. *Acta Polytechnica*, vol. 66, no. 1, 2026. DOI: 10.14311/AP.2026.66.0001.
- [14] FERENCEY, Viktor. Aktívne systémy pruženia motorových vozidiel. *Transfer*, 2003, s. 167–169.
- [15] HYNÍŮOVÁ, Kateřina. STRÍBRSKÝ, Antonín. HONCU, Jaroslav. HLINOVSKÝ, Martin. Energy Flow Management in H_∞ Controlled Active Suspension Systems. *Acta Mechanica Slovaca*, 2007.
- [16] KRUCZEK, Aleš. HLINOVSKÝ, Martin. HONCŮ, Jaroslav. STEINBAUER, Pavel. Experimenty s aktivním tlumením automobilu. *Acta Mechanica Slovaca*, 2008.
- [17] IONETE, Cosmin. POPESCU, Dan. PETRE, Emil. On the H_∞ Control of Automotive Active Suspension. *Process Control*, 1999.
- [18] REICH, Štefan. HRONCOVÁ, Darina. Optimalizácia a porovnanie pasívneho, aktívneho a semiaktívneho odpruženia. *Acta Mechanica Slovaca*, 2006.
- [19] SENTHIL KUMAR, M. VIJAYARANGAN, S. Performance Evaluation of Semi-Active Suspension System Subjected to Harmonic Road Input. *Manufacturing Engineering*, 2006.
- [20] GUGLIELMINO, Emanuele. SIRETEANU, Tudor. STAMMERS, Charles. GHITA, Gheorghe. GIUCLEA, Marius. Semi-Active Suspension Control: Improved Vehicle Ride and Road Friendliness. Springer, 2008.
- [21] MUSIL, Miloš. ZUŠČÍK, Marián. Aktívne a semiaktívne odpruženie vozidla. STU Bratislava, 2012.
- [22] MÚČKA, Peter. Aktívne odpruženie ťažnej nápravy nákladného automobilu. *Strojnícky časopis*, 2002.
- [23] MÚČKA, Peter. Vplyv aktívneho odpruženia nákladného vozidla na zníženie dynamického namáhania vozovky. *Strojnícky časopis*, 1998.
- [24] MÚČKA, Peter. Vplyv parametrov modelu štvrtiny vozidla na kvalitu aktívneho odpruženia. *Strojnícky časopis*, 2000.

- [25] KYSLAN, Karol. Automatické generovanie kódu z prostredia MATLAB Simulink. TU Košice, 2018.
- [26] ZAPLATÍLEK, Karel. Řešení vybraných vojensko-technických úloh v prostředí MATLAB & Simulink. Univerzita obrany, 2019.
- [27] HRONCOVÁ, Darina. HUŇADY, Róbert. MIKOVÁ, Ľubica. SIVÁK, Peter. Simulácia v programe Matlab/Simulink. TU Košice, 2019.
- [29] VÉGH, Peter. Automatické riadenie so simuláciami v MATLAB a SIMULINK. STU Bratislava, 2009.
- [30] SZABOLCSI, R. MENYHÁRT, J. Battery Voltage Limit Analysis with Support Vector Machine and Fuzzy Logic. *Advances in Military Technology*, 2017.
- [31] POPARDOVSKÝ, Vladimír. BONDRA, Peter. NOVOTNÝ, Lukáš. Proposal of Unmanned Ground Vehicle Powered by Fuel Cell. *Science & Military*, 2021.
- [32] GYŰRÖSI, Miroslav. Zbraňové stanice Natter. *ATM*, 2022.
- [33] YOON, Young Ki. LEE, Do Hyeon. CHUNG, Young Hun. OH, Sehoon. Study on the Development of Yaw Stabilization Control Technique for Heavy Weight 2-axis Gimbal. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2024.
- [34] LEE, Do Hyeon. KIM, Seokjin. Design of the Drive System for Stabilization Control of Remotely Controlled Weapon System. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 2025.
- [35] YOON, S. LUNDBERG, J. B. Equations of Motion for a Two-Axes Gimbal System. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2001.
- [36] ATAEL, Mohammad. Modelling of a Two-Axis Gimbal System for Line-of-Sight Stabilization. *MATHMOD Conference*, 2006.
- [37] BASKIN, Mehmet. LEBLEBICIOĞLU, Kemal. Robust Stabilization Loop Design for Gimballed Electro-Optical Imaging System. *IEEE/Control Systems*, 2016.
- [38] ANDERSSON, Christian A. The Unmanned Ground Vehicles to be Used in Future Military Operations. *Journal of Military Technology*, 2021.
- [39] LI, Ming. Robust Formation Control for Unmanned Ground Vehicles Using Visual Sensors. *Drones (MDPI)*, 2024.

- [40] NGUYEN, Tam. CATOIRE, Laurent. GARONE, Emanuele. Control of a UAV and UGV Cooperative System. arXiv, 2018.
- [41] NGUYEN, Tam. GARONE, Emanuele. Control of UAV–UGV Cooperative Manipulation System. arXiv, 2016.
- [42] Gun Stabilizer Systems and Fire Control Principles. Military Systems Engineering, 1971.
- [43] LEONTIEV, Pavel. Design and Research of Ground Robotic System with Weapon Stabilization. 2023.
- [44] Advanced Fire Control Systems for Armored Vehicles. Defence Engineering Journal, 2018
- [45] Modern Control of Mechatronic Systems with Applications to Turrets. Springer, 2015
- [46] Dostupné na internete:
- <<http://www.strojar-inovator.sk/projekty-2014/14-projekt-11-hydro-pneumaticke-pruzenie-automobilu>>
- [47] Dostupné na internete:
- <<https://www.smlease.com/entries/mechanical-design-basics/what-is-gyroscope-how-gyroscopes-work-and-their-applications/>>
- [48] Dostupné na internete:
- <<https://insidegnss.com/fiber-optic-gyros-ordered-for-remote-weapons-systems/>>
- [49] Dostupné na internete:
- <<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7405>>

[50] Dostupné na internete:

<<https://www.advancednavigation.com/glossary/ring-laser-gyroscope>>

[51] Dostupné na internete:

<<https://defence-industry.eu/milrem-robotics-partners-with-the-ukrainian-defence-industry-to-forge-next-generation-multi-domain-robotic-systems/>>

[52] Dostupné na internete:

<<https://below-the-turret-ring.blogspot.com/2017/>>

[53] Dostupné na internete:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Protector_RWS>

[54] Dostupné na internete

<<https://twitter.com/DefenceDecode/status/1284368639613796353>>

[55] Dostupné na internete:

<<https://www.municak.sk/specna-arms-mk2-core-black-sa-249->>

[56] Dostupné na internete:

<<https://www.valka.cz/SVK-TURRA-30-dialkovo-ovladana-veza-t160425>>

[57] Dostupné na internete:

<https://conworld.fandom.com/wiki/Kongsberg_Protector_RWS>

[58] Dostupné na internete:

https://en.wikipedia.org/wiki/Samson_Remote_Controlled_Weapon_Station

[59] Dostupné na internete:

<<https://defence.czechoslovakgroup.com/en/products/pandur-8-8-evo> >

[60] Dostupné na internete:

<https://www.reddit.com/r/WarCollege/comments/1h4d4mk/how_does_the_suspensionhydraulic_system_of_the/>

[61] Dostupné na internete:

<<https://gundata.org/blog/post/223-ballistics-chart>>

[62] Design and Performance Analysis of Stabilized Weapon Systems. Defence Technology Journal, 2016.

[63] Control of Weapon Systems on Mobile Platforms. Journal of Battlefield Technology, 2018.

[64] Stabilization and Control of Gun Systems on Moving Platforms. NATO Research and Technology Organization (RTO), Technical Report, 2007.

[65] Fire Control Systems for Tanks and Armoured Vehicles. Marcel Dekker, Inc., 2000.

[66] SPS-D4-6/Pech, Útočná puška M4 – Používateľská príručka, Trenčín, 2023.

[67] Del-21-7, Vojenský predpis o útočnej puške HK 416, Bratislava, 2022.

[68] SPS-D-4-1/Pech, Gulomet FN MINIMI – Používateľská príručka, Trenčín, 2023.

[69] Dostupné na internete:

<<https://www.army-technology.com/projects/viking/?cf-view>>

[70] Dostupné na internete:

<<https://www.army-technology.com/projects/viking/?cf-view>>

[71] Astrom K.J., Murray R.M. 2009. Feedback Systems - An Introduction for Scientists and Engineers, Princeton University Press

[72] El-sharif I.A., Hareb F.O., Zerek A.R. 2014. Design of discrete-time PID controller, International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'14) Proceedings, ISSN 2356-5608