

prof. Ing. Viktor Ferencey, PhD., Nad lúčkami 31, 841 05 Bratislava  
SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE, STROJNÍCKA  
FAKULTA, Nám Slobody 17

## OPONENTSKÝ POSUDOK

na habilitačnú prácu Ing. Vladimíra Popardovského, PhD. s názvom  
„Inteligentný systém riadenia odpruženia bojového pásového vozidla“

Odbor habilitačného konania: **Výzbroj a technika ozbrojených síl.**

Miesto vypracovania habilitačnej práce: **Akadémia ozbrojených síl generála M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši.**

Predložená habilitačná práca po formálnej stránke obsahuje všetky náležitosti na prácu daného charakteru. Okrem príloh má celkom 157 strán textu vrátane 147 ks obrázkov a 3 ks tabuliek. Prílohová časť má 4 ks tabuliek a 6 obrázkov fotodokumentácie. Práca je členená do 9 kapitol. Podľa autora prvých 5 kapitol (50 str.) obsahuje teoretickú časť práce, nasledujúce 4 kapitoly (104 str.) obsahujú praktickú časť práce.

V úvodnej časti autor definuje štyri ciele riešenia svojej habilitačnej práce. Realizácia samotných cieľov v rovine simulačnej a v rovine praktického experimentu je predmetom praktickej časti práce. Pri opise opodstatnenosti zavádzania a používania aktívnych systémov odpruženia bojových vozidiel (str. 18) je najdôležitejším cieľom dosiahnutie stabilizovaných platforiem zo samonosných karosérií kolesových vozidiel a pancierových korieb pásových vozidiel. Tento cieľový stav bol v odbornej literatúre publikovaný už v roku 2015 na príklade vozidla americkej armády značky HUMMER a je známy pod pojmom „Inteligentný aktívny systém pruženia vozidla“. Existuje v dvoch prevedeniach: rýchly a pomalý. Podobný cieľ, ale na vyššej úrovni obtiažnosti má riešenie aktívneho pruženia pre pásové bojové vozidlá, t.j. vozidlá zabezpečujúce pozemnú taktickú mobilitu a súčasne vedenie bojovej činnosti palebnými prostriedkami. Aktuálne sú pre mechanické systémy pruženia pásových vozidiel vyvíjané semiaktívne systémy odpruženia korby pásového vozidla v interakcii s tradičnou samostatnou stabilizáciou hlavného palebného prostriedku.

Vyriešením systémov stabilizovaných platforiem pásových vozidiel pre jazdu členitým povrchom predovšetkým v teréne by sa naplnili takmer všetky hlavné požiadavky na plynosť jazdy týchto vozidiel.

Kladne hodnotím vypracovanie teoretickej časti habilitačnej práce, kde autor metodicky vhodne a prehľadne opisuje teóriu neurónových sietí. Teoretická časť habilitačnej práce pokračuje veľmi solídnym opisom dynamického systému (kapitola 2), opisom problematiky neurónových sietí v modelovaní dynamických systémov (kapitola 3) a opisom spätnoväzobného riadenia (kapitola 4). Tieto časti práce boli

výborne pripraveným priestorom pre odborné prepojenie uvedených teoretických otázok s dynamickým systémom pruženia obecného pásového podvozku počnúc zaradením systému medzi dynamické systémy, analýzou funkčných signálov vstup – výstup, pokračujúc vyprecizovaním fyzikálnej podstaty a predmetu riadenia až po ujasnenie späťoväzobných otázok riadenia. Autor mal príležitosť precízne charakterizovať v obecnom pojatí procesnú stránku dynamického systému pruženia pásového podvozku s nadstavbou.

Praktická časť habilitačnej práce rieši v kapitole 6. metódu návrhu topológie skrytých vrstiev neurónovej siete. Riešenie je metodicky postavené na návrhu topológie „feedforward“ neurónovej siete v zmysle distribúcie zvoleného počtu neurónov do určitého počtu skrytých vrstiev, za účelom maximalizácie prepojení v neurónovej sieti. Maximalizovaný počet prepojení v sieti vytvára predpoklady na kvalitnejšie aproximačné schopnosti siete. Teoretické riešenie návrhu topológie skrytých vrstiev neurónovej siete potvrdilo odbornú erudovanosť autora v predmetnej oblasti a s ohľadom na obsah celej práce považujem túto časť za hlavný prínos tejto habilitačnej práce pre oblasť inteligentných aktívnych systémov pruženia vozidiel obecné. Ďalšia časť tejto kapitoly obsahuje demonštrácie aproximačných schopností vybraných neurónových sietí. Na stranách 61 až 64 ( obr. 6.2 až 6.5) sú uvedené aproximácie odozvy korby vozidla BVP – 2 na časové priebehy zrýchlení vertikálnych kmitov zaznamenaných akcelerometrom v zadnej časti vozidla pri prejazde prekážkou. Z textu ani z grafického časového priebehu zrýchlenia kmitov zadnej časti korby počas 8 sekúnd nie je jasné aký počet pojazdových kolies pásového podvozku prekonalu zvolenú prekážku. V nasledujúcej časti kapitoly (6.1) sú aproximačné schopnosti navrhnutých sietí znázornené zrozumiteľnejšie a z týchto znázornení (výsledkov aproximácií) je prehľadne vidieť ako návrh siete môže ovplyvňovať aproximačné schopnosti siete. Súčasne je vidieť aj vplyv hodnoty „ErrS“ na kvalitu aproximácie napr. na obrázku 6.13, str.69. Dá sa súhlasiť so samohodnotením autora, že cieľ práce č. 1 bol splnený.

Kapitola siedma rieši model pruženia za účelom jeho modelovania v prostredí Matlab / Simulink ďalej za účelom merania odozvy vozidla BVP – 2 na prejazd definovanou umelou prekážkou a konečne za účelom spracovania nameraných údajov. Postup riešenia nastolených otázok tejto kapitoly je možné považovať za obecné správny. Niektoré konkrétne prístupy k riešeniam nie sú úplne relevantné čo podľa mojich skúseností súvisí s absentujúcou fundamentálnou analýzou procesnej stránky dynamického systému pruženia predmetného vozidla. Ako príklad uvádzam autorom upravený polovičný model pruženia na obr. 7.4, str.75, ktorý neodpovedá modelu pruženia vozidla BVP – 2, ale autor si takto vytvoril symetrický model a tým zjednodušenia, ktoré mohol s výhodou využiť pri riešení otázok riadenia systému aktívneho pruženia v nasledujúcej kapitole. Tento predpoklad sa nenaplnil o čom svedčí skutočnosť, že v časti 7.1 na strane 86, v obr. 7.20 je znázornený časový posun s uvažovaním rozdielných osových vzdialeností uloženia medzi 4 – 5 – 6 pojazdovými kolesami. Autorom konštatované splnenie druhého cieľa riešenia práce by bolo relevantné za predpokladu vyhodnotenia, resp. aspoň okomentovania znázornených nameraných priemerných zrýchlení kmitov prednej a zadnej časti korby BVP – 2 na strane 88. Obsah kapitol 7.1.1 a 7.1.2 je zameraný na splnenie tretieho cieľa riešenia habilitačnej práce. K splneniu tohto cieľa riešenia práce by prospelo objasnenie za akých teoretických a jazdných podmienok, aký druh vynúteného kmitania pásového podvozku a aké pružné väzby sumárne vygenerujú také energetické pomery, ktoré spôsobia, že pozdĺžne uhlové kmitanie korby vozidla

má os kmitania častejšie mimo vozidla než v priečnej ose korby prechádzajúcej ťažiskom vozidla.

Hlavnou kapitolou predloženej habilitačnej práce je kapitola ôsma, v ktorej autor rieši ideový návrh riadiaceho systému aktívneho pruženia vozidla BVP – 2 (pásového vozidla obdobného typu). V úvode kapitoly autor upresňuje, že predmetom návrhu je len algoritmičné riešenie problému s overením na simulačnej úrovni. Autor práce sa preto zameril na integráciu neurónovej siete do známej PID regulácie. Porovnáva tri riadiace formy, okrem štandardnej PID formy s formami PIDANN a ANNAPID. Zámerom bolo získanie takej modifikácie riadiacej schémy, ktorá by predstavovala zjednodušený proces tréningu neurónovej siete. Simulačné experimenty potvrdili, že použitie neurónovej siete v prípade PIDANN formy reprezentuje ANN aproximáciu PID regulátora a v prípade ANNAPID formy je PID regulátor doplnený ANN tunerom pre on-line parametrizáciu PID formy. Autor dospel k dvom významným záverom: k prvému, ktorým potvrdzuje, že neurónová aproximácia PIDANN je schopná dostatočne presne aproximovať funkčnosť PID regulátora a k druhému záveru, že uvedená aproximácia má schopnosť adekvátne reagovať na typy terénnych prekážok, ktoré neboli súčasťou tréningového procesu. Z pohľadu teórie automatického riadenia sú uvedené riešenia zaujímavé a podnetné pre ďalší inovatívny výskum a vývoj. Simulačné overenie vyššie uvedených riešení naopak vyvoláva množinu nejasností hlavne v oblasti aplikácie získaných výsledkov na riadenie inteligentného aktívneho (pripúšťam aj semiaktívneho) odpruženia bojového pásového vozidla v duchu témy habilitačnej práce.

Cieľ riešenia poslednej kapitoly, ktorý je uvedený v zmysle „demonštrovať výhody umiestnenia zbrane na podvozokovej platforme s aktívnym systémom odpruženia“ nepredstavuje nové poznanie. Kladne hodnotím riešenia vertikálneho kmitania hlavne a znázornenia charakteristického regulačného zásahu „semiaktívneho riadenia“ pruženia kolesového vozidla. Stabilizácia zbraňového systému v námere (odmere) na cieľ strelby nebola predmetom riešenia.

Záver habilitačnej práce obsahuje rekapituláciu obsahu jednotlivých kapitol. Okrem posledného odstavca, ktorý stručne objasňuje základné poznatky z procesnej stránky pruženia (odpruženia) vozidla sa v závere konštatuje, že čiastkové výsledky sú zúročené v návrhu inteligentného riadenia aktívneho systému odpruženia. Toto tvrdenie pre obsahovú zložitosť odporúčam na diskusiu v rámci obhajoby.

Celkom na záver napriek k mojim odborným pripomienkam k práci konštatujem, že predložená práca rieši aktuálne a zložité problémy riadenia aktívnych systémov pruženia pásových vozidiel na vyhovujúcej odbornej úrovni a v primeranom rozsahu. Autor práce pristupoval k splneniu cieľov riešenia práce tvorivým spôsobom, využil znalosti vyštudovaného odboru, tieto sa snažil uplatniť tak, aby získal pôvodné poznatky a závery. Autor práce prejavil schopnosť exaktne formulovať a následne riešiť technické problémy predovšetkým v teoretickej rovine a v rovine simulačných verifikácií. Predložená habilitačná práca spĺňa základné požiadavky na tvorivú vedeckú prácu.

Habilitačnú prácu odporúčam k obhajobe a po jej úspešnom obhájení odporúčam Ing. Vladimírovi Popardovskému, PhD. udeliť vedecko-pedagogickú hodnosť „docent“.

Otázky k obhajobe habilitačnej práce:

1. Môžete vysvetliť ktoré atribúty kmitania korby pásového vozidla a v akej miere (kvantitatívne odhady) sa zlepšia aplikáciou Vášho návrhu na riadenie aktívneho systému pruženia, (str. 102) ?
2. Vysvetlite prosím princíp činnosti magnetoreologického tlmiča kmitania a jeho funkciu v rámci Vášho návrhu riadenia inteligentného systému pruženia (str. 104, ...).
3. Principiálne Váš návrh riadenia aktívneho systému pruženia (obr. 8.2, str.102) predpokladá riadiace zásahy prostredníctvom funkcií MR tlmičov na prvom a poslednom pojazdovom kolese, pričom štyri stredné pojazdové kolesá s nezávislými pružnými väzbami ku korbe absolvujú prejazdy nerovností bez riadenia. Môžete prosím vysvetliť aký fyzikálny parameter budete akčným zásahom riadiť (regulovať), ako sa tento zásah prejaví na kmitaní korby a aký druh aktívneho systému pruženia Vaším návrhom vlastne vznikne?

V Bratislave 08. 02. 2022

prof. Ing. Viktor Ferencey, PhD.