

Posudek disertační práce

Doktorand:	Ing. Robert Voženílek
Téma disertační práce:	Model směrového řízení vozidla typu STEER BY WIRE
Studijní program:	P2302 Stroje a zařízení
Studijní obor	2302V010 Konstrukce strojů a zařízení
Školící pracoviště:	Katedra vozidel a motorů, Fakulta strojní TU v Liberci
Recenzent:	Prof. Ing. Petr Noskiewič, CSc.
	Katedra automatizační techniky a řízení
	Fakulta strojní
	VŠB-TU Ostrava

Posudek disertační práce byl vypracován na základě jmenování recenzentem děkanem FS TU v Liberci dne 19. 10. 2010, čj. 216/10/ST.

Téma disertační práce

Téma práce je aktuální a věnuje se řešení koncepční otázky rozvoje motorových vozidel s využitím současných možností řídicí techniky – návrhu řízení směru jízdy vozidla pomocí systému „Steer by wire“ bez mechanické vazby mezi volantem a řízenou nápravou. Problematika je velice členitá a zahrnuje otázky jak koncepčního řešení systému řízení směru jízdy vozidla, návrhu pohonných subsystémů natočení kol, systému řízení jejich natočení, vývoji algoritmů řízení, tak i otázku spolehlivosti a bezpečnosti koncepčně nového systému a také konečné konstrukční řešení jednotlivých subsystémů vhodné pro sériové použití. První okruh otázek se je řešen v disertační práci. Téma práce vychází ze zaměření výzkumného záměru č. MSM 46 74788501 řešeného na školícím pracovišti.

Charakteristika disertační práce

Předložená disertační práce je zpracována v rozsahu 104 stran textu, který následně doplňují čtyři přílohy. Cíle disertační práce jsou formulovány v kapitole 3 a zahrnují návrh zkušebního stavu směrového řízení jednotlivých kol a návrh laboratorního řídicího systému umožňujícího implementaci vyvinutých algoritmů řízení a jejich další vývoj.

Řešení dílčích cílů disertační práce je následně dokumentováno v jednotlivých hlavních kapitolách disertační práce. V úvodní kapitole, která předchází formulaci cílů práce, je provedeno shrnutí současného stavu problematiky a jsou uvedeny koncepce, se kterými se doktorand seznámil zejména studiem pramenů uvedených v seznamu použité literatury. Kapitola 4 je zaměřena na návrh laboratorního zkušebního zařízení směrového řízení vozidel na bázi přední nápravy v současné době sériově vyráběného vozu. Zkušební stav je navržen tak, aby umožňoval jednak vývoj systému „Steer by wire“ a také měření charakteristik pneumatiky, které jsou potřebné pro popis, modelování a dimenzování akčních členů navrhovaného systému řízení „Steer by wire“.

Kapitola 5 popisuje řešení subsystému mechanismu směrového řízení typu „Steer by wire“, jehož výstupem je návrh dále realizovaného hydraulického obvodu znázorněného na obr. 36, str. 43. Hydraulický obvod umožňuje nezávislé řízení obou kol pomocí dvou hydraulických polohových servomechanismů. Je navržen pomocí sériově vyráběných hydraulických prvků

určených pro použití v průmyslových aplikacích a umožňuje funkční ověření vyvíjených algoritmů směrového řízení a použití zkušebního stavu pro měření různých charakteristik.

Ověření funkčnosti navrženého systému řízení „Steer by wire“ je shrnuto v kapitole 6. jsou popsány výsledky experimentální činnosti a doloženy naměřené charakteristiky a odezvy vyvinutého systému směrového řízení. Provedená měření byla zaměřena na vyhodnocení charakteristik navržených servopohonů směrového řízení a dále bylo provedeno testování systému „Steer by wire“ podle reálného tzv. losího testu. Vstupní signály přitom vycházely z podmínek stanovených normou pro tento srovnávací test a dat změřených na reálném vozidle v průběhu testu.

Kapitoly 6 až 9 shrnují výsledky experimentálních měření na realizovaném zkušebním stavu, zabývají se návrhem, funkčním ověřením a vyhodnocením různých koncepcí řízení natočení kol, výkonovými požadavky systému směrového řízení a měření úhlu natočení kol. Závěr shrnuje výsledky disertační práce.

Text práce je doplněn o seznam použité literatury se 43 položkami. Většina z nich jsou však odkazy na webové stránky různých firem, výrobců a firemní materiály. Pouze deset titulů představuje knižní publikace, odborné články nebo diplomové práce a zprávy jiných výzkumných projektů. Je překvapivé, že v autoreferátu doktorand uvádí autorství nebo spoluautorství u celkem 25 titulů a čtyř funkčních vzorů. Tato díla však nejsou uváděna v textu předložené disertační práce.

Významným výstupem disertační práce je funkční zkušební stav, který je umístěn v laboratoři katedry a umožňuje pomocí řídicího systému další vývoj řídicích algoritmů, měření veličin, charakteristik a testování vyvíjeného systému „Steer by wire“.

Disertační práce je psána s určitým nadhledem a přináší přehled o různých řešeních na konkurenčních pracovištích, popisuje vývoj řešení tématu na školicím pracovišti až po návrh, realizaci a testování zkušebního stavu. Použití konkrétních vědeckých metod, resp. výpočetních postupů při návrhu strojních zařízení v průběhu řešení tématu není explicitně v práci uvedeno, rovněž shrnutí prováděných výpočtů při návrhu zkušebního stavu a dimenzování navrhovaných pohonů je omezeno na minimum, v práci je uvedeno pouze 9 číslovaných matematických vztahů, které uvádějí většinou elementární zákonitosti. Přitom použití některých výpočetních metod je často námětem publikací, u kterých je doktorand spoluautorem a které jsou uvedeny v seznamu prací doktoranda v autoreferátu. Například metoda konečných prvků a její použití jsou tématem příspěvku [20] v autoreferátu s názvem FEM Analysis of Connecting ROF for Stationary Engine, sestavení simulačního modelu řešeného systému „Steer by wire“ je prezentováno v příspěvku [15] v seznamu v autoreferátu s názvem Simulační model hydraulického obvodu systému řízení steer-by wire. Nepřímo přes soubor prezentovaných publikací doktoranda, resp., u kterých je alespoň spoluautorem, je možné získat představu o výpočetních metodách a moderních nástrojích vědecko-výzkumné práce, se kterými se doktorand seznámil nebo přímo je aplikoval při řešení tématu disertace. V autoreferátu uvedený seznam publikací a jejich výtisky tak představují dosti podstatný zdroj informací o celkovém profilu odborných znalostí doktoranda. Začlenění jejich aplikací přímo do textu disertační práce by přispělo k její ucelenosti a vyváženosti.

Dotazy a připomínky

Dále uvádím připomínky k práci, z nichž některé mají formální charakter, a dotazy k upřesnění textu práce:

1. Str. 3 PROHLÁŠENÍ – ve výtisku práce, který jsem měl k dispozici, není ani datum, ani podpis autora.
2. Str. 4², 9² překlad „steer by wire“ ve tvaru ...řízených po drátě..., ...řízení vozidla pomocí elektrického vodiče... - jsou to doslovné překlady (až slangové), které by si zasloužily dále používat jeden technicky výstižný a akceptovatelný překlad.
3. Str. 4⁹ – patrně má být Na zkušebním zařízení ...
4. Str. 10⁹ ... řízení...doba 107 člověkoroků – k čemu se vztahuje tento údaj, počet řidičů, apod.
5. Str. 14¹² patří ... na vývoj palubních sítí...
6. Str. 16₅ ... usnadňuje systém posádce parkování..., vhodnější by bylo asi ...usnadňuje řidiči parkování – vzniklo asi překladem textu.
7. Str. 19, obr. 10 – jaký je význam úhlů δ, ψ uváděných v popisce grafů, v seznamu označení na str. 5 nejsou uvedeny.
8. Str. 19, obr. 11 – není uveden zdroj.
9. Str. 20₅ ... pojem ...přiřizování kol... - vysvětlit, možná je vhodnější použít jiný pojem.
10. Str. 23₃ ...chybí čárka ...Smart, u něhož...
11. Str. 32¹ ...byly modelovány jako čáry.... Není vhodnější technicky přesnější výraz pruty?
12. Str. 33⁴ chybí čárka ..., jejichž...
13. Str. 41 – ad c) – riziko napadení řídicích jednotek viry – musí být řešeno obecně již dnes, riziko existuje již dnes.
14. Str. 48 ve vztahu (1) má být dělení T, nikoliv t!
15. Str. 48, obr. 40 – žluté bloky korekce - může být konstantní?
16. Str. 51, obr. 44 – jak se mají interpretovat obousměrné šipky? Je tím uvažována vlastnost označována jako silová zpětná reakce?
17. Str. 51, obr. 45 – znázorňuje programové schéma řízení, nikoliv model; realizací těchto bloků se kolo směrově řídí.
18. Str. 57 – řeší se zde dopravní zpoždění. Jedná se skutečně o dopravní zpoždění nebo je to pouze projev setrvačnosti soustavy odpovídající časovým konstantám a posunutí průběhů na obr. 48 související s vzorkovací periodou?

19. Str. 60 - je vůbec přípustné uvažovat o použití řídicího systému s takovými vlastnostmi? Nemělo by se najít takové řešení, které odstraní obdobné negativní vlastnosti?
20. Str. 64 je možné srovnávat stabilizační systémy a systém směrového řízení, jejich vzorkovací periody?
21. Str. 70 Jak lze zvýšit přesnost polohování u navrhnutého systému mimo změny vzorkovací frekvence?
22. Str. 73 Popisuje se měření sil při otáčení kol. Podle popisu se provádělo při harmonické změně polohy pístnic, tedy kola se natáčela plynule. Proč byl použit harmonický signál? Jaký by byl průběh sil při změně natočení z jedné polohy do druhé, kdy na začátku je kolo natočeno do určitého směru a v klidu? Vše je měřeno pro nulovou rychlost otáčení kol (jízdy), je to omezující pro použití výsledků?
23. Str. 73₆ Uvádí se zde odkaz na rovnici, která je uvedena o 10 stran později, neobvyklé.

Dotazy ke zodpovězení v rámci obhajoby disertační práce

V následujících odstavcích uvádím dotazy a připomínky, které by měl doktorand vysvětlit v rámci obhajoby:

1. Na str. 32, 1 odstavec - je naznačen postup návrhu konstrukce zkušebního stavu. Jak byly stanoveny síly zatěžující rám zkušebního stavu v průběhu uvažovaných zkoušek? Bylo uvažováno pouze statické zatížení nebo i dynamické zatížení, periodické síly apod. Jak bylo provedeno ověření navržené konstrukce z hlediska zatěžujících stavů? Z obrázků vyplývá, že konstrukce – rám zkušebního stavu je sešroubován. Pokud je tomu tak, jak bude na konstrukci působit periodické zatížení, silové namáhání během testů?
2. Na str. 50, na obr. 42 a obr. 43 jsou uvedena bloková schémata systému řízení pro uvažované koncepce směrového řízení. Uveďte, jaký přenos mají použité regulátory a jak byly nastaveny jejich stavitelné parametry?
3. Na str. 50, obr. 43 je uvedeno blokové schéma autorem navrženého systému směrového řízení kol s označením MASTER- SLAVE. Zdůvodněte použití struktury řízení podle obrázku. Proč je osa SLAVE řízena signálem skutečné polohy osy MASTER? Vnáší se tak do řízení už vliv setrvačnosti první osy MASTER a všechny uváděné výsledky to jen potvrzují. V průmyslové praxi je běžné používání jiné struktury řízení, kdy obě osy jsou řízeny stejnou žádanou hodnotou a SLAVE osa navíc akční veličinou odvozenou od chyby synchronizace.
4. Na str. 56 jsou uvedeny průběhy naměřené amplitudové části frekvenční charakteristiky servopohonu. Proč jsou výsledky znázorněny v grafu s lineární stupnicí nezávislé proměnné - frekvence? Proč není zobrazen i průběh fáze?

Shrnutí a závěr

Souhrnně disertační práce dokumentuje několikaletou činnost doktoranda v oblasti vývoje systémů směrového řízení vozidla. Doktorand provedl analýzu funkce navrhovaného systému řízení a následně navrhl konstrukci zkušebního stavu, formuloval podmínky pro testování navrhovaného systému směrového řízení kol podle testů prováděných na reálných prototypch vozidel. Experimentálně změřil a vyhodnotil vstupní signály pro subsystémy směrového řízení. Vycházel přitom z normovaných srovnávacích zkoušek podle předpisu VDA ISO TR 3888 popisujícího tzv. losí test. Disertační práce vznikla v rámci doktorského studia ve studijním programu P2302 Stroje a zařízení, oboru 2302V010 Konstrukce strojů a zařízení. Navrhovaný systém směrového řízení, který je součástí realizovaného zkušebního stavu, přesahuje hranice studovaného oboru a zasahuje i do příbuzných oborů – automatizace, řízení strojů a procesů, mechatroniky. Navržený a realizovaný zkušební stav směrového řízení vytváří kvalitní základnu pro další výzkumné a vývojové práce v rovině řídicích algoritmů, vývoje prvků hydraulického obvodu a jejich testování.

Souhrnně lze konstatovat, že doktorand předloženou disertační prací prokázal znalosti a dovednosti potřebné při vývoji nových strojů a zařízení, ovládá postupy transformace funkčních požadavků do konstrukčních a projekčních řešení, která dovede úspěšně realizovat až do podoby funkčních vzorů. Dosaženými výsledky přispěl k rozvoji zejména vývoje zkušebních a měřicích stavů potřebných pro vývoj nových mechatronických subsystémů moderních motorových vozidel. Doktorand tak naplnil stanovené cíle disertace a doložil svou schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce.

Na základě uvedeného doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě.

V Ostravě - Porubě 29. 11. 2010


Prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.

Oponentský posudek disertační práce

Model směrového řízení vozidla typu STEER BY WIRE

Autor práce: Ing. Robert Voženílek

Oponent: doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

Předložená disertační práce obsahuje 103 stran vlastní textové části a 16 stran obrazových příloh. Textová část práce je rozdělena na 9 kapitol. Členění práce je přehledné a jednotlivé kapitoly mají logickou návaznost. Disertační práce je zpracována pečlivě s velmi dobrou úpravou, bez formálních nedostatků.

Zvolené téma lze považovat za velmi aktuální, mimo jiné i proto, že systémy ..by wire nacházejí stále větší uplatnění v systémech dopravních prostředků. Jak autor v úvodu správně uvádí, postupně se tyto systémy dostávají i do oblasti automobilů. Tuto oblast autor velmi přehledně zpracoval v kapitole 2, kde řeší současný stav problematiky.

Cíl disertační práce, který autor uvádí jako samostatnou část práce, je dobře a jasně definován. I když velmi stručně, ale správně autor uvádí hlavní úkoly, které ke splnění cíle práce musí realizovat.

V úvodních kapitolách se autor věnuje popisu zkušebního zařízení, které bylo v rámci plnění úkolů spojených s předloženou disertační prací, na pracovišti disertanta navrženo a realizováno. Tato část práce poskytuje ucelený přehled o možnostech zařízení pro provádění experimentálních měření. Je zde také uvedeno jak by se dala pro další experimenty v této oblasti využít válcová brzda, která je na pracovišti instalována.

Na předešlou část práce vhodně navazuje další kapitola, která se zabývá popisem a rozdělením systémů steer by wire. Dále se tato část zabývá popisem uspořádání hydraulického obvodu, který byl použit na zkušebním zařízení pro testování systému. Popis je vhodně doplněn obrázky a schémata s principem zapojení regulačních obvodů celého zařízení. I tato kapitola je sestavena logicky, správně a srozumitelně popisuje funkci použitého systému.

Logicky pak navazuje kapitola šestá, která se věnuje výsledkům měření provedených na zkušebním zařízení. Disertant se zde zabývá problematikou frekvenčních charakteristik soustavy a dále pak dopravním zpožděním systému. Výsledky jsou přehledně doloženy v grafech. Zajímavou část této kapitoly tvoří popis provedení a získané výsledky ze simulace „losího testu“ na zkušebním zařízení. Získané výsledky dávají přehled o možnostech zkušebního zařízení.

Samostatná část práce je věnována problematice ovládacích sil nutných ke směrovému natočení kola. Tato část práce je velmi důležitá pro dimenzování akčních členů a je tedy nezbytným předpokladem pro případnou realizaci tohoto typu řízení na skutečné vozidlo. Výpočty ovládacích sil byly provedeny pro různé povrchy podložky pod pneumatikou. S touto částí práce souvisí i další kapitola, která se zabývá výkonovými požadavky na natočení kol. Tato část v podstatě logicky doplňuje a rozšiřuje předešlou kapitolu a tvoří další nutný předpoklad pro případnou realizaci systému na vozidlo.

Za důležitou část práce lze považovat kapitolu 9. Zde se autor zabývá problematikou stanovení skutečného úhlu natočení kola. Touto kapitolou se autor přibližuje realitě jaká by byla na skutečném vozidle. Zamýšlí se nad vlivem elastokinematických vlastností řízené nápravy, které mohou ovlivnit skutečnou polohu kola. Uvádí možnosti měření skutečných úhlů kola. Dále autor popisuje metodu kterou pro měření skutečného úhlu kola použil.

Princip zvolené metody je přehledně popsán a vhodně doplněn obrázky. Dosažené výsledky měření jsou uvedeny formou grafu. K této části mám drobnou výhradu, že výsledky mohly být rozebrány podrobněji, s návazností na předešlé kapitoly práce.

K této části požaduji, aby disertant v rámci obhajoby vysvětlil, jaký by mohly mít elastokinematické vlastnosti nápravy vliv na vlastní algoritmus ovládání systému natáčení kol a zda bude nutné s tímto faktem při návrhu systému pro realizaci počítat.

Závěr práce přehledně shrnuje dosažené výsledky a uvádí přínos práce pro vědní obor a pro praxi.

Disertační práce je zpracována pečlivě, její text neobsahuje formální chyby, je dobře čitelný. Disertant prokázal schopnost správně a jasně formulovat výsledky své práce. Práce řeší aktuální problematiku související se současným trendem rozvoje moderních systémů v ovládání vozidel a směřujících ke zvýšení úrovně aktivní bezpečnosti vozidel. Práce tvoří velmi hodnotný základ pro další pokračování výzkumu v této oblasti.

V průběhu obhajoby by měl disertant reagovat na poznámku, kterou jsem uvedl v textu posudku. Jiné zásadní připomínky nebo dotazy k předložené práci nemám.

Zpracováním předložené disertační práce prokázal disertant schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje a tím splnil podmínky § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách.

Na základě celkového posouzení předložené disertační práce doporučuji po úspěšné obhajobě panu Ing. Robertu Voženílkovi udělit akademický titul „doktor“.

V Pardubicích 18.11.2010



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

Prof. Ing. Jiří Stodola, DrSc.,
Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií
Kounicova 65, K202, 662 10 Brno
Tel. a fax: + 420 973 442 278
E-mail: jiri.stodola@unob.cz

OPONENTSKÝ POSUDEK

**disertační práce pana Ing. Roberta Voženílka ze Strojní fakulty Technické univerzity v
Liberci**

Předložená disertační práce Ing. Roberta Voženílka na téma „Model směrového řízení vozidla typu Steer by Wire“ má přiměřený rozsah 103 stran + přílohy. Práce je vhodně členěna, kromě úvodu a závěru do 8 relativně samostatných kapitol, kde je dostatečně rozebrán předmět řešení: pojmový aparát, současný stav problematiky se zaměřením na aktivní systémy směrového řízení, zkušební zařízení pro zkoušení směrového řízení, vlastní mechanismus směrového řízení pomocí elektrického vodiče, možnosti ověřování jeho vlastností, problematiku ovládacích sil ke směrovému natočení kola, výkonové požadavky na natočení kola a stanovení úhlu natočení kola.

Konstatuji, že předložená práce je vysoce aktuální, protože problematika směrového řízení bez použití mechanické vazby volant – řídicí kola je nedílnou součástí tzv. aktivního směrového řízení, které umožní zvýšit stabilitu vozidla a optimalizovat zvládání kritických situací řidičem během jízdy.

Zvolené metody řešení, postup zpracování a výsledky disertační práce vyplývají z cílů disertační práce, současného stavu poznání a možností autora a jsou, podle mého názoru, vhodné, mají systémový charakter a zcela splňují požadavky obvykle kladené na doktorské disertace.

Autor si stanovil v doktorské disertační práci tři hlavní cíle zahrnující návrh a realizaci zkušebního zařízení, které bude sloužit k výzkumu systémů směrových zařízení vozidel kategorie M, navrhnout laboratorní systém směrového řízení a dále navrhnout řídicí a regulační systém pro ovládání směrového řízení pomocí elektrického vodiče včetně ověření jeho funkce. Cíle práce vychází obecně z důkladné analýzy současného stavu, respektují možnosti konstrukce zkušebního zařízení, resp. jeho možné modifikace pro testování směrových systémů řízení pro vyšší rychlosti. Návrh mechanismu směrového řízení obsahuje standardní servořízení Škoda ROOMSTER, vlastní hydraulický obvod, řídicí a měřicí systém, akční členy a regulační systém řízení pomocí elektrického vodiče pro dvě varianty řízení kol. V části věnované ověřování vlastností navrženého a realizovaného systému autor uvádí výsledky měření frekvenčních charakteristik, velikost dopravního zpoždění systému, simulaci vyhýbavého manévru včetně porovnání skutečného manévru na zkušební dráze. V oblasti nalezení potřebných sil k ovládání směrového natáčení kol využil autor experimentálního zařízení, výsledky jsou velmi zajímavé a mohou mít praktický provozní význam zvláště ve vztahu k huštění pneumatik. Autor rovněž v práci vypočítal potřebný výkon pro vybrané směrové manévry. Závěrečná část práce je věnována stanovení skutečného úhlu natočení kola, kdy je respektována elastičnost nápravy. Konstatuji, že cíle disertační práce byly ve všech bodech splněny.

Autor systematicky analyzoval současný stav problematiky řešení, ukázal vývoj, uvedl základní pojmy a definice, základní požadavky na vlastnosti směrového řízení. Na schématech vysvětlil uspořádání, základní prvky mechanismu. Rozhodující část disertace tvoří návrh a realizace zkušebního zařízení, původní systém směrového řízení jednotlivých kol, regulační a řídicí systém pro ovládání směrového řízení pomocí elektrického vodiče, včetně ověření jeho funkce. Pro popis dynamických vlastností celého přenosového systému byl vytvořen simulační model, obsahující autonomní řídicí jednotku přenosových prvků. Celkově uvedené řešení pokládám za moderní a perspektivní. Jako jinou alternativu by bylo možno pravděpodobně využít bezrozměrných parametrů, veličin a charakteristik, které jsou zcela obecné a velmi vhodné pro hydraulické, resp. hybridní systémy a jsou využitelné pro řízení, přenos výkonu aj. bez ohledu na druh mechanismu.

Výsledky disertace zahrnují původní poznatky ve studijním oboru 2302V010 Konstrukce strojů a zařízení. Práce přispívá k dalšímu rozvoji využití moderních teoretických a experimentálních nástrojů pro zvýšení aktivní bezpečnosti vozidel a je, podle mého názoru, velmi vhodná pro další praktické využití. Autor prokázal, že ovládá vědecké metody práce a má hluboké teoretické znalosti.

Výsledky disertační práce a vlastní přínos autora můžeme v souladu s cíli disertační práce shrnout do následujících bodů:

1. Autor navrhl a realizoval původní zkušební zařízení pro výzkum vlastností směrového řízení vozidel.
2. Autor vytvořil model ovládání a regulace systému směrového řízení.
3. Významným výsledkem, který má další praktické uplatnění jsou konkrétní údaje z experimentálních měření.

K práci nemám žádné zásadní připomínky. Dovoluji si upozornit na drobný formální nedostatek, kdy autor striktně nedodržel ČSN ISO 690 (010197) bibliografické citace. Za vážnější nedostatek pokládám použitou literaturu, kde zcela převažují materiály získané na Internetu, dále jsou uvedeny pouze 2 starší práce prof. Vlka a jedinými původními pracemi jsou materiály kolektivu autorů z kolokvia [9] a práce [40], resp. [41]. Domnívám se rovněž, že autor v disertaci řešil relativně příliš široký okruh problémů, proto některé části nejsou rozpracovány do potřebné hloubky, jak by tato vážná problematika zasluhovala. Toto konstatování však nesnižuje celkově velmi dobrou úroveň práce.

V průběhu obhajoby práce prosím, aby doktorand stručně odpověděl na následující otázku: Objasněte jakým způsobem by bylo možno navrhnout a realizovat zkušební zařízení pro výzkum systému směrového řízení vozidel při otáčejících se kolech?

Doktorská disertace přispívá k rozvoji vědního oboru a je významná pro praxi. Doktorand tvůrčím způsobem rozpracoval a využil teoretické poznatky, získal původní vlastní dílčí teoretické poznatky a výsledky, které mají praktickou použitelnost.

Závěrem konstatuji, že předložená disertace splňuje všechny podmínky tvůrčí vědecké práce. Z těchto důvodů **d o p o r u č u j i** předloženou disertační práci k obhajobě a po úspěšné obhajobě navrhuji panu Ing. Robertu Voženílkovi udělit titul Ph.D.

V Brně dne 12. listopadu 2010

