

Dr. Ing. Pavel Polach
Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.
Výzkum materiálů a strojírenství
Tylova 1581/46
301 00 Plzeň

O p o n e n t n í p o s u d e k
disertační práce k získání akademického titulu doktor
System pro naklápění úzkého tříkolového vozidla

Autor: Ing. Jan Vavřík

Školitel: Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.

Studijní program: P2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302V019 – Stavba strojů a zařízení

Předložená disertační práce se zabývá problematikou úzkých alternativních vozidel, jejichž hlavním „nedostatkem“ je nízká stabilita proti překlolení. Bylo stanoveno celkem 10 (!) hlavních cílů disertační práce: výzkum v oblasti alternativních konceptů vozidel, výběr vhodného konceptu úzkého tříkolového vozidla, návrh zavěšení kol umožňující naklápění vozu, zakomponování vhodného odpružení kol, popis chování naklápěného tříkolového vozidla, výběr vhodných softwarových nástrojů pro vyvinutí softwarového modelu, vyvinutí softwarového modelu vozu s navrženým systémem, prověření chování softwarového modelu vozidla při jízdách manévrech, návrh řídicí smyčky s vhodnou strategií řízení a stavba experimentálního vozidla.

V kapitole „1. Úvod“ autor seznamuje s problematikou úzkých vozidel, s významem jejich vývoje a s cíli disertační práce. Poněkud chybí odkazy na literární zdroje, odkud autor informace čerpal.

Kapitola „2. Tříkolové vozidlo“ vysvětluje výhody tříkolového úzkého vozidla oproti čtyřkolovému, zabývá se jeho stabilitou a naklápěním skříň vozidla. Je uveden přehled patentovaných řešení aktivního naklápění a přehled existujících tříkolových vozidel s naklápěnou skříň. Přehled možných konstrukčních řešení je velmi podrobný.

Kapitola „3. Porovnání a hodnocení vybraných technických řešení“ se zabývá porovnáním technických systémů zvyšujících stabilitu úzkého tříkolového vozidla s využitím nástroje Engineering Design Science. Jsou porovnány koncepty vozidel s naklápějící se karosérií General Motors Lean Machine, Mercedes F300 a vlastní navržené řešení vozidla s naklápějící se karosérií. Technický koncept vlastního navrženého řešení však uveden není. Chybí alespoň stručný popis k tabulkám, grafům a vývojovým schémátům uvedeným v této kapitole.

V kapitole „4. Dynamika úzkého naklápěného vozidla“ je uveden jednoduchý dynamický model tříkolového vozidla. V podkapitole „4.1 Odstředivá síla vzniklá při jízdě vozidla po zakřivené dráze“ není zcela zřejmý význam odvození vztahů pro výpočet normálového zrychlení

při použití úhlu ε (v následující podkapitole označeného již jako ψ) mezi podélnou osou vozidla a osou x_0 pevného souřadnicového systému. Odvozené vztahy nejsou dále použity, normálové zrychlení je vždy kolmé k vektoru rychlosti a ve všech případech uváděných v disertační práci je okamžitý poloměr křivosti znám. V následující podkapitole vztahy (4.13) a (4.14) nejsou pohybové rovnice, ale vztahy pro výpočet složek rychlosti vzhledem k pevnému souřadnicovému systému. Navíc není zřejmé, z jakého důvodu jsou tyto rovnice uvedeny, protože s nimi není dále v disertační práci pracováno (mj. jsou i shodné s rovnicemi (4.1) a (4.2)). Podkapitola „4.3 Pohybové rovnice zjednodušeného modelu naklápěného vozu“ je značně nepřehledná. Většinou chybí schémata ozřejmující jednotlivé kinematické a dynamické veličiny. Navíc, kde se najednou v rovnicích (4.31) až (4.33) vzaly síly R_y , R_z a moment M_{tilt} ? Jak se přišlo k „momentové rovnováze v podélné ose vozidla“ (4.34)? Logický postup by měl vypadat tak, že nejdříve budou stanoveny potřebné kinematické vztahy pro výpočty jednotlivých zrychlení a následně budou sestaveny pohybové rovnice modelu vyšetřované soustavy. Navíc v celé kapitole nejsou nijak rozlišeny veličiny vektorové od veličin skalárních.

V kapitole „5. Výběr vhodného konceptu naklápění“ jsou popsány konstrukční parametry zavěšení kol a vhodně je popsán jejich vliv na říditelnost vozidel. Rozměry zavěšení předních kol navrhovaného tříkolového vozidla jsou zvoleny bez bližšího doplňujícího komentáře. Jsou uvedeny tři vhodné lichoběžníkové mechanismy naklápění vozidla a na základě jejich porovnání zvolen mechanismus naklápění /U\.

V rozsáhlé kapitole „6. Vývoj softwarového modelu tříkolového naklápěného vozidla“ je popsán model navrhovaného tříkolového vozidla v software MSC.Adams a jsou provedeny simulace pěti jízdních manévrů.

V kapitole „7. Řízení naklápění tříkolového vozidla“ jsou uvedeny požadavky na aktivní systém naklápění vozidla a různé strategie řízení naklápění a je navrženo řízení naklápění navrhovaného tříkolového vozidla.

Kapitola „8. Stavba experimentálního tříkolového naklápěného vozidla“ se věnuje jednotlivým konstrukčním dílům reálného vozidla a pohonu naklápění.

V kapitole „9. Zhodnocení dosažených cílů“ je stručně shrnut obsah práce a je konstatováno, že stanovené cíle byly splněny.

Obsahem příloh jsou užitečný vzor „Mechanismus naklápění vozidla využívající dílu ve tvaru písmene U“, fotografie experimentálního vozidla a technická data vybraných konstrukčních dílů.

Z hlediska přínosů pro obor je v disertační práci stěžejní zmíněný užitečný vzor naklápěcího mechanismu. Použité metody při řešení disertační práce vedly ke splnění všech deseti stanovených cílů. Z disertační práce není v některých případech jednoznačně zřejmé, které přínosy jsou předkladatele disertační práce a které kolektivu z Katedry konstruování strojů, který se podílel a podílí na vývoji experimentálního úzkého tříkolového vozidla. Přínosem autora je jednoznačně užitečný vzor naklápěcího mechanismu a model vozidla v software MSC.Adams. Uplatnitelnost výsledků práce při realizaci reálné konstrukce tříkolového vozidla je zřejmá. Za nejpřínosnější pro obor lze hodnotit kapitulu „5. Výběr vhodného konceptu naklápění“.

Je ovšem nutné poznamenat, že disertační práce má i nedostatky. V kapitole „4. Dynamika úzkého naklápěného vozidla“ jsou uvedeny někdy poněkud chaoticky a někdy poněkud nepřesně pohybové rovnice zjednodušeného modelu vozidla (většinou bez uvedení schémat silového působení), které nakonec nejsou využity ani pro porovnávací výpočty. V kapitole „6. Vývoj

softwarového modelu tříkolového naklápeňého vozidla“ jsou uvedeny výsledky simulací mnoha provozních stavů vozidla bez uvedení závěrů, zda vozidlo při konkrétním jízdním manévru splňuje požadavky, které jsou na něj kladeny, nebo zda je nutné hledat určité konstrukční úpravy pro zlepšení jízdních vlastností vozidla. Dále jsou v disertační práci uvedeny některé konkrétní údaje, které nejsou podloženy žádným zdůvodněním, rozbohem situace nebo odkazem na zdroj údajů (např. kapitola „3. Porovnání a hodnocení vybraných technických řešení“ a podkapitola „5.2 Určení hardpointů a rozměrů zavěšení“). Jak již bylo uvedeno, v kapitole „3. Porovnání a hodnocení vybraných technických řešení“ chybí komentář k tabulkám, grafům a vývojovým schémátům. Dále není zřejmé, zda navržené řízení naklápeňení (v kapitole „7. Řízení naklápeňení tříkolového vozidla“) bylo použito pouze v softwarovém modelu vozidla nebo i v reálném vozidle.

Drobnější připomínky: nesjednocení používání termínu odstředivé/dostředivé zrychlení (navíc z hlediska mechaniky je nejpoužívanější výraz „normálové“ zrychlení); dále např. překlepy „zřízení“ místo „zařízení“ (hned na úvodním listu), „hardpoit“ místo „hardpoint“ (vícekrát) a chybějící odkaz v přehledu literatury na „[Hosnedl & Srp & Dvořák 2010]“ (str. 25).

Publikace předkladatele disertační práce jsou na vyhovující úrovni.

Celkově lze však konstatovat, že disertační práce svědčí o autorových dobrých znalostech problematiky konstrukce vozidel. Téma disertační práce je aktuální. Disertační práce je přínosná.

Na autora mám dva doplňující požadavky:

1. Prosím o uvedení postupu řešení při sestavování pohybových rovnic v podkapitole „4.3 Pohybové rovnice zjednodušeného modelu naklápeňého vozu“.
2. Uveďte, prosím, na základě jakých konkrétních kritérií byly stanoveny pozice hardpointů zavěšení v podkapitole „5.2 Určení hardpointů a rozměrů zavěšení“.

Vypracováním disertační práce autor prokázal, má dobré odborné znalosti a rozšiřuje poznatky v oboru konstrukce vozidel. Doktorskou disertační práci doporučuji, i přes uvedené připomínky, k obhajobě.

V Plzni, dne 9.10.2013



Systém pro naklápění úzkého tříkolového vozidla

K posouzení byla předložena disertační práce výše uvedeného názvu o rozsahu 127 stran včetně obrázků a příloh. Tématem práce je konstrukční návrh, simulace chování a kontrola funkčnosti systému naklápění výše zmíněného vozidla. Řešení této problematiky je v současné době velmi aktuální s ohledem na novodobé využití, vývoj i celkový zájem o tříkolová vozidla. O této skutečnosti svědčí i zájem velkých a zaběhlých firem o vývoj a výrobu takových vozidel. Ze shrnutí stavu oboru jsem pochopil, že jde o jakousi alternativu jednostopým vozidlům, která by měla v sobě zahrnovat výhody jak jednostopých, tak dvoustopých vozidel. Nevýhodu horší stability tříkolových vozidel tradiční konstrukce je v takovém případě možné eliminovat již zmíněným naklápěcím systémem.

Pro simulaci chování naklápěcího systému vozidla při průjezdu zatáčkou je využit systém ADAMS, což je velmi robustní prostředek pro řešení dynamických problémů multi-body systémů. Pomocí tohoto systému se vlastně ani nesestavuje matematický model. Na základě fyzikálního modelu multi-body systému a příslušných vazeb je sestaven tzv. „softwarový model“, což byl pro mě doposud neznámý pojem. Matematický model je již automaticky sestaven pomocí programového modulu a numerická simulace chování takového modelu je také prakticky zautomatizována. Proto si dovoluji několik otázek i připomínek, které se týkají nejen formální stránky práce, ale některé z nich jsou i věcné.

1³ nepřesné a vágní výrazy a obraty „...zvyšující se dopravy...“ (doprava není měřitelný pojem)

3₉ „limitní hodnota stability“

3₃ nesprávně „odstředivé zrychlení“, správně „dostředivé zrychlení“

3¹¹ na rámu vozidla není jen torzní zatížení od nerovného povrchu vozovky. Rám se deformuje i ohybově.

3⁴ co se týče označení 1F2R, 2F1R – předpokládám že symbolem „F“ je míněn výraz „front“-přední a symbolem „R“ je míněn výraz „rear“-zadní

Výpočty na straně 4 odpovídají naprosto elementární rovnováze tělesa v prostoru a jsou trochu zamlžené.

5 Na této straně jsou uvedeny tři atributy „zlatého pravidla tříkolového vozidla“, se kterými se dá silně polemizovat. První pravidlo říká cosi o nejbližším umístění těžiště vozidla k ose nápravy se dvěma koly, avšak v úvodu autor uvádí, že blízké umístění těžiště motoru k tomuto místu u čtyřkolek je vlastně nevýhoda a zhoršuje jízdní vlastnosti vozidla. Domnívám se, že přílišné odlehčení zbývající nápravy stabilitu zhorší navzdory faktu, že přiblížení středu hmotnosti k hnané nápravě zvýší maximální zrychlení vozidla. Druhá část „zlatého pravidla“ už vůbec neplatí. Pakliže není udán koeficient tření mezi vozovkou a pneumatikou a není předem dána výška středu hmotnosti nad vozovkou, není možné cokoli říci o stabilitě a už vůbec není možné tvrdit, že vozidlo je stabilní za jakékoliv rychlosti. To samé můžeme říci o třetí části „zlatého pravidla“.

7₂ nesprávně „všechny“, správně „všechna“

8⁶ mohl by uchazeč vysvětlit pojmy „mechanická osa klopení“ a „dynamická osa klopení“? Pro mě jsou tyto pojmy neznámé.

Obr. 4-3 pokud nedochází k bočnímu prokluzu kol, je bod O pólem pohybu těla vozidla. Pak vektor rychlosti bodu C_m musí být kolmý na spojnici OC_m , čemuž obrázek neodpovídá.

37⁵ Nerozumím větě „Je-li rychlost“. Boční síla závisí také na poloměru zatáčky. Vektor rychlosti středů kol v případě malé boční síly směřuje podle autora „ve směru kol“. Tím má autor zřejmě na mysli skutečnost, že nedojde k bočnímu prokluzu.

37_{5,6} nesprávně „souřadný“ místo správně „souřadnicový“

-vztahy (4.7) až (4.11) jsou zbytečné matematické úpravy, které mohly být vynechány

38⁹ Nerozumím, proč při pomalé jízdě by měla být uvažována malá změna poloměru R

-(4.13) a (4.14) nejsou pohybové rovnice, jsou to jen složky rychlosti v

-vztah (4.20) nevyjadřuje střední poloměr, domnívám se, že v tomto vztahu by mělo být „+“

-vztah (4.24) není správně. Byl by správně, kdyby moment setrvačnosti byl vyjádřen k ose procházející středem hmotnosti rovnoběžné s osou x .

-vztah (4.27) nevím, kde se vzal a jaký je jeho význam.

Předložená práce na mě celkově udělala dobrý dojem, až na některé nepřesnosti a drobnosti, o kterých jsem se zmínil. Navzdory připomínkám se však domnívám, že jak tématicky, tak objemem a přínosem pro praxi, disertační práce splňuje požadavky na ni kladené a po zodpovězení otázek a vhodném reagování na připomínky ji **doporučuji** k obhajobě podle příslušného paragrafu.



V Plzni dne 29.10. 2013

Prof. Dr. Ing. Jan Dupal