

Oponentský posudek bakalářské práce

**Jiřího Kouby**

(ZČU v Plzni, FAV, *studijní program*: B3947 Počítačové modelování v technice,  
*studijní obor*: Výpočty a design)

zpracované na téma

## **Modelování a optimalizace jízdy automobilu s elektropohonem jednotlivých kol**

Bakalářská práce studenta Jiřího Kouby je věnována popisu a implementaci různých modelů vozidel, má 60 stran a je rozdělena do šesti kapitol. V úvodní kapitole je popsán smysl práce z hlediska kontextu aktuálního trendu elektrifikace v dopravním průmyslu a jsou zde také vytyčeny cíle práce. Druhá kapitola je věnována úvodu do matematického modelování vozidel s velmi stručným přehledem používaných přístupů. Dále je zde nastíněn postup pro přibližné napočítání hmotnostních charakteristik vozidla, konkrétně studentské formule UWB04. Dvě následující kapitoly jsou pak věnovány přímo popisu matematických modelů vozidel. Nejdříve se autor zabývá modelem pouze přímočarého pohybu, kde je poloha šasi v rovině dána jen jedním stupněm volnosti. Postupně je tento model rozšířen o stupně volnosti klonění a nadnášení. Stěžejní část bakalářské práce, tedy čtvrtá kapitola, je věnována prostorovému modelu dynamiky vozidla, jenž je formulován pomocí Newton-Eulerových rovnic. Autor zde zmiňuje Eulerovy úhly, jakožto standardní parametry pro popis orientace obecných těles v prostoru, a dále uvádí též Tait-Bryanovy úhly, které jsou pro popis orientace vozidel v prostoru vhodnější. Síly při kontaktu kola s vozovkou jsou vyjádřeny pomocí Dugoffova modelu, který postihuje základní charakteristiky pneumatik a je dostatečně jednoduchý pro snadnou implementaci. Závěr této kapitoly je věnován výsledkům simulace dvou jízdních manévřů, konkrétně přímočarého rozjezdu a jízdy po kružnici. U druhého zmíněného manévru byla provedena menší parametrická studie nastavení parametrů odpružení. V předposlední kapitole je diskutováno řízení točivých momentů na jednotlivých kolech pro efektivní jízdu vozidla po kružnici, kde problém byl řešen jako jednoduchá optimalizační úloha. Získané poznatky jsou shrnuty v závěrečné kapitole.

Z hlediska struktury je diplomová práce rozvržena vhodným způsobem, po základním shrnutí parametrů vozidla jsou odvozeny modely postupně od těch jednodušších až po složitější prostorový. V práci pak oceňuji především implementaci zmíněných modelů v programu Matlab a vzájemné porovnání jejich výsledků na přímočarém rozjezdu a brzdění, které posloužilo jako verifikace správné implementace prostorového modelu. Text však obsahuje větší množství nepřesných formulací a chyb (i gramatických), které stěžují orientaci v práci a její reprodukovatelnost. U modelů často chybí vyznačené osy pro definici stupňů volnosti, a navíc jsou v modelu přímočarého pohybu vozidla několikrát zaměňovány směry os  $z$  a  $y$ , což způsobuje nesrozumitelnost popsáných modelů. K tomu si navíc autor neohlídal správné odkazování se na předchozí rovnice při odvozování modelů (viz str. 21, odkaz na rovnice (3.3.1) a (3.3.2), které se nachází až dále v textu a jsou až výslednými rovnicemi). V některých případech rovnice obsahují chyby (např. rovnice (3.0.4) neuvažuje tíhu kola, přičemž na příslušném obrázku znázorněna je, či rovnice uprostřed str. 21 bez číselného označení má špatně vyjádřené rameno pro momenty sil  $H_1+H_2$  atd.). Celkový počet takovýchto chyb bohužel naznačuje, že se nejedná jen o překlepy. Na druhou stranu velmi oceňuji, že se autor věnoval Newton-Eulerovým rovnicím v prostoru, což považuji za jednu z vyšších partií mechaniky. Autor se sice ani zde nevyvaroval některých nepřesných formulací, nicméně tato část se jeví nejvíce ucelená a přínosná.

Pro numerické testování byly zvoleny parametry odpovídající studentské formuli UWBO4. Až na výjimky jsou výsledky simulací přehledně dokumentovány v obrázcích a popsány v textu. Co se týká parametrické studie vlivu nastavení tlumičů a pružin na jízdu po kružnici, bylo by vhodné testovat více sad parametrů než uvedené čtyři. Nicméně i přes nepřesnosti při odvozování modelů působí výsledky uvěřitelně, což je dále podpořeno i již zmíněným porovnáním výsledků různých modelů. Práce se dle názvu má zabývat automobily s elektropohonem, odvozené modely jsou však obecné, tudíž mohou být použity i pro vozidla se spalovacím pohonem. Na možnost využití výhod několika nezávislých elektromotorů pro pohon vozidla je pak upozorněno až krátce v kapitole 5. Popis postupu optimalizace natočení předních kol a jednotlivých momentů na zadní nápravě je však nesrozumitelný.

V rámci obhajoby bakalářské práce si dovoluji autora požádat o reakci na následující komentáře a dotazy:

- Vztahy (4.5.15) a (4.5.16) jsou bohužel zjevně špatně, neboť dávají do rovnosti skalární a vektorovou veličinu. Následující definice vektoru  $r_i$ , který se v těchto vztazích vyskytuje, se nejspíše týká něčeho jiného a jde o kolizi značení. Prosím tedy o vysvětlení a odvození zmíněných vztahů a vektoru.
- V rámci Dugoffova modelu pneumatiky jsou zmíněny veličiny podélného skluzu a směrové úchyly kola. Jak vypadá jejich definice pomocí souřadnic prostorového modelu vozidla?
- Z popisu optimalizačního procesu není zřejmé, jak optimalizace probíhala. Jak je například definován poloměr aktuálně opisované kružnice  $R_{AKT}$ ? Jaké jsou počáteční hodnoty optimalizačních parametrů při použití funkce *fmincon*? Probíhá optimalizace v každém časovém kroku řešení, nebo až po projetí celé trasy?

## Závěr

Pan Jiří Kouba se věnoval tématu matematického modelování vozidel, jež je neustále aktuální, zvláště pak v kontextu využití elektropohonů. Ocenit lze především implementaci a vzájemnou verifikaci modelů, nicméně po formální a obsahové stránce je možné v práci spatřit jisté nedostatky. S přihlédnutím k výše uvedeným poznámkám hodnotím bakalářskou práci známkou **dobře** a doporučuji ji k obhajobě.

V Plzni dne 17. června 2023

Ing. Radek Bulín, Ph.D.  
Oponent bakalářské práce