

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Návrh výstupního kloubového hřídele pro odpružený pohon tramvajového dvojkolí
Jméno autora:	Matěj Vodička
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ú12120
Oponent práce:	Ing. Tomáš Fridrichovský
Pracoviště oponenta práce:	Ú12120

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Náročnost zadání hodnotím jako průměrně až nadprůměrně náročné. Oblast pohonů kolejových vozidel je svým záběrem dosti široká a svým obsahem může přesahovat současné znalosti studenta bakalářského studia.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
V práci byly splněny všechny zadané úkoly.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený způsob řešení hodnotím jako správný.	

Odborná úroveň	B - velmi dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce obsahovala drobné nedostatky:	
<ul style="list-style-type: none"> - ne zcela jasné vstupní hodnoty (koncepce, rozměry, hmotnosti atd.) - odborné výrazy (v oboru kolejových vozidel se používá označení „oblouk“, nikoliv „zatáčka“) - chybí očíslování rovnic - sestavný výkres by měl obsahovat více informací 	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	C - dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Jako největší negativum práce z hlediska formální úrovně shledávám chybějící vstupní hodnoty pro některé výpočty. Často se v textu objevily buď bez vysvětlujícího komentáře, anebo se odkazovaly na tabulky, které ale nebyly nijak ocitovány. Obzvláště u grafů mi často chyběly jednotky.	
Textová (styl psaní) a jazyková stránka práce byly bez větších problémů. Časté češtinářské prohřešky typu gramatika, chybějící interpunkce, nebo překlady byly v práci pouze minimálně.	

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Student prokázal schopnost vyhledat zdroje nutné k sepsání práce. Zdroje některých informací nebyly zcela jasné, případně nebyly uvedeny vůbec, nicméně porušení citační etiky jsem neshledal.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Student touto prací prokázal určitou technickou znalost daného problému a schopnost ho řešit. Na tyto znalosti může navázat v navazujícím magisterském studiu a dále je rozvíjet. Jednotlivé připomínky k textu a sestavnému výkresu jsou uvedeny dále.

Poznámky k textu:

Seznam použitých značek a symbolů

- V případě značek pro rychlosti, úhlové rychlosti a úhly bych se přikláněl k použití běžnějších malých řeckých písmen. Označení otáček „N“ spíše vytváří dojem značky pro sílu (Newton). V dalším textu je pak několikrát použité malé písmeno namísto velkého.
- 1. Úvod
 - V této kapitole bych uvítal nějakou motivaci (zmínku o ní) pro tvorbu práce. Například, že se jedná o současný problém, anebo trend v oblasti konstrukce kolejových vozidel. Eventuálně, že se jedná o zadání z průmyslu.
 - Tato, anebo další samostatná kapitola, by mohly obsahovat bližší popis zadání – rozchod, typ vozidla (nizkopodlažní?), uvažované rozměry, hmotnosti, apod.
- 2. Rešerše
 - 2.1. Podvozek tramvaje Citadis Alstom – Ixege
 - Obrázek 2 by bylo vhodné doplnit číselnými pozicemi a na ty se v případě potřeby odvolávat v předchozím textu. Zlepšuje se přehlednost.
 - 2.2. Podvozek tramvaje Cityrunner
 - Ve zmínce o brzdění vozidla je chybně uveden brzdny výkon namísto brzdného momentu. Výkon se použitím převodovky nijak nedělí, nýbrž zůstává zachován (zanedbáme-li ztráty v mechanismu). Co se dělí, je právě moment.
 - 2.4. Podvozek tramvaje Škoda 15T
 - Ad věta „Výkon dodává každému kolu synchronní motor s permanentními magnety“ – v pohonech kolejových vozidel se používá spíše moment. A to jak z hlediska sil v pohonu, tak především z hlediska regulace pohonu.
- 3. Řešení propojení tramvajového kola a výstupu převodovky
 - Tato kapitola podle mě mohla (je) být součástí Rešerše.
 - 3.2.1. Kloubový kardanův hřídel
 - Ad věta „Jistou nevýhodou tohoto kloubu je to, že při větších úhlových odchylkách se konstantní vstupní otáčky degradují na nestejněměrné“ - Pulzace otáček nenastává až při větších úhlových výchylkách, nýbrž při libovolné nenulové výchylce. Velikost výchylky pouze udává míru pulzace.
- 4. Analýza zástavbových rozměrů
 - Zde se pro mě poněkud nelogicky zmiňuje natočení dvojice dvojkolí v oblouku o poloměru $R=20$ m. Je tím myšleno, že jsou jednotlivá dvojkolí rejdrovná v projížděném oblouku? Anebo že jsou rejdrovná pouze minimálně v rámci příčných tuhostí vedení dvojkolí a prvního stupně vypružení? V takovém případě asi není nutné počítat s tak velkými výchylkami jednotlivých dvojkolí.
V každém případě dokonalá rejdrovnost dvojkolí se v současnosti spíše nepoužívá kvůli konstrukční složitosti, ceně, údržbě apod. Podélná posuvnost dvojkolí navíc omezuje prostor pro konstrukci spodku hrubé stavby vozidla.
- 5. Analýza úhlového rozsahu kloubů
 - V obrázku 18 jsou znázorněny svislé pohyby prvotního vypružení (5 mm a 15 mm). Tyto hodnoty vychází z čeho? Byly zadány, odhadnuty, či jinak určeny?

- V obrázku 19 je uveden výsledný úhel $11,7^\circ$, v rovnici pod ním se pak počítá s úhlem $11,6^\circ$ - nesoulad. Samotný výpočet úhlu by bylo rovněž vhodné popsat rovnicí, případně okomentovat nutnost jeho odečtení z 3D znázornění.
 - Kontrolně spočtený poloměr oblouku R45 pro odchylku kloubu 6° je obvyklý pro tramvajové tratě, ale minimální hodnoty bývají dvakrát a vícekrát menší. Je zde riziko, že spojka nevyhoví – tzn., vznikne nutnost omezit pohyby dvojkolí v podélném směru, viz komentář u kap. 4.
- 5.1. Délkové rozpětí hřídele
- O jaké relativní pohyby se jedná? Pouze svislý směr, pouze příčný, anebo jde o vektorový součet všech směrů? Hodnota ± 5 mm byla zadána?
 - Dilatace je spíše fyzikální jev, kdy dochází ke změně délky součástí vlivem vnějších podmínek - zahřátý objekt se protáhne. Zde by bylo lepší použít pojem "změna délky hřídele".
6. Rozbor silových účinků na kloubovou hřídel
- Je zde uvedena hodnota nápravového zatížení $A=100$ kN. Byla zadána, nebo určena?
 - Z jakých tabulek byly voleny součinitele tření? Součinitel tření $\mu=0,25$ za mokra mi přijde dosti vysoký.
 - U zvoleného motoru chybí bližší parametry, především jeho maximální otáčky – vyhoví požadavku na maximální rychlost tramvaje s plně ojetými koly?
 - Graf 2 postrádá jednotky na svislé ose – síla (nejspíš kN?). Tento obrázek je jako jediný označen titulkem Graf, pořadové číslo 2 tak na nic nenavazuje.
 - U vzorce pro výpočet otáček kola při rychlosti 70 km/h je špatně uvedená jednotka, mělo být min^{-1} , namísto s^{-1} .
 - U zvoleného motoru nejsou uvedeny žádné parametry, ať už formou tabulky, anebo odkazem na výrobce. Především pak zmiňované maximální otáčky 4500 min^{-1} .
 - Vzorec pro výpočet užitečného výkonu využívá koeficienty (nejspíš účinnosti). Chybí popis k čemu, které číslo náleží, případně odkaz na zdroj.
 - Obrázek 22 postrádá názvy os a jednotky. V případě převzatého obrázku bych doporučoval označení os alespoň zmínit do popisku.
 - Koeficient „q“ vychází z čeho?
 - Ad zmínka o 6-nápravové tramvaji: V textu není uvedeno, zda je uvažováno vozidlo, kde jsou všechny podvozky (resp. dvojkolí) hnací.
 - Na základě čeho byl volen koeficient c_x ? Jedná se o hodnotu obvyklou pro tramvaje, anebo šlo o doporučení vedoucího práce, případně vlastní volbu?
 - Ad vzorec pro moment $M_{(70)}$: Pokud jde o moment na dvojkolí, bez uvažování účinku převodovky, pak bude motor silně naddimenzován z hlediska odporů (valení + aerodynamika). Má smysl použití takto silného motoru? Motor bude mít zbytečně velké rozměry, hmotnost a nejspíš ani nebude výkonově zcela využít, tzn., bude pracovat s nižší účinností. Je zde případně nějaký požadavek na přetížitelnost motoru, akceleraci tramvaje apod?
 - Ad Tabulka 2: Tabulka by zasloužila trochu učesat (polohy textu) a nerozdělovat na více stránek.
7. Model zvoleného kloubového hřídele pohonu dvojkolí
- kloubový hřídel je nakupovaný (viz zmíněný hřídel od firmy Centalink), anebo vyráběný?
8. Seznam použité literatury a zdrojů
- V textu jsem nenašel odkaz na referenci č. [3].

Poznámky k výkresu

- Nárýs a bokorys je vhodné doplnit čarou, která reprezentuje temeno kolejnice (včetně označení T. K.). Na první pohled je tak zřejmé, po jaké dráze vozidlo jede.
- Jedná-li se o nízkopodlažní vozidlo, bylo by vhodné doplnit čáru znázorňující výšku podlahy nad T. K. - tj. důkaz, že se podvozek vejde pod podlahu (to samé i v nárýsu).
- Kola v nárýsu by měla mít osy (kříž).
- Chybí obrys pro konstrukci vozidla - pro podvozky velmi důležité.
- V textu byl několikrát zmíněn vnitřní rám podvozku. Sestavu pohonu by bylo dobré doplnit nějakým přibližným modelem tohoto rámu, zároveň i nějakých konzol, kterými bude vyřešeno spojení pohon-rám (včetně kotevnic bodů - silentbloků).
- Bylo by vhodné sjednotit popis komponent v kusovníku - použití velkých a malých písmen.
- Chybí hmotnost sestavy pohonu, důležité pro další analýzy (chodové výpočty, dodržení hmotnostních limitů).

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Práce se zabývá návrhem pohonu nízkopodlažní tramvaje a jeho konstrukčního uspořádání v podvozku vozidla. Práce v zásadě splňuje všechny zadané úkoly. V použitém způsobu řešení neshledávám zásadní nedostatky.

Jako největší slabinu celé práce shledávám nedostatečně okomentované zdroje některých použitých/zvolených hodnot a ne zcela jasně definované zadání. Zde je ovšem otázka, zdali autor měl možnost jednotlivé kroky více komentovat vzhledem k maximálnímu počtu stran, případně (nejspíše) omezenému času pro tvorbu bakalářské práce.

Bližší informace o koncepci vozidla a především samotného podvozku by proto měly být alespoň krátce zmíněny při obhajobě bakalářské práce.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 25.8.2018

Podpis: