

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Popis aerodynamických vlastností závodního motocyklu</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Vojtěch Thums</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta dopravní (FD)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ústav dopravních prostředků
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jana Kuklová, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	FD ČVUT, Ústav aplikované matematiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Studium aerodynamiky dopravních prostředků je obecně velmi komplexním tématem. Zahrnutí návrhu a realizace experimentálního měření činí zadání této bakalářské práce náročnějším.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s většími výhradami</b>
<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>	
Jedním z úkolů zadání bylo popsat, jak se aerodynamické účinky teoreticky, experimentálně a numericky určují. V případě experimentálního měření jsou zmíněny jednotlivé vizualizační metody, ale již není specifikováno, co se jednotlivými metodami vizualizuje. Vzhledem k tomu, že v praktické části se vizualizační metody nepoužívají, lze tento nedostatek považovat za méně závažný. Naopak absence základního popisu a principu měření aerodynamickými vahami již považují za nedostatek závažnější, a to z důvodu, že jsou základním měřicím nástrojem v praktické části. Dále v textu zcela chybí využití Pitotovy trubice, které je velmi běžným nástrojem pro studium aerodynamických vlastností dopravních prostředků. Závěrečným úkolem práce bylo vyhodnocení a diskuze výsledků. Naměřené výsledky by měly být z mého pohledu podrobeny rozsáhlejší diskuzi (viz dále).	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Celkový koncept postupu řešení považují za správný. Práce je členěna do sedmi kapitol, z čehož první tři jsou teoretické a následující čtyři se věnují praktickému experimentu. První kapitola uvádí do historie studia aerodynamiky dopravních prostředků. Další dvě teoretické kapitoly se postupně zabývají obecnou mechanikou tekutin a aerodynamikou motocyklu. Problematika měření v aerodynamických tunelech je svým způsobem rozdělena do dvou těchto kapitol. V rámci mechaniky tekutin je zmíněna teorie podobnosti využívaná při experimentech v aerodynamických tunelech, zatímco kapitola o aerodynamice motocyklu zahrnuje obecné charakteristiky aerodynamických tunelů a metody měření v nich. Tato kapitola zmiňuje i softwarové simulace jako alternativu či doplněk k experimentálnímu měření. Ve čtvrté kapitole je prezentován postup výroby zmenšeného modelu motocyklu pro experiment. Následující tři kapitoly obsahují popis měření v aerodynamickém tunelu, prezentaci naměřených dat a přepočty naměřených dat na model pro reálný motocykl. Celá práce je pak doplněna vhodným úvodem i závěrem a jednou přílohou s naměřenými daty.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>D - uspokojivě</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Teoretická část práce je velmi nekonzistentní a prakticky neuvádí návaznost teorie na experimentální měření. V kapitole zabývající se mechanikou tekutin jsou některé odborné pojmy používány bez předchozí definice. Příkladem může být popis grafu závislosti kinematické viskozity na teplotě, který předchází samotné definici kinematické viskozity. Dále je často řešena problematika, která není pro měření v aerodynamickém tunelu stěžejní, například vlastnosti pevných látek, hydrodynamika, viskozita vody a vzduchu za vysokých teplot nebo Reynoldsův pokus pro kapaliny. Naopak teorii podobnosti, která je pro	

měření v aerodynamickém tunelu na zmenšeném modelu zcela zásadní, je věnováno minimum prostoru. Obdobně metoda měření využitá v následném experimentu je v teoretické části uvedena pouze jednou větou.

Postup a popis výroby modelu motocyklu pro experimentální měření je adekvátní. V této části je vhodně zahrnuta diskuze o nepřesnostech modelu a jejich předpokládaný vliv na experimentální měření.

Samotné experimentální měření bylo navrženo s ohledem na limity dostupného aerodynamického tunelu. V práci zcela chybí zmínka, že pro model v poměru 1:5 je simulovaná rychlost ve skutečnosti 5krát menší, než je rychlost vzduchu v tunelu. V tomto případě byla tedy maximální simulovaná rychlost 36 km/h, což by mělo být dále diskutováno s ohledem na skutečnost, že maximální rychlost studovaného motocyklu je 190 km/h. Taková diskuze v práci zcela chybí. Na druhou stranu je třeba podotknout, že naměřená data jsou odpovídajícím způsobem popsána a přehledně prezentována v grafech.

V případě přepočtu výsledků na reálný motocykl v kapitole 7 není příliš jasně uvedeno, proč je součinitel odporu  $c_x$  počítán pouze pro hodnoty Reynoldsova čísla větší než 500 000. Dále nejsou uvedeny hodnoty, které byly použity pro výpočet těchto dvou bezrozměrných veličin. Na tomto místě by bylo též vhodné provést diskuzi týkající se rozdílných výsledků součinitele odporu  $c_x$  pro různé rychlosti. Pozitivně hodnotím srovnání dosažených výsledků s výsledky z výzkumu prováděném na jiném pracovišti.

#### **Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**C - dobře**

*Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.*

Jazyková úroveň práce a formátování textu je na velmi dobré úrovni. Výjimkou je obsah, který graficky nepůsobí příliš pěkně. Překlepy jsou v práci výjimkou. V práci se výjimečně objevují chyby z nepozornosti. Například v čestném prohlášení student zaměnil bakalářskou práci za diplomovou, nebo na str. 35 uvádí, že nadzvukové tunely dokáží produkovat rychlost vzduchu přesahující rychlost vzduchu (má být zvuku).

Formální nedostatky se objevují především u křížových odkazů. Odkazy na rovnice zmíněné v textu neodpovídají v několika případech číslování rovnic. Na str. 13 je uveden odkaz na kapitolu 3 v kulatých závorkách, což evokuje odkaz na rovnici místo na kapitolu. U obrázku 7 je uveden odkaz na jiný zdroj informací. Další formální nedostatek lze spatřit v tabulkách 2 a 3, kde jsou výrazy uvedené vždy v první buňce tabulky matoucí.

Typografické chyby se opět objevují spíše výjimečně. Příkladem je zápis jednotek fyzikálních veličin kurzívou (viz rovnice 2.1 – 2.3 a 2.7) nebo odskočení jednotek od číselné hodnoty na nový řádek (viz 225 km/h na str. 12).

Je třeba podotknout, že žádná z výše zmíněných chyb výrazně nenarušuje plynulost četby.

Dále struktura práce vykazuje jisté nedostatky. Některé podkapitoly do sebe logicky nezapadají a rozsah kapitol je velmi nevyvážený. Jednostránkové kapitoly 5 a 7 by bylo dle mého názoru vhodnější sloučit spolu s kapitolou 6 do jedné, která by se celá týkala experimentálního měření. Nicméně celkový rozsah bakalářské práce naprosto odpovídá požadavkům na tento typ závěrečné práce.

#### **Výběr zdrojů, korektnost citací**

**B - velmi 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.*

Bibliografické citace jsou uvedeny v souladu s citační normou. Zdroje informací použité v předkládané práci jsou adekvátní. V práci jsou citovány všechny doporučené zdroje literatury a oceňují využití celé řady zahraničních publikací.

V teoretické kapitole o mechanice tekutin postrádám lepší práci s jednotlivými pojmy z odborné literatury a uvedení návaznosti teorie na experimentální měření. Dále u některých obrázků není uveden odpovídající zdroj (obr. 4 až 6).

#### **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.*

Vytvořený model motocyklu lze považovat za dílčí výsledek předkládané bakalářské práce. Je třeba ocenit časovou náročnost přípravy modelu, ale také invenci při přípravě šablony pro 3D tisk z dostupných podkladů.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

*Posuzovaná bakalářská práce z velké části splňuje zadání. Teoretická část není zcela konzistentní a chybí jasná návaznost teorie na experimentální měření. Kladně hodnotím realizaci modelu motocyklu a oceňuji celkovou časovou náročnost přípravy měření. Naměřená data pomocí aerodynamických vah jsou přehledně popsána a vhodně graficky znázorněna. Následné výpočty z naměřených dat však vykazují nedostatky. Ve výpočtech se objevují veličiny, jejichž hodnoty nejsou v práci nikde uvedeny. Dosažené výsledky a limity zvoleného experimentu nejsou patřičně diskutovány.*

*Otázky k obhajobě:*

*1) Měření byla prováděna pro různé úhly natočení motocyklu ke směru proudění. Je tato poloha motocyklu pro vyšší úhly otočení reálná za jízdy? Uvažoval jste i o simulaci motocyklu v náklonu? Odpovědi odůvodněte.*

*2) Upevňovací trubičky byly nejprve proměřeny samostatně za účelem odečtení příslušných sil. Můžete zdůvodnit, proč byly měřeny pouze pro úhel 0°. Bylo ověřeno, že síly jsou při natočení stejné?*

*3) Vysvětlete, proč jsou pro výpočty zvolena pouze měření, kde byla splněna podmínka  $Re > 500\,000$ . Jaká charakteristická délka  $D$  byla v případě modelu motocyklu použita pro stanovení  $Re$ ? Jak byla určena kinematická viskozita? Jaké hodnoty byly použity pro hustotu vzduchu  $\rho$  a plochu  $S_x$ ? Jakým způsobem byla plocha spočtena?*

*4) Bylo by možné dosažené experimentální výsledky pro rychlosti do 36 km/h využít ke stanovení silových účinků pro vyšší rychlosti? Zdůvodněte.*

*5) Vysvětlete, proč jsou v příloze uvedeny přepočty rychlostí vzduchu v tunelu na pětinasobek.*

*6) Jak konkrétně si představujete využití dosažených výsledků v příštím ročníku soutěže MotoStudent?*

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **D - uspokojivě**.

Datum: 5.9.2022

Podpis:

