

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

## POSUDEK VEDOUCÍHO DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Jméno studenta:** Bc. Jakub Horák

**Název práce:** Simulační model spotřeby el. energie parciálního trolejbusu

**Akademický rok:** 2024/25

### Slovní hodnocení

#### Charakteristika a splnění cílů zadání diplomové práce, zvládnutí problematiky, aktuálnost tématu:

Student vytvořil aplikaci v prostředí Matlab, která implementuje matematický model parciálního trolejbusu, jehož jízdu na zadané trase lze simulovat s různým nastavením. Výstupem z aplikace je přehled spotřeb el. energie v různých částech vozidla po ujetí trasy, grafy s průběhy výkonů v různých částech vozidla na dané trase a záznam s časovými průběhy veličin uloženými do XLSX souboru.

Téma práce je aktuální neboť poptávka dopravních podniků po těchto typech bezemisních vozidel neustále stoupá.

Předlohou pro tvorbu modelu byl parciální trolejbus Škoda Solaris 24 m jezdící na lince 59 v Praze. Student se musel před tvorbou modelu seznámit s technickými parametry a elektrovýzbrojí vozidla, logikou výkonových toků vozidla a profilem trasy.

Student při tvorbě modelu a simulaci jízdy vozidla na definované trase zvolil zjednodušený model založený na fyzikálních zákonech, kdy postupuje směrem od kola vzhůru ke zdrojům el. energie. Základem je stanovení jízdních odporů vozidla na trase v každém simulačním kroku na základě požadované rychlosti a popisu tratě s následnými výpočty požadovaného výkonu a příkonu jednotlivých komponent na cestě od kola až k trakční baterii nebo trolejovému vedení se zohledněním výkonových omezení v jednotlivých komponentách. Při parametrizaci komponent student vycházel z podkladů poskytnutých výrobcem vozidla a z hodnot naměřených při reálných jízdách parciálního trolejbusu Škoda Solaris 24m na lince 59 v Praze. Model zohledňuje vliv teploty okolí, který ovlivňuje příkon pomocných spotřebičů, zejména klimatizaci a topení.

Zvolený postup považuji za správný. Kladně hodnotím vytvoření dvou režimů simulace v závislosti na zdroji průběhu požadované rychlosti vozidla v čase umožňující buď validovat model podle záznamu rychlosti reálného vozidla na trase nebo simulovat vozidlo bez reálné předlohy na jakékoliv definované trase na základě pouhého omezení max. rychlosti v jednotlivých jejích úsecích. Dále kladně hodnotím objektový přístup při implementaci modelu v Matlabu a alespoň jednoduché grafické uživatelské prostředí ve formě dialogových oken po spuštění programu hlavním skriptem.

Předložené výsledky simulací i studentem zdůvodněné větší odchylky stavu nabití trakční baterie a spotřeby el. energie klimatizace/topení vůči realitě jsou uvěřitelné. Student porovnával výsledky simulací s reálnými daty z trolejbusu naměřenými při několika jízdách v běžném jízdním řádu na lince 59 v Praze v průběhu jednoho roku (všechna roční období). I přes poměrně podrobný popis funkce modelu v textu DP by bylo pro určení správnosti modelu nutné detailně prostudovat zdrojový kód, což by bylo značně časově náročné. Student provedl i citlivostní analýzu spotřeby energie v závislosti na obsazenosti vozidla cestujícími, v závislosti na max. akceleraci a deceleraci při brzdění a zjišťoval i vliv velikosti časového výpočetního kroku na přesnost simulace. Některé simulace a jejich následné vyhodnocení však mohou být postiženy chybami v modelu (viz níže).

Zjištěné nedostatky:

1. Způsob omezování momentu trakčních motorů při omezení výkonu tr. baterie není správný (str. 73, odstavec 6 Aktualizace stavu baterie a omezení výkonu). Vzhledem k nekonstantní účinnosti trakčního motoru nelze použít trojčlenku.
2. V režimu simulace „dynamicky“ vozidlo není vždy schopno zabrzdit včas do zastavení, takže mine bod zastavení a nezastaví vůbec. Tím není dodržen počet požadovaných zastavení na trase a dochází ke zkreslení výsledků simulace (zkrácení doby jízdy, jiná spotřeba energie).
3. Vliv obsazenosti vozidla na spotřebu energie (tab. 13 na str. 109) – uváděné výsledky ze simulace jízdy na trase Trasa Letiště -> Nádraží Veveslavín nejsou správné, protože v simulacích není dodržen stejný počet zastavení. To se, mimo jiné, odrazilo na zkrácení času jízdy, jehož příčinu student mylně stanovil jako vliv setrvačnosti vozidla při jízdě z kopce. Počet zastavení na trase měl být 15 a v simulacích byl 8, 10, 13.
4. Vliv větší a menší akcelerace/decelerace na spotřebu energie a jízdní dobu (tab. 17, str. 112) - uváděné výsledky ze simulace jízdy na trase Nádraží Veveslavín -> Letiště nejsou správné, protože v simulacích není dodržen stejný počet zastavení. To se, mimo jiné, odrazilo na zkrácení času jízdy, jehož příčinu student mylně stanovil. Počet zastavení na trase měl být 11 a v simulacích byl 10, 7, 4.

I přes určité nedostatky v modelu lze konstatovat, že zadání diplomové práce bylo splněno.

#### **Logická stavba a stylistická úroveň práce (formální úprava práce – text, grafy, tabulky, obrázky, práce s normami, práce s prameny a citacemi...)**

Text práce je rozdělen do 3 hlavních kapitol.

Druhá kapitola, která má 75 stran, je stěžejní, autor v ní popisuje funkci modelu vozidla a způsobů provádění simulací jízd. Autor poměrně podrobně, zejména pomocí textu a vzorců, popisuje funkci jednotlivých komponent, ze kterých se model vozidla a simulace skládá. Bohužel se v tomto detailním popisu ztrácí fyzikální představa o fungování vozidla a propojenost komponent do celku. Práci by prospělo méně textu a více vysvětlujících obrázků.

Ve 3. kapitole autor prezentuje tabulkové výsledky ze simulací jízdy trolejbusu na lince 59 v Praze v obou jejích směrech a při různých teplotách okolí, porovnává režimy simulace „profil“ a „dynamický“ mezi sebou a vůči datům z reálného vozidla a prezentuje výsledky z citlivostních analýz.

Po formální stránce je práce v pořádku. Členění textu do kapitol je logické, překlepy se v práci nevyskytují. Všechny obrázky jsou čitelné, práce obsahuje seznam zkratk, citace literatury a 11 stran příloh s grafy ze simulací a vývojovými diagramy programu.

Vzhledem k tomu, že autor při tvorbě své DP používal firemní informace, které nejsou veřejně dostupné, nejsou v některých grafech uváděny konkrétní číselné hodnoty na osách nebo v textu nejsou uvedeny konkrétní číselné hodnoty parametrů elektrovýzbroje vozidla. Nejedná se o chybu, ale o záměr.

#### **Využití dosažených výsledků, námětů a návrhů v praxi:**

Po odstranění vad, zejména v režimu simulace „dynamicky“, je program použitelný pro provádění analýz spotřeby el. energie, stanovování potřebné kapacity trakční baterie a dojezdu vozidla na definované trase jako pomůcka při řešení nových trolejbusových linek nebo změn stávajících.

<b>Případné další hodnocení (přístup studenta k zadanému úkolu, připomínky k práci):</b>
Student k úkolu přistupoval svědomitě, zapracovával připomínky vedoucího avšak před termínem odevzdání se začaly v modelu objevovat některé skryté vady a ne všechny se do termínu odevzdání podařilo z modelu osdtranit.
<b>Vyjádření vedoucího práce k výsledku kontroly plagiátorství:</b>
Práce úspěšně prošla kontrolou plagiátorství, nejedná se o plagiát.

**Nejdůležitější otázky k zodpovězení při obhajobě:**

nejsou

**S přihlédnutím k uvedeným skutečnostem diplomovou práci DOPORUČUJI k obhajobě a klasifikuji stupněm:**

A (Výborně)	B (Výborně minus)	C (Velmi dobře)	D (Velmi dobře minus)	E (Dobře)	F (Nevyhověl)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

\_\_\_\_\_  
Odpovídající hodnocení označte X

**Posudek vypracoval:**

Jméno, tituly

Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.

Místo a datum vyhotovení posudku

V Pardubicích dne 25.7.2025

Podpis.....