

*Posudek na bakalářskou práci Matyáše Meisnera Automatic fueling system for the CTU Space Research project*

Práce pojednává o systému automatického tankování paliva pro studentskou raketu ČVUT Illustria. Výsledky zahrnují modelování a simulaci řízeného procesu v systému MATLAB-SimScape, návrh a implementaci řídicích algoritmů v prostředí Matlab-Simulink-StateFlow, systém komunikace mezi těmito komponentami, návrh a realizaci testů SIL a jejich vyhodnocení. Současně se student zúčastnil a přispěl k realizaci experimentálních testů na reálném zařízení.

Podle mého názoru je odborná úroveň výsledků velmi vysoká, nadprůměrná pro bakalářský projekt. Souvisí to s příkladným přístupem studenta, s jeho aktivním přístupem ke konzultacím a k výzvám projektu, nasloucháním mým doporučením a plněním zadaných úkolů. Velmi tento přístup pana kolegy studenta chválím. Oceňuji rovněž, jak se student úspěšně vyrovnal se zařazením do celého studentského týmu a efektivně v něm od začátku působil a spolupracoval s ostatními členy. Zároveň navrhoval smysluplné alternativy řešení své bakalářské práce v případech nečekaných problémů celého projektu, které nezavinil a nemohl jejich vyřešení nijak ovlivnit – což někdy bývá u bakalářských studentů problém z mé zkušenosti. S tímto vším se pan kolega student úspěšně vyrovnal.

Práce je psaná dobrou angličtinou, nemám vážnější připomínky. Terminologii nemá student vždy úplně stoprocentně zažitou, což se u bakalářské práce dá očekávat a tolerovat. Struktura práce je dobrá, zejména u popisu vlastních výsledků autora, vše podstatné je podle mého názoru srozumitelně a přesvědčivě popsáno.

Hodnocení: Pan kolega Meisner je podle mého názoru motivovaný, pracovitý a bystrý student. Odvedl podle mě vynikající práci. Hodnotím ji stupněm **A-výborně**.

V Praze dne 5.6.2024

.....

doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D.  
katedra řídicí techniky  
FEL ČVUT v Praze

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Automatické tankování rakety CTU Space Research projektu</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Matyáš Meisner</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra kybernetiky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jaroslav Bušek, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce zahrnuje jak teoretickou část, pro jejíž řešení je potřeba aplikovat znalosti nabyté nejen základním studiem, tak praktickou část, v níž má být realizován funkční a spolehlivý systém pro tankování rakety. Z toho důvodu hodnotím zadání jako náročnější.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s menšími 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>	
Body 4 a 5 zadání nebyly splněny. K jejich absenci se autor vyjádřil. Nenaplnění bodu 5 bylo způsobeno potížemi při testování, což je v tomto případě objektivní příčinou, jelikož k provedení testu je potřeba součinnosti mnoha členů týmu, jak sám autor uvádí. Oproti tomu naplnění bodu 4 nebylo nijak limitováno. Autor se k tomuto bodu trochu překvapivě vyjadřuje ihned v úvodu a označuje ho za zbytečný se zdůvodněním, že zvolená realizace pravděpodobně nebude reálně nasazena. Souhlasím, že by to pak byla z hlediska projektu zbytečná práce, ale zadání bakalářské práce tímto být dotčené nemá. Pokud o tom autor věděl již od začátku, mělo to být ze zadání vyřazeno.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup řešení považuji za správný. Jednotlivé kroky návrhu a realizace na sebe logicky navazují. Výhradu mám pouze k provedené identifikaci parametrů. Proces validace parametrů virtuálního dvojčete byl proveden na základě jednoho měření úpravou jediného geometrického parametru, přičemž hodnota se oproti fyzickému rozměru liší více jak pětkrát. Autor toto označuje jako „slight modification“. Lze pochopit autorovu snahu dosáhnout srovnatelné časové konstanty mezi fyzickým modelem a virtuálním dvojčetem, avšak toto už je velká odchylka. Buď by bylo nutné variovat více parametrů modelu, nebo model zásadně upravit ve struktuře. Pro účely předložené práce zvolený postup variace jednoho parametru asi postačuje, ale z hlediska exaktní identifikace parametrů modelu toto není správně.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Odbornost práce je na velmi dobré úrovni. Autor kombinuje jak znalosti nabyté v rámci studia, tak znalosti z odborné literatury. Připomínky k odborné úrovni mám převážně v kontextu kapitoly 2. Newtonovy pohybové zákony jsou jistě důležité, ale jedná se o látku střední, ba dokonce i základní školy. Nemyslím si, že by bylo nutné je speciálně uvádět v bakalářské práci. Alespoň by bylo vhodné je uvést vztahy v diferenciální podobě (viz rovnice 2.1 a 2.2). Veličina $dv$ (poprvé použita v rovnici 2.4) není vysvětlena a je nutné si její význam domyslet. Značení přírůstku kurzívou ( $dm$ a $dv$ ) je matoucí. Součin $dvdm_g$ pak na první pohled dá práci rozklíčovat. Též nekonzistentní (ne)používání symbolu pro násobení je zavádějící. Buď jeho použití má být všude nebo nikde. Mezi závorkami, kde by absence symbolu násobení nevadila, použít je, avšak v již zmíněném $dvdm_g$ nikoliv. V kapitole 4.2.2 se píše, že UniIO má několik sběrnic, přičemž je jako příklad uvedena SPI a GPIO. Označení GPIO ale znamená „General Purpose Input/Output“ a nejedná se o žádnou konkrétní sběrnici.	

Při popisu jednotlivých použitých bloků Simscape pro modelování fyzických komponent v kapitole 5 jsou uvedeny hlavní parametry. V parametrech nádrže je uveden průřez připojovacích otvorů, avšak není jasné, proč tento parametr má dvě odlišné hodnoty. Čtenář to musí být schopen sám dedukovat až v kapitole 5.1.2. První hodnota by tedy měla být fyzickým rozměrem, a druhá hodnota odpovídá „identifikovanému“ rozměru z měřených dat.

Při validaci funkce navrhovaných regulátorů není ve výsledných grafech průběhu tlaků jasné, zda se jedná o simulaci s virtuálním dvojčtem, či měření s reálným zařízením. Je možné, že někde v kapitole 6 je to zmíněno, ale u konkrétních průběhů (6.9, 6.11, 6.14 atd.) to explicitně napsáno není.

V závěrečných grafech zobrazujících SIL výsledky chybí referenční (žádaná) hodnota. Není pak jasné, které hodnoty měl tlak opravdu dosáhnout a kdy k tomu mělo dojít.

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**A - výborně**

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

Po formální stránce je práce na výborné úrovni. Text je psán pěknou angličtinou. Jednotlivé části na sebe navazují a celá práce se velmi dobře čte. Podstatnějším nedostatkem trpí dvojice úvod-závěr. Úvod ve své druhé polovině částečně splňuje účel závěru. Autor se již v úvodu vyjadřuje k problémům, které nastaly v průběhu řešení, a také se vymezuje k částečné absenci řešení úkolu 4 a 5 zadání práce. Stanovené cíle práce ne zcela reflektují dílčí body zadání práce. Závěr se téměř výhradně vyjadřuje k důvodům, proč nebyl proveden závěrečný test navrženého řešení. Oproti tomu jsou dílčí výsledky shrnuty jen výčtem v kapitole 7.1. Bylo by vhodné popsat dosažené cíle v textu závěru s komentáři hlavních výsledků tak, jak to bohužel je v úvodu práce (kam to nepatří).

Typograficky je práce provedena důsledně. Jedinou výtkou je velikost textu v některých obrázcích. Text v obrázku 4.5 je velmi obtížně čitelný. Nepomůže ani přiblížení v elektronické verzi závěrečné práce. Stejně tak obrázek 6.3 je obtížně čitelný. V tomto případě je ale možné najít zdrojový soubor a dohledat text v něm.

Při citování obrázků doporučuji použít kulaté závorky spíše než hranaté, které se častěji používají pro odkazy položky seznamu zdrojů.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**A - výborně**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, 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.*

Převzaté informace jsou v textu důsledně odlišeny od vlastních výsledků. Autor čerpá z několika odborných publikací, které doplňuje internetovými zdroji. V případě internetových zdrojů se jedná převážně o dokumentaci. Celkový počet zdrojů je přijatelný vzhledem k řešenému tématu.

**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.*

Oceňuji studentovu schopnost vytvořit celkové řešení, i když ne zcela otestované. Prokázal tak nejen své teoretické znalosti, ale také praktické schopnosti, kdy se mu podařilo vytvořit celkem zdařilý koncept systému automatického tankování rakety.

**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.*

Autorovi práce se podařilo vytvořit zdařilý koncept systému automatického tankování rakety s využitím moderních přístupů, které zahrnují vytvoření virtuálního (digitálního) dvojčete a testování navrženého SW metodou SIL (software-in-the-loop). V případě virtuálního dvojčete byl vytvořen relativně přesný model, jehož identifikace byla provedena na základě omezeného množství měření a variace pouze jednoho parametru. V tomto případě by bylo vhodné na metodě více zapracovat. Simulační testování navrženého SW je popsáno v samotném závěru práce pomocí dvou ideálních scénářů, kdy je prezentována funkčnost dvou vybraných regulátorů. Z pohledu SW by bylo

vhodné otestovat též nestandardní/poruchové stavy. Přes tyto nedostatky je práce konzistentní a procesem návrhu a realizace tankovacího systému provádí obstojně.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Otázky:

- 1) Čím si vysvětlujete, že výsledný průřez otvorů v modelu je tak odlišný od reality? Nebylo vhodnější zvolit změnu i jiných parametrů modelu?
- 2) Zvolená UDP komunikace je charakterizována rozumnou rychlostí, ale vyznačuje se nižší spolehlivostí než TCP protokol. Jakým způsobem je zajištěna detekce případné ztráty komunikace (odmlčení) některé měřicí desky? Pokud není, jak byste toto řešil?

Datum: 6.6.2024

Podpis: