

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Návrh počítačového modelu třídící linky a
jeho řízení pomocí PLC

Sezimovo Ústí, 2021

Autor: Jiří Fousek



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří Fousek**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Návrh počítačového modelu třídící linky a jeho řízení pomocí PLC**
Anglický název práce: **Design of Computer Model of a Sorting Line and its control using a PLC**

Zásady pro vypracování:

1. Vytvořte v prostředí Matlab/Simulink počítačový model třídící linky.
2. Vytvořte k tomuto modelu virtuální scénu.
3. Navrhněte řízení tohoto modelu pomocí PLC a karty MF624 od firmy Humusoft.
4. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.


Doporučená literatura:

- [1] Roubal, J., Hušek, P. a kol. Regulační technika v příkladech. Praha: BEN – technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-260-2.
- [2] LÍBAL, V. Řízení modelu teplovzdušného tunelu pomocí PLC Siemens Simatic.(Bakalářská práce), Univerzita Pardubice, Pardubice, 2016.
- [3] JAVŮREK, J. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Praha: Grada, 2003, ISBN 978-80-7300-260-2.

Vedoucí práce: Mgr. Ludmila Jůzová, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Ing. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
Oponent práce: Mgr. Bc. Miroslav Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **4. 9. 2020**


Datum odevzdání absolventské práce: **14. 5. 2021**


Mgr. Ludmila Jůzová

(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 4. 9. 2020


doc. PhDr. Lenka Hrušková, Ph.D.

(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne

25.8.2021



_____ podpis

Poděkování

Děkuji především konzultantovi této práce Ing. Jiřímu Roubalovi, Ph.D, který mě přivedl na téma práce a hlavně byl ochotným průvodcem při jejím zpracování. Dále bych velice rád poděkoval vedoucí práce Mgr. Ludmile Jůzové za velkou pomoc při jazykové korektuře a některé cenné rady. Rad bych rovněž poděkoval svému bratrově za pomoc při formátování Simulinkového schématu. Nakonec bych chtěl vyjádřit vděčnost mé nadřízené v práci, která mi v kritickém období zpracování práce koncem června poskytla potřebný volný čas navíc.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá zpracováním 3D počítačového modelu a tvorbou simulinkového modelu výukové třídící linky Fischertechnik 536628 pro výuku v školní laboratoři. V práci je nejdříve popsána modelovaná třídící linka. Následně se čtenář doví jak byl v programu SolidWorks vytvářen počítačový model. Třetí kapitola se zabývá identifikací modelu třídící linky. A následně ve čtvrté kapitole je popsán vytvořený simulinkový model. V poslední páté kapitole je pak provedeno hodnocení dosažených výsledků práce a přesnosti identifikace modelu.

Klíčová slova: 3D model; identifikace soustavy; simulinkový model;

Annotation

The graduate thesis deals with making of the 3D computer model and creating of the Simulink model of a Educational Sorting line Fischertechnik 536628. There is a description of the Sorting line at first. In another chapter a reader can find informations about making of the 3d computer model in a CAD program called SolidWorks. The 3rd chapter is concernner with an identification of the Sorting line. Content of the last chapter is doing of accuracy rating of reached results of the and evaluating of accuracy of the identification of the model.

Key words: 3d model; system identification; Simulink model

Obsah

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
1 Úvod	1
2 Popis třídící linky	3
3 Realizace 3D modelu třídící linky	7
3.1 Tvorba fyzické části počítačového modelu	7
3.1.1 Zásady dodržované při tvorbě fyzické části modelu	7
3.1.2 Popis procesu tvorby fyzické části modelu	7
4 Identifikace modelu třídící linky	11
4.1 Identifikace dopravníku	11
4.2 Identifikace pístu	15
4.3 Měření barev	19
4.4 Měření pulsů	20
5 Tvorba simulinkového modelu	21
5.1 Řešení pohybu komponentů po pásu	22
5.2 Přizpůsobení pohybu komponentů stavu pístu	22
5.2.1 Komponent by měl být pístem zastaven	24
5.2.2 Komponent má být přitisknut k stojině prostoru skluzu	24
5.2.3 Komponent má být vysunut z pásu	24
5.3 Pohyb komponentu po skluzu	25
5.4 Simulace činnosti světelných závor a senzoru barev	26
5.4.1 Simulace činnosti světelných závor	26

5.4.2	Senzor barvy	28
6	Analýza výsledků	31
6.1	Porovnání třídící linky a počítačového modelu	31
6.2	Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pásu	32
6.3	Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pístu	33
6.4	Srovnání ovládání modelu a skutečné třídící linky	34
7	Závěr	35
	Literatura	38
A	Obsah přiloženého CD/DVD	I
B	Použitý software	III
C	Časový plán absolventské práce	V
D	Bloky Simulinku	VII

Seznam obrázků

2.1	Stavebnice Fisher 536628 – převzato z	3
2.2	Motor 24 V – převzato z	4
2.3	Redukční převodovka – převzato z	4
2.4	Snímač barvy – převzato z	4
2.5	Solenoidový ventil – převzato z	5
2.6	Kompresor – převzato z	5
2.7	Fototransistor – převzato z	6
2.8	Spínač – převzato z	6
3.1	Základová deska pod třídící linku	8
3.2	Stojan nosné konstrukce	8
3.3	L stojan nosné konstrukce	8
3.4	E stojan rámu nad první základovou deskou	9
3.5	Píst	9
3.6	Podstavec pod odtlačník	9
3.7	Nástavec k uchycení konstrukce odtlačníků	10
3.8	Kompletní počítačový 3D model	10
4.1	Sonda Balluff BUS005Z – převzato z	12
4.2	Odezva mezi napětím a polohou komponentu $x(t)$	12
4.3	Znázornění získávání parametrů	13
4.4	Přechodová charakteristika pohybu komponentu po páse	14
4.5	Časová závislost pohybu komponentu po páse	16
4.6	Časová závislost pohybu komponentu po páse	18
4.7	Přiřazení hodnot napětí jednotlivým barvám	20
4.8	Měření pulsů	20
5.1	Schéma pohonu	22

5.2	Blok koordinování pohybu komponentu s pístem	23
5.3	Blok senzor_1	26
5.4	Blok senzor_2	27
5.5	Blok senzor_31	27
5.6	Blok senzor_32	28
5.7	Senzor barvy	28
6.1	Třídící linka	31
6.2	Model třídící linky	32
6.3	Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pásu	33
6.4	Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pístu	34
D.1	Úvodní blok	VII
D.2	Hlavní blok	VIII
D.3	Hlavní řídicí blok	IX
D.4	Blok světelných závor	X
D.5	Blok řízení pístu	XI

Seznam tabulek

Kapitola 1

Úvod

Simulační metody poutají stále více pozornosti odborníků v mnoha oblastech. Jejich využití se najde hlavně v oblasti výroby, kde tvorba techniky a výrobních postupů klade velké nároky na přípravnou fázi projektů výrobních linek a zařízení (CHRAMCOV, B., 2012). Nasazením simulačních metod je možné vyhnout se nákladům na úpravy a testování výrobních zařízení a není nutné nést důsledky neočekávaných situací. Simulovaný systém nemusí ani reálně existovat, přesto je možné si ověřit jeho chování na modelu. Další výhodou simulace je možnost „zrychlit čas“. Pomocí simulací lze v relativně krátké době získat údaje, které by se v reálném provozu získat nepodařilo nebo by to bylo značně zdlouhavé, nákladné či nebezpečné.

Simulační metody však mohou posloužit i jako zajímavý doplněk výuky na středních školách i na školách základních. Počítačové simulace mají na rozdíl od klasických experimentů dvě základní výhody – student si je může zkoušet sám realizovat, a tak se osobně lépe seznámí s daným problémem, a dále pak jsou uschovatelné, takže je možné se k nim vracet se souhrnným opakováním, například z tepla domova. To, že výukový materiál, jako je počítačová simulace, může jít až přímo za studentem a není omezená vyučovací hodinou, je z didaktického pohledu mimořádně užitečné. Mimo to, simulace mohou být dále užívány jako zajímavý nástroj pro rozšiřující samostudium (ČERNÝ, B., 2010).

Na počátku tvorby simulace reálného systému je nejdříve nutné vytvořit počítačový model. K tomuto je možné použít jakýkoliv ze systémů CAD. Z programů, které má škola k dispozici, je možné k tomuto účelu použít například programy SolidWorks, AutoCAD, SolidEdge. Následně pak se vytváří simulace chování. Zde je možné použít simulační nástavbu MATLABU zvanou Simulink.

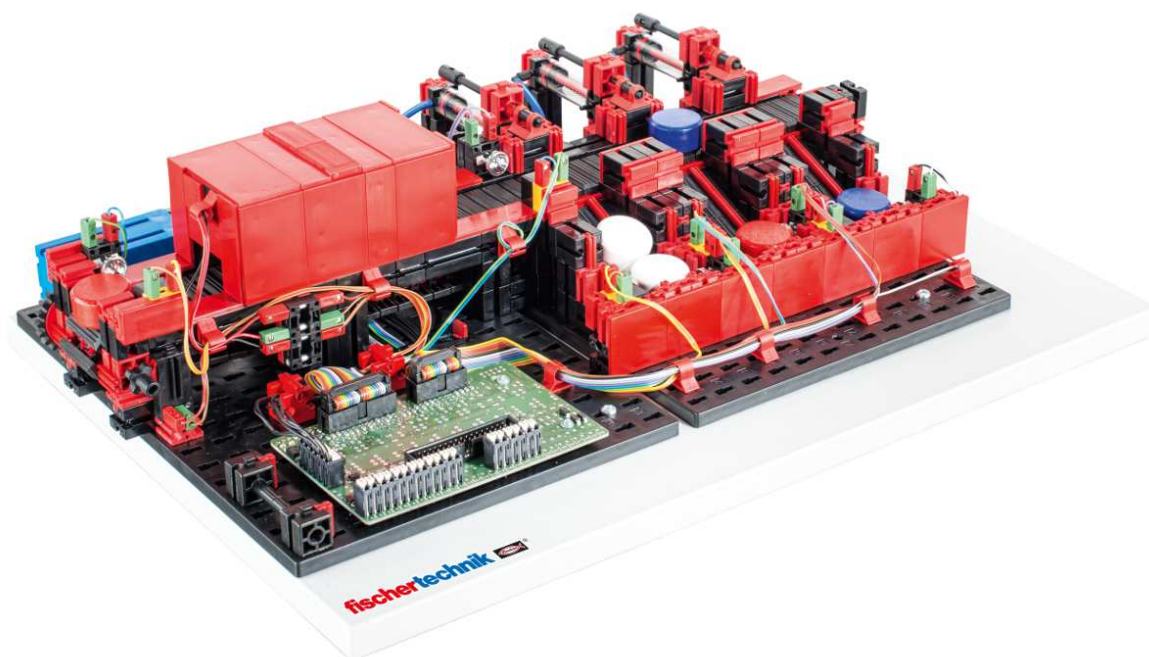
Hlavním cílem této práce je ukázat, jak je možné vytvořit takový počítačový model reálné předlohy. Tou je v našem případě učební model třídící linky od firmy Fisher, který

samotný slouží jako učební pomůcka pro programování PLC. Práce má za cíl dvě věci. Jednak má sloužit pro poučení případného dalšího tvůrce počítačového modelu. Druhým cílem, hlavním, je to, že její výstup bude sloužit jako počítačová pomůcka pro studenty, která jim umožní se naučit zacházet se zmíněnou reálnou pomůckou bez rizika jejího poškození. Práce je členěna na 4 kapitoly, ve kterých by si měl čtenář udělat postupně představu o tom, jak předkládaný model vznikl. V první kapitole se seznámí se zpracovanou předlohou. V druhé kapitole si přečte o měřeních, kterými byly získány podklady pro zpracování modelu. Třetí kapitola je věnována postupu jeho modelování v programu SolidWorks. Poslední čtvrtá kapitola má za cíl čtenáři pomoci pochopit, jak funguje ovládání modelu a seznámit s důvody volby použitých řešení. Na závěr je provedeno zhodnocení a obhajoba tohoto řešení.

Kapitola 2

Popis třídící linky

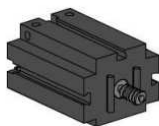
Stavebnice Fischertechnik 536628 představuje modulární model reálné třídící linky. Tato modelová třídící linka detekuje obrobky podle různých barev a pak je následně třídí pomocí dopravníkového pásu do stanovené skladovací jednotky. Snímek linky se nachází na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Stavebnice Fisher 536628 – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

Pohon třídící linky obstarává 24V mini motor s napájecím proudem 0,3 A. Maximální točivý moment motoru činí 5 mNm při 10700 ot/min. V případě potřeby může být motor

doplněn redukční převodovkou s převodovým poměrem 64,8 : 1. Motor se nachází na obrázku 2.2.



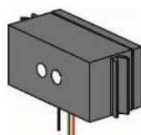
Obrázek 2.2: Motor 24 V – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

Převodovka je pak vyobrazena na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Redukční převodovka – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2015)

S ohledem na fakt, že předmětem třídění jsou zde obrobky, které se od sebe liší navzájem pouze barvou, je základní částí této linky snímač s měřicím rozsahem od 0 do 10 V. Ten pracuje na principu odrazu světla z povrchu komponentu. Jinými slovy, napětí na jeho výstupu závisí na intenzitě odrazu použitého červeného světla (v reálu spíše žlutého) od povrchu komponentu. Samotné vyhodnocení barvy je pak úlohou PLC. Snímač barvy je vyobrazen na obrázku 2.4.



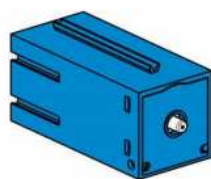
Obrázek 2.4: Snímač barvy – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

Aby bylo poté možné vystrkávat obrobky z pásu a posílat je po skluzech do skladů, je další důležitou součástí modelu trojice pístů s přísunem vzduchu řízeným pomocí selenoidových ventilů. Ty fungují na jednoduchém principu. Jestliže je na cívku selenoidového ventilu přivedeno napětí, pohyblivé jádro cívky překoná odpor pružiny a dojde k otevření selenoidového ventilu. Jestliže napětí přestane být přiváděno, dojde k uzavření ventilu. Selenoidový ventil se nachází na obrázku 2.5.



Obrázek 2.5: Selenoidový ventil – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

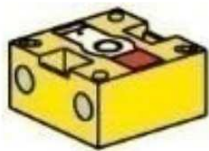
Zdrojem vzduchu je pak membránový kompresor. Základním prvkem tohoto kompresoru je píst umístěný v komoře za membránou. Pohybem tohoto pístu je střídavě do komory před membránou vtlačován vzduch a stlačený z ní vytlačován. Pohon pístu je proveden pomocí klikového mechanismu. Kompresor je vyobrazen na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Kompresor – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

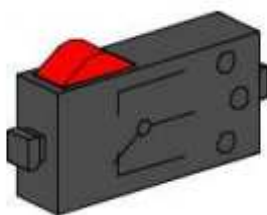
Činnost selenoidů a tak i pístů je řízena pomocí PLC. Jeho program je nutné napsat tak, aby píst příslušný detekované barvě byl vysunut vždy s určitým zpožděním od okamžiku příjmu signálu PLC ze světelné závory umístěné za boudičkou.

Fototransistor, který tato světelná závora používá, se nachází na obrázku 2.7.



Obrázek 2.7: Fototransistor – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

Oproti zvyklostem třídící linka nepoužívá časové zpoždění, nýbrž pulsní. Namísto času se zde tedy vyhodnocuje počet elektrických impulsů. Ty jsou vytvářeny pomocí pulsního spínače střídavě spínaného a rozepínaného chodem ozubeného kola pohanějícího pás. Tento pulsní spínač je možné si prohlédnout na obrázku 2.8.



Obrázek 2.8: Spínač – převzato z (FISCHER TECHNIK, 2016)

Ochrana skladišť před přeplněním je pak zajištěna pomocí dalších světelných závor, které však bohužel nedovedou vypočítat počet již uskladněných obrobků (FISCHER TECHNIK, 2016).

Kapitola 3

Realizace 3D modelu třídící linky

V této kapitole je popsáno, jak byl postupně vytvářen počítačový 3D model třídící linky, který bude následně připojen k simulinkovému modelu. Počítačový 3D model byl nakreslen v programu SolidWorks.

3.1 Tvorba fyzické části počítačového modelu

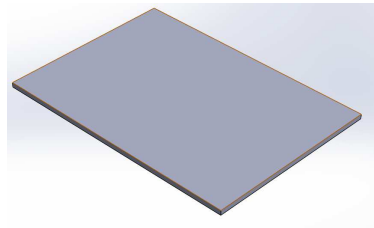
Podkapitola je dělena na dvě části. První popisuje zásady, kterých se držel autor při vytváření fyzické části počítačové modelu. Druhá se věnuje pak postupu tvorby samotné.

3.1.1 Zásady dodržované při tvorbě fyzické části modelu

Model byl vytvořen v programu Solid Works. Podkladem pro jeho tvorbu byly fotografie reálného modelu, a pak hlavně seznam součástek. Ten jednak pro představu o tom, z čeho je reálný model složen a pak hlavně ke zjištění rozměrů součástek. Obzvláště důležitým údajem byl rozměr základních stavebních kostiček. Jestliže se odpozoval jejich počet v řadě i sloupci, bylo možné relativně přesně určit rozměry k vytvoření počítačového 3D modelu.

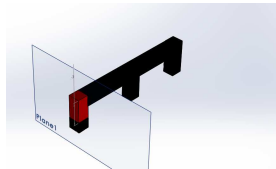
3.1.2 Popis procesu tvorby fyzické části modelu

Prvním krokem bylo usazení dvojice základů. Jejich rozměry byl schopen autor vyčíst ze seznamu prvků.



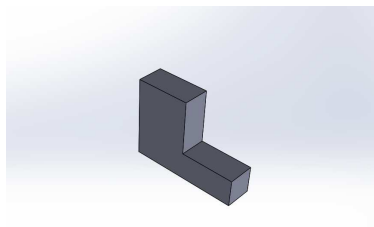
Obrázek 3.1: Základová deska pod třídící linku

Na první ze základových desek je volně usazena nosná konstrukce sestávající ze dvou stojanů ve tvaru E. Vzájemná vzdálenost těchto stojanů je určena šířkou pásu, kterou bylo možné vyčíst ze seznamu součástí. Stojan tvaru E se nachází na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Stojan nosné konstrukce

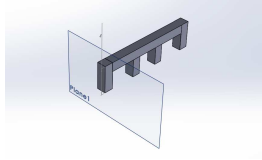
Po vytvoření rámu nad první základnou následovalo nakreslení nosných částí nad druhou základnou. Jako první autor nakreslil a umístil přední L stojany. Jejich usazování autor provedl pomocí funkce `mate symmetric`. Stojany tvaru L kreslil autor novým způsobem. Ten spočívá ve zobrazení sestavovaného modelu v drátové podobě a v přímém dokreslování nových částí. Toto vše v rámci pracovního režimu `Assembly`. Používá se při tom volby `new parts`, která se nachází v menu `insert component`. Dosavadní způsob spočíval ve vkládání dopředu nakreslených komponentů a občas poněkud pracnějším usazování. Zmiňovaný L stojan je zobrazen na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: L stojan nosné konstrukce

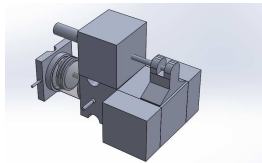
Když měl autor hotovou pohledově exponovanou stranu, začal pracovat na straně

zadní. Nosnou část vytvořil z následujícího stojanu, který v horizontálním směru pomocí funkce `symetric` svázal s E stojanem, tvořící rám nad první základnou. E stojan se nachází na obrázku 3.4.



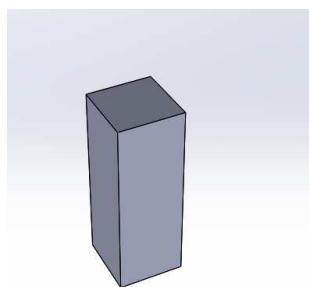
Obrázek 3.4: E stojan rámu nad první základovou deskou

Jakmile byla hotova hrubá konstrukce, začal autor osazovat funkční prvky. Jako první osadil konstrukce odtlačovače. V jejich případě se jedná o podsestavu. Odtlačovače se nachází na obrázku 3.5.



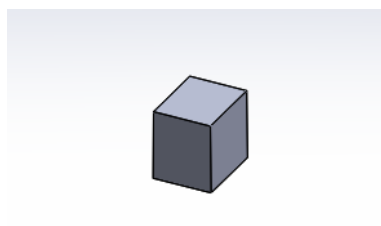
Obrázek 3.5: Píst

Tyto odtlačovače jsou pak usazeny na celkem šesti podstavcích. Originální dvojice je kreslena s využitím stejného postupu, jako byl použit při kreslení L stojanů. Obrázek podstavce pod odtlačník se nachází na obrázku 3.6.



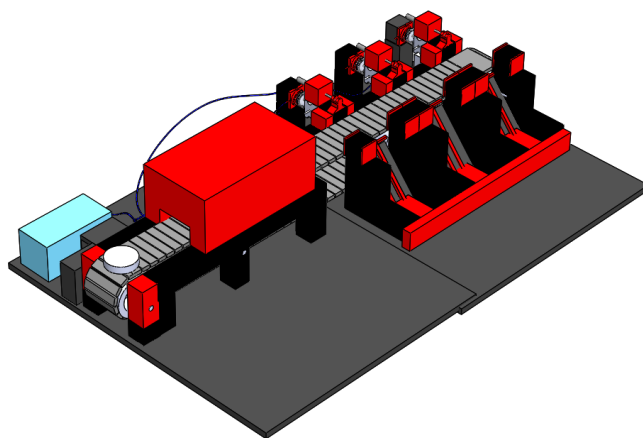
Obrázek 3.6: Podstavec pod odtlačník

Poté, co autor měl hotovy podstavce pod odtlačníky, přikreslil trojici nástavců sloužících k uchycení konstrukcí odtlačníků v příčném směru. Ty se nachází na obrázku 3.7.



Obrázek 3.7: Nástavec k uchycení konstrukce odtlačníků

Po usazení všech výše uvedených částí bylo už téměř hotovo. Zbývalo dokreslit kompresor, skluz, osadit pohonné válečky, osadit pás. Ten je vytvořen ze čtyř částí. Horní a spodní část pásu je vytvořena prořezem dvojice výchozího prvku. Vedlejší části kopírující obrys pohonných válečků byly vytvořeny pomocí funkce `Circular Component Pattern`. Jako středy rotací byly voleny středy pohonných válečků. Pokračovalo se osazením kompresoru, rozvaděčů vzduchu a hadiček, spojujících rozvaděč vzduchu s písty odtlačníku. Hadičky jsou kresleny pomocí orotované křivky s využitím funkce `sweep`. A poslední věcí bylo nakreslení domečku s detekcí barvy. Hotový počítačový 3D model se nachází na obrázku 3.8.



Obrázek 3.8: Kompletní počítačový 3D model

Kapitola 4

Identifikace modelu třídící linky

Účelem identifikace systému je zjistit parametry modelu, který popisuje chování dané technologie (RICHTER, M., 2006). Tímto termínem se označuje reakce soustavy na skokovou změnu vstupní veličiny (DIXELL, 2010). Podrobnosti týkající se této problematiky je možné nastudovat například v knize (ROUBAL, J. et al., 2011, str. 96-104). V rámci identifikace modelu třídící linky byla postupně provedena identifikace dopravníku, pístů, snímače barev a zjišťována perioda pulsů vytvářených pulsním spínačem.

4.1 Identifikace dopravníku

Aby bylo možné provést úplné zjištění přenosové funkce mezi napětím motoru a polohou dopravníku, bylo se třeba nejdříve seznámit s převodným ústrojím pásu. Poté následovalo měření pohybu komponentu po pásu.

Jelikož zadavatel práce se účastnil sestavování modelované předlohy, mohl autorovi práce poskytnout potřebné údaje týkající se uvedeného převodového ústrojí pásu. Převodové ústrojí sestává ze čtveřice ozubených soukolí, z toho v případě vstupního soukolí se jedná o soukolí šnekové. Převodové poměry jednotlivých soukolí jsou postupně: $i_1 = 1/14$; $i_2 = 11/20$; $i_3 = 11/28$; $i_4 = 10/20$. Celkový převod i_{celk} je roven součinu jednotlivých převodů. Jeho velikost je tak rovna 0,0077.

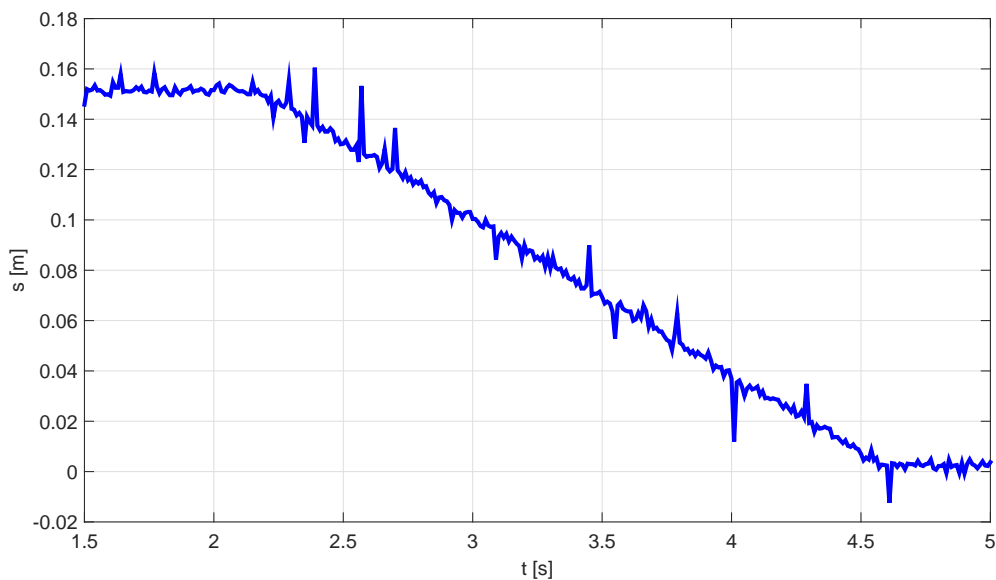
Měření pohybu komponentu po páse bylo provedeno pomocí ultrazvukové sondy Balluff BUS005Z umístěné při tomto měření na konci dopravníku. Sonda je vyobrazena na obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Sonda Balluff BUS005Z – převzato z (AMAZON, 2015)

O tom, jak se měří ultrazvukem, najde čtenář informace například v (CURTIS, K., 2015).

Výsledky měření jsou prezentovány na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2: Odezva mezi napětím a polohou komponentu $x(t)$

Z průběhu grafu je možné určit pohyb komponentu po páse jako astatický systém 2. řádu. Takový astatický systém je obecně popsán přenosovou funkcí (4.1) (KOHOUT, L., 2008).

$$G(s) = \frac{k_p}{s(\tau s + 1)} \quad (4.1)$$

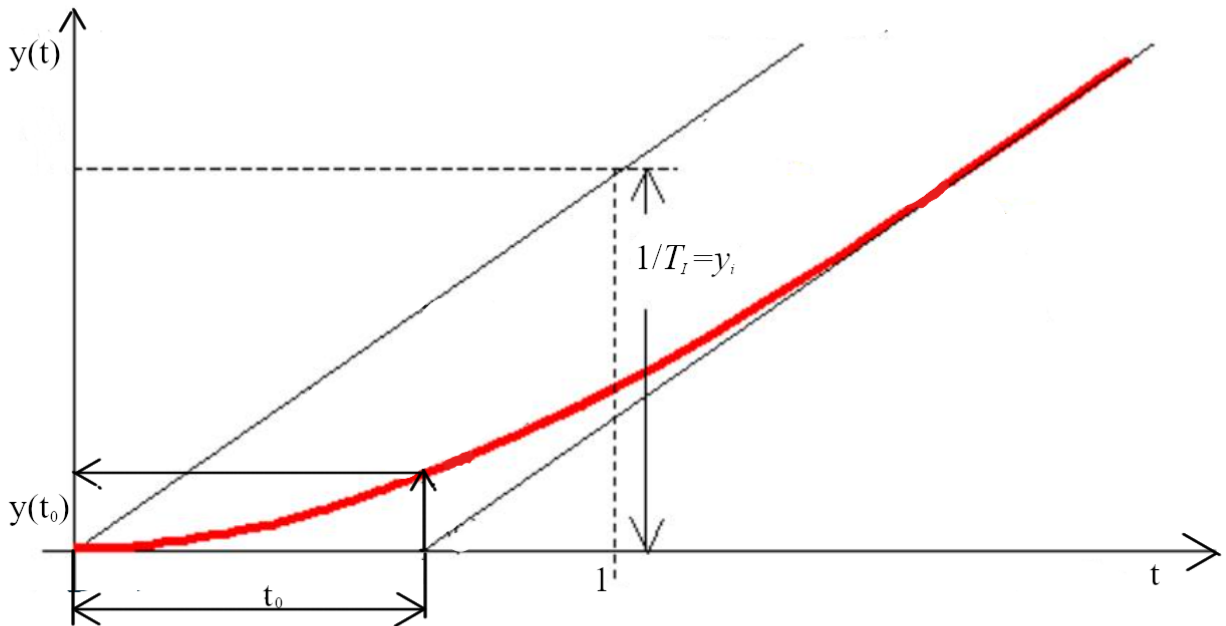
kde s [-] je Laplaceův operátor, τ [s] se nazývá časová konstanta a k_1 je statické zesílení.

Po provedení zpětné Laplaceovy transformace (nalezení časového originálu (DOSTÁL, P. a GAZDOŠ, F., 2006)) s následnou integrací výsledku, důvod integrace je popsán v (ROUBAL, J. et al., 2011, str. 97), je pak možné dostat tvar

$$h(t) = k_1 t - k_1 \tau e^{t/\tau} - k_1 \tau \quad (4.2)$$

Ten představuje časový originál funkce 4.1. Jak je vidět z rovnice 4.2, přenosová funkce 4.1 je složena z přímky se směrnicí k_1 a exponenciální funkce s exponentem t děleným časovou konstantou τ . Směrnice tečny k této exponenciále pak udává velikost zrychlení.

Jak výše uvedené zesílení k_1 a časovou konstantu τ získat, je znázorněno na následujícím obrázku 4.3,



Obrázek 4.3: Znázornění získávání parametrů

kde hodnota statického zesílení k_1 je skryta v podílu $1/T_i$. Časovou konstantu τ pak představuje podíl odečtené hodnoty t_0 a stupně řádu systému.

Hodnota A , na základě které se hodnota stupně soustavy stanovuje, se vypočte podle vzorce (4.3),

$$A = \frac{y(t_0)}{\frac{t_0}{T_I}} \quad (4.3)$$

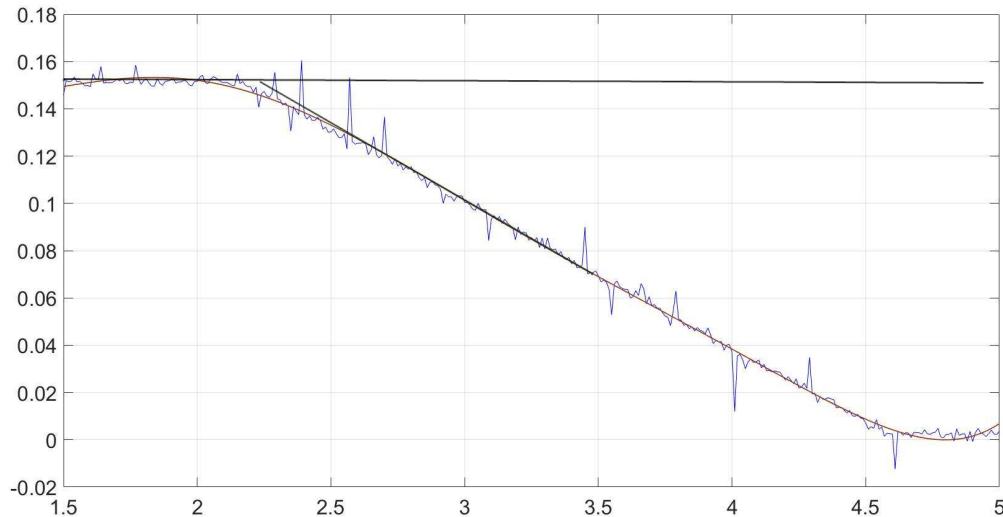
kde t_0 [s] je doba průtahu, $y(t_0)$ [m] je hodnota časové závislosti odpovídající době průtahu, T_I [m] je parametr přenosu. Ten představuje převrácenou hodnotu směrnice tečny ke křivce časové závislosti. Zjištěná hodnota se pak porovnává s tabulkovými hodnotami uvedenými ve zdroji vysvětlujícího obrázku (MILAN, V. et al., 2012).

Jelikož skok točivého momentu nemá jednotkovou velikost, je potřeba provést normalizaci na jednotkový skok podle vzorce 4.4. Při výpočtu konstanty motoru je pak ještě nutné vzít v úvahu, že systém pohonu pásu se skládá ze tří subsystémů řazených za sebou. Poslední dva subsystémy jsou nultého řádu. Velikost čitatele přenosové funkce prvního subsystému, který se dále bude nazývat jako konstanta motoru, je tedy možné vypočítat podle rovnice 4.4

$$k_m = \frac{k_1}{i_{celk} U r} \quad (4.4)$$

kde k_1 [rad.m.V.s⁻²] je statické zesílení, i_{celk} [-] je celkový převod, r [m] je poloměr hnacího kola pásu, U [V] označuje napětí elektromotoru pohánějícího pás.

Uvedení výše popsané teorie do praxe je znázorněno v grafu na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Přechodová charakteristika pohybu komponentu po pásu

Černě zbarvená příčka na obrázku 4.4 zde ukazuje polohu komponentu na počátku měření. Zároveň slouží i jako vztavná základna, ze které je možné odečítat velikost časové

konstanty. Fialovou barvou je označena křivka proložená částí grafu znázorňující pohyb komponentu. Zelenou barvou je pak znázorněna tečna k této křivce. Ta představuje statické zesílení systému k_I .

Při dosazení hodnot:

$y(t_0) = 0,127$ s; $t_0 = 0,01$ s; $T_I = 14,085$ s/m podle vzorce 3.3 dostaneme hodnotu $A = 1,11$ [-]. Tato hodnota se ani zdaleka nepřibližuje hodnotě 0,271, která by znamenala, že soustava je třetího stupně. To, že je soustava druhého stupně, současně i znamená, že zjištěná hodnota doby průtahu t_0 je i zároveň časovou konstantou τ .

Převrácenou hodnotu parametru přenosu T_I použil autor ke stanovení statického zesílení k_1 . Vypočtená hodnota statického zesílení je rovna $0,07$ rad.m.V.s⁻¹. Po zjištění časové konstanty následoval výpočet hodnoty konstanty motoru k_I . Ta se vypočetla podle vzorce 4.4.

Dosazením hodnot: $k = 0,05962$ rad.m.V.s⁻¹; $i_{celk} = 0,0077$ [-]; $U = 24$ V; $r = 0,011$ m byla vypočtena velikost koeficientu $k_1 = 29,33$ rad s⁻¹.

Celková přenosová funkce mezi napětím motoru a polohou dopravníku je pak

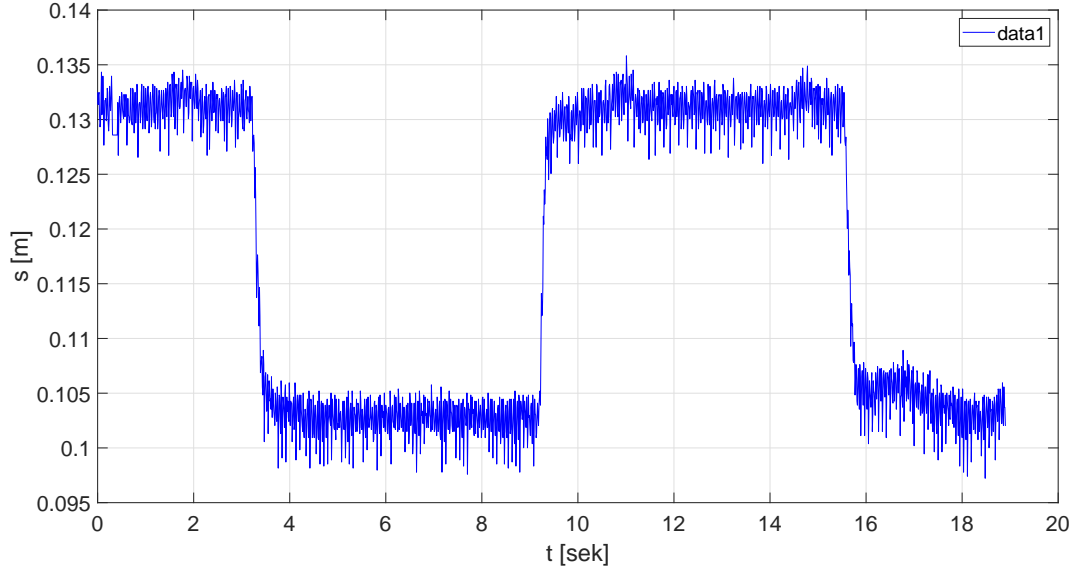
$$G(s) = \frac{29,33}{0,127s + 1} \quad (4.5)$$

Z přenosové funkce 4.5 je možné vyčíst, že po ustálení bude výstupní úhlová rychlost 30násobkem vstupního napětí. Hodnota časové konstanty 0,127 pak říká, že úhlová rychlost nabude 63 % maxima již za 0,1 s. Jinými slovy model se rozběhne téměř okamžitě.

4.2 Identifikace pístu

V rámci indentifikace pístu byla měřena časová závislost $x(t)$ polohy pístu. Poloha pístu byla měřena stejnou sondou jako v předchozím případě. Sonda byla umístěna přesně proti směru pohybu pístu.

Na obrázku 4.5 je prezentován výsledek tohoto měření.



Obrázek 4.5: Časová závislost pohybu komponentu po páse

Na základě obrázku je možné říci, že je pohyb pístu statickým systémem vyššího než prvního řádu. V případě, že je statický systém druhého řádu, pak jej vyjadřujeme rovnicí (KADLEC, K. a KMÍNEK, M., 2005)

$$F(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2T\xi + 1} \quad (4.6)$$

kde k je statické zesílení [závisí na vstupní veličině], ξ je koeficient tlumení [závisí na vstupní veličině], T [s] je časová konstanta. Po provedení inverzní Laplaceovy transformace rovnice 4.6 s následnou integrací výsledku pak dostaneme tvar 4.7 (JONGEUN, CHOI., 2007).

$$y_{\text{přech}}(t) = k \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} \right) \quad (4.7)$$

Časové konstanty T_1 , T_2 jsou pak kořeny této rovnice. V rovnici 4.7 se sice koeficient tlumení ξ nenachází, je možné jej však najít ve vzorci pro výpočet kořenů 3.8. Vzorec je z (NOVOTNÝ, P., 2012)

$$T_{1,2} = \frac{-2T\xi \pm \sqrt{4T^2\xi^2 - 4T^2}}{2T^2} = \frac{-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}{T} \quad (4.8)$$

Předpis 4.8 pro výpočet kořenů $T_{1,2}$ objasňuje úlohu proměnné ξ . Jestliže je proměnná ξ rovná jedné, kořeny vychází sobě rovné. Soustava je pak na mezi periodicity. Má-

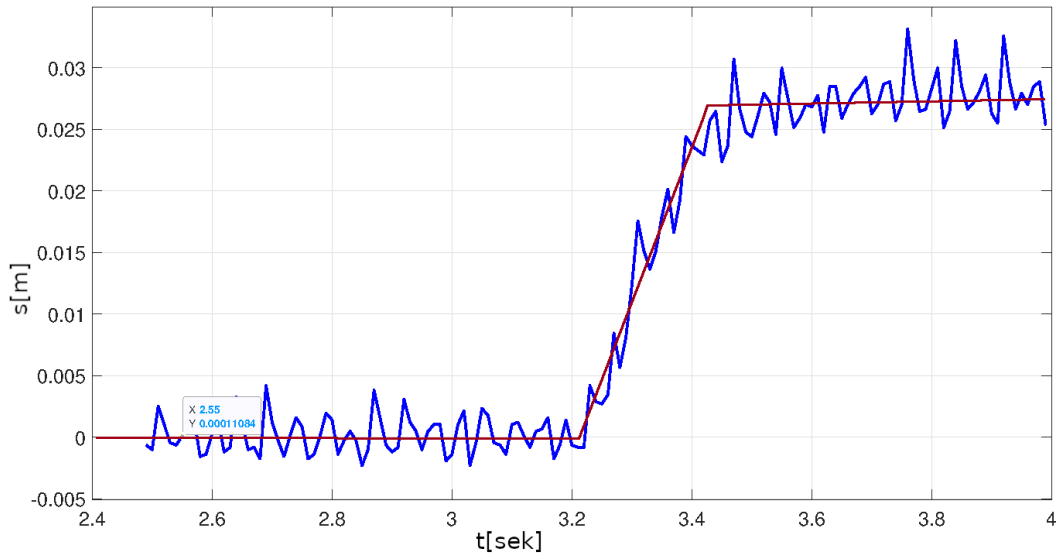
li proměnná ξ hodnotu větší, než 1, kořeny vychází různé a reálné. To znamená, že soustava je přetlumená, což je případ našeho systému. Naopak, proměnná ξ v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$ dává komplexní kořeny. Takové vedou na přechodovou funkci ve tvaru 4.9. Rovnice je z (PODEŠVA, J., 2007).

$$x = e^{-\delta t} [A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)] \quad (4.9)$$

kde ω je úhlová frekvence [s^{-1}], A, B jsou amplitudy kmitání [m], δ je součinitel útlumu [s^{-1}]. Výše uvedenou teorii týkající se soustavy druhého řádu je možné shrnout jednoduše. Čím je vyšší hodnota časové konstanty T v rovnici 4.6, tím je systém náchylnější ke kmitání. V případě konstanty ξ je tomu naopak.

Jak je na tom s konstantami T a ξ naše soustava? Odhadem je možné říci, že hodnota T bude velice malá. Hodnota ξ pak zcela určitě bude větší nebo rovna 1. Přesnější odpověď nám může dát některá z metod identifikace soustavy. Relativně populární je například Strejcova metoda. Jelikož se autor setkal s jejím popisem i na zahraničních internetových stránkách, tak předpokládá, že bude dávat tato metoda celkem dobré výsledky. Rozhodl se tedy, že ji použije k identifikaci pístu. Její princip spočívá v tom, že přechodová charakteristika statických soustav vyššího řádu je v okolí inflexního bodu takřka přímková, takže směrnice tečny v inflexním bodě přechodové charakteristiky je poměrně přesně určena (SYPÁK, M., 2009). Metoda samotná je pak popsána například v (MILAN, V. et al., 2012). Jedná se o 6krokový algoritmus spočívající v odečítání hodnot z grafu a dosazením do vzorců. Aplikace algoritmu Strejcovy metody na náš případ je uvedena na následujících řádcích.

Použito k ní bylo grafu uvedeném na obrázku 4.6, který byl upraven dokreslením přímkou proložených tak, aby čtverce odchylek od těchto přímkou byly co nejmenší.



Obrázek 4.6: Časová závislost pohybu komponentu po páse

Kroky postupu identifikace v souladu s algoritmem Strejcovy metody byly následující:

1. Výpočet zesílení K :

Z grafu byla odečtena hodnota 0,028, tedy podle vzorce

$$K = \frac{y(\infty)}{u(\infty)} \quad (4.10)$$

je $K = 0,028$.

2. Výpočet součtu časových konstant T_1 a T_2 pro odečtenou hodnotu $0,72y(\infty)$:

Okamžik, kde $y = 0,72y(\infty)$, nastává v čase $t = 3,385$ s. Po odečtení hodnoty doby počátku pohybu $t_0 = 3,2$ s má doba t_1 hodnotu rovnu 0,185 s. Hodnota 3,385 s byla odečtena ze zdrojových dat (jsou na přiloženém CD v adresáři Výsledky z měření). Součet je $T_1 + T_2 = 0,147$ s.

3. Výpočet časového okamžiku t_2 podle vzorce:

$$t_2 = 0,3574(T_1 + T_2) \quad (4.11)$$

Z předchozího bylo zjištěno, že součet $T_1 + T_2 = 0,147$ s. Doba t_2 je tedy rovna 0,05254 s.

4. Odečtení hodnoty $y(t_2)$:

Absolutní hodnota příslušné y -ové souřadnice byla podle tabulky stanovena na 0,045 m. Po jejím normalizování (výpočet poměru mezi odečtenou hodnotou a hodnotou maximální) má její relativní hodnota $y(t_2)$ používaná dále ve výpočtu velikost 0,16 m.

5. Odečtení hodnoty τ z tabulky poměrů časových konstant:

Hodnota $y(t_2) = 0,16$ m nám říká, že naše přechodová funkce má dva stejné kořeny. Vyřešením soustavy rovnic

$$T_1 + T_2 = 0,147 \quad (4.12)$$

$$T_1/T_2 = 1 \quad (4.13)$$

Dostaneme $T_1, T_2 = 0,0735$ s.

Celková přenosová funkce je pak

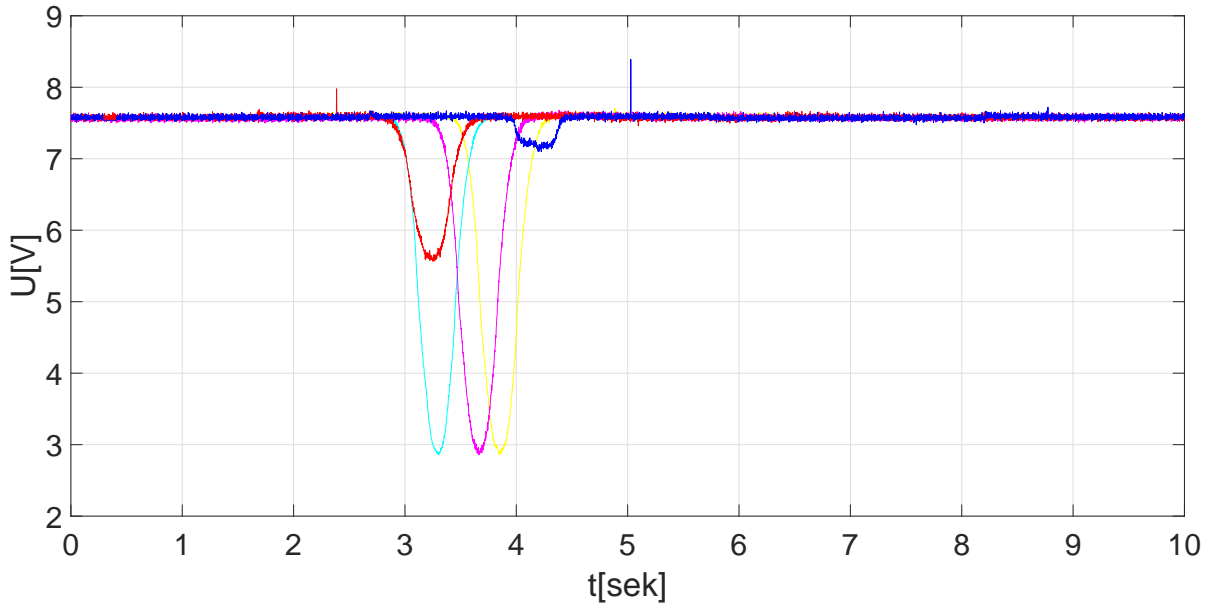
$$G(s) = \frac{0,28}{0,00544s^2 + 0,147s + 1} \quad (4.14)$$

Tentokrát přenosová funkce popisuje systém druhého řádu. Hodnota $0,00544s^2$ znamená, že systém je minimálně náchylný ke kmitání, hodnota $0,147$ s pak říká, že nárůst veličiny popisující pohyb pístu je velmi rychlý.

4.3 Měření barev

Měření barev bylo provedeno tak, že se nechaly projet po páse jednotlivé barevné komponenty a pomocí měřicí karty MF624 jímaly hodnoty napětí změřené senzorem. Aby bylo možné vyhodnotit, nakolik je připojením PLC ovlivněno změřené napětí na senzoru, bylo měření bílého komponentu provedeno na třikrát. Jednou bylo provedeno samotnou kartou MF624, pak k ní bylo přidáno jedno PLC, následně i druhé. Zjištěné časové průběhy napětí jsou zakresleny v grafu na obrázku 4.7. Žlutou barvou je znázorněn časový průběh napětí bílého komponentu, když je připojena jen měřicí karta MF624. Fialová barva znázorňuje měření, když je připojeno PLC1 a MF624.

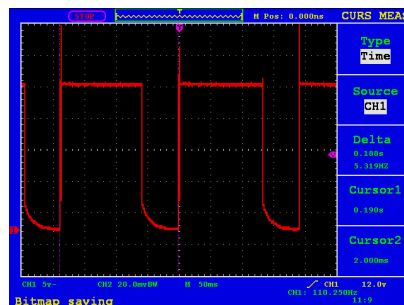
Tyrkysová barva pak představuje případ připojení dvou PLC2 a MF624.



Obrázek 4.7: Přiřazení hodnot napětí jednotlivým barvám

4.4 Měření pulsů

Jak je uvedeno v kapitole 2 popisující modelovou předlohu, u modelové předlohy uživatel určuje moment vysunutí pístu pomocí pulsního zpoždění. Aby bylo možné tento způsob používat i u počítačového modelu, byla pomocí osciloskopu zjišťována perioda pulsů při plné rychlosti dopravníku. Výsledek měření je na obrázku 4.8.



Obrázek 4.8: Měření pulsů

Kapitola 5

Tvorba simulinkového modelu

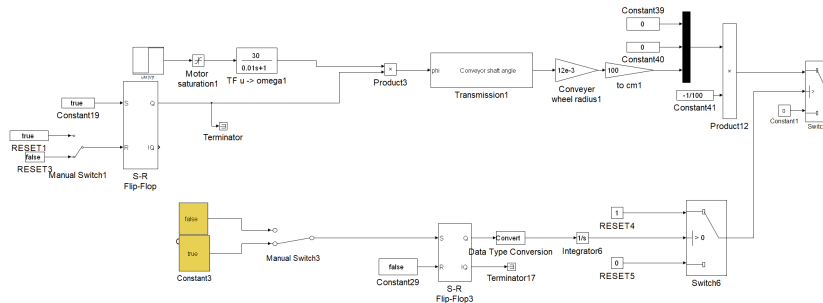
Tvorba simulinkového modelu spočívá v promyšleném řazení předpřipravených bloků za sebou za účelem získání požadovaného výstupního signálu. V této práci jsou použity následující bloky: **Constant**, **Step** (skoková změna veličiny), **Scope** (zkratka slova Oscilloscope), **Int** (zkratka slova Integrator), **Switch**, **Manual Switch**. Blok **Switch** je blokem, který sestává ze tří vstupů a jednoho výstupu. Vstup číslo 1 slouží k přivedení ovládacího signálu. Vstup číslo 2 přivádí na výstup signál v případě, že blok **Switch** nebyl sepnut. Vstup číslo 3 pak přivádí na výstup signál, pokud blok sepnut byl. Sepnutí bloku je provedeno při výchozím nastavení přivedením ovládacího signálu na vstup 1 s hodnotou vyšší, než je dopředu daná prahová hodnota. Když si to uživatel žádá, je možné nastavit i to, že k sepnutí dojde v momentě, kdy je signál prahové hodnotě roven. Blok **Manual Switch** se spíná poklepem kurzoru myši přímo na blok.

V rámci tvorby simulinkového modelu bylo třeba řešit tyto úkoly:

1. Řešení pohybu komponentu po pásu.
2. Přizpůsobení pohybu komponentů stavu pístu.
3. Vymyslet, jak pohybovat s komponentem po skluzu a jak zajistit, že dojde k jeho zastavení na určeném místě.
4. Nasimulovat činnost světelných závor a snímače barev.

5.1 Řešení pohybu komponentů po pásu

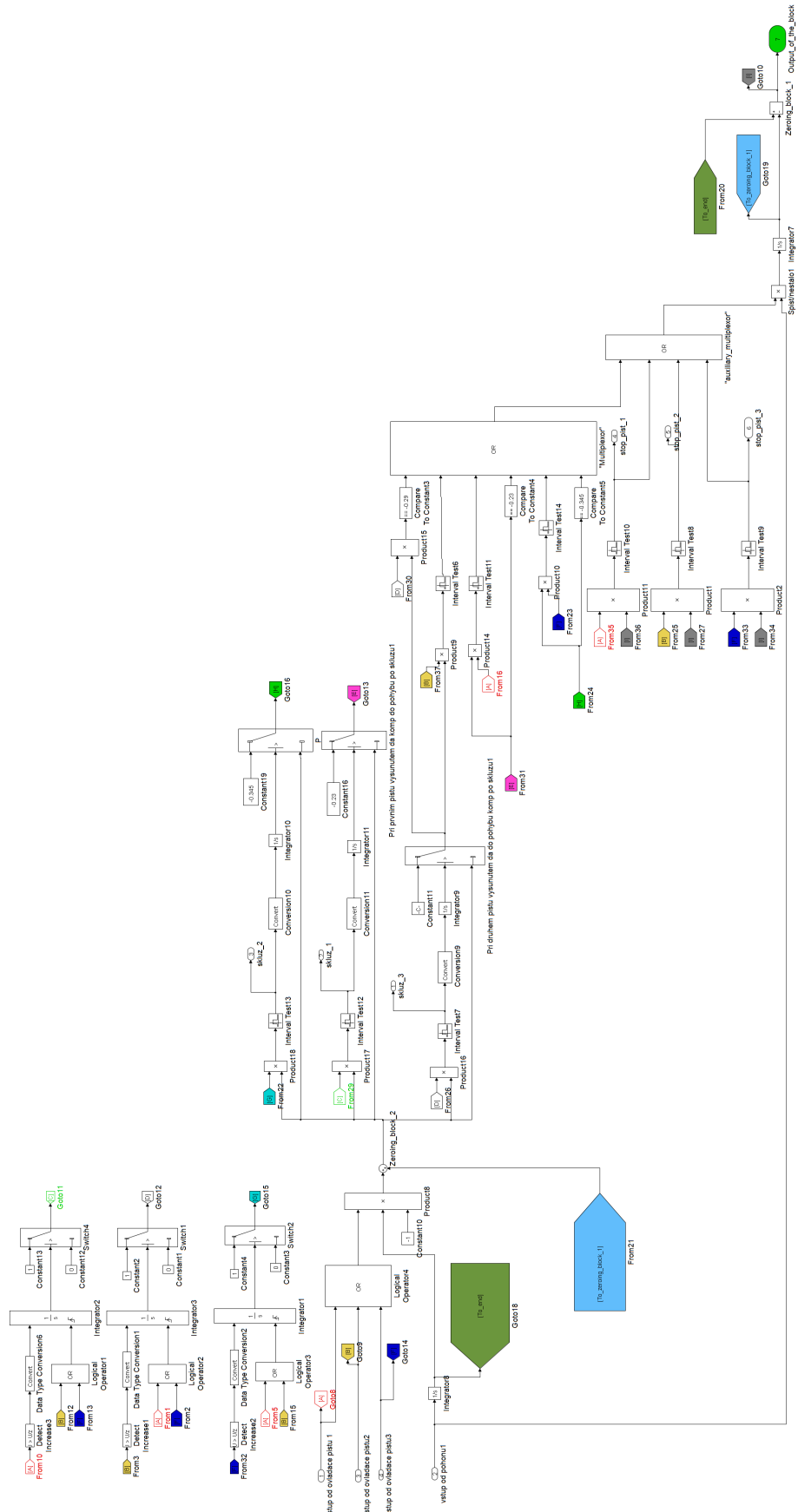
Autor měl díky konzultantovi dopředu k dispozici část počítačového modelu řešící pohon pásu. Jediné, co bylo v otázce řešení pohonu pásu nutné udělat, bylo zadat přenosovou funkci. Díky tomu, že měl autor dopředu vyřešenu část počítačového modelu řešící pohon pásu, mohl se soustředit pouze na řešení následujícího požadavku. Tím je dopředu neznámost okamžiku, kdy se má dát komponent do pohybu. Řešení tohoto požadavku provedl autor následovně. Vložil **Manual Switch** přepínající mezi hodnotami true a false. Hodnota této konstanty je pak přivedena do bloku **Set-Reset**. Výstup z bloku **Set-Reset** se pak přes blok **Int** přivádí do následujícího bloku **Switch**, který již konečně uvede komponent do pohybu. Tato konstrukce je nutná z toho důvodu, aby byl zajištěn pohyb komponentu i po přepnutí bloku **Manual Switch** označeného **Manual Switch3** do výchozí polohy. Bez ní by se komponent pohyboval jen v případě, že by tento blok byl v poloze sepnuto. Schéma celé části řešící problém pohybu komponentu je na obrázku 5.1. Jen pro upozornění. Tato část simulinkového modelu je rozdělena mezi úvodní blok a uživatelský blok, který se jmenuje **Hlavni blok**. Úvodní blok se nachází v příloze D jako obrázek D.1. Uživatelský blok pojmenovaný **Hlavni blok** je pak umístěn v příloze D jako obrázek D.2.



Obrázek 5.1: Schéma pohonu

5.2 Přizpůsobení pohybu komponentů stavu pístu

Hlavní úlohu v přizpůsobení pohybu komponentů stavu pístu má blok autora označený **Stop_component_at_a_piston**. Blok je uveden na obrázku 5.2. Uživatelský blok se nachází v uživatelském bloku **hlavni_blok_rizeni** umístěném v příloze D na obrázku D.3.



Obrázek 5.2: Blok koordinování pohybu komponentu s pístem

Základním principem tohoto bloku je nulování vstupního signálu pomocí sčítacích bločků označených `zeroing_block_1` a `zeroing_block_2`. První je těsně před výstupem, druhý těsně za vstupem. Potřebný protisignál do výstupního nulovacího bločku je přiváděn z multiplexu. Ten je vytvořen pomocí funkce `or`. Nachází se v pravé části bloku. Aby bylo možné zajistit vývod vždy jen jednoho signálu, je vstup do každé z jeho větví podmíněn. Vždy se vyhodnocuje, zdali je vysunut příslušný píst a vyhodnocována aktuální pozice komponentu. Řešeny jsou čtyři případy.

1. Komponent je v takovém místě, že by se měl o vysunutý píst zastavit.
2. Vysouvající se píst by měl komponent přitisknout k stojině prostoru skluzu.
3. Komponent projel místem pístu po jeho vysunutí.
4. Komponent je v takovém místě, že vysunutý píst by jej měl vysunout z pásu.

5.2.1 Komponent by měl být pístem zastaven

Část bloku, která má na starosti tento případ, je možné poznat podle toho, že je k ní přiveden vstup napřímo a obsahuje bloček `interval test`.

5.2.2 Komponent má být přitisknut k stojině prostoru skluzu

Pro všechny tři komponenty se část bloku, která řeší tento případ, nachází v prostoru před pomocným multiplexorem. Rozdíl proti předchozímu případu je ten, že současně s přivedením signálu k pomocnému multiplexoru je i vyveden signál ven z bloku. Ten je pak dále použit v části simulinkového modelu ovládající píst k tomu, aby příslušnému pístu zamezil v dalším pohybu.

5.2.3 Komponent má být vysunut z pásu

Tento případ je řešen trojstupňově. Nejdříve je vstupní signál, označený podle toho, z jakého přichází pístu, buď písmenem A, B nebo C, přiveden před resetující se integrátor do `Switche`. Následně výstupní signál z toho `Switche`, označený buď písmeny C, D nebo G, je ve druhém stupni smíchán se signálem generujícím pohyb. V druhém stupni se následně testuje, jestli má takto vytvořený signál stanovenou hodnotu. Pokud je intervalovým testem vyhodnoceno, že ano, tak:

1. signál generující pohyb je vyveden z bloku `Switch`, který jej pošle do posledního stupně hodnotu zaručující plné vysunutí pístu
2. současně dojde k vychýlení komponentu z pásu.

Pokud ne, nastane třetí případ, kdy se píst plně vysune a komponent pokračuje dále v jízdě po pásu.

Co na bloku `stop at a piston` zaujme, může být důvod nasazení bločku `zeroing_block_2`. Důvod jeho použití je ten, že bez něj by komponent nadále pokračoval v pohybu i přesto, že už díky bloku `zeroing_block_1` se negeneruje signál pro pohyb komponentu vpřed. Dochází k tomu kvůli nepřerušnému toku signálu do částí bloku, kde se vyhodnocuje poloha komponentu. To vede na první pohled k nevysvětlitelnému pohybu komponentu ve směru kolmém na směr pásu. Má-li se i tento tok přerušit, je nutné nasadit výše uvedený bloček `zeroing_block_2`.

5.3 Pohyb komponentu po skluzu

Problémem k řešení bylo to, jak zajistit, aby přešel komponent z pohybu po pásu ve směru osy z na pohyb po skluzavce a po dosažení jejího konce zastavil svůj pohyb. Jako první bylo potřeba zajistit zastavení pohybu po pásu. Toto je prováděno pomocí `Switche` umístěného těsně za blokem `stop_component_at_a_piston`. `Switch` zde umístěný je nastaven tak, že sepne okamžitě, když se v jedné z výstupních větví výše popsánoho bloku `stop component at a piston` objeví signál.

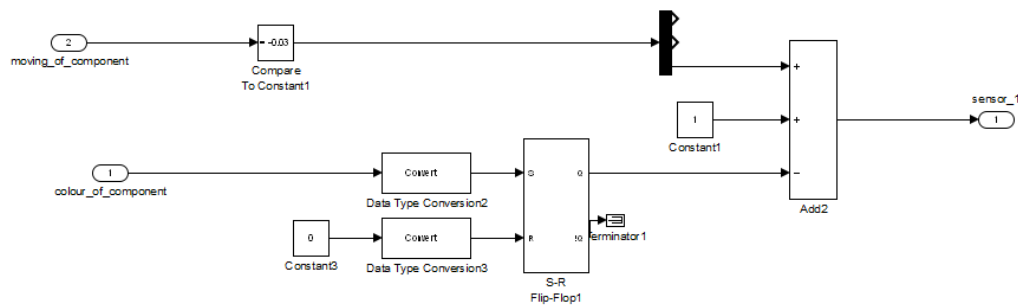
Po zastavení komponentu se uvede v činnost blok `translation_controlling*2`, který jej rozpohybovává v ose y . V momentě, kdy komponent dosáhne místa začátku skluzu, se uvede v činnost blok řešící pohyb v ose x nazvaný `translation_controlling*3`, a současně se uvede v činnost otáčení kolem osy z . Vlastní blok mající toto na starost se jmenuje `rotation_controlling*1`. K vypnutí otáčení dochází v rámci následujícího bloku `rotation_controlling*2`. Po dosažení konce šikminy se ukončí pohyb v ose x pomocí bločku `translation_controlling*4` a současně opět uvede v činnost otáčení kolem osy z pomocí bloku `rotation_controlling*3`. Po dosažení konce skladu se už jen zastaví pohyb v ose y pomocí bloku `translation_controlling*5` a ukončí otáčení pomocí bločku v ose z pomocí bloku `rotation_controlling*4`. Všechny tyto uživatelské bloky jsou umístěny v uživatelském bloku nazvaném `hlavni_ridici_blok`.

5.4 Simulace činnosti světelných závor a senzoru barev

V rámci této podkapitoly je popsáno, jak autor vyřešil problematiku nasimulování činnosti světelných závor a senzoru barev. Uživatelské bloky řešící simulaci činnosti světelných závor se nachází v uživatelském bloku blok_svetelných_zavor. Ten se nachází v příloze D jako obrázek D.4.

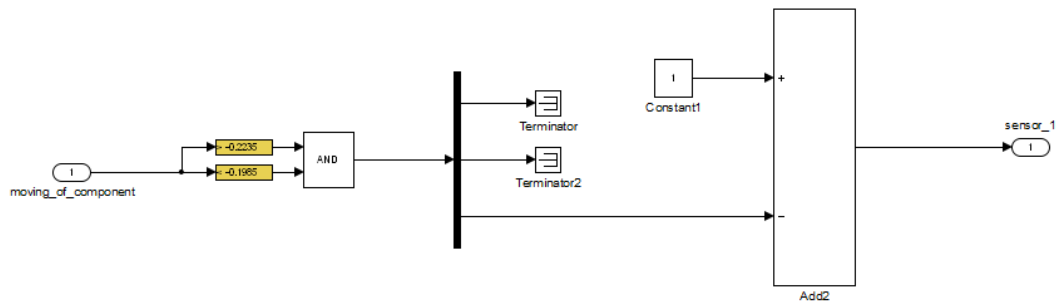
5.4.1 Simulace činnosti světelných závor

Jak je uvedeno v 1. kapitole, má třídící linka světelné závory před a za boudičkou se snímačem barev a v místě skluzu do skladiště. Činnost první závory před boudičkou je simulována v rámci uživatelského bloku sensor_1. Ten je řešen tak, aby na jeho výstupu byl signál 0 v momentě, kdy je komponent programově vložen, a přepnul se na výchozí hodnotu 1, když opustí komponent místo vložení. Popis realizace bloku sensor_1, který se nachází na obrázku 5.3 je následující.



Obrázek 5.3: Blok sensor_1

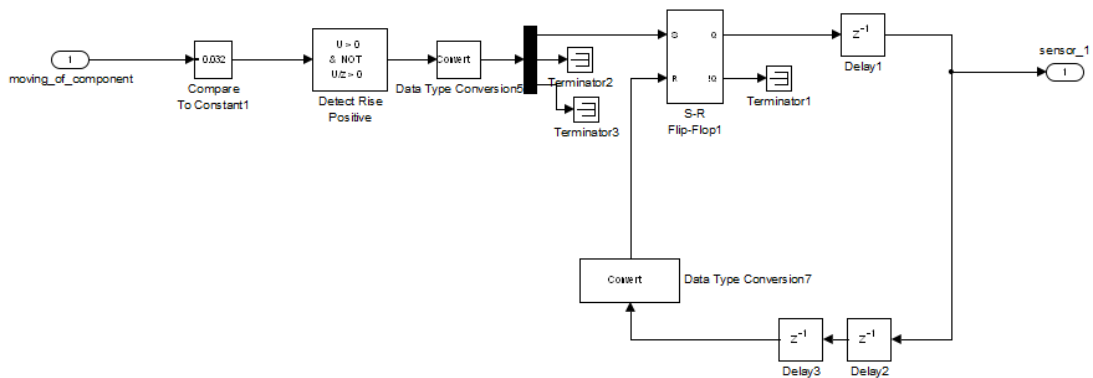
Hlavní částí uživatelského bloku sensor_1 je sumátor, do něhož jsou zavedeny 3 vstupy. První slouží pro vstup signálu, který definuje polohu komponentu. Druhý zajišťuje, aby byla výchozí hodnotou uživatelského bloku 1. Třetí vstup dodává informaci o vložení komponentu. Funkce bloku je jednoduchá. V momentě vložení komponentu se sumátor vynuluje. Když komponent projede definovaným místem, opět sumátor dává výchozí hodnotu. Co se týče světelné závory za boudičkou, tak ta je simulována uživatelským blokem sensor_2. Jeho provedení je znázorněno na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Blok sensor_2

Jako poslední byla řešena světelná závora v místě sjezdu do skladiště. Její simulaci je řešena v zájmu zpřehlednění pomocí dvojice bloku sensor_31, sensor_32.

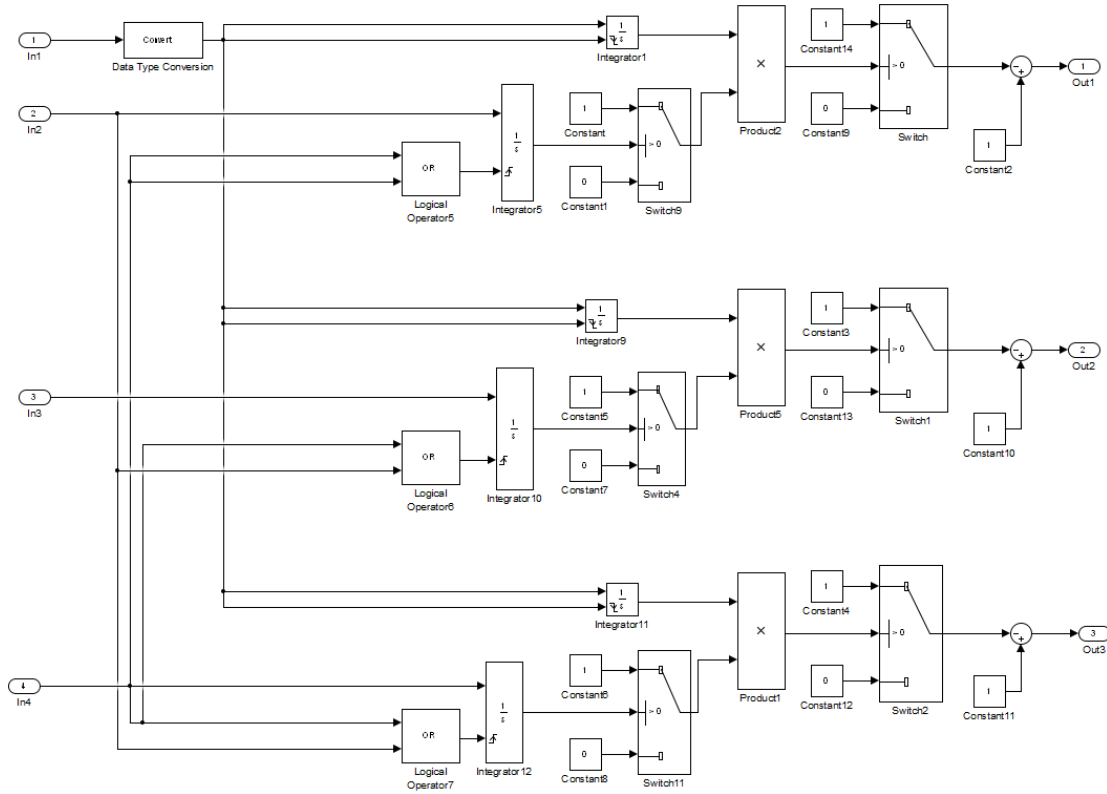
Blok sensor_31 se nachází na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5: Blok sensor_31

Vstupní signál, který opět představuje polohu komponentu, je testován na to, jestli má hodnotu vyšší, než je přednastavená hodnota. Pokud této hodnoty signál dosáhne, znamená to, že komponent projel místo světelné závory. Důvod použití dvojice bloků delay je zajištění požadované šířky impulsu a současně potřeba maximálně omezit opoždění výstupního simulovaného signálu oproti reálnému.

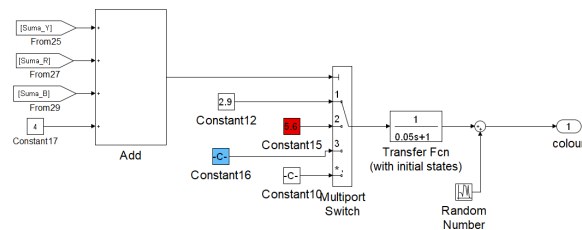
Hlavní úlohu v simulaci světelné závory v místě skluzu zastává blok `senzor_32`, který se nachází na obrázku 5.6.



Obrázek 5.6: Blok `senzor_32`

5.4.2 Senzor barvy

Část simulinkového schématu řešící simulaci snímače barvy je uvedena na obrázku 5.7.



Obrázek 5.7: Senzor barvy

Základem simulace snímače barvy je přepínač. Ten je ovládán na základě hodnoty,

která se generuje v bloku suma. Signály na vstupu označené postupně Suma_W, Suma_R, Suma_B jsou odebírány z výstupů označených auxilliary output_1 hlavních řídicích bloků bílého, červeného a modrého komponentu. Hodnota ze sčítacího bloku je pak následně v přepínači použita pro navolení hodnoty napětí odpovídající projíždějícímu komponentu.

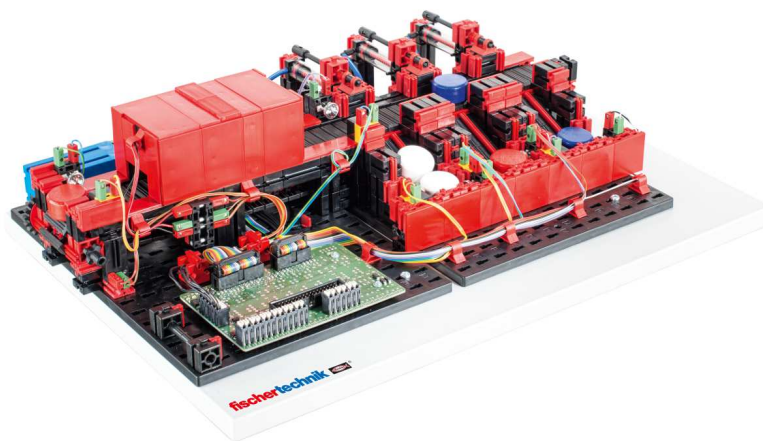
Kapitola 6

Analýza výsledků

V kapitole Analýza výsledků je posuzováno, nakolik model odpovídá skutečnosti. První část porovnává vzhled počítačového modelu se skutečnou předlohou. Druhá část se zabývá tím, jak se pohyb pístu a komponentu shoduje s předlohou. Poslední část hodnotí, nakolik se liší ovládání modelu od skutečnosti.

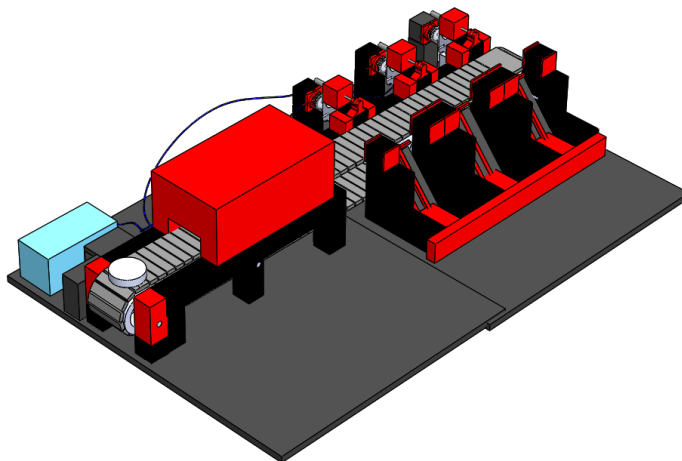
6.1 Porovnání třídící linky a počítačového modelu

Originální třídící linka je zobrazena na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Třídící linka

Počítačový model třídící linky je pak zobrazen na obrázku 6.2.



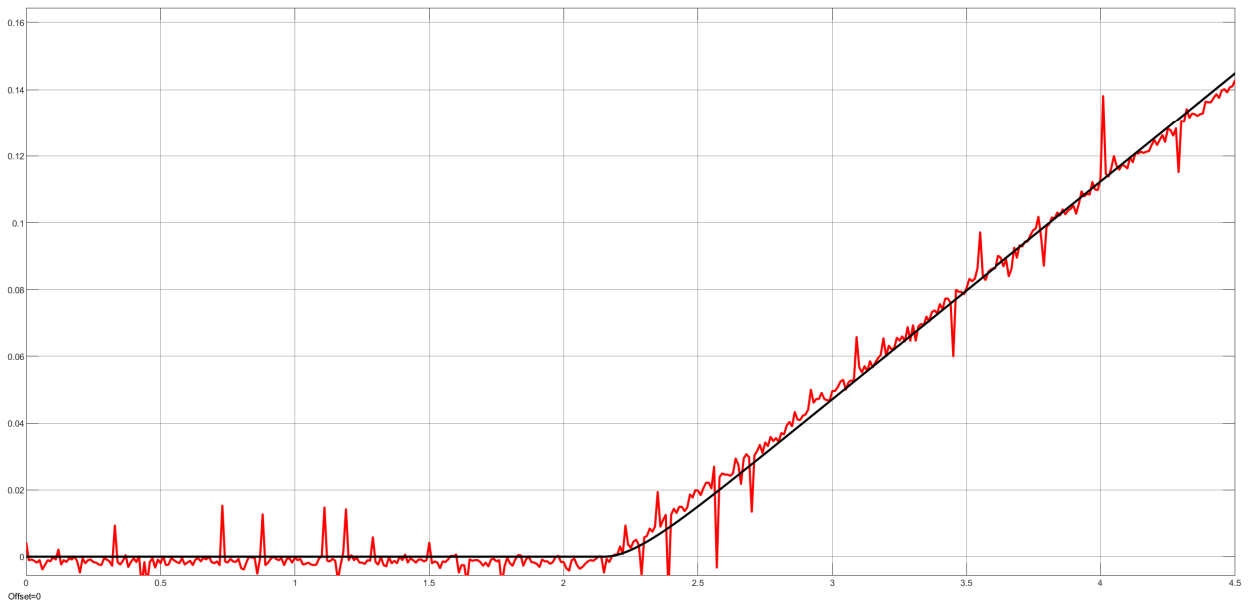
Obrázek 6.2: Model třídící linky

Čtenář se pohledem na oba obrázky může přesvědčit, že jsou v rámci modelu zachyceny všechny důležité detaily, jako je dodržení počtu skluzů včetně jejich prostorového rozmístění, přítomnost boudičky se senzorem barvy. Rovněž jsou relativně přesně zachyceny odtlačníky a pás. Po několika dodatečných měřeních je navíc zaručeno, že jsou dodrženy všechny důležité rozměry, jako rozteč mezi skluzy, vzdálenost boudičky od počátku. Co není přesně zachyceno, jsou detaily nepodstatné pro funkčnost modelu, tedy poloha kompresoru, tvar hadiček, tvar osičky od převodovky motoru.

6.2 Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pásu

O tom, jak přesně přenosová funkce popisuje realitu, je možné se přesvědčit na obrázku 6.3.

Křivka znázorňující časový průběh modelové přechodové funkce je znázorněna černou barvou. Reálnému časovému průběhu je přiřazena barva červená.



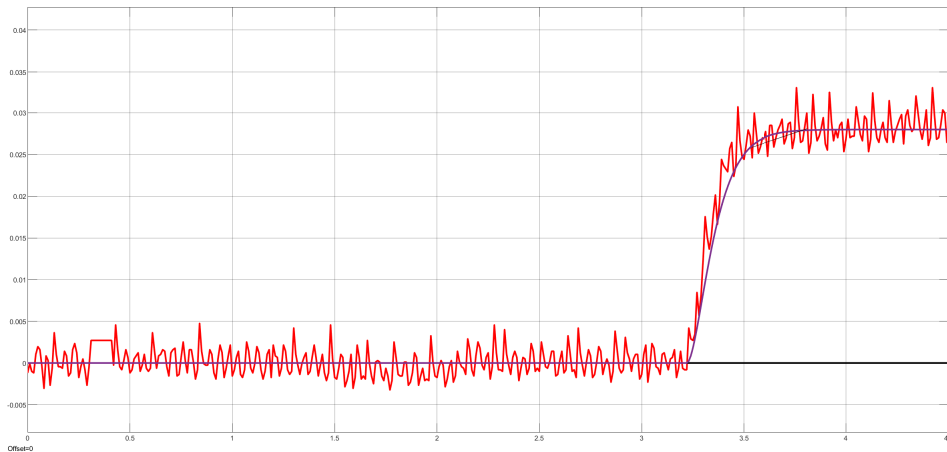
Obrázek 6.3: Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pístu

Jak je možné se přesvědčit, model až na drobné odchylky v místě zlomů odpovídá předloze. Odchylky v počátku jsou způsobeny nepřesností použité metody identifikace. Největším zdrojem nepřesností je prokládání tečny, protože to je na rozdíl od zjišťování sklonu potřeba provést graficky.

6.3 Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pístu

Grafické srovnání přenosová funkce popisující realitu a modelové přenosové funkce se nachází na obrázku 6.4.

Křivka znázorňující časový průběh modelové přechodové funkce je znázorněna tmavě fialovou barvou. Reálnému časovému průběhu je opět přiřazena červená barva.



Obrázek 6.4: Porovnání modelové a reálné přenosové funkce pístu

Modelová přechodová funkce se drobně odchyluje od reálné. Důvodem je skutečnost, že nebylo možné úplně přesně určit kritický bod $y(t_2)$, protože zrovna v oblasti, ze které se tato hodnota odečítala, originální přechodová funkce měla velký rozptyl hodnot. I přes tuto drobnou nepřesnost se autor domnívá, že pro účely modelování model dostatečně odpovídá realitě.

6.4 Srovnání ovládání modelu a skutečné třídící linky

Skutečný model je ovládán prostřednictvím programu napsaného pro PLC. Tento program má na starost jak ovládání pístu, tak i spouštění motoru, a spouštění kompresoru. Zdrojem signálu pro PLC jsou pak, jak bylo již již zmíněno, světelné závory a senzor barev. Jak se mohl čtenář přesvědčit, tak i model všechny tyto závory obsahuje, rovněž je jeho součástí i senzor barev. Jak se dále se na přiloženém obrázku může přesvědčit, v konečné verzi je i přidáno připojení k ovládacímu PLC. Po připojení prostřednictvím dálkového přístupu se může čtenář přesvědčit, že díky tomuto připojení je pak možné model ovládat úplně stejně, jako originální třídící linku.

Kapitola 7

Závěr

Předkládané řešení absolventské práce naplňuje veškeré požadavky zadání. Prvním krokem řešení bylo nakreslení modelu samotného v programu SolidWorks. Následovalo přeměrování třídící linky, které sloužilo k potvrzení, že model je nakreslen správně. Poté byly měřeny potřebné údaje pro zpracování simulinkového modelu. Po dokončení všech měření pak byl simulinkový model vytvořen a otestován, jestli je možná jeho komunikace s PLC, jak také bylo v zadání řečeno. Nakreslení modelu v SolidWorks probíhalo bez potíží. Obtíže se vyskytly při zpracování simulinkového modelu, kdy se ukázalo, že některé nápady, jako práce s až 9 komponenty, není při znalostech autora realizovatelná bez velké komplikovanosti. Co se ukázalo obzvlášť obtížné k řešení, bylo přizpůsobování výpočetní náročnosti modelu výpočetním možnostem ovládacího počítače. I tuto obtíž se nakonec podařilo vyřešit, jen by autor rád upozornil, že je potřeba v průběhu simulace s žádným objektem simulace nepohybovat.

Co se týče možných zlepšení předkládané práce, tak ty jsou tyto. První věcí k řešení je to, jak předkládaný model ještě více zjednodušit, aby bylo možné během simulace pohybovat s objekty bez rizika zastavení simulace. Druhým námětem k řešení je zpracování řídicí části tak, aby bylo možné ovládat více jak tři komponenty. Přes výše popsání nedostatky autor věří, že předložené řešení dobře poslouží svému účelu.

Literatura

AMAZON (2015), Bus 005Z-Ultrasonic Sensor, Connector, 0–10 V Range Min. 80 mm [online]. [cit. 2021-06-16], <https://www.amazon.co.uk/005Z-Ultrasonic-Sensor-Connector-Range/dp/B01AWC0QD6/>.

ČERNÝ, B. (2010), Počítačové simulace ve výuce fyziky [online]. [cit. 2021-06-16], <https://clanky.rvp.cz/clanek/k/G/9707/POCITACOVE-SIMULACE-VE-VYUCE-FYZIKY.html/>.

CHRAMCOV, B. (2012), Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů u [online]. [cit. 2021-06-16], <https://automa.cz/cz/casopis-clanky/vyuziti-pocitacove-simulace-v-oblasti-zefektivnovani-vyrobnich-procesu-20120809897/>.

CURTIS, K. (2015), Použití ultrazvukových měničů pro měření vzdálenosti [online]. [cit. 2021-04-20], www.dps-az.cz/https://www.dps-az.cz/mereni/id:20858/pouziti-ultrazvukovych-menicu-pro-mereni-vzdalenosti.

DIXELL (2010), Základy teorie ON/OFF a PID regulace [online]. [cit. 2021-04-20], <https://www.dixell.cz/teorie-regulace/>.

DOSTÁL, P. A GAZDOŠ, F. (2006), 1.3 Zpětná Laplaceova transformace [online]. [cit. 2021-05-04], <http://rtp.webzdarma.cz/laplace3.php>.

FISCHER TECHNIK (2015), Einzelteilliste [online]. [cit. 2021-07-09], <https://www.fischertechnik.de/de-de/service/downloads/einzelteiluebersicht>.

FISCHER TECHNIK (2016), 536628 Sorting Line with Detection 24V [online]. [cit. 2021-04-16], <https://www.fischertechnik.de/-/media/fischertechnik/fite/service>.

JONGEUN, CHOI. (2007), ME451_S07_lecture17 [online]. [cit. 2009-05-01], https://www.egr.msu.edu/classes/me451/jchoi/2007/handouts/ME451_S07_lecture17.

- KADLEC, K. A KMÍNEK, M. (2005), Regulované soustavy [online]. [cit. 2009-05-01], [⟨http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F3/F3k32-sous.htm⟩](http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F3/F3k32-sous.htm).
- KOHOUT, L. (2008), Teorie řízení [online]. [cit. 2021-04-20], [⟨http://www.edumat.cz/texty/teorie_rizeni.pdf⟩](http://www.edumat.cz/texty/teorie_rizeni.pdf).
- MILAN, V., ZORA, J. A JIŘÍ, D. (2012), Identifikace soustav [online]. [cit. 2009-05-01], [⟨http://books.fs.vsb.cz/Identifikace/str/metody.htm/⟩](http://books.fs.vsb.cz/Identifikace/str/metody.htm/).
- NOVOTNÝ, P. (2012), Základy řízení energetických stroju [online]. [cit. 2021-05-01], [⟨https://kke.zcu.cz/https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/19/IUT/123_Zaklady_rizeni_energetickych_stroju_2-_Novotny_-_P2.pdf⟩](https://kke.zcu.cz/https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/19/IUT/123_Zaklady_rizeni_energetickych_stroju_2-_Novotny_-_P2.pdf).
- PODEŠVA, J. (2007), Kmitání [online]. [cit. 2021-05-01], [⟨https://slideplayer.cz/slide/3000358/⟩](https://slideplayer.cz/slide/3000358/).
- RICHTER, M. (2006), Identifikace soustav [online]. [cit. 2021-04-16], [⟨https://www.uamt.feec.vutbr.cz/richter/main/BRR2/cviceni/identifikace.html⟩](https://www.uamt.feec.vutbr.cz/richter/main/BRR2/cviceni/identifikace.html).
- ROUBAL, J., HUŠEK, P. A KOL. (2011), *Regulační technika v příkladech*, Praha: BEN – technická literatura. ISBN 978-80-7300-260-2.
- ŠYPÁK, M. (2009), Vypracování elektronických podkladů pro přednášky z předmětu Identifikace systému, (Bakalářská práce), Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, FEL, Zlín.

Příloha A

Obsah přiloženého CD/DVD

K této práci je přiloženo CD/DVD s následující adresářovou strukturou.

Absolventská práce v \LaTeX 2_ε

Výsledky z měření

3D model

Simulinkový model s virtuální realitou

Fousek_AP_2020_2021.pdf – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

L^AT_EX 2_ε [⟨http://www.miktex.org/⟩](http://www.miktex.org/)

MATLAB/Simulink R2006b [⟨http://www.mathworks.com/⟩](http://www.mathworks.com/)

SolidWorks [⟨https://solidweb.cz/⟩](https://solidweb.cz/)

WinEdt 5.3 [⟨http://www.winedt.com/⟩](http://www.winedt.com/)

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto práci.

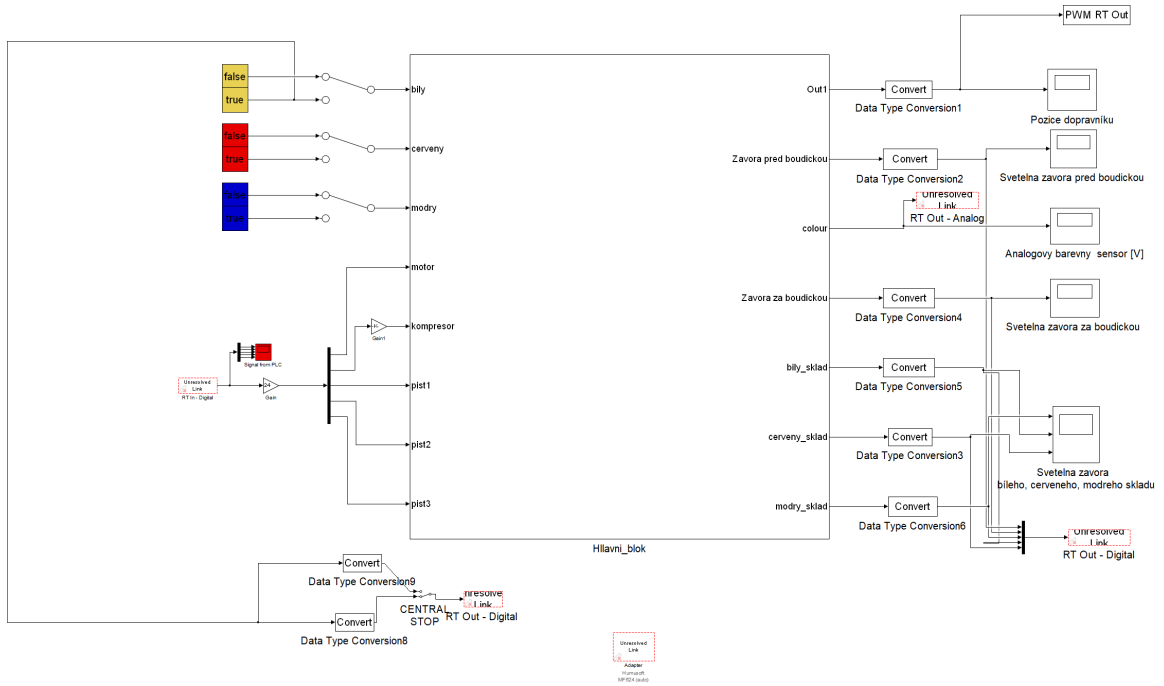
Příloha C

Časový plán absolventské práce

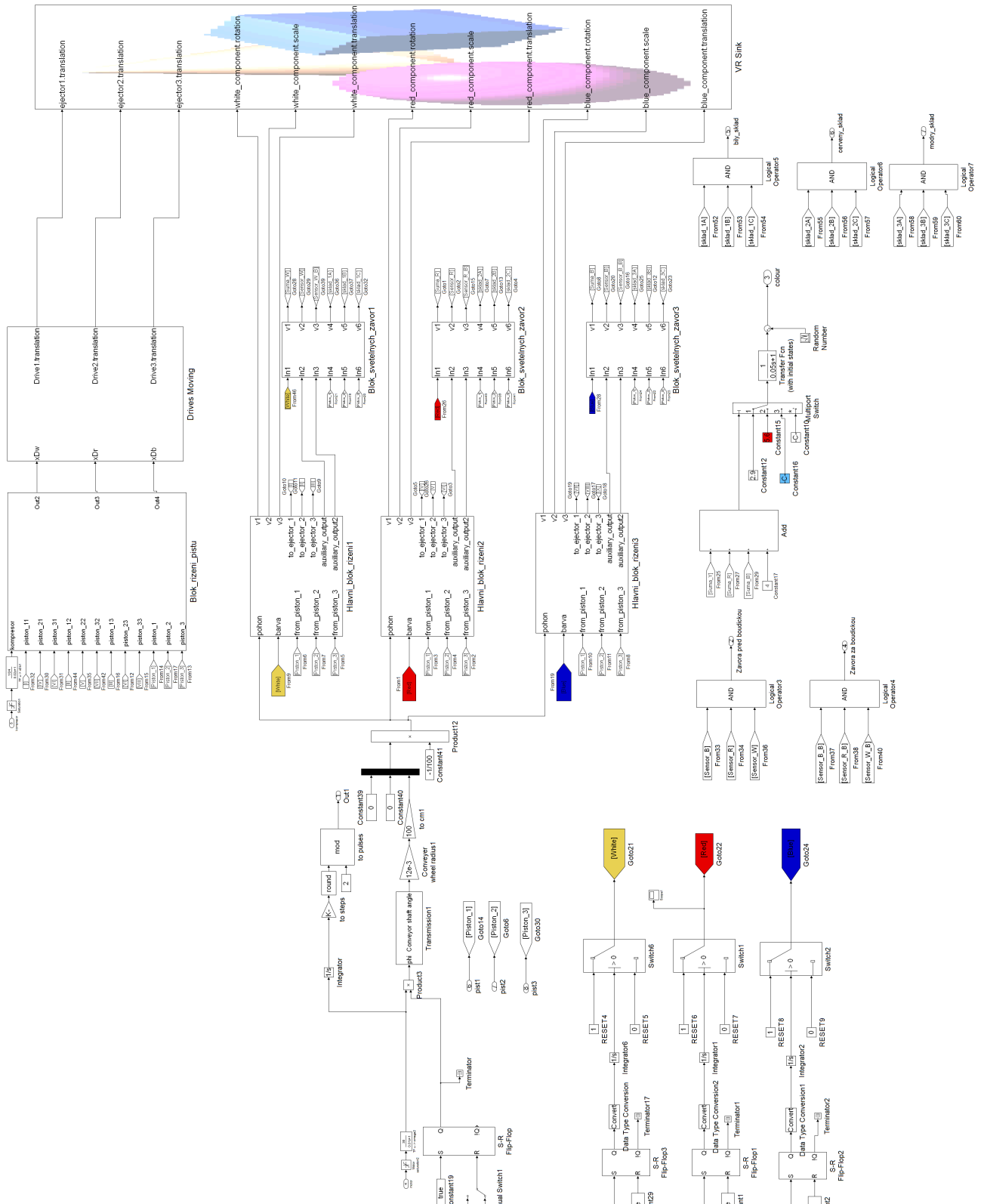
Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
Tvorba 3D počítačového modelu	2 týdny	18.09.2020	20.09.2020
Tvorba Simulinkového modelu	2 měsíce	20.11.2020	03.02.2021
Úpravy 3D počítačového modelu	1 den	04.02.2021	06.02.2021
Úprava Simulinkového modelu	1 týden	13.02.2021	28.02.2021
AP: kapitola Úvod	2 týdny	14.03.2021	14.03.2021
AP: kompletní text	1 měsíc	14.04.2021	1.06.2021
Zkouška funkčnosti Simulinkového modelu	1 den	01.06.2021	01.06.2021
Dodatečné úpravy Simulinkového modelu	2 dny	03.06.2021	13.06.2021
Zkouška funkčnosti Simulinkového modelu	1 den	14.06.2021	16.06.2021
AP úpravy textu	1 týden	23.06.2021	07.07.2021
AP úprava formátu Simulinkového schématu	2 dny	09.07.2021	17.07.2021
Přestávka	1 měsíc	17.07.2021	18.07.2021
AP závěrečné úpravy textu	1 týden	24.08.2021	23.08.2021

Příloha D

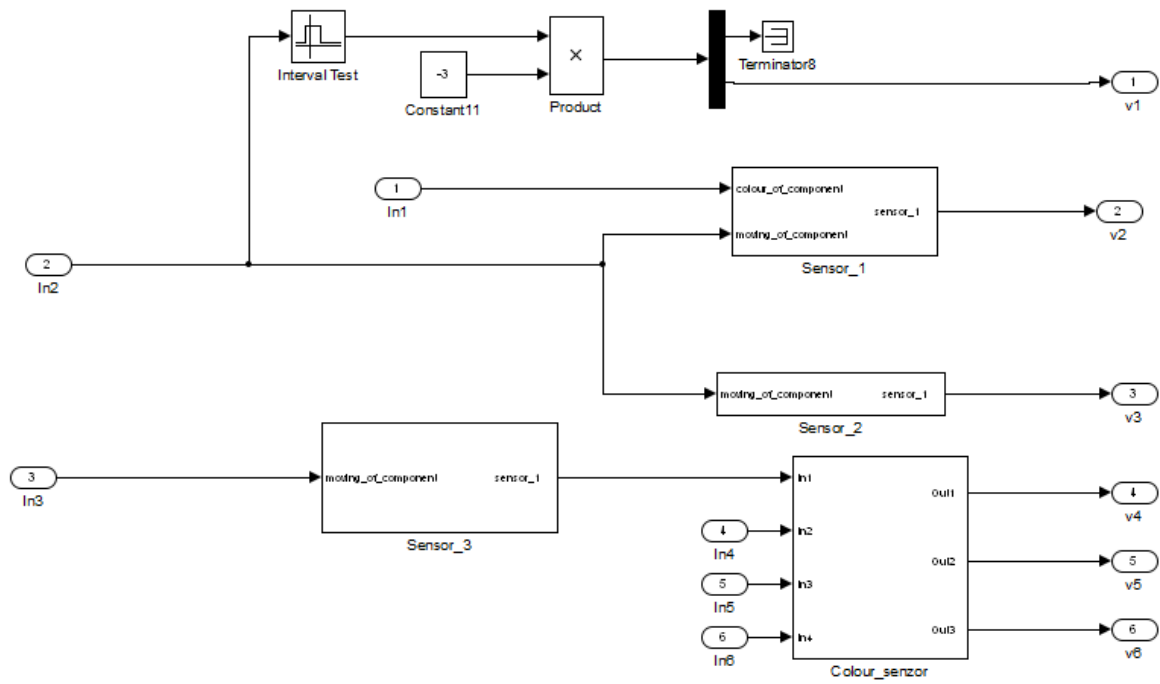
Bloky Simulinku



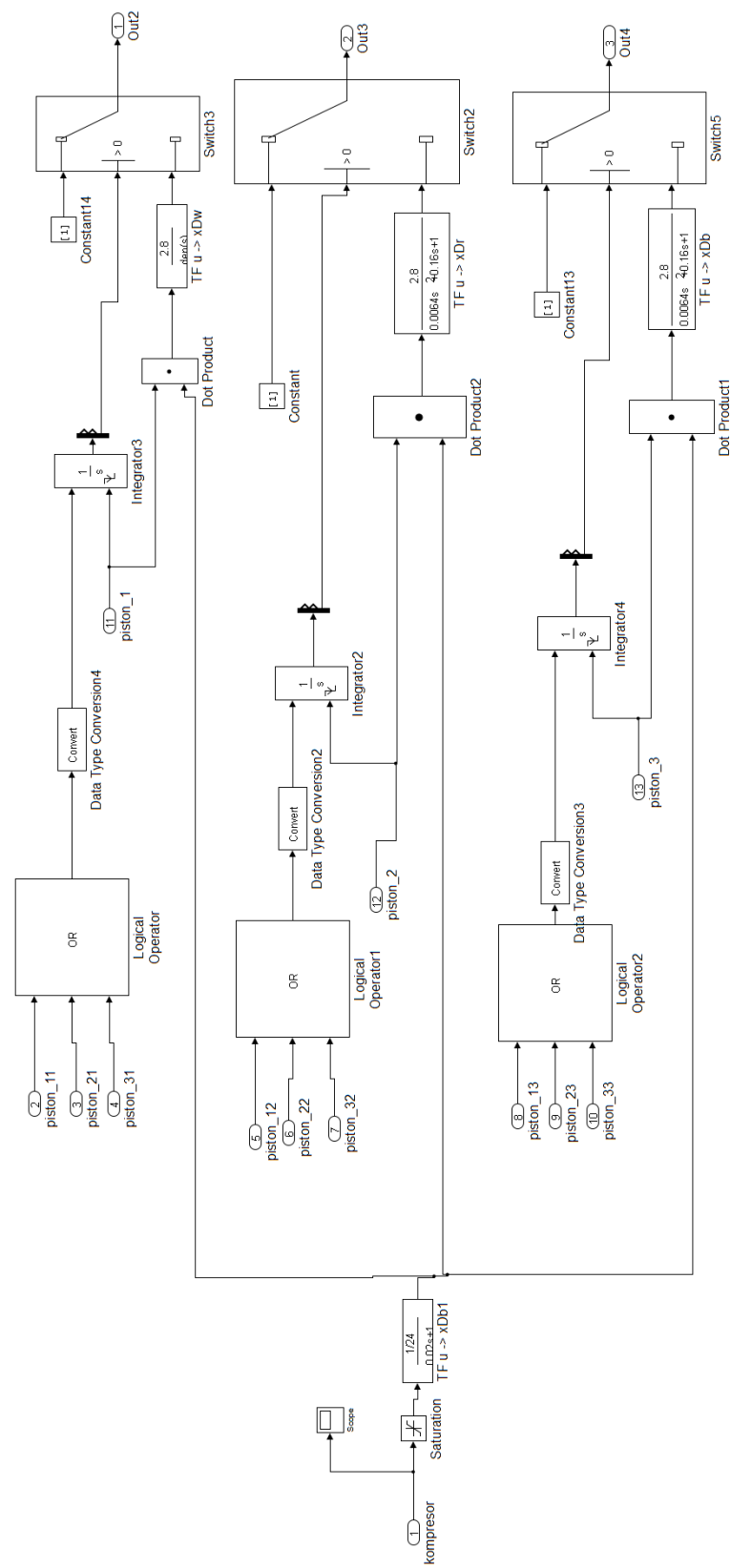
Obrázek D.1: Úvodní blok



Obrázek D.2: Hlavní blok



Obrázek D.4: Blok světelných závor



Obrázek D.5: Blok řízení pístu