



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SIMULÁTORY LABORATORNÍCH MODELŮ "KULIČKY" A "KMENY" V PROSTŘEDÍ CONTROL WEB

SIMULATORS OF "BALLS" AND "TRUNKS" LABORATORY MODELS IN CONTROL WEB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Chalupa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**
Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Petr Chalupa

ID: 164297

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Simulátory laboratorních modelů "kuličky" a "kmeny" v prostředí Control Web

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište laboratorní modely kuličky a kmeny z pohledu funkčnosti a elektrického zapojení.
2. Seznamte se s prostředím Control Web a vytvořte simulátory uvedených laboratorních modelů.
3. Vyberte vhodný programovatelný automat a vytvořte propojení automatu se simulátory.
4. Ověřte funkčnost simulátorů pomocí připojeného programovatelného automatu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Moravské přístroje a.s.. Programový systém Control Web [online]. ©2003. Dostupné z: <http://www.moravinst.com/art?id=380&lang=405>.

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

Konzultant:



doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je vytvoření dvojice simulátorů laboratorních modelů. Konkrétně se jedná o modely Třídačky kmenů a Dávkovače kuliček v prostředí Control Web 5. Simulátory budou použity při výuce programování programovatelných automatů, jako ukázka práce s virtuálním modelem. Zároveň je bude možné využít jako náhradu za reálné modely. Součástí práce je také popis původních modelů a uvádím zde také konfiguraci komunikace simulátorů a programovatelného automatu. Na závěr práce se zaměřuji na testování funkčnosti simulátorů.

Klíčová slova

PLC, simulátor Třídačky kmenů, simulátor Dávkovače kuliček, Control Web 5

Abstract

The subject of this bachelor thesis is creating two simulators of laboratory models. They are Strain sorter and Dispenser of the balls in the Control Web 5. These simulators will be use during lessons of programming programmable automation controllers to demonstrate working with virtual models. Also, these simulators can replace original models. This thesis also include description of these two models and description of configuration communication between simulator and programmable automation controller. In the end, I am focusing on the testing these models.

Keywords

PLC, simulation of Strain sorter, simulation of Dispenser of the balls, Control Web 5

Bibliografická citace:

CHALUPA, P. Simulátory laboratorních modelů "kuličky" a "kmeny" v prostředí Control Web. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Simulátory laboratorních modelů "kuličky" a "kmeny" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **21. května 2018**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Jirglovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **21. května 2018**

.....
podpis autora

OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Popis laboratorních modelů.....	11
2.1	Model Třídačky kmenů	11
2.1.1	Zadání úlohy.....	12
2.1.2	Elektrické zapojení modelu Třídačky kmenů	13
2.2	Model Dávkování kuliček.....	15
2.2.1	Zadání úlohy.....	15
2.2.2	Elektrické zapojení modelu Dávkovače kuliček	16
3	Softwarové prostředky pro tvorbu simulátorů	19
3.1	Control Web 5.....	19
3.1.1	Grafické nástroje Control Webu	20
3.1.2	Založení projektu	21
3.1.3	Vytváření programu	21
3.2	Tvorba 3D modelů v prostředí FUSION 360	21
4	Realizace simulátorů	23
4.1	Simulátor modelu Třídačky kmenů	24
4.1.1	Popis simulátoru.....	24
4.1.2	Řešení algoritmu	26
4.2	Simulátor modelu Dávkování kuliček	29
4.2.1	Popis simulátoru.....	29
4.2.2	Řešení algoritmu	30
5	Propojení simulátorů S PLC.....	33
5.1	Realizace propojení.....	33
5.2	Konfigurace PLC	34
5.3	Konfigurace Control Webu.....	34
5.4	Proměnné simulátoru Třídačky kmen.	36
5.5	Proměnné simulátoru Dávkovače kuliček	37
6	Testování simulátorů	38
6.1	Testování simulátoru Třídačky kmenů	38
6.2	Testování simulátoru Dávkování kuliček	41
6.3	Výsledek testování	44
6.4	Verifikace řídicího systému na reálných modelech.....	44
7	Závěr	46

Seznam obrázků

Obrázek 1: Model Třídíčky kmenů.....	11
Obrázek 2: Popis komponentů modelu.....	12
Obrázek 3: Univerzální řídicí deska	13
Obrázek 4: Schéma zapojení plošného spoje pro ovládání lopatek.....	13
Obrázek 5: Canon konektor	14
Obrázek 6: Model Dávkování kuliček	15
Obrázek 7: Popis komponent.....	16
Obrázek 8: Control Web 5	19
Obrázek 9: Control Web 5-Paleta přístrojů	20
Obrázek 10: Založení projektu	21
Obrázek 11: Program Fusion 360	22
Obrázek 12: 3D model Třídíčky kmenů	22
Obrázek 13: Třídíčka kmenů-vizualizace	24
Obrázek 14: Třídíčka kmenů-simulátor.....	25
Obrázek 15: Diagram funkčnosti simulátoru Třídíčky kmenů.....	26
Obrázek 16: Definice pohybu velkého kmenu	27
Obrázek 17: Podmínka pro pohybu kmenu	28
Obrázek 18: Nastavení snímače.....	28
Obrázek 19: Podmínka pro přesunutí kmenu	28
Obrázek 20: Dávkovač kuliček-vizualizace	29
Obrázek 21: Dávkování kuliček-simulátor	30
Obrázek 22: Diagram funkčnosti simulátoru Dávkovače kuliček	30
Obrázek 23: Plnění prvního válce.....	32
Obrázek 24: Odečtení kuličky z válce	32
Obrázek 25: Podmínka pro snímač	32
Obrázek 26: Komunikace PLC a Simulátorů	33
Obrázek 27: Diagram komunikace protokolu MODBUS.....	33
Obrázek 28: Blok MB_SERVER	34
Obrázek 29: Diagram funkce programu pro PLC.....	38
Obrázek 30: Start dopravníku	39
Obrázek 31: Detekce velikosti kmenu	39
Obrázek 32: Reset velikosti kmenu	39
Obrázek 33: Spuštění K1	40
Obrázek 34: Čítač kmenů v zásobníku	40
Obrázek 35: Diagram funkce programu pro PLC.....	41
Obrázek 36: Volání bloku FB2	41
Obrázek 37: Inicializační stav.....	42
Obrázek 38: Nouzové zastavení	42
Obrázek 39: Stav při plnění válců.....	42
Obrázek 40: Kontrola počtu vydaných kuliček	43

Obrázek 41: První sekvence dávkování.....	43
Obrázek 42: Druhá sekvence dávkování	43

Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam digitálních vstupů připojených na konektor Canon	14
Tabulka 2: Seznam digitálních výstupů připojených na konektor Canon	14
Tabulka 3: Soupis elektrických komponent modelu Dávkování kuliček	17
Tabulka 4: Seznam digitálních vstupů připojených na konektor Canon	17
Tabulka 5: Seznam digitálních výstupů připojených na konektor Canon	18
Tabulka 6: Seznam komunikačních kanálů simulátoru	26
Tabulka 7: Seznam globálních proměnných simulátoru.....	27
Tabulka 8: Seznam globálních proměnných simulátoru.....	31
Tabulka 9: Seznam komunikačních kanálů simulátoru	31
Tabulka 10: Seznam proměnných simulátoru Třídíčky kmenů.....	36
Tabulka 11: Seznam proměnných simulátoru Dávkování kuliček	37

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se bude zabývat vytvořením softwarových simulátorů pro dva laboratorní modely. Konkrétně se jedná o modely Třídičky kmenů a Dávkovače kuliček, které slouží při výuce programování programovatelných automatů. Simulátory vytvořené v rámci této práce budou použity při výuce jako softwarová náhrada za fyzický model. Simulátory by se měly chovat podobně jako reálné předlohy a kód připravený pro programovatelný automat půjde využít i v případě fyzických modelů. Studenti si tak budou moci vyzkoušet tvorbu programu pro virtuální nástroj a následné spuštění vytvořeného kódu na reálném modelu. Toto vychází z dnešních požadavků na průmyslovou automatizaci, kdy se simulací předchází možným materiálním ztrátám.

Pro tvorbu simulátorů jsem zvolil prostředí Control Web 5. Tento software vyvíjí firma Moravské přístroje a.s. a jedná se o řídicí a vizualizační software. Zároveň obsahuje řadu dalších nástrojů, kterým se v této práci budu také věnovat. Toto prostředí dovoluje užití 3D modelů, proto pro simulaci využiji trojrozměrné modely. Pro tvorbu 3D modelů využiji program Fusion 360 a Blender. V této práci také popíši postup tvorby těchto modelů.

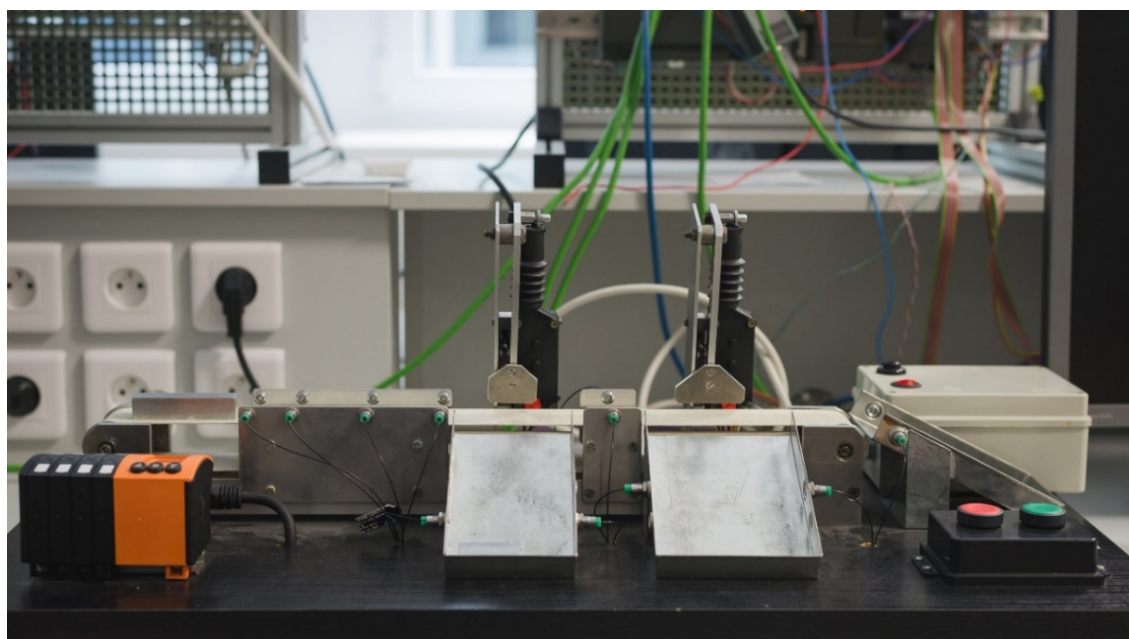
Před samotnou tvorbou simulátorů bude třeba zdokumentovat oba modely. Na základě těchto znalostí pak bude možné vytvořit tzv. virtuální modely jakožto digitální podobu reálných modelů. Chování simulátorů budu testovat s připojeným programovatelným automatem, pro který budu vyvíjet programy na základě zadání pro daný model. Tímto ověřím, zda je simulátor funkční a schopný reagovat na řídicí program v programovatelném automatu. Zároveň se v této části budu snažit odstranit chyby simulátorů. Programy budu vyvíjet v prostředí TIA Portal 13. Ke komunikaci simulátorů a programovatelného automatu využiji protokol MODBUS TCP/IP. Nakonec ověřím funkčnost programů vytvořeného pro simulátory na reálném modelu. Tímto ověřím jejich podobnost a shrnu případné rozdíly a náměty na úpravy.

2 POPIS LABORATORNÍCH MODELŮ

Modely, kterým se v práci věnuji, jsou využívány pro výuku programování programovatelných automatů (dále jen PLC). První z nich je model Třídačky kmenů, který popisuji v kapitole 2.1. Druhý je pak model Dávkovače kuliček, jemuž se věnuji v kapitole 2.2. K oběma modelům jsou zároveň vypracována zadání, ve kterých je popsáno, jak mají modely fungovat. Zadání jsou dělána tak, aby si studenti vyzkoušeli různé programovací nástroje. Oba modely jsou připojeny k PLC od firmy Siemens. Elektrickému zapojení modelů se věnuji v kapitolách 2.1.2 a 2.2.2. Simulátory jsem vytvořil v programu Control Web 5 (kapitola 3.1) a pro otestování funkčnosti jsem vytvořil programy v prostředí TIA Portal 13.

2.1 Model Třídačky kmenů

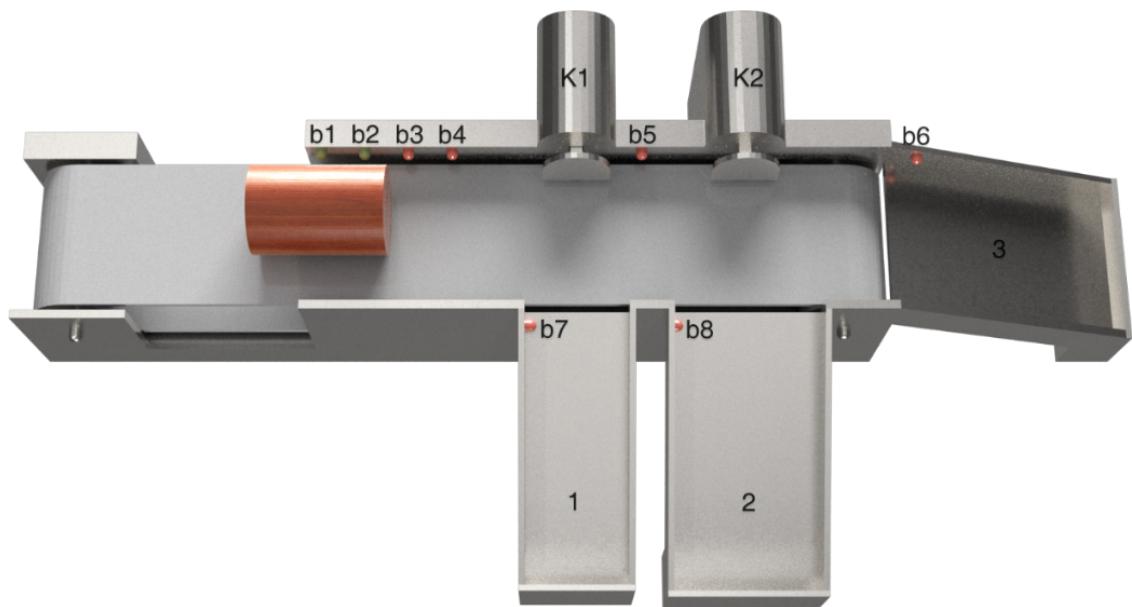
Tento model (obrázek 1) slouží k selekci tří různých velikostí kmenů (hliníkové kvádry) do tří připravených nádob. Kmeny postupně přijíždějí po pásu a během toho se pomocí série snímačů, rozmístěných v hliníkovém rámu, rozpozná jejich velikost. Následně s využitím dvou mechanických ramen, jsou studenti schopni přemísťovat kmeny do připravených nádob. Model je opatřen dvojicí tlačítek pro *Start* a *Stop*. Snímače jsou zde realizovány jako optické závory. Tato úloha je vhodná k logickému řízení.



Obrázek 1: Model Třídačky kmenů

2.1.1 Zadání úlohy

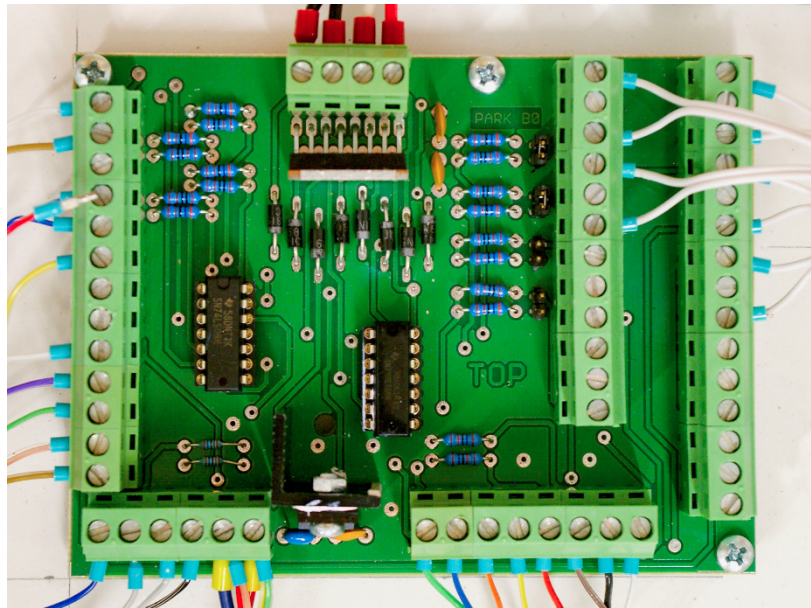
Zadání úlohy jsem převzal z dokumentu [1]. Dopravník se uvede do chodu stiskem tlačítka START. Zároveň se změní světelná indikace (červená – kmen je na pásu, zelená – je možné položit další kmen). Po dopravníku postupně přijíždějí kmeny tří různých velikostí. Pomocí série snímačů $b1$, $b2$, $b3$ a $b4$ se rozlišují velikosti kmenů. Nejmenší kmeny se pomocí manipulátoru $K1$ umístí do prvního boxu. Spadnutí kmenu do boxu je indikováno pomocí senzoru $b7$. Středně velké kmeny se umisťují pomocí manipulátoru $K2$ do druhého boxu. Kmen v boxu indikuje snímač $b8$. Největší velikosti kmenů se nechají dojet po dopravníku až na konec, kde spadnou do třetího boxu. Kmen v boxu indikuje snímač $b6$. Další kmeny lze očekávat až tehdy, kdy aktuální kmen na dopravníku spadne do boxu. Model je možné zastavit tlačítkem STOP. Na obrázku 2 se nachází popis a umístění komponentů modelu.



Obrázek 2: Popis komponentů modelu

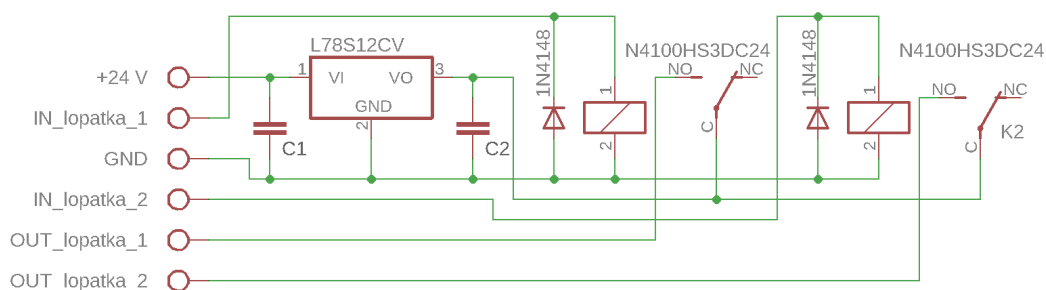
2.1.2 Elektrické zapojení modelu Třídačky kmenů

Modely jsou využívány studenty při hodinách programování PLC. Vzhledem k unifikaci jednotlivých modelů v laboratoři vznikla univerzální řídicí deska, viz. obrázek 3. Tato deska obsahuje H-můstek pro možnost řízení směru otáčení DC motorů na modelech a zároveň obsahuje obvody pro připojení bezpečnostních čidel modelů pro možnost odepnutí pohonu v případě programově neošetřeného dosažení koncové polohy. Podrobná dokumentace je k dispozici v [11]. Schéma připojení prvků modelu Třídačka kmenů je k dispozici v příloze číslo 5. Přílohy 6 a 7 obsahují obrázky plošného spoje z obou stran.



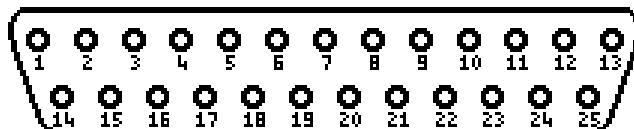
Obrázek 3: Univerzální řídicí deska

Připojení selenoidů pro ovládání lopatek K1 a K2 je realizováno přes stabilizátor napětí L78S12CV, aby bylo možné tyto lopatky ovládat pouze 12 V namísto 24 V přímo na digitálním výstupu PLC z důvodu omezení síly výhozu. Schéma zapojení tohoto obvodu je na obrázku 4.



Obrázek 4: Schéma zapojení plošného spoje pro ovládání lopatek

Propojení periferií modelu s PLC je realizováno pomocí 25-pinového Canon konektoru (obrázek 5), na jehož piny jsou přivedeny vstupy a výstupy modelu a PLC. V tabulce 1 a 2 je pak popis vstupů a výstupů modelu připojených na tento konektor.



Obrázek 5: Canon konektor

Tabulka 1: Seznam digitálních vstupů připojených na konektor Canon

Pin	Popis
1	tlačítko Start
2	senzor b2
3	senzor b6
4	senzor b3
5	senzor b1
14	tlačítko Stop
15	senzor b5
16	senzor b8
17	senzor b4
18	senzor b7

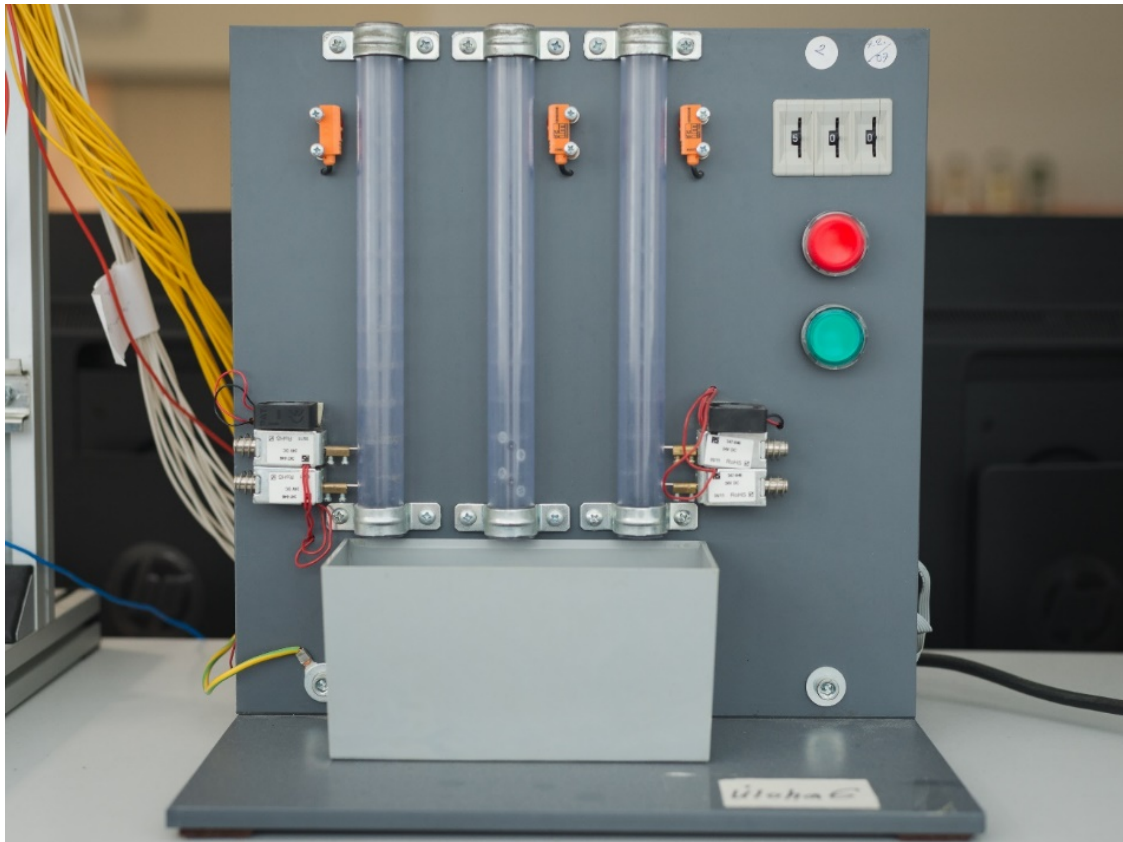
Tabulka 2: Seznam digitálních výstupů připojených na konektor Canon

Pin	Popis
7	lopatka K1
8	dopravník
9	zelená LED
10	lopatka K2
11	červená LED

Zem GND je připojená na piny 13 a 25. Ostatní piny jsou nevyužité.

2.2 Model Dávkování kuliček

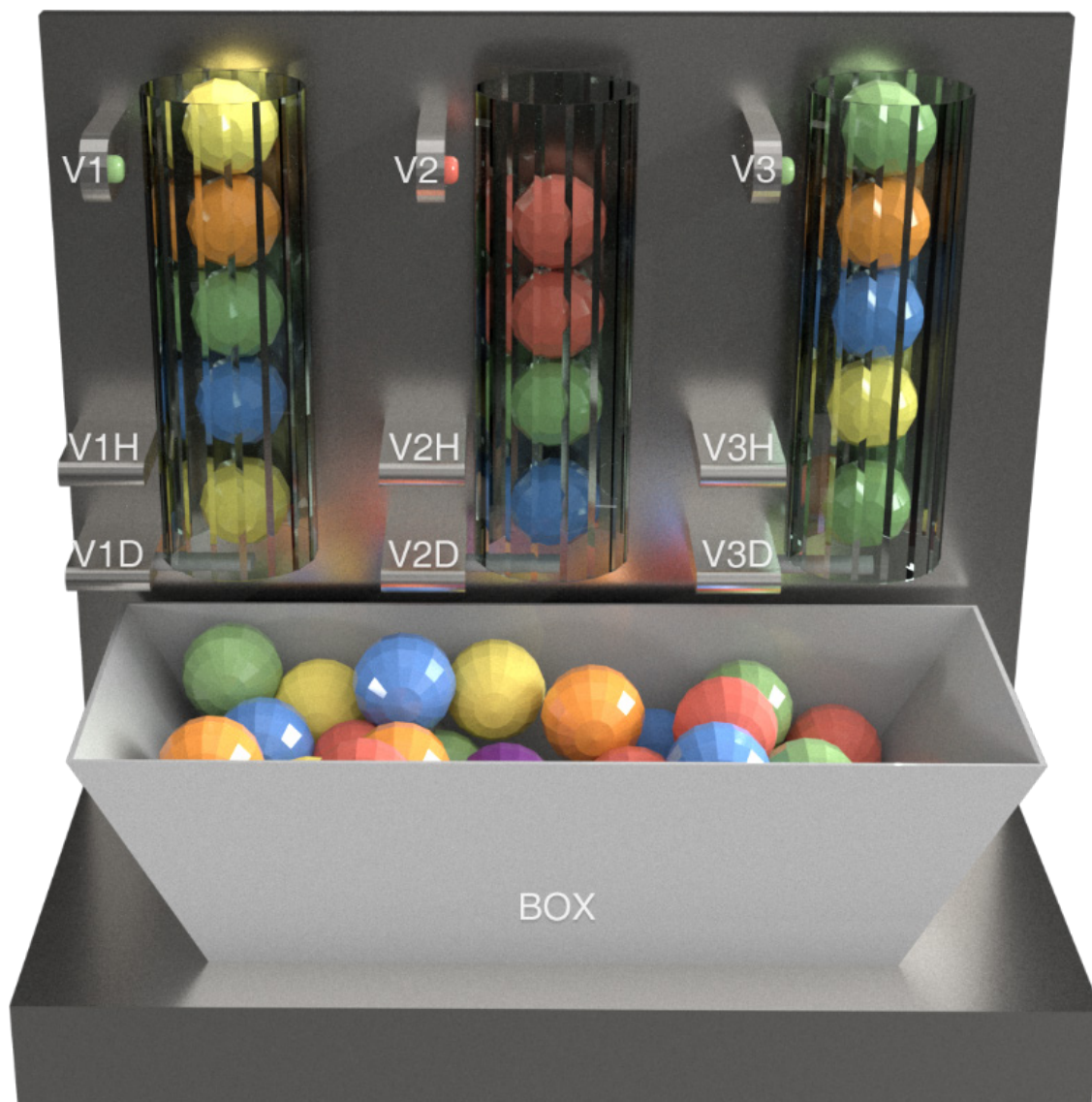
Tento model (obrázek 6) slouží k dávkování zvoleného počtu kuliček ze tří válců. Počet kuliček k dávkování se volí na otočném nastavovači v pravém horním rohu modelu. Pod ním je dvojice tlačítek *Start* a *Stop*, které fungují zároveň jako signálky. Válce jsou plněny kuličkami shora, kde se u každého vrcholu válce nachází snímač. Tento snímač slouží k indikaci stavu, kdy je válec naplněn kuličkami po okraj. Na spodní straně válců se nachází dvojice západek. Díky nim je možné, po správném naprogramování, dávkovat kuličky. Ty padají do připraveného boxu, jehož přítomnost je indikována snímačem. Úloha je vhodná k sekvenčnímu programování.



Obrázek 6: Model Dávkování kuliček

2.2.1 Zadání úlohy

Zadání úlohy jsem převzal z dokumentu [1]. Po stisku tlačítka *Start* se aktivují dolní západky válců a rozsvítí se zelená signálka. Naplnění válců indikují snímače ve vrchních částech válců. Je-li přítomný zásobník a válce jsou naplněné, je možné spustit dávkování opětovným stiskem tlačítka *Start*. Z otočného nastavovače se odečte hodnota, kolik kuliček se má dávkovat. Dávkování probíhá u všech válců paralelně. Vypuštění jedné kuličky z válce je možné díky střídání stavů na západkách. Program lze zastavit v libovolném bodě stiskem tlačítka *STOP*, kdy dojde k rozsvícení červené signálky a uvolnění všech západek. Umístění jednotlivých komponentů modelu je na obrázku 7.



Obrázek 7: Popis komponent

2.2.2 Elektrické zapojení modelu Dávkače kuliček

Model dávkování kuliček neobsahuje žádné pohony, tudíž jeho základem není, na rozdíl od ostatních modelů, univerzální řídicí deska popsaná v předchozí podkapitole. Soupis elektrických komponentů modelu je v následující tabulce 3.

Tabulka 3: Soupis elektrických komponent modelu Dávkování kuliček

Komponenta	Výrobce /typ
Spínaný zdroj 24 V / 1,25 A	BKE JS-30-240/DIN
Regulátor napětí 12 V / 1,5 A	ST L7812CV
Reflexní proximní snímač	Ifm OH5008
Přístrojové tlačítko	Shnider ZBE101
LED signalizace tlačítka	Shnider ZBVB3/4
Číslicový otočný volič	Tesla TS 211 02 01
Relé s patičí na DIN	Finder relé - 40.61, patice - 95.05
Solenoid	RS 44A 220 621 720
Ventilátor 12 V	Sunon KDE1202PFB2-8
Mikrospínač s kladkou	ZIPPY SM-05S-05A0-Z

Díky otočnému voliči obsahuje model poměrně velké množství digitálních vstupů a výstupů (I/O). Proto je model vybaven dvěma samostatnými konektory CANON 25, jeden pro digitální vstupy, druhý pro digitální výstupy. Schéma zapojení tohoto modelu společně s popisem připojení jednotlivých komponent modelu na konektory CANON 25 lze nalézt v příloze číslo 8 a 9 [11]. V tabulce 4 a 5 je pak popis vstupů a výstupů modelu připojených na tyto konektory.

Tabulka 4: Seznam digitálních vstupů připojených na konektor Canon

Pin	Popis
1	BCD1
2	BCD1
3	BCD1
4	BCD1
5	BCD2
6	BCD2
7	BCD2
8	BCD2
9	BCD3
10	BCD3
11	BCD3
12	BCD3
13	snímač b1
14	snímač b2
15	snímač b3
16	Snímač přítomnosti boxu
17	tlačítko Stop
18	tlačítko Start

Tabulka 5: Seznam digitálních výstupů připojených na konektor Canon

Pin	Popis
1	západka V1H
2	západka V1D
3	západka V2H
4	západka V2D
5	západka V3H
6	západka V3D
7	ventilátory
8	červená LED
9	zelená LED

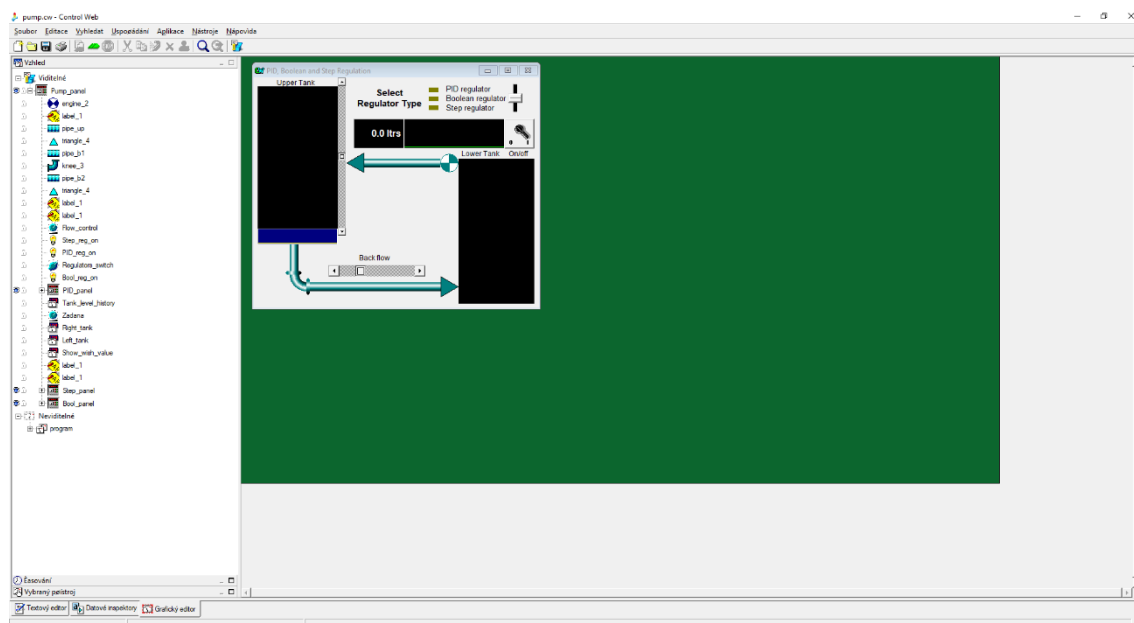
Zem GND je připojená na piny 22, 23, 24 a 25. Ostatní piny jsou nevyužité.

3 SOFTWAREVÉ PROSTŘEDKY PRO TVORBU SIMULÁTORŮ

Pro tvorbu simulátorů jsem využil řadu programů. V první řadě hlavně program Control Web ve verzi 5, ve kterém jsem realizoval simulátory. Pro tvorbu modelů jsem využil program FUSION 360 a Blender. Během testování simulátorů jsem využíval program TIA Portal ve verzi 13. Těmito programy se budu v této kapitole zabývat.

3.1 Control Web 5

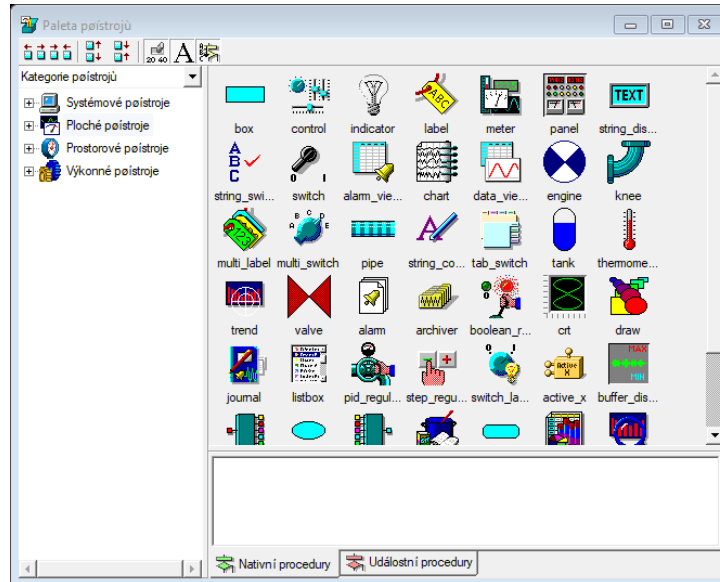
Control Web 5 (obrázek 8) je sofistikovaný programový nástroj, který ve všech ohledech nahrazuje SCADA systémy a dokáže rozšířit schopnosti řídicího systému. Velkou výhodou představuje pro malé vestavěné systémy, které díky integraci Control Webu získají více komunikačních kanálů bez nutnosti dokupovat hardware. Tímto krokem získá řídicí systém rozhraní pro Wi-Fi, Bluetooth, USB, tedy obvyklé vybavení dnešního PC. Control Web je také vybaven virtuálním HTTP serverem, díky kterému je možné realizovat bezobslužný běh [2].



Obrázek 8: Control Web 5

3.1.1 Grafické nástroje Control Webu

Control Web je hlavně vizualizační software, proto obsahuje řadu nástrojů pro tvorbu vzhledu aplikace. Výrobce vytvořil sadu předpřipravených 2D a 3D komponentů, které je možné vsadit do programu. Výběr těchto prvků probíhá skrze okno „Paleta nástrojů“, viz. obrázek 9.



Obrázek 9: Control Web 5-Paleta nástrojů

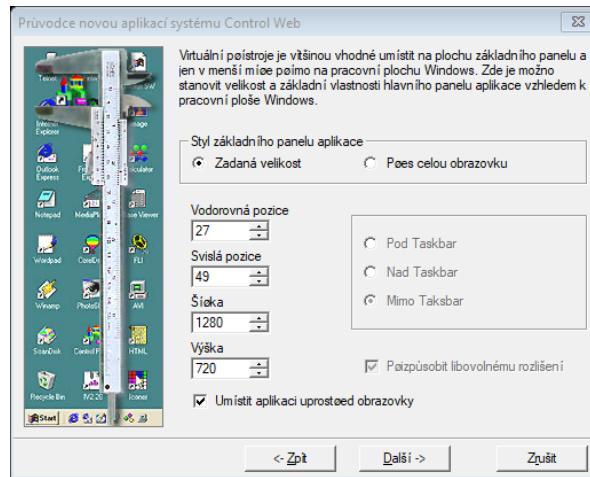
Tyto komponenty je možné v rámci mezí upravovat a některé z nich obsahují i variace zobrazení. Například u nástroje *meter* je možné vybrat analogové nebo digitální zobrazování hodnoty. Ovšem tyto komponenty nemusí vyhovovat každé aplikaci, proto výrobce přidal jednoduchý rastrový grafický editor. Tento editor obsahuje jen několik grafických nástrojů. V případě požadavku tvorby více sofistikovaných obrázků, je možné vložit vlastní rastrový obraz, který je připravený v externí aplikaci.

V případě 3D grafiky je to podobné. Výrobce opět implementoval řadu 3D modelů. Stejně tak je možné vložit vlastní model ve formátu .obj nebo .3ds. To znamená opět využít externí 3D modelovací nástroj. Samotný Control Web 5 totiž neumožňuje tvorbu 3D modelu. Importovaný model je pak možno texturovat přímo v Control Webu. 3D model se zasazuje do prostředí, ve kterém je možné nastavit světla a stíny, nebo pomocí dvojrozměrných obrázků vytvořit panorama kolem modelu. Jednotlivé snímky ukládá Control Web do sharderů, odkud je přebírá grafické API operačního systému [3]. V mém případě se tak o vykreslování postaralo rozhraní OpenGL.

Protože pro moje simulace Control Web neobsahoval požadované prvky, vytvořil jsem si vlastní modely.

3.1.2 Založení projektu

Založení nového projektu (obrázek 10) se sestává z několika kroků. Nejprve bylo nutné vybrat, zda budou mít komponenty programu možnost nastavení obnovovací frekvence nebo nikoliv. Jelikož pro mě bylo důležité, aby program reagoval na změnu dat bez nutnosti čekání, vybral jsem tedy možnost bez časování. Následně bylo potřeba zvolit velikost okna programu. Zvolil jsem HD rozlišení, tedy 1280x720 pixelů. Dále již následovala série kroků, které jsem nechal v původním nastavení.



Obrázek 10: Založení projektu

3.1.3 Vytváření programu

Programování v Control Webu je kombinace grafického „drag and drop“ a klasického psaní příkazů. Předpřipravené komponenty se vkládají z tzv. palety přístrojů na pracovní plochu, viz. obrázek 10. Každý komponent obsahuje řadu nastavení a jeho chování je možné upravit pomocí tzv. *procedur*. Komponenty je možné vrstvit a tím je možné dosáhnout určitého vzhledu aplikace.

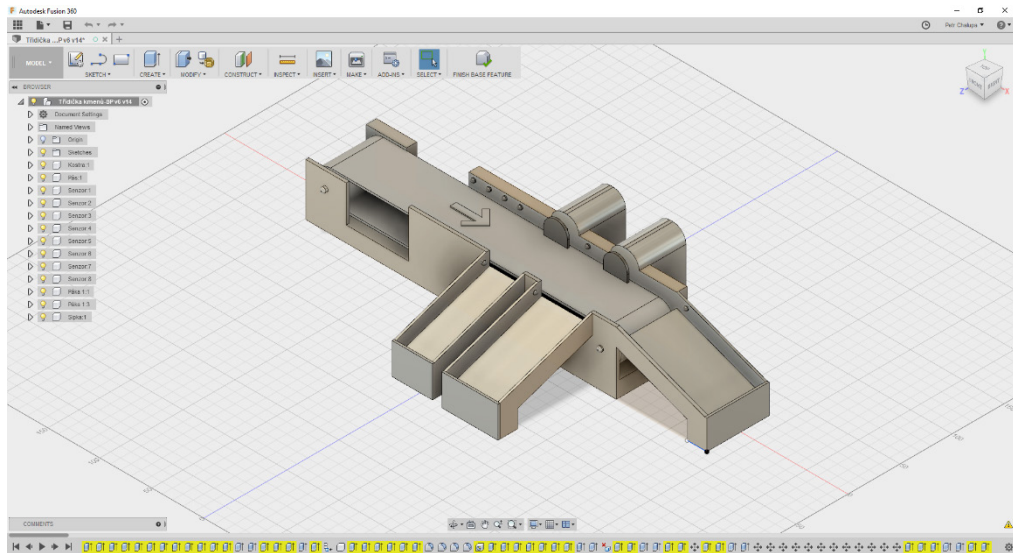
Programy se chovají tak, že cyklicky kontrolují kód programu. Tak vzniká možnost nastavení doby obnovení programu, tedy i rychlost reakce na určitý podnět. Toto nastavení se týká každého prvku zvlášť a je tedy možné prioritní objekty obnovovat častěji než ty ostatní.

3.2 Tvorba 3D modelů v prostředí FUSION 360

FUSION 360 (obrázek 11) je 3D CAD nástroj od firmy Autodesk. Obsahuje také nástroje pro simulaci (CAE) a podporu obrábění (CAM) [4]. Model je buď možné narysovat ve 2D a poté „vytáhnout“ do třetího rozměru, nebo z nabídky vybrat příslušný geometrický objekt a vložit jej do prostoru. V neposlední řadě je možné model vyexportovat pro další zpracování.

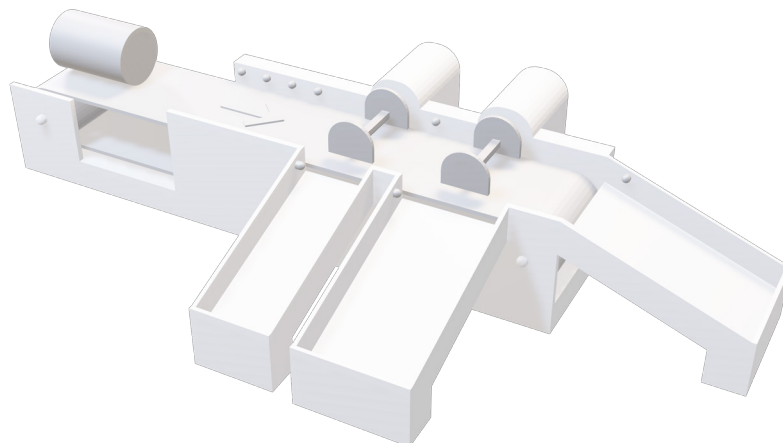
Modely jsem vytvářel na základě reálných předloh. Proto bylo nutné připravit 3D model, který obsahoval všechny komponenty reálné předlohy. Model jsem si nejprve

načrtl v 2D a poté pomocí funkce *Extrude* vytáhl hlavní části modelu do třetího rozměru. Následně jsem vytvářel rádiusy a otvory. V posledním kroku jsem model převedl na soustavu polygonů, aby jej bylo možné exportovat k dalšímu zpracování. Počet polygonů jsem nastavil tak, aby měl co nejmenší dopad na výkon počítače. To se projevilo například v rádiusech, kdy jsou vidět ostré přechody. Model jsem exportoval po částech, což bylo pro mě důležité během následného programování.



Obrázek 11: Program Fusion 360

Poté bylo nutné tyto části spojit do jednoho formátu. Proto jsem je všechny importoval do programu Blender, kde jsem je mohl přejmenovat a vyexportovat celý model v požadovaném formátu. Control Web 5 podporuje vložení formátu *.obj* a *.3ds*. Výsledný model Třídíčky kmenů je na obrázku 12.



Obrázek 12: 3D model Třídíčky kmenů

4 REALIZACE SIMULÁTORŮ

V dnešní době je trend simulovat systémy za účelem zvýšení efektivity práce při návrhu a následné implementaci řídicích systémů. Druhou oblastí jsou situace, kde by během přípravy programu mohlo dojít k materiálovým ztrátám, zraněním nebo usmrcení osob. V případě, kdy programátor pracuje na softwarovém modelu, jsou tato rizika odstraněna. Zároveň je možné včas odhalit chyby návrhu. Také vývoj je přesunut z provozních podmínek do kanceláře. Ovšem pracuje se s modelem, který se svojí předloze přibližuje jen s omezenou přesností.

Simulátory jsem realizoval v několika krocích. Nejprve jsem vytvořil 3D model. Následně jsem ho importoval do Control Webu, kde jsem vytvářel algoritmus pro simulátor. Nakonec jsem vše testoval pomocí PLC a programu v TIA Portalu. Výstupem je dvojice simulátorů, kterými je možné nahradit reálné modely a místo toho programovat na softwarovém zařízení. Toto má řadu výhod, například během programování nemůže dojít k poničení zařízení, které se programuje. Další výhodou je, že úprava je v softwarové úrovni a tak je jednodušší na manipulaci. Studenti v laboratořích si tak budou moci vyzkoušet práci se simulátorem.

V kapitole 3.2 jsem se zabýval tvorbou 3D modelů. Na to teď naváží a popíši, jak jsem tyto modely využil pro tvorbu simulátorů. Nejprve jsem vytvořil projekt v Control Webu, jeho založení se věnuji v kapitole 3.1.2. Po založení nového projektu jsem jako první nastavil komunikaci PC a PLC. Realizace propojení a konfigurace je popsána v kapitole 5. Dále jsem vytvořil sadu proměnných, které se mají posílat do PLC a obráceně. Zde jsem vycházel ze seznamu proměnných v tabulkách 10 a 11. Také jsem vytvořil sadu několika interních proměnných. Poté jsem vytvořil pracovní plochu pro import 3D modelu a nakonfiguroval základní parametry, jako osvětlení scény a pozice kamery. Dále jsem vytvořil ovládací panely pro obě simulace. Každá obsahuje svoji sadu tlačítek, signálů a zobrazovačů, podle svého charakteru.

Následně jsem začal programovat chování simulátoru. V první řadě byl požadavek na zachování fyzikálních vlastností modelu a jeho celkovou podobnost chování, jako v případě reálného modelu. Programování simulátorů se věnuji v kapitolách 4.1 a 4.2. Po dokončení simulátoru bylo zapotřebí otestovat jeho funkčnost a chování v různých stavech při programování PLC. Proto jsem k oběma modelům vytvořil program pro PLC a vyzkoušel i několik různých možností řešení úlohy. Testování komunikace a funkčnosti simulátorů se věnuji v kapitole 6.

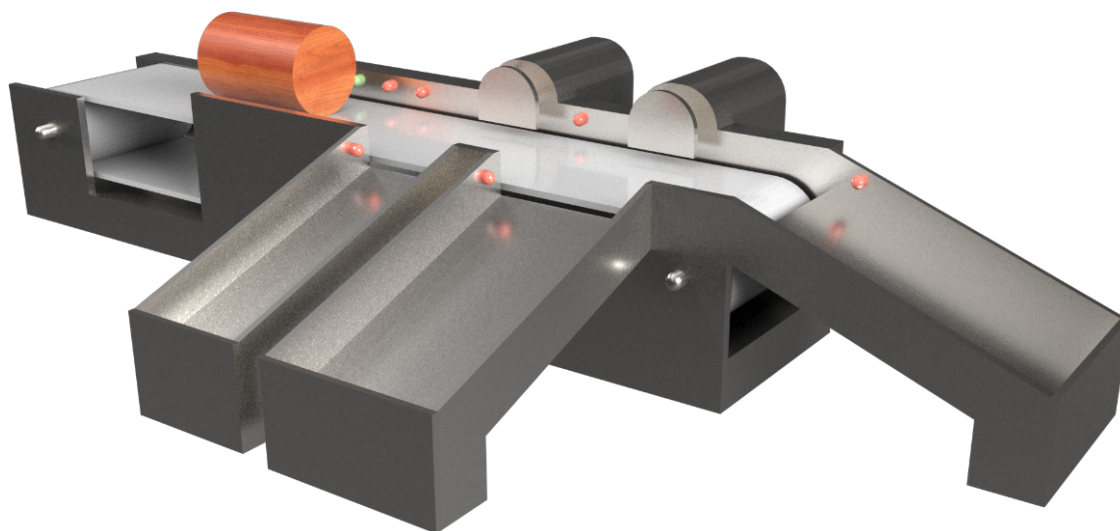
V posledním kroku jsem doladil vizuální stránku simulátorů. To se sestávalo hlavně ve volbě textur a pozic ovládacích prvků.

Oba simulátory je možné v budoucnu upravit a přizpůsobit je změnám zadání. Pro tvorbu 3D aplikace výrobce integroval několik předpřipravených modelů, ale je možné také vložit vlastní. Control Web dovoluje import ve formátech *.obj* a *.3ds*. S modelem lze v Control Webu dále pracovat ve smyslu jeho rotace, pozice a škálování. Model má vlastní dialogové okno, kde je možné nastavovat jeho vlastnosti a také psát program. Díky rozdělení modelu na více částí je možné programovat komponenty zvlášť. Například pro

pohyb kmenu po dopravníku pohybují pouze kmenem po vodorovné ose x, nikoliv celým modelem. Dále je zde možnost nastavit texturu modelu a světelnou scénu prostředí. O vykreslování grafiky se stará grafický akcelerátor a tak dojde k uvolnění prostředků CPU [5].

4.1 Simulátor modelu Třidičky kmenů

Simulátor modelu třidičky kmenů (obrázek 13) je softwarovou náhradou za reálný model. Po jeho spuštění je možné programovat PLC stejně, jako v případě reálného modelu. Simulátor běží v prostředí Control Webu.



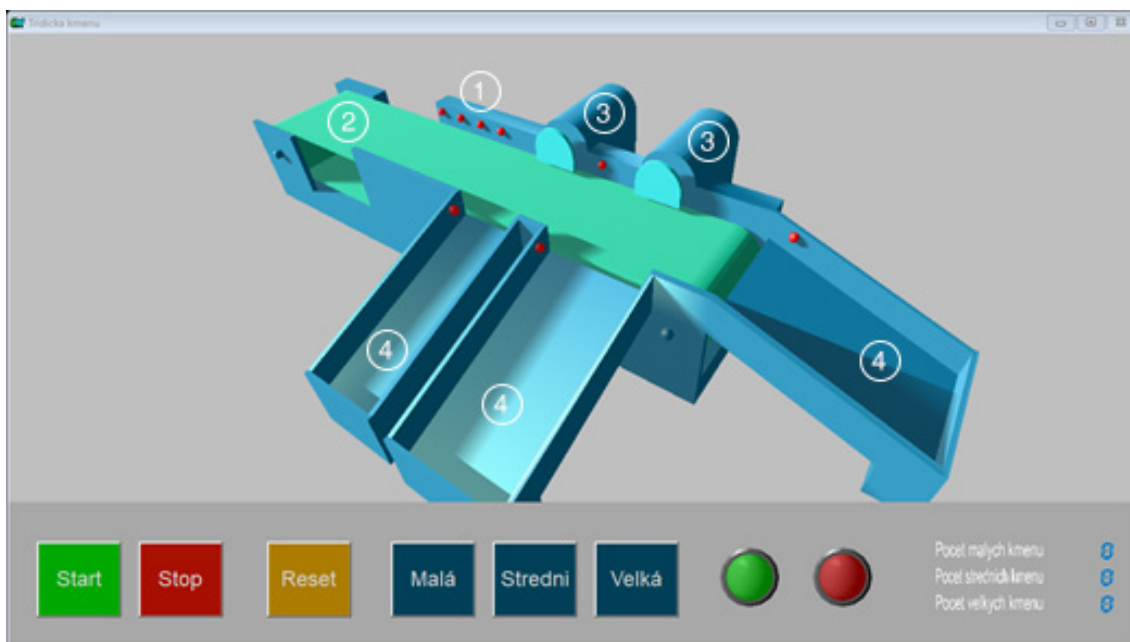
Obrázek 13: Třidička kmenů-vizualizace

4.1.1 Popis simulátoru

Simulátor (obrázek 14) se spouští v systémovém okně, které je možné přesouvat a minimalizovat. Jeho velikost je uzamčena na 1280x720 pixelů, nelze tedy využít škálování okna. Zároveň vypnutí programu je možné pouze v Control Webu. Křížek v systémové liště není povolen.

Samotný simulátor se skládá ze dvou částí, ovládacího panelu a 3D modelu. Ovládací panel obsahuje řadu tlačítek pro obsluhu simulace. Hodnoty tlačítek *Start*, *Stop* a *Reset* jsou přenášeny jako binární hodnoty do PLC. Pro indikaci stisku mění barvu. Tlačítka *Malá*, *Střední* a *Velká* se nastavují velikosti kmenů, které pojedou po dopravníku. Po volbě velikosti kmenu se ostatní tlačítka zneviditelní. Následují dvě signálky, které odečítají hodnotu logické proměnné z PLC. Poslední na panelu je trojice displejů. Tyto zobrazovače čtou reálnou hodnotu z PLC, která reprezentuje aktuální počet kmenů v jednotlivých zásobnících.

Druhou část simulace již tvoří samotný 3D model. Interakce uživatele s modelem je pouze v možnosti rotace kamery a škálování. Model reaguje v reálném čase na podněty z PLC.



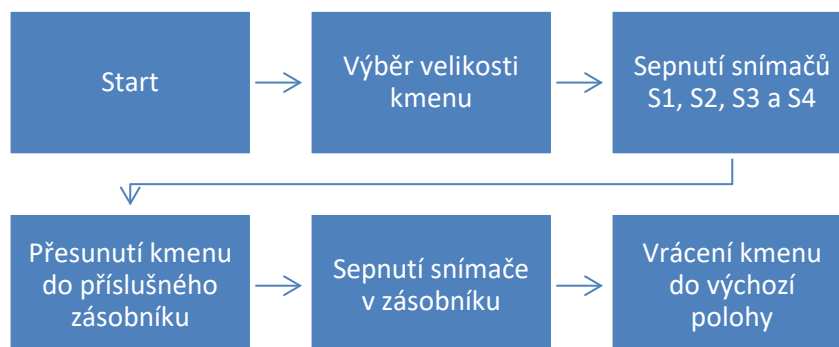
Obrázek 14: Třídíčka kmenů-simulátor

Model se skládá z následujících částí:

1. **Senzory**
Jejich výstupy jsou posílány do PLC. Při logické jedničce změní barvu na zelenou, v opačném případě jsou červené. Reagují na přiblížení kmenu změnou stavu.
2. **Dopravník**
Aktivací se zobrazí šipka na jeho ploše.
3. **Manipulátory K1 a K2**
Reagují na změnu stavu výstupu z PLC. Pokud je v logické jedničce, je rameno manipulátoru vysunuto, v opačném případě je zasunuto.
4. **Zásobníky na kmeny**
Při popisu zleva: malé, střední a velké.

4.1.2 Řešení algoritmu

Na obrázku 15 je diagram funkčnosti simulátoru Třídíčky kmenů.



Obrázek 15: Diagram funkčnosti simulátoru Třídíčky kmenů

Následující dvě tabulky obsahují seznam použitých proměnných. Tabulka 6 obsahuje výčet proměnných, jejichž hodnota je odesílána přes MODBUS do PLC. Tabulka také obsahuje informaci o užitém komunikačním kanálu. Tabulka 7 obsahuje seznam globálních proměnných, které využívá simulátor pro svoji funkčnost.

Tabulka 6: Seznam komunikačních kanálů simulátoru

Název	Typ	Kanál	Popis
MB_Start	bool	201	Tlačítko start
MB_Stop	bool	202	Tlačítko stop
b2	bool	203	Snímač 1
b5	bool	204	Snímač 2
b6	bool	205	Snímač 3
b8	bool	206	Snímač 4
b4	bool	208	Snímač 5
b1	bool	209	Snímač 6
b7	bool	210	Snímač 7
green_led	bool	211	Zelená signálka
red_led	bool	212	Červen signálka
manipulator	bool	213	Dopravník
k1	bool	214	První rameno
k2	bool	215	Druhé rameno
small	integer	102	Počet malých kmenů
middle	integer	105	Počet středních kmenů
big	integer	107	Počet velkých kmenů
counter_reset	bool	216	Reset čítače

Tabulka 7: Seznam globálních proměnných simulátoru

Název	Typ	Popis
start	bool	Start
small_fork	bool	Malý kmen
middle_fork	bool	Střední kmen
big_fork	bool	Velký kmen kmen

Jako první jsem řešil pohyb kmenu po dopravníku. Protože je pracovní plocha popsána trojrozměrným souřadnicovým systémem, bylo možné využít translačních příkazů pro pohyb kmenů. Nejprve bylo zapotřebí nadefinovat pro každý kmen jeho maximální a minimální pozici v souřadnicové síti. Dále také reálné proměnné představující pozici v prostoru. Definice pro velký kmen je na obrázku 16. Podobně jsem nadefinoval i další dva kmeny.

```

item
name = 'default__big_fork';
visibility = Variable_CW.big_fork;
translate
x = limit_interpolator {
source = big_move_x;
lowmap = 0, 0;
highmap = 1, 170;
};
y = limit_interpolator {
source = big_move_y;
lowmap = 0, 0;
highmap = 1, -170;
};
z = limit_interpolator {
source = big_move_z;
lowmap = 0, 0;
highmap = 1, 170;
};
end_translate;
end_item;

```

Obrázek 16: Definice pohybu velkého kmenu

Následný pohyb po pásu jsem realizoval inkrementací souřadnic pomocí cyklu *for*. Postupným zkoušením velikosti kroku jsem nakonec zvolil hodnotu, která představovala rozumnou rychlost pro pohyb kmenu. Jelikož pohyb kmenů je závislý na chodu dopravníku, přidal jsem podmínku pro inkrementaci souřadnice, viz. obrázek 17. Proměnná *manipulator* je odečítána z PLC a přímo reprezentuje aktivaci dopravníku. Proměnná *start* je naopak pomocná proměnná. Pokud není tato podmínka splněna, kmen stojí na místě.

```

if ((manipulator=true)&(start=true)) then
  small_move_x=small_move_x+0.005;
else
  i=i-1;
end;

```

Obrázek 17: Podmínka pro pohyb kmenu

Díky znalosti přesné pozice kmenu na dopravníku bylo možné nastavit snímače tak, aby reagovaly na jejich přítomnost. Mohl jsem tak vytvořit pásmo, ve kterém snímač indikoval kmen. Toto pásmo se liší pro každý kmen. Na obrázku 18 je snímač *b3* přepínán do logické jedničky v pásmu od 55 do 75 a v ostatních polohách kmenu do logické nuly. Změna stavu se projeví změnou barvy snímače v 3D modelu. Tohoto efektu jsem docílil navrstvením dvou identických komponent, přičemž každé jsem nastavil jinou barvu textury a jejich přepínání je realizováno zneviditelněním jednoho nebo druhého komponentu. Proměnné snímačů jsou posílány do PLC, kde na ně může program reagovat.

```

if ((i>55)&(i<75)) then
  b3=true;
else
  b3=false;
end;

```

Obrázek 18: Nastavení snímače

Podobně jsem řešil i přemístění kmenu v případě vysunutí manipulátoru. Zde jsem vytvořil pásmo, ve kterém po vysunutí *K1* nebo *K2* dojde k posuvu kmenu v ose *Z*. Podmínka pro posuv je na obrázku 19. Pásmo, ve kterém bude kmen reagovat na manipulátor jsem v tomto případě nastavil od 95 do 110 v ose *X*. Výraz *s_block=false* je pomocná proměnná a slouží k vyřešení chybového stavu. Poté výraz *k1=true*, který se přímo odčítá z PLC.

```

if ((i>95)&(i<110)&(k1=true)&(s_block=false)) then
  small_move_z=small_move_z+0.1;
  i=190;
  s_block=true;
end;

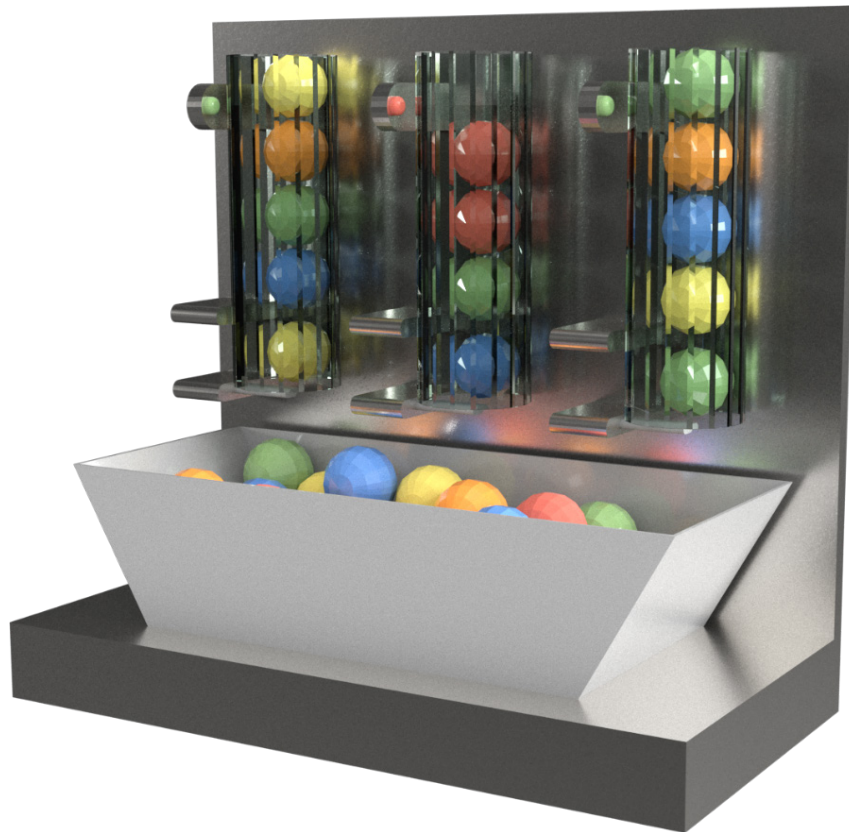
```

Obrázek 19: Podmínka pro přesunutí kmenu

Poté, co kmen dojde do příslušného zásobníku, se sepne snímač v tomto zásobníku a dojde k inicializaci jeho polohy a zároveň se zneviditelní. Také se na ovládacím panelu zobrazí ostatní tlačítka pro volbu kmenu.

4.2 Simulátor modelu Dávkování kuliček

Tento simulátor (obrázek 20) nahrazuje reálný model. Po spuštění programu je možné programovat PLC stejně, jako v případě reálného modelu a sledovat děje na obrazovce počítače. Simulátor běží v prostředí Control Webu.

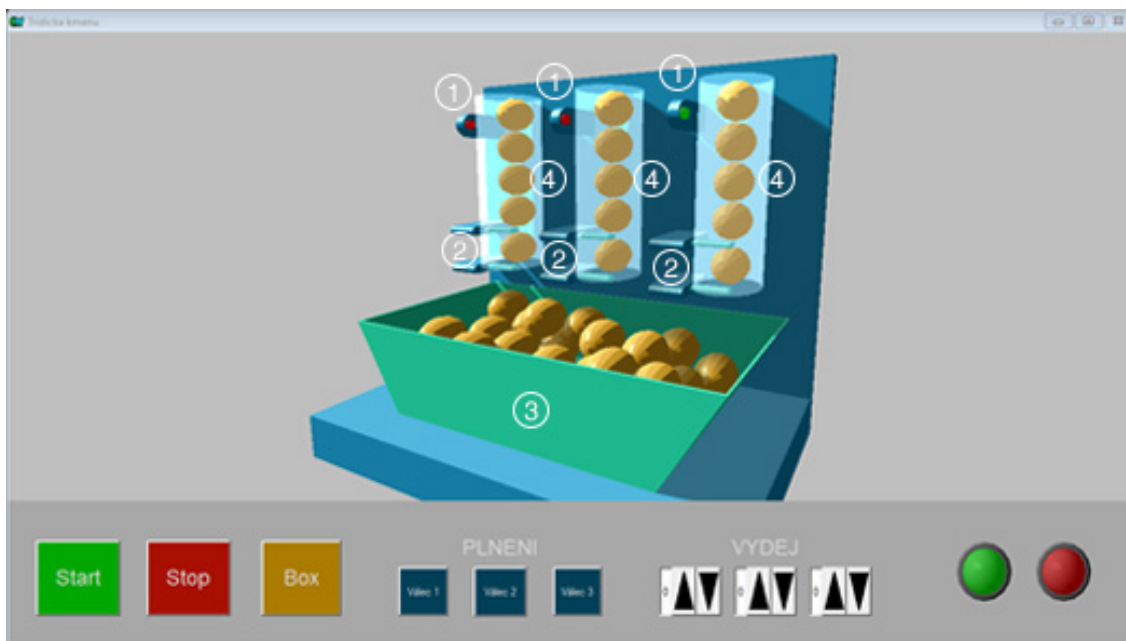


Obrázek 20: Dávkovač kuliček-vizualizace

4.2.1 Popis simulátoru

Simulátor je na obrázku 21. Vlastnosti okna jsou nastaveny stejně, jako v případě simulátoru Třídíčky kmenů. Stejně zůstalo také rozložení prvků aplikace, kde se ve spodní části nachází ovládací panel pro uživatelské zásahy a nad ním je 3D model.

Ovládací panel obsahuje řadu tlačítek pro ovládání simulace. Stav tlačítek *Start*, *Stop* a *Box* je odesílána do PLC. Následují tlačítka pro ovládání plnění. Po stisku jednoho z tlačítek dojde k vhození kuličky do jednoho ze tří válců. Plnění tedy probíhá po jedné kuličce. Vedle se nachází voliče pro nastavení počtu kuliček, které mají být dávkovány z válce. Jako poslední vpravo se nachází dvojice signálků, které odečítají logickou hodnotu proměnné v PLC a po přechodu do logické jedničky se rozsvítí.



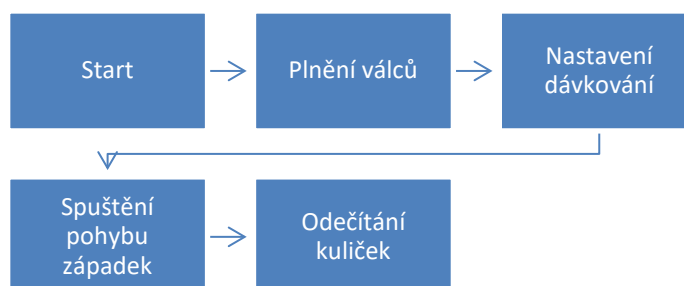
Obrázek 21: Dávkování kuliček-simulátor

Horní část již obsahuje samotný 3D model. Podobně jako v předchozím případě jej může uživatel různě natáčet v prostoru. Následuje výčet jeho komponentů:

1. **Horní snímače**
Indikují naplnění válce. Jejich barva se odvíjí od aktuálního stavu příslušné proměnné. Červené značí logickou nulu a zelená logickou jedničku.
2. **Dolní a horní západky**
Aktivací se zobrazí šipka na jeho ploše.
3. **Manipulátory K1 a K2**
Slouží k dávkování kuliček a jejich vysunutí a zasunutí je ovládáno impulzem z PLC.
4. **Válce s kuličkami**
Každý pojme pět kuliček, jejich textura má transparentní kanál, je tedy možné vidět skrz.

4.2.2 Řešení algoritmu

Na obrázku 22 je diagram funkčnosti simulátoru Dávkovače kuliček.



Obrázek 22: Diagram funkčnosti simulátoru Dávkovače kuliček

Následující dvě tabulky obsahují seznam použitých proměnných. Tabulka 8 obsahuje výčet použitých globálních proměnných. Tyto proměnné jsou užívány jen v simulátoru a jejich hodnota se nepředává programovatelnému automatu. Tabulka 9 obsahuje seznam proměnných, jejichž hodnota je sdílena s PLC. Také obsahuje informaci, na kterém komunikačním kanále je daná proměnná dostupná.

Tabulka 8: Seznam globálních proměnných simulátoru

Název	Typ	Popis
start	bool	Start
tube_1_count	integer	Počet kuliček v prvním válci
tube_2_count	integer	Počet kuliček ve druhém válci
tube_3_count	integer	Počet kuliček ve třetím válci
add_tube_1	bool	Dávkování prvního válce
add_tube_2	bool	Dávkování druhého válce
add_tube_3	bool	Dávkování třetího válce

Tabulka 9: Seznam komunikačních kanálů simulátoru

Název	Typ	Kanál	Popis
MB_Start	bool	201	Tlačítko start
MB_Stop	bool	202	Tlačítko stop
b2	bool	210	Snímač levého válce
b3	bool	211	Snímač prostředního válce
b1	bool	209	Snímač pravého válce
green_led	bool	212	Zelená signálka
red_led	bool	213	Červená signálka
MB_tube_1_count	integer	102	Dávkování z levého válce
MB_tube_2_count	integer	105	Dávkování z prostředního válce
MB_tube_3_count	integer	107	Dávkování z pravého válce
V1D	bool	203	Dolní západka levého válce
V1H	bool	204	Horní západka levého válce
V2D	bool	205	Dolní západka prostředního válce
V2H	bool	206	Horní západka prostředního válce
V3D	bool	207	Dolní západka pravého válce
V3H	bool	208	Horní západka pravého válce
box	integer	214	Počet malých kmenů

Jako první jsem si připravil dvě proměnné pro každý válec. Jedna představuje počet kuliček ve válci a druhá *bool* pomocná proměnná pro doplnění kuličky. Ze znalosti počtu kuliček ve válci stačilo nastavit každé kuličce podmínku pro zobrazení. Tu je možné zapsat do vlastnosti viditelnosti kuličky.

Viditelnost jsem využil také u západek. Při požadavku na vysunutí je viditelnost příslušné západky nastavena na logickou jedničku.

Změna barvy snímačů je zde realizována stejně, jako v případě simulátoru Třídíčky kmenů.

Plnění válců probíhá tak, že uživatel stiskne tlačítko příslušného válce, kdy následnou inkrementací příslušné proměnné se zvýší počet kuliček ve válci o jedna. Zároveň je třeba, aby spodní západky byly vysunuty a bránily tak vypadnutí kuliček. Dále při plnění je třeba sepnout snímač na vrchu válce pro simulaci propadající kuličky po určitý čas. Ukázka podmínky pro plnění prvního válce je na obrázku 23.

```
if ((add_tube_1=true)and(tube_1_count<=4)and(V1D=true)) then
  tube_1_count=tube_1_count+1;
  b1=true;
  pause Period;
  b1=false;
  add_tube_1=false;
end;
```

Obrázek 23: Plnění prvního válce

Následně bylo třeba rozpoznat vypadnutí kuličky. To se musí projevit v dekrementaci příslušné proměnné a skrytím jedné kuličky. Jelikož jsou západky válce podmíněné logickým proměnným, vytvořil jsem řadu podmínek pro každý válec. Ukázka kódu je na obrázku 24. V případě, kdy jsou obě západky otevřené, dojde k vyprázdnění celého obsahu válce.

```
if ((V1D=false)and(V1H=true)and(pom1=false)) then
  tube_1_count=tube_1_count-1;
  pom1=true;
end;

if ((V1D=true)and(V1H=false)and(pom1=true)) then
  pom1=false;
end;
```

Obrázek 24: Odečtení kuličky z válce

Snímače na vrcholech válců mají reagovat na naplnění trubice. To bylo možné realizovat za pomoci znalosti počtu kuliček ve válci a podmínkou na obrázku 25.

```
if tube_1_count>=5 then
  b1=true;
else;
```

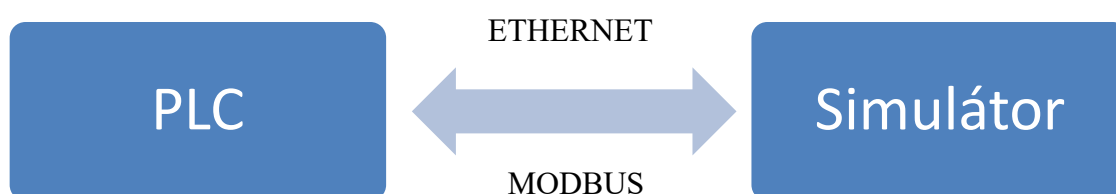
Obrázek 25: Podmínka pro snímač

5 PROPOJENÍ SIMULÁTORŮ S PLC

Pro ovládání simulátorů jsem použil modulární PLC S7-1200 od firmy Siemens. PLC má několik integrovaných I/O a komunikační rozhraní PROFINET. Díky modulárnosti můžeme PLC rozšířit o další prvky. Pro programování jsem použil program TIA Portal V13. Ten dovoluje programovat v jazycích *LADDER*, *FBD* a *STL* [9].

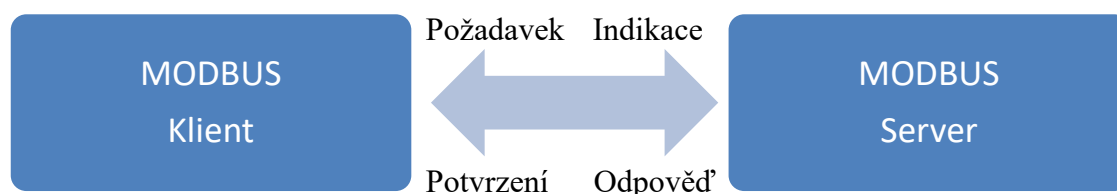
5.1 Realizace propojení

Mým úkolem bylo propojit PC, na kterém je spuštěný Control Web, s programovatelným automatem. To jsem realizoval pomocí protokolu MODBUS TCP/IP běžící po Ethernetu. Diagram zapojení je na obrázku 26.



Obrázek 26: Komunikace PLC a Simulátorů

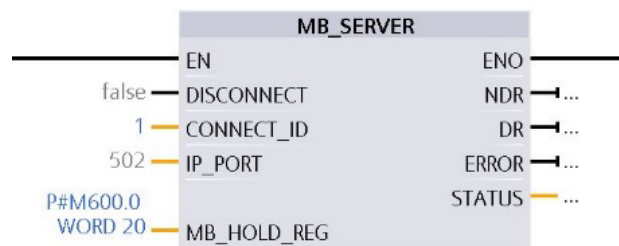
MODBUS v roce 1979 představila firma MODICON. Pracuje na úrovni aplikační vrstvy ISO/OSI modelu a umožňuje komunikaci typu klient-server mezi různými zařízeními. Může fungovat na sériové lince, ethernetu nebo optické síti s využitím protokolu TCP/ICP. Komunikace probíhá metodou požadavek-odpověď, které jsou opatřeny kódem funkce [6]. Tento kód se nazývá MBAP a je celkem 7 bytů dlouhý. Obsahuje identifikaci požadavku a protokolu (0 pro MODBUS), délku požadavku a identifikaci klienta [7]. Pro komunikaci se využívá defaultně port 502. Diagram komunikace je na obrázku 27.



Obrázek 27: Diagram komunikace protokolu MODBUS

5.2 Konfigurace PLC

PLC je osazeno komunikačním modulem. Po zapojení ethernetového kabelu do PC a PLC jsem pomocí dialogového okna v TIA Portalu vyhledal toto zařízení v síti. Po úvodní konfiguraci jsem do hlavního bloku programu vložil blok MB_SERVER_DB (obrázek 28), který slouží pro konfiguraci komunikace pomocí protokolu MODBUS. Na levé straně nahoře bloku se nachází nastavení pro připojení nebo odpojení, pod ním je identifikační číslo a následuje nastavení holding registru, do kterého se ukládají data. Tento registr začíná na adrese M600.0 a má celkový rozsah až 20 wordů.



Obrázek 28: Blok MB_SERVER

5.3 Konfigurace Control Webu

Po nastavení TIA Portalu bylo třeba nakonfigurovat Control Web. Nejprve je třeba vytvořit tzv. *mapovací soubor*, kde se definuje typ a rozsah adres. V případě obou simulátorů využívám tyto adresy:

100 – 199 *real bidirectional*
200 – 299 *boolean bidirectional*

Adresy 100-199 slouží pro mapování reálných proměnných a adresy 200-299 slouží k práci s boolovými proměnnými.

Dále bylo také třeba vytvořit *parametrický soubor*, kde se nastavuje komunikace a IP adresa zařízení, se kterým se komunikuje. Takto vypadá parametrický soubor pro oba simulátory:

```
[MODBUS]
Mode = RTU
CheckTime = 50000
ConnectOnStartup = false
EnableMonitor = true
Timeout = 1000
DisablePresetSingleRegister = false
MaxRegistersInBlock = 100
TraceOutput = None
```

Jako první se zde definuje mód komunikace. Je možné zvolit RTU pro binární nebo ASCII pro znakový mód. Další parametr určuje dobu pro znovuoobnovení komunikace po odpojení, který se zadává se v milisekundách. Další parametr definuje, jestli se má navázat spojení hned při startu nebo až s prvním požadavkem. Parametr *EnableMonitor* umožňuje zobrazit okno s výpisem průběhu komunikace. Další parametr *Timeout* definuje, jak dlouho je možné čekat na odpověď zařízení. Parametr *MaxRegisterInBlock* definuje maximální počet registrů v přenášeném bloku dat. Hodnota 100 odpovídá 200 bytů. Poslední parametr *TraceOutput* slouží k výpisu komunikace. Zde je nastaven na *None*, tudíž se netvoří žádný log [8].

Následující řádky slouží k nastavení IP adresy PLC, mapovaných adres, datového formátu a směru komunikace. Adresa IP odpovídá méj aktuální konfiguraci. Před spuštěním simulátoru je třeba zkontrolovat, jestli nastavená adresa odpovídá IP adrese programovatelného automatu.

```
[Channels]
Block = 00@192.168.0.1,100, 199, 4x, 1, int16, bidirect id:0101
Block = 00@192.168.0.1,200, 299, 4x, 1, bits16, bidirect id:0102
```

Takto nakonfigurované soubory jsem uložil společně s projektem, odkud je v Control Webu volám. V programu je pak třeba zavolat MODBUS TCP/IP ovladač pomocí příkazu:

```
driver MODBUS : 'mbustcp.dll', 'mbustcp.dmf', 'MBUSTCP.PAR'; end_driver;
```

Následně již bylo možné vytvořit komunikační kanál a nadefinovat proměnné.

5.4 Proměnné simulátoru Třídíčky kmen.

Tabulka 10 obsahuje seznam proměnných použitých v simulátoru. V prvním sloupci je výčet proměnných užitých v Control Webu. Ve druhém sloupci je definice adres, kde hledat danou proměnou při tvorbě programu pro PLC. Všechny proměnné lze zapisovat a číst v obou směrech.

Tabulka 10: Seznam proměnných simulátoru Třídíčky kmenů

Control Web		TIA Portal		Typ	Komentář
Název	Kanál	Název	Adresa		
MB_Start	201	Start	M601.1	BOOL	Tlačítko Start
MB_Stop	202	Stop	M601.2	BOOL	Tlačítko Stop
b2	203	b2	M601.3	BOOL	Snímač 2
b5	204	b5	M601.4	BOOL	Snímač 5
b6	205	b6	M601.5	BOOL	Snímač 6
b8	206	b8	M601.6	BOOL	Snímač 8
b4	208	b4	M600.0	BOOL	Snímač 4
b1	209	b1	M600.1	BOOL	Snímač 1
b7	210	b7	M600.2	BOOL	Snímač 7
green_led	211	Zelena_LED	M600.3	BOOL	Zelená LED
red_led	212	Cervena_LED	M600.4	BOOL	Červená LED
manipulator	213	Dopravník	M600.5	BOOL	Dopravník
k1	214	K1	M600.6	BOOL	Manipulátor 1
k2	215	K2	M600.7	BOOL	Manipulátor 2
small	102	Pocet_malych	MW604	REAL	Počet kmenů v zásobníku 1
middle	105	Pocet_strednich	MW610	REAL	Počet kmenů v zásobníku 2
big	107	Pocet_velkych	MW614	REAL	Počet kmenů v zásobníku 3
counter_reset	216	counter_reset	M603.0	BOOL	Reset čítačů

5.5 Proměnné simulátoru Dávkovače kuliček

Tabulka 11 obsahuje seznam proměnných použitých v simulátoru. V prvním sloupci je výčet proměnných užitých v Control Webu. Ve druhém sloupci je definice adres, kde hledat danou proměnou při tvorbě programu pro PLC. Všechny proměnné lze zapisovat a číst v obou směrech.

Tabulka 11: Seznam proměnných simulátoru Dávkování kuliček

Control Web		TIA Portal		Typ	Komentář
Název	Kanál	Název	Adresa		
MB_Start	201	Start	M601.1	BOOL	Tlačítko Start
MB_Stop	202	Stop	M601.2	BOOL	Tlačítko Stop
b2	203	b2	M600.2	BOOL	Snímač 2
b3	204	b3	M600.3	BOOL	Snímač 5
b1	205	b1	M600.1	BOOL	Snímač 6
green_led	206	g_led	M600.4	BOOL	Zelená kontrolka
red_led	207	r_led	M600.5	BOOL	Červená kontrolka
box		box	M600.6	BOOL	Snímač přít. boxu
MB_tube_1_count	102	Pocet_v alec_1	MW604	REAL	Počet kuliček k dávkování 1
MB_tube_2_count	105	Pocet_v alec_2	MW610	REAL	Počet kuliček k dávkování 2
MB_tube_3_count	107	Pocet_v alec_3	MW614	REAL	Počet kuliček k dávkování 3
V1D	203	V1D	M601.3	BOOL	Spodní západka 1
V1H	204	V1H	M601.4	BOOL	Horní západka 1
V2D	205	V2D	M601.5	BOOL	Spodní západka 2
V2H	206	V2H	M601.6	BOOL	Horní západka 2
V3D	207	V3D	M601.7	BOOL	Spodní západka 3
V3H	208	V3H	M600.0	BOOL	Horní západka 3

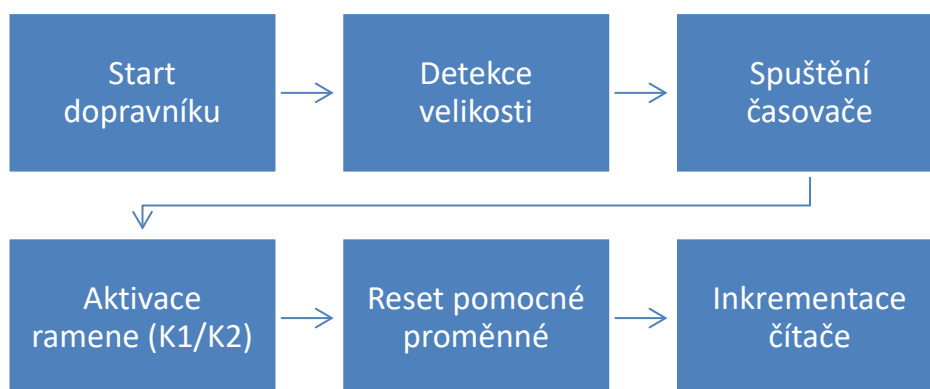
6 TESTOVÁNÍ SIMULÁTORŮ

Tato kapitola se bude věnovat testování simulátorů. Testováním simulátorů jsem se snažil odstranit chybové stavy. Zároveň jsem také chtěl nalézt možná zlepšení.

Jako metodu pro otestování funkčnosti simulátorů, jsem zvolil cestu realizace programu pro PLC v TIA Portalu podle zadání úlohy. Chtěl jsem tak zjistit, jestli programování a průběžné testování nebude mít vliv na stabilitu simulace. Zároveň jsem vyzkoušel i několik variant, včetně špatného řešení. Z časové náročnosti testování nebylo možné vyzkoušet všechny varianty. Programy vytvořené během testování jsou přiloženy v příloze.

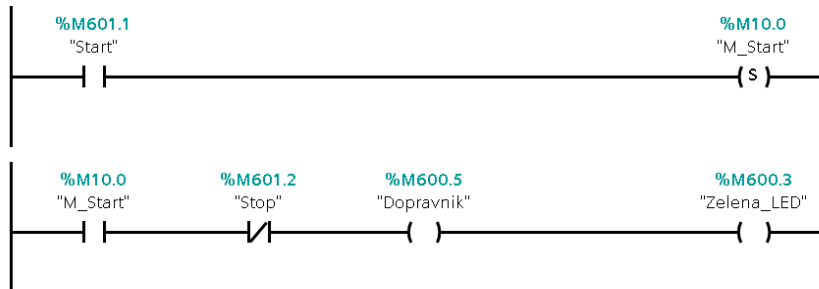
6.1 Testování simulátoru Třídíčky kmenů

Protože tato úloha je vhodná na logické řízení, rozhodl jsem se udělat program v LADDERU. Nejprve jsem nadefinoval proměnné podle tabulky 10 a nakonfiguroval komunikaci (viz. kapitola 5). Následně jsem vytvořil funkční blok, do kterého jsem později vkládal příkazy. Aby je PLC vykonávalo, musel jsem tento blok vložit do hlavního bloku programu MAIN (OB1). Během programování bylo možné využít diagnostické funkce TIA Portalu a sledovat tak děje v PLC a simulátoru. Diagram funkce programu je na obrázku 29.



Obrázek 29: Diagram funkce programu pro PLC

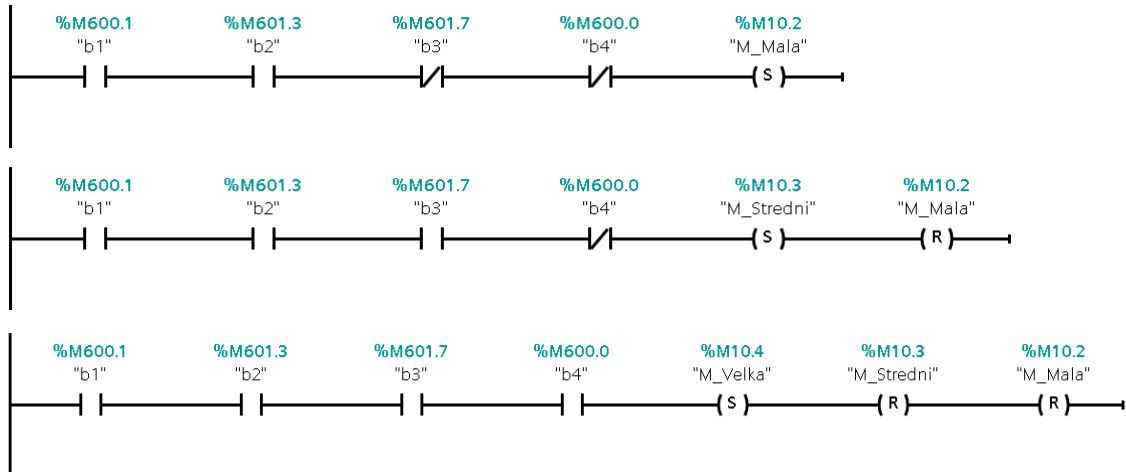
Jako první jsem nastavil spuštění manipulátoru. Pro jeho sepnutí je třeba do něj poslat logickou jedničku. Podle zadání se má po stisku tlačítka *Start* rozjet manipulátor a rozsvítit zelená kontrolka. Stisk tlačítka *Stop* jej má zastavit. Abych si uchoval stisk tlačítka *Start*, vytvořil jsem pomocnou proměnnou *M_Start*, která se setuje na logickou jedničku po stisku tlačítka *Start*. Tato pomocná proměnná pak za podmínky, že není stisknuto tlačítko *Stop*, spustí dopravník a rozsvítí zelenou signálku. Tento kus programu můžete vidět na obrázku 30.



Obrázek 30: Start dopravníku

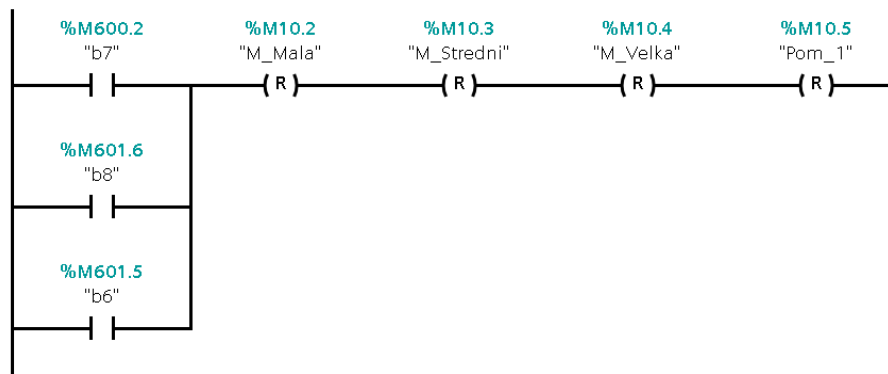
Poté jsem vytvořil algoritmu pro rozpoznání velikosti kmenu. Simulátor má k tomu určenou čtveřici snímačů, které reagují na přítomnost kmenu.

Každá větev (obrázek 31) slouží k detekci jedné velikosti. Jelikož každá velikost kmenu znamená určitou kombinaci aktivních snímačů, určil jsem velikost na základě této znalosti. Kmeny aktivují snímače postupně, tudíž bylo zapotřebí přidat reset předchozího stavu (velikosti).



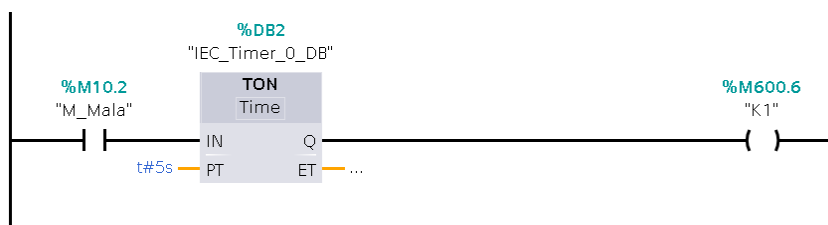
Obrázek 31: Detekce velikosti kmenu

Potom, co se kmen dostane do zásobníku, což indikují snímače *b7*, *b8* a *b6*, resetují svůj stav (velikost) pomocí větve na obrázku 32.



Obrázek 32: Reset velikosti kmenu

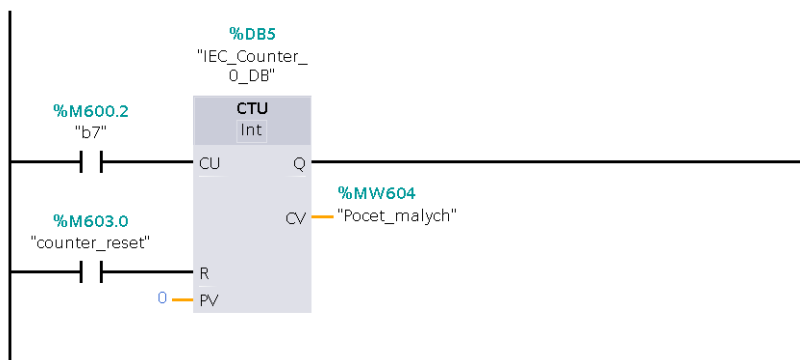
Když jsem byl schopný rozlišit velikosti kmenů, přistoupil jsem k naprogramování manipulátorů. Zde zadání počítá s využitím časovačů pro sepnutí manipulátorů. Časovač může být spuštěn snímačem *b4*, nebo v tomto případě jsem využil pomocnou proměnnou *M_Mala*. Po uplynutí 5 sekund od spuštění časovače je *K1* nastaven na logickou jedničku a spustí se rameno manipulátoru. Větev na obrázku 33 ukazuje řešení v případě malého kmenu.



Obrázek 33: Spuštění *K1*

Dále jsem testoval různé chvíle úhozu kmenu, kde jsem objevil problém. V případě, kdy je manipulátor vysunut před dojezdem kmenu, došlo i tak k jeho přesunu do zásobníku. Tento stav v reálném modelu nenastává a bylo jej třeba eliminovat. Zásahem do programu simulátoru se mi podařilo tento chybový stav odstranit. Poté již v tomto případě kmen projel pod ramenem manipulátoru jako v případě reálného modelu. Pozdní sepnutí manipulátoru již kmen neovlivní. Variantou zadání je také umístění kmenů do různých zásobníků. Simulátor se choval správně a všechny tři velikosti bylo možné umístit do libovolného zásobníku. Jediným problémem zde byla nedostatečná velikost zásobníku pro malé kmeny, do kterého se fyzicky velký kmen nevejde a vzniká zde prolínání textur.

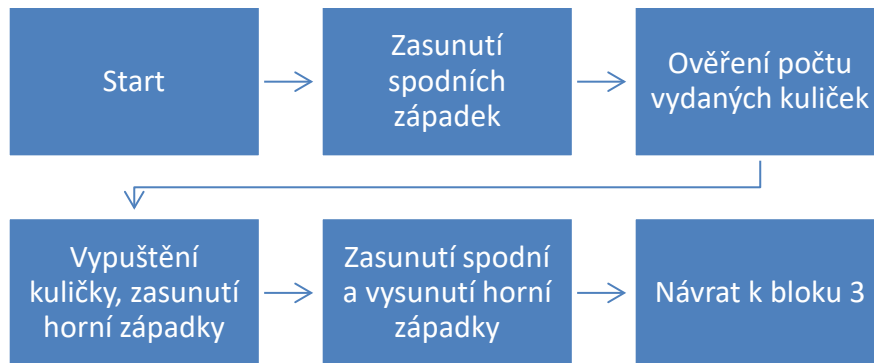
Během tvorby simulátoru jsem do něj přidal také možnost zobrazení počtu kmenů v jednotlivých zásobnících. Ke komunikaci se zobrazovači slouží proměnné: *small*, *middle* a *big*. Do těchto proměnných je možné zapsat reálné číslo, které se následně promítne na displeji. Vložení bloku CTU (Counter UP) je možné toto rozšíření využít. Nastavení čítače v případě malého kmenu je na obrázku 34.



Obrázek 34: Čítač kmenů v zásobníku

6.2 Testování simulátoru Dávkování kuliček

Tato úloha je vhodná k sekvenčnímu řízení. Využil jsem tedy jazyk SCL a stavový automat. Při tvorbě projektu jsem postupoval podobně jako v případě Třídíčky kmenů. Diagram funkce programu pro PLC je na obrázku 35.



Obrázek 35: Diagram funkce programu pro PLC

Celý program jsem rozdělil do několika stavů, mezi kterými jsem se pohyboval pomocí příkazu *CASE*. Vytvořil jsem tam stavový automat, kdy pro přechod do dalšího stavu je nutné splnit určitou podmínku. Pro každý válec bylo nutné vytvořit vlastní stavový automat a program je tak rozdělen do tří sekcí. V TIA Portalu jsem toho docílil tak, že jsem vytvořil trojici bloků (*FB1*, *FB2* a *FB3*), které volám z hlavního programového bloku, viz obrázek 36. Následující kusy kódu jsou pro ovládání prvního válce.



Obrázek 36: Volání bloku *FB2*

První stav (obrázek 37) je inicializační a odpovídá stavu, kdy jsou západky zasunuty a válce jsou prázdné. Zároveň svítí signalizace. Tento stav jsem zároveň určil i pro nouzové zastavení. Pro přechod do dalšího stavu je třeba stisknout tlačítko *Start*.

```

0:
  "V1D" := false;
  "V1H" := false;
  "r_led" := true;
  "g_led" := false;
  IF "Start" THEN
    "Data".Stav := 1;
  END_IF;
;

```

Obrázek 37: Inicializační stav

Nouzové zastavení nastává tehdy, kdy se zmáčkne tlačítko *Stop*. Přejechod do stavu 0 je realizován pomocí podmínky na obrázku 38.

```

IF "Stop" THEN
  "Data".Stav := 0;
END_IF;

```

Obrázek 38: Nouzové zastavení

Následující stav (obrázek 39) slouží k plnění válců. Spodní západky se zasunou dovnitř všech tří válců nastavením logické jedničky na proměnné *V1D*, *V2D* a *V3D*. Nyní je možné v simulátoru pomocí tlačítek na ovládacím panelu naplnit válce kuličkami. V případě, že by nebyly západky zasunuty, kuličky by jen propadávaly.

```

1:
  "V1D" := true;
  "g_led" := true;
  "r_led" := false;
  IF "Start" AND "b1" AND "box" THEN
    "Data".Stav := 2;
  END_IF;
;

```

Obrázek 39: Stav při plnění válců

Do následujícího stavu přejde program tehdy, až jsou válce naplněny po okraj. To signalizují snímače *b1*, *b2* a *b3*. Dalšími podmínkami jsou opětovný stisk tlačítka *Start* a přítomnost zásobníku na kuličky.

Následující stav (obrázek 40) slouží jako mezikrok, kdy se kontroluje počet vydaných kuliček. Pokud dojde k vydání požadovaného počtu, program přejde do stavu 1. V opačném případě pokračuje do stavu 3.

```
2:
  IF "Data".Counter_number = 1 THEN
    "Data".Stav := 1;
  ELSE
    "Data".Stav := 3;
  END_IF;
;
```

Obrázek 40: Kontrola počtu vydaných kuliček

Následují dva stavy slouží k dávkování kuliček. První z těchto stavů (obrázek 41) slouží k vysunutí horní západky, která zabrání ostatním kuličkám vypadnout a otevře se spodní. Během toho se spouští časovač, po jehož dokončení dojde k přepnutí do druhého stavu. Zároveň se zvýší hodnota čítače o jedna.

```
3:
  "VID" := false;
  "VIH" := true;
  "Data".CTD1 := true;

  IF "Data".Timer1 = true THEN
    "Data".Stav := 4;
  END_IF;
;
```

Obrázek 41: První sekvence dávkování

Poslední stav (obrázek 42) slouží k navrácení horní západky do původní pozice a spodní se vysune. Po skončení časovače se program přesune do stavu 2.

```
4:
  "VID" := true;
  "VIH" := false;
  "Data".CTD1 := false;

  IF "Data".Timer2 = true THEN
    "Data".Stav := 2;
  END_IF;
```

Obrázek 42: Druhá sekvence dávkování

6.3 Výsledek testování

Simulátory jsem se snažil přiblížit co nejvíce reálným modelům. To se mi z části povedlo. Bohužel aspekty jako dynamika prvků nebo různé druhy náhodného rušení se mi nepodařilo implementovat.

Během testování simulátoru Třídíčky kmenů jsem odhalil dva nedostatky. První nastává v případě brzkého spuštění manipulátorů a následně jejich ovlivnění kmenů a druhým problémem je prolínání textur. První nedostatek se mi podařilo odstranit přidáním podmínky do programu simulátoru. V případě druhého problému jsem zvětšil zásobník a tak velký kmen, po přemístění do zásobníku, již nevystupuje z jeho stěny.

Během testování simulátoru Dávkovače kuliček jsem provedl pár úprav v programu. Jednou z úprav bylo přidání krátkého impulzu horních snímačů při vhazování kuličky do válce. Také jsem přidal podmínku viditelnosti zásobníku kuliček. Jednou z vizuálních úprav bylo také přidání kuliček do zásobníku.

Jedním z rozdílů vůči reálnému modelu je také pozicování manipulátorů a zápedek. V případě obou modelů mají pouze dvě pozice. V ideálním případě by se měli pohybovat po předem určené dráze kontinuálně a reagovat na překážky.

V případě simulátoru Třídíčky kmenů jsem přidal možnost zobrazovat počet kmenů v zásobnících. Zároveň jsem přidal také tlačítko pro resetování čítače. V případě simulátoru Dávkování kuliček jsem provedl zjednodušení v podobě užití místo BCD kódu reálnou hodnotu. Uživatel tak nebude muset přepočítávat hodnotu, ale bude mít v merku již reálné číslo. Moje testovací programy jsou přiloženy v příloze.

6.4 Verifikace řídicího systému na reálných modelech

Posledním krokem při testování bylo otestování funkce vytvořených programů pro simulátor na reálných modelech. Tento test měl za úkol odhalit podobnost simulátorů a reálných modelů a zároveň poukázat na možné úpravy při přenosu programu. Proměnné obou programů bylo zapotřebí přenastavit na reálné periferie modelů.

V případě programu pro simulátor Třídíčky kmenů bylo zapotřebí nejprve změnit logiku snímačů, jelikož použité optické závory používají zápornou logiku. Následně jsem provedl test s malým kmenem. Model se choval podle očekávání a kmen umístil do zásobníku. Při testu středního kmenu jsem se ale setkal s problémem, kdy časovač nastavený pro simulátor byl o jednu sekundu delší, než požadoval model. Po korekci nastavení časovače, konkrétně zkrácení o jednu sekundu, se model již choval správně. Toto se v případě malého kmenu neprojevalo. V případě dlouhého kmenu se model choval dle očekávání.

V případě programu pro simulátor Dávkovače kuliček bylo zapotřebí provést jednu korekci. Touto korekcí bylo nahrazení BCD kódu reálnou hodnotou. Díky tomu bylo možné odečítat nastavení z otočného nastavovače. Poté, již bylo možné spustit dávkování. Problém také může nastat ve chvíli, kdy je špatně nastavený časovač a z válce by během dávkování vypadávalo více než jedna kulička. V simulátoru na nastavení

časovače nezáleží, i přestože zadání požaduje nastavení časovače na 500ms. Pokud uživatel dodrží tuto podmínku, nebude mít s přenosem programu problém.

Během testování obou programů byly zapotřebí menší korekce, poté se již modely chovaly podle zadání. Program vytvořený pro simulátor je tedy možné využít i v případě řízení reálného modelu, za podmínky korekcí uvedených výše.

7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci se zabývám tvorbou dvou simulátorů. První z nich je Třídíčka kmenů a druhý Dávkovač kuliček. Simulátory jsou vytvořeny podle reálné předlohy, kdy oba modely jsou využívány v laboratoři programovatelných automatů pro výuku programování PLC. Oba modely v této práci popisují jak z hlediska funkčnosti, tak i z hlediska elektrického zapojení. Na tomto základu bylo možné začít vytvářet simulátor. Jedním z požadavků na simulátory bylo zachování co největší možné podobnosti s reálnými modely. Výsledný simulátor bude například možné nasadit tehdy, kdy bude na původním modelu chyba, která znemožní jeho využití. V případě úpravy zadání je možné upravit i simulátor. Popis jeho algoritmu je v této práci také uveden. Oba simulátory jsou opatřeny ovládacím panelem a trojrozměrnou vizualizací modelu. Simulátory je možné propojit s programovatelným automatem. V poslední fázi jsem testoval funkčnost obou simulátorů.

Jako nástroj pro tvorbu simulátorů jsem zvolil prostředí Control Web 5. Protože jsem od počátku počítal s trojrozměrným modelem, začal jsem nejprve jeho tvorbou. Oba modely jsem vytvořil v programu FUSION 360 a hotový model jsem exportoval z prostředí Blender. Abych snížil výpočetní náročnost modelů, snížil jsem počet polygonů v 3D modelu. Krom uvolnění prostředků počítače se to také projevilo vizuálně v rádiusech modelu, kdy jsou vidět ostré hrany. Oba modely se skládají z částí, které je možné programovat nezávisle na sobě. V mém případě šlo hlavně o translační funkce a transparentnost. Části ovládacího panelu jsem vytvořil z předpřipravených komponentů Control Webu. V práci také popisují algoritmus obou simulátorů. Ten může být využit například při úpravě simulátoru.

Model Dávkovače kuliček jsem také upravil. V tomto případě šlo o užití reálného čísla místo BCD kódu. Také počet kuliček v jednom válci jsem snížil na pět.

I přes snahu zachování podobnosti simulátorů a reálné předlohy se mi nepodařilo implementovat některé elementy. Například dynamika prvků nebo spojitý pohyb manipulátorů, což však v tomto případě zásadním způsobem neovlivní jejich použití.

Komunikace s programovatelným automatem funguje na protokolu MODBUS TCP/IP pomocí rozhraní Ethernet. Konfigurace komunikace je třeba jak na straně simulátoru, tak i v PLC. Oba simulátory jsem opatřil ukázkou nastavení komunikace a tabulkou proměnných, aby jejich nasazení bylo co nejpohodlnější.

Abych ověřil funkčnost simulátorů, vytvořil jsem dvojici programů, pro každý simulátor jeden, s jejichž pomocí jsem mohl testovat různé stavy simulátoru. Mým cílem bylo odhalit chybové stavy a předejít jim úpravou algoritmu simulátoru. Během testování jsem narazil na pár chyb v simulátoru Třídíčky kmenů, ale podařilo se mi je odstranit. Během vytváření testovacích programů jsem zároveň zkoušel i různé varianty, ale z časových důvodů nebylo možné vyzkoušet všechny. Výsledky testování jsem shrnul v kapitole 4.5. V poslední řadě jsem otestoval podobnost simulátoru a reálného modelu tak, že jsem vytvořený program pro simulátor spustil na reálném modelu. Zde jsem objevil několik menších nedostatků, které se týkaly hlavně nastavení časovačů. Tyto

chyby jsem odstranil a programy tak začaly fungovat podle zadání. Díky tomuto poznatku je možné vytvořené programy pro simulátory spustit i na reálných modelech.

Literatura

- [1] ŠTOHL, Radek a Jan PÁSEK. Programovatelné automaty-laboratorní cvičení [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [cit. 2018-01-10].
- [2] Moravské přístroje a.s. Moravské přístroje a.s.[online]. [cit. 2018-01-8]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/art?id=380&cat=146&lang=405>
- [3] Moravské přístroje a.s. Grafika pro novou generaci systému Control Web [online]. [cit. 2018-01-8]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/art?id=380&cat=146&lang=405>
- [4] Autodesk. Fusion 360 [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
- [5] Co je Control Web?. Moderní technologie počítačové vizualizace [online]. [cit. 2018-01-5]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/art?id=152&cat=52&lang=405>
- [6] RONEŠOVÁ, Andrea. Přehled protokolu MODBUS[online]. [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [7] HONEYWELL, spol. s.r.o. Mosbus Messaging Implementation Guide[online]. [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <https://www.honeywellprocess.com/library/support/Public/Documents/51-52-25-121.pdf>
- [8] Moravské přístroje a.s. Ovladač pro komunikaci protokolem MODBUS přes sériové rozhraní nebo pomocí TCP/IP [online]. [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/art?id=734&lang=405>
- [9] SIEMENS. S7-1200 Programmable controller. Siemens AG. [Online] [cit: 2018-01-07] Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf
- [10] LESAINT, Pierre-Yves. CREATION OF A PARKING MODEL. Brno University of Technology Faculty of Electrical Engineering and Communication, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno CZECH REPUBLIC, 2012.
- [11] HUSÁK, M. Inovace laboratorní úlohy - model "Kuličky". Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 23 s. [cit. 2018-02-14]

Seznam příloh

Příloha 1. Simulátor modelu Třídíčky kmenů

Příloha 2. Simulátor modelu Dávkovače kuliček

Příloha 3. Testovací program pro PLC s řešením Třídíčky kmenů

Příloha 4. Testovací program pro PLC s řešením Dávkovače kuliček

Příloha 5. Univerzální řídicí deska-schéma zapojení

Příloha 6. Univerzální řídicí deska-plošný spoj bottom

Příloha 7. Univerzální řídicí deska-plošný spoj top

Příloha 8. Zapojení vstupů modelu Dávkování kuliček na konektor Canon

Příloha 9. Zapojení výstupů modelu Dávkování kuliček na konektor Canon