

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**NÁVRH A REALIZACE ŘÍDICÍHO SOFTWARE MODELU
ZÁSOBNÍKU SYPKÉHO MATERIÁLU**

Jiří Pavel

Bakalářská práce

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Pavel**
Osobní číslo: **I13072**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Návrh a realizace řídicího software modelu zásobníku sypkého materiálu**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je návrh a realizace software pro výukový model zásobníku sypkého materiálu, který je obdobné konstrukce jako komerčně vyráběné modely z řady EDU-mod, které jsou součástí vybavení laboratoře programovatelných automatů. Model je realizován zapojením elektronických obvodů, s využitím mikrokontroléru Atmel, řady ATMEGA. Software mikro-počítače bude svým chováním, co nejvěrněji, simulovat chování reálného zařízení. Vstupní a výstupní signály budou umožňovat ovládání chování modelu pomocí PLC automatu. Pro ověření chování modelu vytvořte sadu demonstračních programů pro kompaktní PLC automat Siemens LOGO. Součástí práce bude podrobná rešerše problematiky využití hardwarových simulátorů řady EDU-mod při tvorbě řídicích algoritmů PLC automatů.

Osnova bakalářské práce:

1. Seznamte se se sadou modelů EDU-mod, v laboratoři programovatelných automatů (zpracujte rešerši).
2. Navrhněte koncepci obdobného modelu s mikrokontrolérem ATMEGA, s přihlédnutím na stávající koncepci již realizovaného hardware.
3. Navrhněte vhodné vstupně - výstupní signály, inspiруйте se skutečným průmyslovým zařízením.
4. Navrhněte, realizujte a otestujte funkčnost software mikrokontroléru modelu.
5. Realizujte sadu demonstračních příkladů pro řízení modelu kompaktním PLC automatem Siemens LOGO.
6. Vytvořte přehlednou dokumentaci k modelu, včetně uživatelského návodu modelu a jeho použití při programování PLC automatů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

L. Šmejkal, M. Martinásková, PLC a automatizace 1, Základní pojmy, úvod do programování, BEN - technická literatura, Praha 1999

L. Šmejkal, PLC a automatizace 2, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky, BEN - technická literatura, Praha 2005

D. MATOUŠEK, Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

6. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2018

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.

Ing. Daniel Honec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. prosince 2017

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Havlíčkovi, Ph.D. za odbornou nápomoc a trpělivost při tvorbě této bakalářské práce.

ANOTACE

Obsahem této bakalářské práce je návrh a realizace software pro výukový model zásobníku sypkého materiálu, který je inspirován komerčně vyráběnými modely z řady EDU-mod. Ovládání tohoto modelu bude realizováno pomocí PLC automatu Siemens LOGO. V teoretické části se zabývám obecně PLC automaty se zaměřením na právě používaný Siemens LOGO, obdobnými, komerčně vyráběnými modely řady EDU-mod a nově vymyšleným a navrhnutým unikátním modelem obdobné konstrukce. Obsah praktické části se skládá z realizace a testování softwaru mikrokontroleru modelu a realizace sady demonstračních příkladů pro řízení modelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

EDU-mod, PLC automat, Siemens LOGO

TITLE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROL SOFTWARE FOR BULK MATERIAL CONTAINER MODEL

ANNOTATION

The content of the thesis is a design and creation of software for learning model of bulk material container, which is inspired by commercially produced models from the series EDU-mod. The control of this model will be realized by PLC automat Siemens LOGO. In the theoretical part I deal in general PLC automats with a focus on just used Siemens LOGO, similar commercially produced models from the series EDU-mod and a newly invented and designed unique model of a similar construction. Practical part content is made by realization and testing of the microcontroller software of the model and by realization few demonstration examples for directing the model.

KEYWORDS

EDU-mod, PLC automat, Siemens LOGO

OBSAH

	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	9
	SEZNAM ILUSTRACÍ	10
	SEZNAM TABULEK.....	11
0	ÚVOD	12
1	PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY	14
1.1	Programovatelný automat PLC	14
1.2	Výhody PLC	14
1.3	PLC a řízení procesů	17
1.4	Konstrukce PLC	19
2	SIEMENS LOGO	20
2.1	Základní informace	20
2.2	Koncepce Siemens LOGO	20
2.3	Struktura modelu Siemens LOGO	21
2.4	Napájení	21
2.5	Připojení digitálních vstupů	22
2.6	Připojení analogových vstupů	22
2.7	Zapnutí modulu	23
3	MODELÝ „EDU-MOD“	24
3.1	Rozdělení modelů	24
3.1.1	Modely „EDU-mod“ řady 24 V	24
3.1.2	Modely „EDU-mod“ řady 5 V	24
3.1.3	Připojení k řídicímu systému	24
3.2	Komerčně vyráběné modely	25
3.2.1	Model křižovatky	25
3.2.2	Model mísící jednotky	26
3.2.3	Model automatické pračky	27
3.2.4	Model soustavy pro regulaci spotřeby	28
3.2.5	Nápojový automat	29
3.3	Model zásobníku sypkého materiálu.....	30
3.3.1	Popis.....	30
3.3.2	Funkce	30
4	ZÁSOBNÍKY SYPKÝCH MATERIÁLŮ	32

4.1	Zásobník.....	32
4.2	Rozdělení zásobníků dle tvaru komor.....	32
4.2.1	Pravoúhlé zásobníky	32
4.2.2	Válcové zásobníky	32
4.3	Plnění a vyprazdňování zásobníku.....	33
4.3.1	Způsoby plnění.....	33
4.3.2	Problémy s plněním zásobníku	33
5	PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
5.1	Plán modelu.....	34
5.2	Prvky	35
5.2.1	Základní proměnné	35
5.2.2	Proměnné „demo“ režimu	36
5.2.3	Senzory.....	37
5.2.4	Seznam tlačítek	38
5.2.5	Seznam led diod	38
5.3	Rozvaha algoritmů	38
5.3.1	Hlavní algoritmus.....	38
5.3.2	Regulace v režimu pro PLC	41
5.3.3	Regulace v režimu „demo“	41
5.3.4	Výška hladiny	42
5.3.5	Plnění	43
5.3.6	Vyprazdňování	43
5.3.7	Simulace dopravníkového pásu	44
5.3.8	Přepínání režimů	44
5.4	Spuštění programu na reálném hardware.....	44
6	ZÁVĚR	46
	Použitá literatura	48
	Přílohy.....	49

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

PLC	Programmable logic controller
I/O	Input/Output
TTL	transistor-transistor-logic
LED	Light-Emitting Diode

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Ruční řízení	17
Obrázek 1.2 – Dopředné řízení	18
Obrázek 1.3 – Automatické řízení se zpětnou vazbou.....	18
Obrázek 2.1 – Popis automatu	20
Obrázek 2.2 – Zapojení analogového vstupu.....	23
Obrázek 3.1 – Model křižovatky	25
Obrázek 3.2 – Model mísící jednotky	26
Obrázek 3.3 – Model automatické pračky	28
Obrázek 3.4 – Model soustavy pro regulaci spotřeby	29
Obrázek 3.5 – Model nápojového automatu	30
Obrázek 3.6 – Model zásobníku sypkého materiálu.....	31
Obrázek 3.7 – Blokové schéma simulátoru	31
Obrázek 5.1 – Hlavní algoritmus	41
Obrázek 5.2 – Schéma zapojení mikrokontroleru	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1 – Senzory	36
Tabulka 5.2 – Stavy DEMO režimů	37
Tabulka 5.3 – Umístění senzorů	38
Tabulka 5.4 – Rozsvěcení diod v závislosti na výšce hladiny.....	46
Tabulka 5.5 – Závislost přábytku materiálu na čase.....	48

0 ÚVOD

V této bakalářské práci se budu zabývat návrhem simulačního modelu, inspirovaného modely „EDU-mod“ od firmy EDUtec. Tento model by měl být využíván v budoucnu k výuce programování řídicích aplikací, pomocí programovatelných automatů. Tento projekt bude realizován pomocí mikrokontroleru od firmy Atmel, který na naší univerzitě využíváme. Ovládací program mám možnost buď sestavit v jazyce Assembler, nebo v jazyce C. Máme k dispozici mikročip ATmega32, nicméně vítané by bylo, kdyby se povedlo využít pouze prostředků ATmega8, který má stejné funkce, ovšem menší počet vstupně/výstupních pinů a menší kapacitu registrů. Tím pádem by byl program využitelný více způsoby, a to i na menších mikročipech řady ATmega8 a ATmega16.

Jedná se o model nádrže na sypké hmoty, jinak známé také jako silo. Hlavním principem tohoto modelu by měla být simulace pomocí LED diod, informující o výšce hladiny a spuštěných funkcích. Podle plánu by o výšce hladiny měly informovat 4 diody. Budou zde 3 základní vstupní signály, spouštějící funkce plnění, vyprazdňování a promíchávání. O doplňování materiálu do nádrže by měl informovat spuštěný motor pásu, symbolicky rozsvícením diody. Dále také dopravníkový pás, který by nějakým způsobem měl interpretovat doplňování do nádrže. Pravděpodobně nejvhodnější možností simulace dopravníkového pásu se nabízí několik střídavě blikajících LED diod. Funkce vyprazdňování nebude informovat o procesu buď vůbec, nebo stejně jako funkce promíchávání, pouze rozsvícením diody. S výjimkou promíchávání, které je plánované jako čistě pasivní prvek, který nemá žádný vliv na regulační pochod, se budou zbylé 2 funkce měnit v časové závislosti na výšce hladiny. V případě doplňování nádrže nad rámec maximální výšky hladiny, by měl program informovat o překročení chybovou diodou. Výstupem by měly být signály ze senzorů, které budou přímo interpretovat skutečnou výšku hladiny, uloženou v proměnné programu. Tyto výstupy by dále měly posloužit jako vstup PLC, jehož řídicí program bude podle těchto hodnot dále vysílat signály na vstup modelu.

Kromě hlavního programu, tvořícího jakousi kostru fungování této nádrže, bych do programu rád doplnil také demonstrativní režim, který by byl soběstačný a ukazoval by průběh regulace, nezávisle na vytvoření řídicího programu na programovatelných automatech, pro které je primárně tento projekt tvořen. Demonstrativní režim by měl tuto kostru fungování využít takovým způsobem, aby posloužila jako jakýsi jednoduchý vzor řídicího programu regulace hladiny. Tento DEMO režim bude ovládán tlačítky, která budou umožňovat především spuštění a zastavení regulace. Podle plánu zavedu nejspíše 4 senzory, které budou umožňovat i

více demonstrativních režimů. Ideální bude tedy, podle mého názoru, zavést 3 tyto režimy s odlišnou požadovanou hladinou. Po spuštění těchto režimů by měl, podle mé vize, model vykonávat střídavě plnění a vyprazdňování podle požadované hladiny a vést tak regulační proces, dokud ho nepřeruší tlačítko stop.

1 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

1.1 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT PLC

PLC je volně programovatelný řídicí systém, přizpůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů, mnohdy specializovaný na úlohy převážně číslicového typu (především u starších typů a nejmenších systémů). Je označován zkratkou PLC (Programmable Logic Controller). Menší systémy bývají řešeny jako kompaktní, větší jako modulární (stavebnice). PLC automaty se odlišují od běžných počítačů nejen tím, že zpracovávají program cyklicky, ale i tím, že jejich periferie jsou uzpůsobeny tak, aby bylo možné je snadno napojit na technologické procesy. Převážnou část těchto periférií tvoří digitální vstupy (digital inputs) a digitální výstupy (digital outputs). PLC automaty se obvykle používají pro obsluhu strojů v místech, která jsou pro člověka špatně přístupná, nebo dokonce nebezpečná (Šmejkal, 1999).

1.2 VÝHODY PLC

Nespornou výhodou je jednoznačně rychlá realizace systému. Není nutné vyvíjet technické vybavení. Stačí navrhnout a objednat vhodnou sestavu modulů programovatelného automatu pro konkrétní aplikaci, vytvořit projekt, napsat program a následně vše uvést do provozu.

Technické vybavení programovatelných automatů je navrženo tak, že jsou extrémně spolehlivé i v nepříznivých průmyslových podmínkách. Jsou odolné vůči rušení i poruchám a lze u nich předpokládat vysokou spolehlivost. PLC jsou obvykle vybaveny i vnitřními diagnostickými funkcemi, které průběžně kontrolují činnost systému a včas reagují a upozorní na případné problémy. Diagnostikují, lokalizují závadu a zjednoduší její odstranění.

Vzhledem k tomu, že se málokdy podaří, aby první varianta zůstala tou poslední a konečnou, je velkou výhodou, že je možné do programu kdykoliv zpětně zasáhnout. Nároky a představy zadavatele postupně zrají, stejně tak vize programátora či projektanta se postupně může měnit a rozšiřovat. Při uvádění do provozu je nutné všechny funkce pečlivě vyzkoušet a opravit chyby a nedostatky. Následně přicházejí do kontaktu s řešením noví lidé, jako například obslužný personál, který do této chvíle neměl k projektu přístup, nebo nebyl schopen domyslet detaily a souvislosti. Právě proto se v této fázi velmi často objevují nedostatky zvoleného postupu řešení. Dodatečné úpravy a zadání nových funkcí přichází i po mnohých měsících či letech rutinního provozu.

U řídicího systému s pevnou logikou je jakákoli změna obrovský problém. Při použití programovatelného automatu stačí mnohdy jen změnit, upravit nebo rozšířit uživatelský program. Pokud požadavky na rozšíření vyžadují použití více vstupů či výstupů, můžeme si často vystačit s prozíravou rezervou v konfiguraci, která by se mohla pohybovat například kolem 10 %. V opačném případě stačí doplnit potřebné moduly, nebo připojit další PLC jako podsystém. Po doplnění programu do projektu je nutné opět pečlivě ozkoušet, odladit, otestovat, zdokumentovat a následně seznámit personál, který bude přicházet do kontaktu s naším systémem, se změnami a doplňky.

Neodmyslitelnou součástí automatizace je výpočetní technika. V dnešní době jsou osobní počítače součástí našeho života doslova na každém rohu. Automatizační technologie samozřejmě není výjimka a osobní počítače se běžně používají pro monitorování technologických procesů a dokumentování jeho kvality, spotřeby energie a surovin a přítomnosti a zásahů obsluhujících. S vyspělou automatizační technikou se tak nesetkává jen obslužný personál, seřizovači a údržbáři, nýbrž i technologové, energetici, často i vedoucí, ekonomové, nebo dokonce i právníci (například při řešení sporu o zavinění havárie).

Můžeme se také občas setkat i s přímým řízením technologických procesů pomocí obyčejného osobního počítače. Je to ovšem velmi riskantní. Běžný počítač kategorie PC nedisponuje součástkami, které by byly odolné vůči drsným průmyslovým podmínkám a je konstruován pro provoz především v domácnostech nebo na místech, kde není nárok na výrazně větší spolehlivost. Problémy obvykle vznikají už při připojení většího počtu vstupních a výstupních vodičů a jejich odrušením.

Proto se při přímém řízení používají obvykle průmyslové počítače (IPC, IC), často jen v roli chytrého operátorského panelu nebo komunikačního adapteru. Nevýhodou při jejich nasazování je však vysoká cena, a proto jsou jen tam, kde je zdůvodněna. Zejména při archivaci a zpracování velkých objemů dat, při využití obrazovky a standardního počítačového ovládání, při využívání standardních programových produktů a výkonných komunikací, při řešení geometrických a jiných výpočetně náročných úloh. Většinou se používají polovodičové paměti místo pevných disků, které by byly v průmyslových podmínkách nevhodné.

Dále bych rád zmínil jednočipové mikropočítače. Tak se označují integrované obvody, které na jednom čipu sdružují přinejmenším mikroprocesor, generátor hodinového signálu, paměť i I/O brány v rozsahu, umožňujícím alespoň částečnou samostatnou činnost. Používají se tam, kde řešíme automatický proces, který nepotřebuje velké množství vstupů a bude dostačující i menší paměť (například 4 KB). Potřebujeme-li větší paměť, případně větší počet vstupů, je dobré zvážit použití jiného počítače. Tyto mikropočítače se používají

v automobilech, pračkách, mikrovlnkách nebo například u PC klávesnice a zvukové karty. Jednočipové počítače v sobě nemají žádný operační systém. Musíme tedy naprogramovat vše sami. Programy se většinou vyvíjejí v Assembleru, v některých případech v jazyce C.

Zcela novou kategorii řídicích systémů otevírají takzvané „soft PLC“. Jde o počítačové systémy, které mají uspořádání s centrálním počítačem a se souborem distribuovaných pasivních modulů, které jsou spojeny rychlou a spolehlivou průmyslovou sběrnicí. Inteligence tohoto systému je soustředěna v počítači. Funkce komunikace a funkce, zajišťující bezproblémové fungování v reálném čase, které garantují dostatečně rychlou odezvu na vnější podnět, zajišťuje buď samotný počítač (PC, IPC) se standardním hardwarem (obvykle s upraveným operačním systémem), nebo se specializovaným zásuvným modulem pro osobní počítače. Tyto moduly mají vlastní procesor, operační systém pracující v reálném čase a svůj software. Může obsahovat také samostatný modul, který komunikuje sériově s PC. Centrální počítač realizuje veškeré řídicí funkce PLC (uživatelský program i systémové služby PLC) a funkce vývojového systému (zadání a překlad programu, jeho simulaci, podporu při ladění programu, při uvádění řízeného procesu do provozu a při jeho diagnostice). Systémy soft PLC poskytují tradiční programovací jazyky pro PLC, nabízejí ovšem navíc i standardní služby operačního systému a standardních programových produktů (např. databázové a výpočetní operace, programování v jazycích Pascal, C, komunikační a archivační funkce, výkonné simulační a výpočetní programy, tabulkové a textové procesory apod.).

U soft PLC je možnost integrovat v jednom systému funkce PLC a jeho vývojového prostředí spolu s operátorským rozhraním, vizualizací a archivací technologických dat, optimalizačními, expertními a diagnostickými funkcemi.

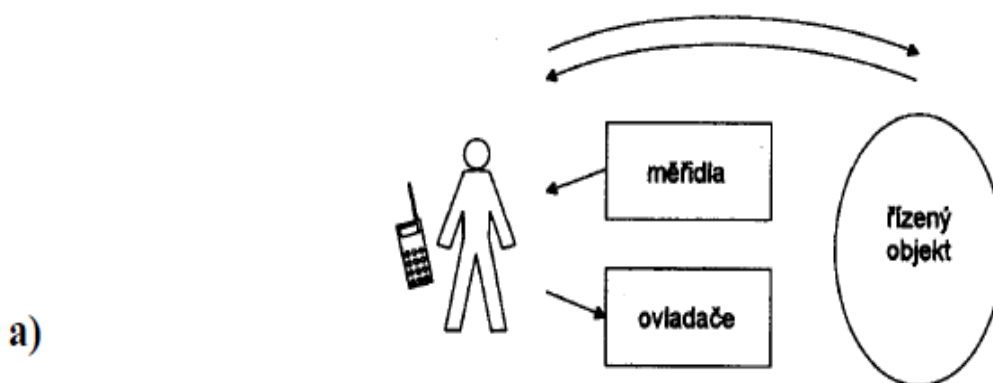
Využití Soft PLC zatím není příliš časté. Jejich rozšíření brání především vysoká cena. Koncoví uživatelé požadují většinou stále ještě standardní programovatelné automaty. Dá se předpokládat, že Microsoft brzy uvede na trh skutečný operační systém reálného času. Učinil tak například Apple, se svým produktem MAC. Princip centralizace funkcí do jednoho počítače a z něho plynoucí zranitelnost a závislost na počítači, tvoří stinnou stránku soft PLC. Řízení nepříliš složitých procesů, kde není nutné používat počítač, ještě nejspíš dlouho zůstane doménou tradičních PLC. Aplikace soft PLC lze očekávat v případech, kdy jde o rozsáhlé a složité procesy, náročné algoritmy a operace, kde je požadována archivace velkého množství dat.

Na trhu je v dnešní době možné si pořídit například takzvané „smart soft PLC“ nebo „mikro soft PLC“.

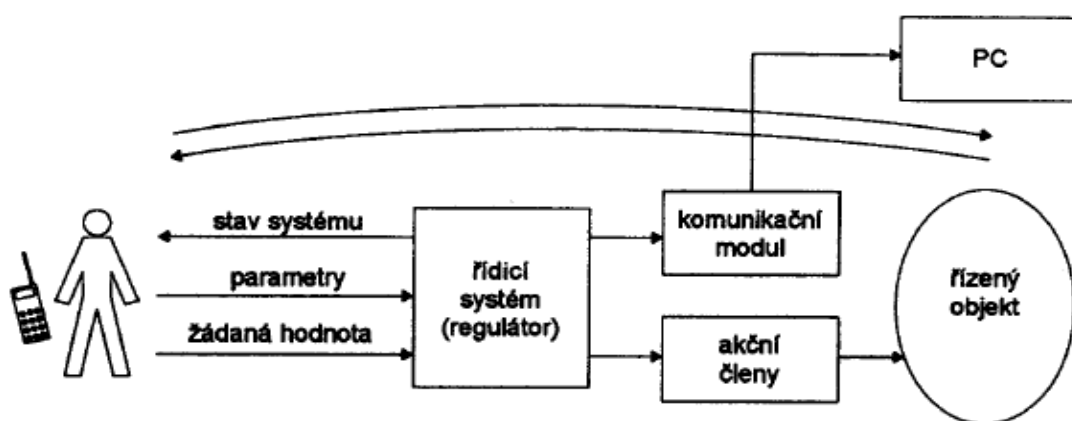
V prvním případě jde o inteligentní řídicí jednotky, které je možné propojit se širokou škálou vstupně výstupních zařízení. Jsou kombinací mnoha funkcí, čímž zastávají funkce obvykle více komponent. Jejich využití se obvykle nachází v monitoringu, ovládání, alarmování nebo přihlašování. Tyto produkty nabízí například stejnojmenná firma „softPLC“, stejně tak jako druhé zmiňované „mikro soft PLC“. Jedná se o řadu procesorů s otevřenou architekturou, jenž může být připojitelná k široké škále komunikačních sítí. Jsou fyzicky malé, nicméně funkčně velmi výkonné. Je vhodné je použít k řízení vestavěných strojů, záznamu dat, jako sériový převodník ethernetového protokolu, nebo například ve spojení s platformou „tagwell“, je možné sledovat a řídit vzdálené systémy (Šmejkal, 1999).

1.3 PLC A ŘÍZENÍ PROCESŮ

Řízení pomocí PLC je znázorněno na obrázcích 1.1, 1.2 a 1.3. Nejprve je zde vyobrazeno ruční řízení (obrázek 1.1), kde veškeré operace vykonává člověk. Při dopředném řízení (obrázek 1.2) působí PLC na řízený předmět jednosměrně. Ovládá ho, avšak nekontroluje. Jsou tedy mezi systém a řízený objekt zařazeny pouze akční členy a není zde žádná zpětná vazba. U zpětnovazebního řízení (obrázek 1.3) získává systém pravidelně informaci o stavu řízeného objektu, porovnává žádanou a skutečnou hodnotu a podle regulační odchylky mění akční zásah tak, aby dosáhl požadovaného stavu. V praxi to pak znamená, že například při regulaci teploty v pokoji, systém neustále získává zpětnou vazbu o teplotní odchylce (rozdíl skutečné hodnoty a teploty, kterou žádáme) a podle této odchylky způsobuje akční zásah prostřednictvím například servomotoru (povoluje či utahuje ventil, který pouští plyn do kotle ohřívajícího vodu) (Šmejkal, 1999).

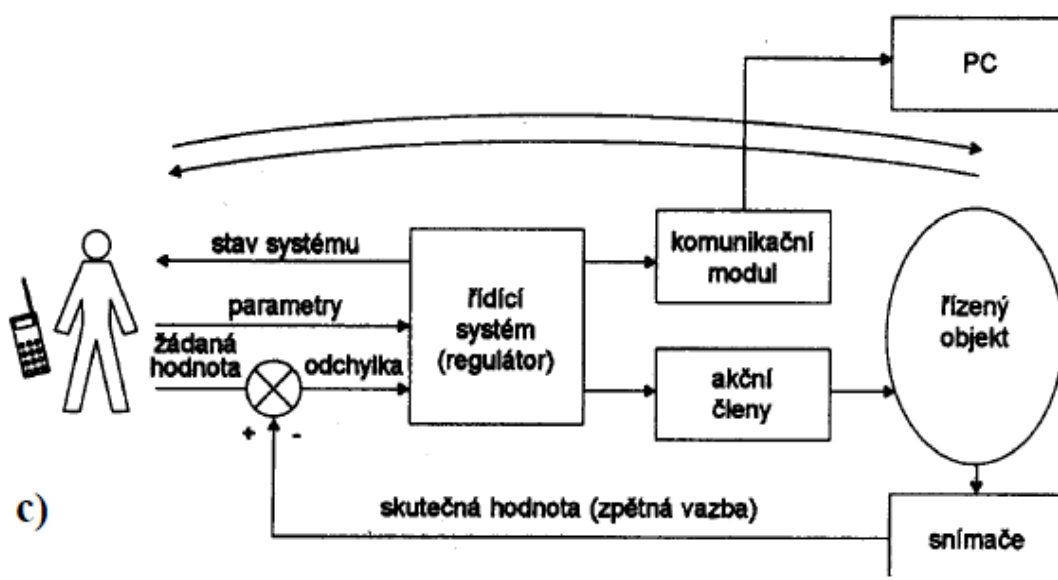


Obrázek 1.1 – Ruční řízení (Šmejkal, 1999)



b)

Obrázek 1.2 – Dopředné řízení (Smejkal, 1999)



c)

Obrázek 1.3 – Automatické řízení se zpětnou vazbou (Šmejkal, 1999)

Při aplikaci PLC funguje zadání požadované hodnoty v číslicové formě. Stejně tak se operuje číslicově i se skutečnou hodnotou a regulační odchylkou. Řízený objekt je proto nutné doplnit o snímač, potřebný k měření stavu sledovaných veličin (např. teploty, výšky hladiny, tlaku apod.). Za zpětnovazební řízení se dá považovat i dvoustavové logické řízení, při kterém na objekt působí jen 2 povely, a to „zapni“ a „vypni“. Zpracovává se i zpětnovazební informace o překročení prahových hodnot, jako například u řízení výšky hladiny v nádrži, kde tyto

informace budou představovat překročení maximální hladiny, což bude podnět pro vypouštění, nebo naopak senzor zaznamená nízkou hladinu a nádrž se začne napouštět. Na obrázku 1.2 a 1.3 je v obou případech naznačená komunikační vazba řídicího systému s PC pro monitorování procesu. Je zde i v případě zpětnovazebního řízení ponechána účast člověka, která je i v plně automatizovaných procesech nezbytná, alespoň pro občasnou kontrolu a seřízení. Příklad situace na obrázku 1.2 je velice zjednodušený. Obvykle je v praxi běžná kombinace všech 3 způsobů řízení. Mnohdy se i při ručním řízení uplatňuje řídicí systém, nejčastěji PLC. Bývá nezbytný, už jen k obsluze, komunikaci s operátorským panelem, zpracování povelů operátora, vyhodnocení stavů stroje a jejich zobrazení, jako prostředník mezi povelů operátora a mezi jednotlivými akcemi pro řízení stroje. Dále pro měření a zpracování měřené informace, pro logické ochrany stroje apod. Při řízení stroje je často nutné zajistit složité posloupnosti jednotlivých akcí, jejich koordinaci povelů pro pohony s ostatními akčními zásahy, jejich kontrolu apod. (Šmejkal, 1999).

1.4 PRINCIP PLC

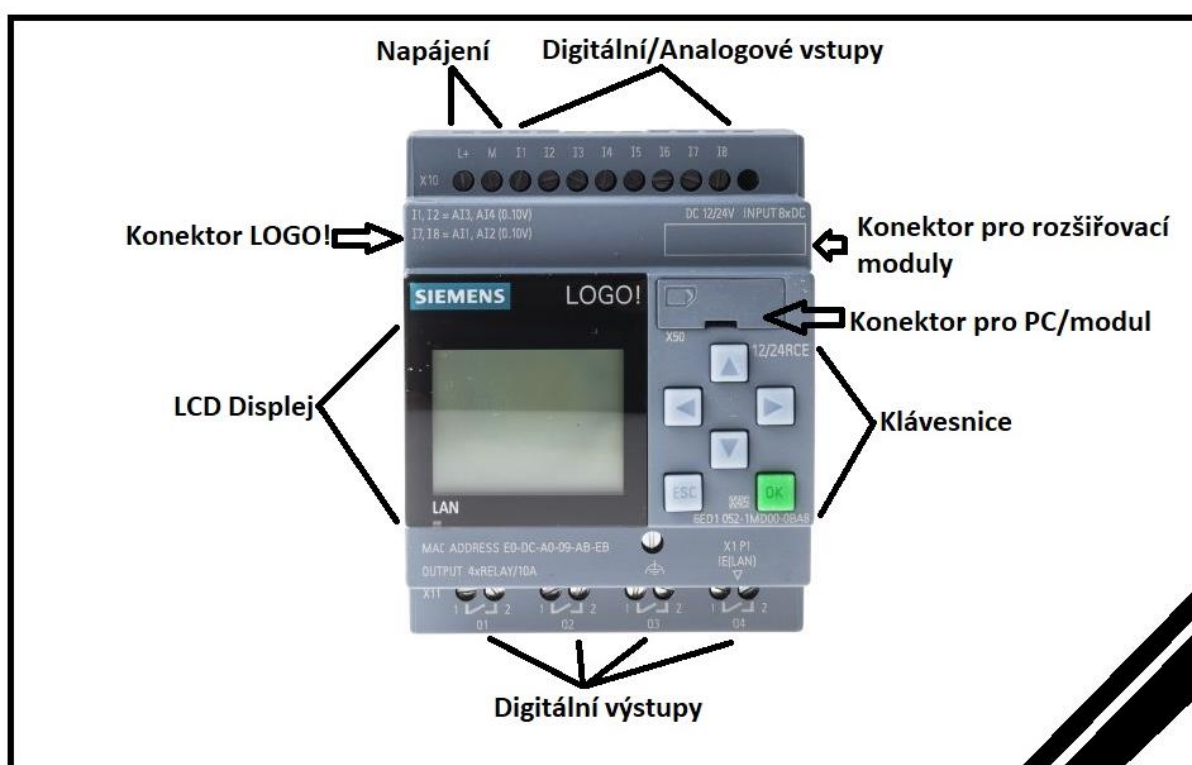
Na českém trhu se nejčastěji můžeme setkat s programovatelnými automaty těchto výrobců: ABB, Allen–Bradley, B+R, Eberle, Festo, GE, H+B, Idec, Klockner Moeller, Matsushita, Mitsubishi, Omron, Saia, Siemens, Schneider Group a českého výrobce Teco. Je mi umožněno využívat model od firmy Siemens, který nám je na univerzitě k dispozici. Tomuto modelu se budu i přednostně věnovat v teoretické části této bakalářské práce. V detailech se jednotlivé třídy těchto automatů liší, nicméně principiálně a způsobem použití jsou srovnatelné.

Základní myšlenkou je spojení logických, spínacích, časových a jiných speciálních funkcí do jednoho modulu. Výsledkem je nejen zjednodušení návrhu automatizačních řešení, ale především úspora nákladů a času na jeho provedení. Vhodnou kombinací všech funkcí modulu lze získat širokou škálu řešení pro různé úlohy v mnoha odvětvích průmyslu. Díky implementaci analogových funkcí je možné modul využít také například k udržování konstantní teploty nebo stálé hladiny v nádrži.

2 SIEMENS LOGO

2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Tento programovatelný logický automat se vyrábí již od roku 1996, kdy firma Siemens přišla na trh s tímto typem PLC jako první. Dnes máme na trhu již několik generací, z nichž poslední je verze „0BA8“. Model PLC LOGO je představitelem jistého standardu ve své kategorii, označované jako „mikro PLC“, nebo také programovatelné či řídicí relé.



Obrázek 2.1 – Popis automatu (Rakušan, 2008)

2.2 KONCEPCE SIEMENS LOGO

Základní myšlenkou PLC LOGO je spojení logických, spínacích, časových a ostatních funkcí do jednoho samostatného modulu. Výsledkem je, mimo návrhu automatizačních řešení, především uspořený čas a finance, nutné k jeho realizaci. Správnou kombinací modulu lze získat široké spektrum řešení pro různé úlohy v různých odvětvích průmyslu, ale i obsluhu zařízení, se kterými se setkáváme v každodenním životě. Siemens LOGO je schopen řídit obrovské množství procesů, jako jsou například otevírání a zavírání vrat, řízení osvětlení v budovách, ovládání pásu ve fabrikách, řízení kompresorů, ovládání zavlažovacího systému

ve skleníku a podobně. Díky implementaci analogových funkcí lze pomocí tohoto automatu udržovat i stálou teplotu v místnosti nebo výšku hladiny vody v nádrži. (Rakušan, 2008)

Funkce přístroje je možné přizpůsobit podle individuálních přání zákazníka, protože je poměrně snadné upravit program v základní jednotce. Přehledné vývojové prostředí LOGO poskytuje velké množství různých nástrojů, umožňujících programátorovi rychle a efektivně napsat a odladit program. Na rozdíl od řady jiných výrobců, je zde i plná podpora češtiny (Rakušan, 2008).

2.3 STRUKTURA MODELU SIEMENS LOGO

Základní modul se skládá z několika částí. Na vrchním panelu je umístěn zeleně podsvícený LCD displej, který funguje jako komunikátor modulu s jeho obsluhou. Při programování jsou na něm zobrazovány funkční bloky. Při provozu jsou na něm zobrazeny stavy vstupů a výstupů, paměťových bitů, čas a datum. Dále slouží také k zobrazení zpráv o stavu programu a zobrazení hodnot proměnných. Na vrchním panelu je umístěna klávesnice. Čtyři tlačítka ve tvaru šipek mohou sloužit jako vstupy. Poslední věc, nacházející se na vrchním panelu, je speciální konektor, sloužící ke komunikaci s PC. K tomuto konektoru lze připojit speciální kabel, na jehož druhém konci je konektor USB, pomocí kterého modul můžeme připojit k osobnímu počítači. Ve starších verzích se na konci komunikačního kabelu nacházel sériový konektor RS 232 (devíti pin). V horní části modulu se nachází 2 šroubové svorky, sloužící k připojení napájení a 8 šroubových svorek digitálních, respektive analogových vstupů. V dolní části se nachází 8 šroubových svorek, čtyři digitální reléové a 4 polovodičové výstupy. Na pravém boku pod krytkou lze nalézt konektor pro připojení rozšiřovacích modulů (Rakušan, 2008).

2.4 NAPÁJENÍ

Modely Siemens jsou vyráběny ve třech různých verzích s ohledem na jejich napájení.

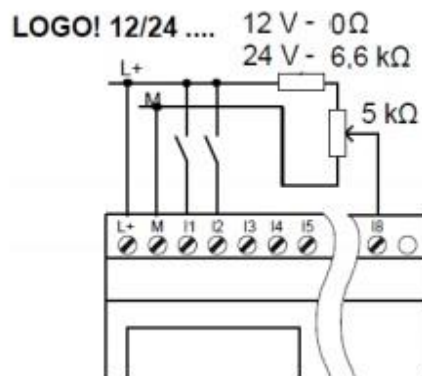
- a) Verze modulu PLC Siemens LOGO! 12/24 – napájecí napětí je 12 V nebo 24 V stejnosměrných,
- b) verze modulu PLC Siemens LOGO! 24 – napájecí napětí je pouze 24 V stejnosměrných,
- c) verze modulu PLC Siemens LOGO! 230 – napájecí napětí je od 115 V do 230 V střídavých nebo stejnosměrných. (Rakušan, 2008)

2.5 PŘIPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ

Vstupy slouží k přivedení dvoustavové informace. Označují se I1 až I8. I3 až I6 jsou takzvané rychlé vstupy, které jsou schopné zpracovat signál o frekvenci až 5 KHz. Vstupy jsou rozděleny do dvou skupin po 4 vstupech. Ve stejné skupině musí být všechny vstupy na stejné fázi. Pro příklad I1 až I4 na fázi L1 a I5 až I8 na fázi L2. Nesmí se na vstupy připojit stejné fáze (Košíček, 2012).

2.6 PŘIPOJENÍ ANALOGOVÝCH VSTUPŮ

Tyto vstupy jsou použity pouze u modelů PLC Siemens LOGO! s napájecím napětím 12 V nebo 24 V. Na základním modulu jsou integrovány čtyři analogové vstupy. Nacházejí se pod označením digitálních vstupů, které v závislosti na programu, mohou plnit funkci také analogových vstupů. Digitální vstup I1 odpovídá analogovému vstupu AI3, I2 odpovídá AI4, I7 odpovídá AI1 a I8 odpovídá AI2. Analogové vstupy modulu jsou schopny zpracovávat napěťové signály v rozsahu 0 V až 10 V, proudové signály v rozsahu 0 mA až 20 mA nebo v rozsahu 4 mA až 20 mA. Při použití napájecího napětí 24 V, je nutno před potenciometr o hodnotě 5 k Ω zařadit omezovací rezistor do série, který by měl mít hodnotu 6,6 k Ω . Vznikne tak dělič napětí, zaručující, že na analogovém vstupu bude napětí v potřebném rozsahu 0 V až 10 V. Na obrázku 2.2 je příkladné zapojení jednoho analogového vstupu. Konkrétně se jedná o zapojení vstupu AI2, který se nachází na společné svorce s digitálním vstupem I8. Obdobně se zapojují i ostatní vstupy modulu (Košíček, 2012).



Obrázek 2.2 – Zapojení analogového vstupu (Košíček, 2012)

2.7 ZAPNUTÍ MODULU

Modul Siemens LOGO nemá vlastní síťový vypínač. Závisí tedy pouze na zdroji, který se k němu připojí. Stav, do kterého se modul po zapnutí uvede, závisí na následujících faktorech:

- zda je v paměti modulu uložen program,
- zda je zasunut programový modul (karta) nebo kombinovaný modul (paměť nebo baterie) do konektoru PC/modul, který je umístěný na čelním panelu modulu,
- zda jde o variantu modulu PLC Siemens LOGO! bez displeje,
- v jakém stavu se modul PLC Siemens LOGO! nachází v době, kdy došlo k výpadku napájecího napětí. (Košíček, 2012)

3 MODEL Y „EDU-MOD“

Modely „EDU-mod“ byly vyvinuty v rámci výukového systému „EDUtec“ firmou TECO a.s. Jsou primárně určeny pro výuku na středních, vyšších i vysokých školách a používá je také firma TECO a.s. v rámci svých výukových kurzů.

Tyto modely simulují technologické procesy. Jsou určeny především k praktické výuce logických systémů, realizovaných programovatelnými automaty (PLC), řídicími počítači, stavebnicemi logických obvodů (např. Dominoputer), atd. Podle napěťové úrovně logických signálů se vyrábí ve dvou základních řadách (Kohout, 2008).

3.1 ROZDĚLENÍ MODELŮ

3.1.1 Modely „EDU-mod“ řady 24 V

Logické signály s úrovní 24 V stejnosměrného napětí, umožňují univerzální použití pro libovolný typ PLC systému. Vstupní i výstupní signály jsou definovány proti společnému zápornému vodiči. Opačnou polaritu signálů je možné řešit přizpůsobovacími členy. (Kohout, 2008)

3.1.2 Modely „EDU-mod“ řady 5 V

Logické signály s úrovní TTL umožňují spojení s logickými automaty realizovanými na bázi stavebnic číslicových integrovaných obvodů, programovatelných logických polí, procesorových obvodů apod. (Kohout, 2008)

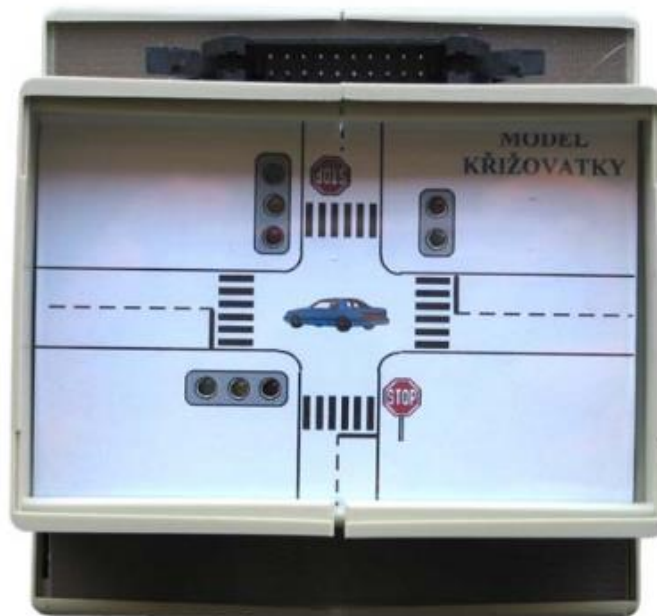
3.1.3 Připojení k řídicímu systému

Vstupní a výstupní signály „EDU-mod“ jsou vyvedeny na 20 pólový konektor, zajišťující propojení plochým kabelem s rozbočovacím modulem s mechanickým provedením, shodným s periferiemi „EDUtec“. Rozbočovač obsahuje 4 konektory „Cannon 9“ (2 vstupní, 2 výstupní), pro připojení maximálně 8 vstupních a 8 výstupních binárních signálů z/do libovolného systému. Chci-li tedy použít zvolený modul, stačí ho kabelem připojit a do příslušných konektorů zapojit řídicí systém (Janů, 2011).

3.2 KOMERČNĚ VYRÁBĚNÉ MODELY

3.2.1 Model křižovatky

Tento model je nejjednodušší z celé sady. Jde o model bez výstupů, simulující rozsvěcování a zhasínání semaforů.

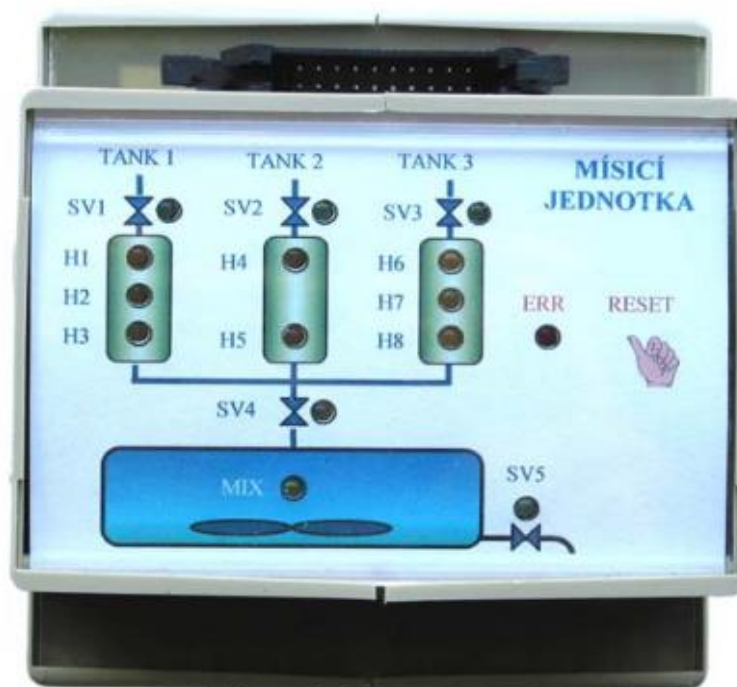


Obrázek 3.1 – Model křižovatky (Kohout, 2008).

Funkce modelu:

- Jedná se o pasivní model bez procesorové jednotky, který ukazuje pomocí LED diod stavy výstupních signálů řídicího automatu.
- Pomocí připojeného modulu s tlačítky je možné zadání rozšířit například o tlačítko pro chodce (Kohout, 2008).

3.2.2 Model mísicí jednotky



Obrázek 3.2 – Model mísicí jednotky (Kohout, 2008).

Funkce modelu:

- Jde o aktivní model s vlastní inteligencí, ovládající a simulující funkci technologie, složenou ze tří plnicích tanků a jedné mísicí nádoby.
- Jednotka je řízena 6 výstupy (5x solenoid. ventilů a mixér). Vnitřní procesorová jednotka ovládá LED diodu simulující výšky hladin snímačů a generuje chybová hlášení.
- Po sepnutí ventilů SV1 až SV3 se začnou plnit příslušné tanky s objemem 84 l rychlostí 6 l/s. Hladinoměry H1 až H8, snímající výšku hladiny v jednotlivých nádobách, mají následující význam: dolní snímače (H3, H5, H8) – minimální množství kapaliny (cca 10 l), střední snímač (H2, H7) – polovina nádrže a horní snímače – (H1, H4, H6) – plná nádrž. Objem mísicí nádoby je 253 l průtok napouštěcím a vypouštěcím potrubím (přes SV4, SV5) je 18 l/s (Kohout, 2008).

3.2.3 Model automatické pračky



Obrázek 3.3 – Model automatické pračky (Kohout, 2008).

Funkce modelu:

- Model je řízen 6 binárními výstupy PLC, pomocí 24 V logiky (společná zem), jejichž stav je zobrazován pomocí LED diod.
- Dva výstupy slouží pro otáčení bubnem, které je znázorněno 8 LED diodami, formou „běžícího světla“. Rychlost otáčení se řídí výstupem otáčky (0=praní, 1=ždímání).
- Další funkcí modelu je simulace napouštění a vypouštění vody do prací vany a její ohřev (včetně chladnutí). Pro napouštění slouží bit VODA, pro vypouštění bit ČERPADOLO a pro ohřev vody bit TOPENÍ.
- Hladina vody je snímána na dvou úrovních (50 % a 100 %) a též zobrazována na LED. Informace je posílána na výstup modelu, respektive vstup PLC.

- Při ohřívání vody se model chová jako soustava 2. řádu, avšak časové konstanty jsou zkráceny tak, aby se při ladění aplikací nemuselo příliš dlouho čekat (ohřev plné vany na 90 °C trvá zhruba 60 s). Teplota vody je snímána ve 4 bodech (30, 40, 60 a 90) °C (Kohout, 2008).



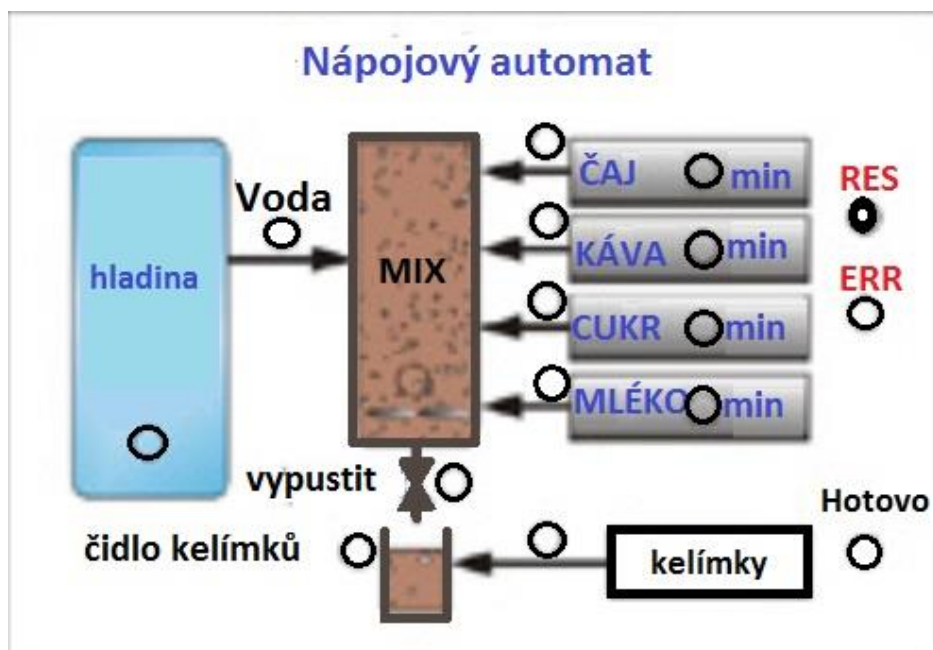
Obrázek 3.4 – Model soustavy pro regulaci spotřeby (Kohout, 2008).

3.2.4 Model soustavy pro regulaci spotřeby

Funkce modelu:

- Jedná se o aktivní model s vlastní inteligencí, simulující funkci objektu, u kterého řídíme spotřebu elektrické energie (čtvrt hodinová maxima).
- Model je řízen logickými signály z libovolného systému, které podle zvoleného algoritmu blokují čtyři náhodně spínané odběrové kanály.
- Odpojování kanálů řídí PLC pomocí svých výstupů. Pátá odběrová větev má stálý příkon a nedá se vypínat.
- Vnitřní procesorová jednotka simuluje funkci impulsního elektroměru a generuje synchronizační signál intervalu měření spotřeby. Interval je z praktických důvodů zkrácen na 5 minut (Kohout, 2008).

3.2.5 Nápojový automat



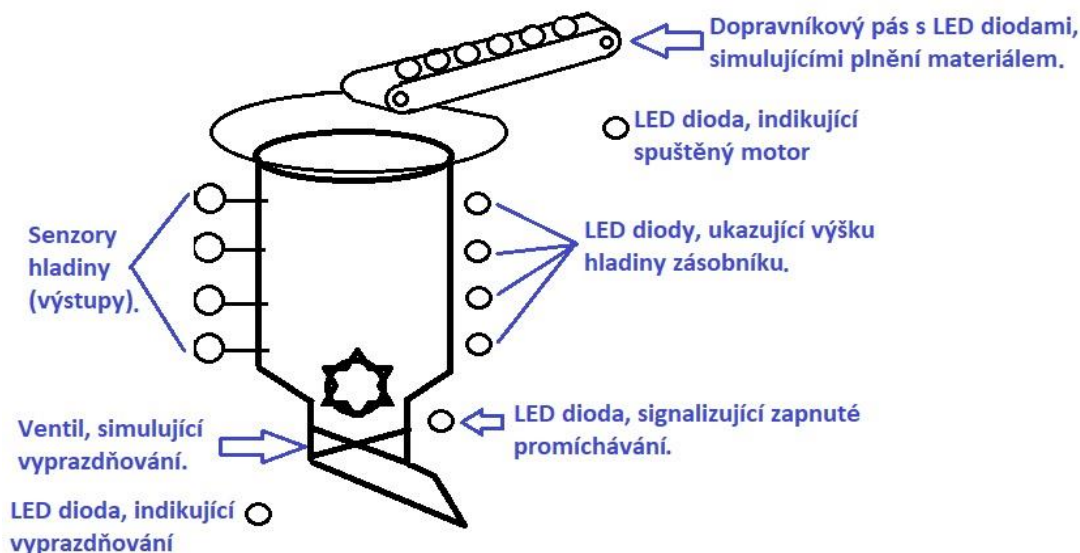
Obrázek 3.5 – model nápojového automatu (Kohout, 2008).

Funkce modelu:

- Nápojový automat je aktivní model s vlastní inteligencí, simulující funkci zařízení na výrobu kávy a čaje.
- Model je řízen 8 binárními výstupy PLC (5 dávkovacích ventilů, vypouštěcí ventil, mixér a podavač kelímků) na úrovni 24 V logiky (společná zem), jejichž stav je na modelu zobrazován pomocí LED. Vnitřní procesorová jednotka ovládá LED, simulující snímače obsahu zásobníků, přítomnosti kelímku a generuje chybová hlášení.
- Po zapnutí napájení nebo po restartu (tlačítko RESET) se jednotka automaticky nastaví do inicializačního stavu – zásobníky vody, čaje, kávy, cukru, mléka na 5 dávek, v zásobníku kelímků je připraveno 10 ks.
- Po sepnutí kteréhokoli ventilu se do mísící nádoby aplikuje pouze jedna dávka vody, čaje. Totéž platí pro vypouštěcí ventil.
- Prázdné zásobníky a přítomnost kelímku jsou snímány a zobrazovány na LED. Informace je samozřejmě také posílána na výstupy modelu (vstupy PLC).

- Připravený nápoj je možné odebrat stiskem tlačítka Hotovo. (Kohout, 2008)

3.3 MODEL ZÁSOBNÍKU SYPKÉHO MATERIÁLU



Obrázek 3.6 – model zásobníku s dopravníkovým pásem

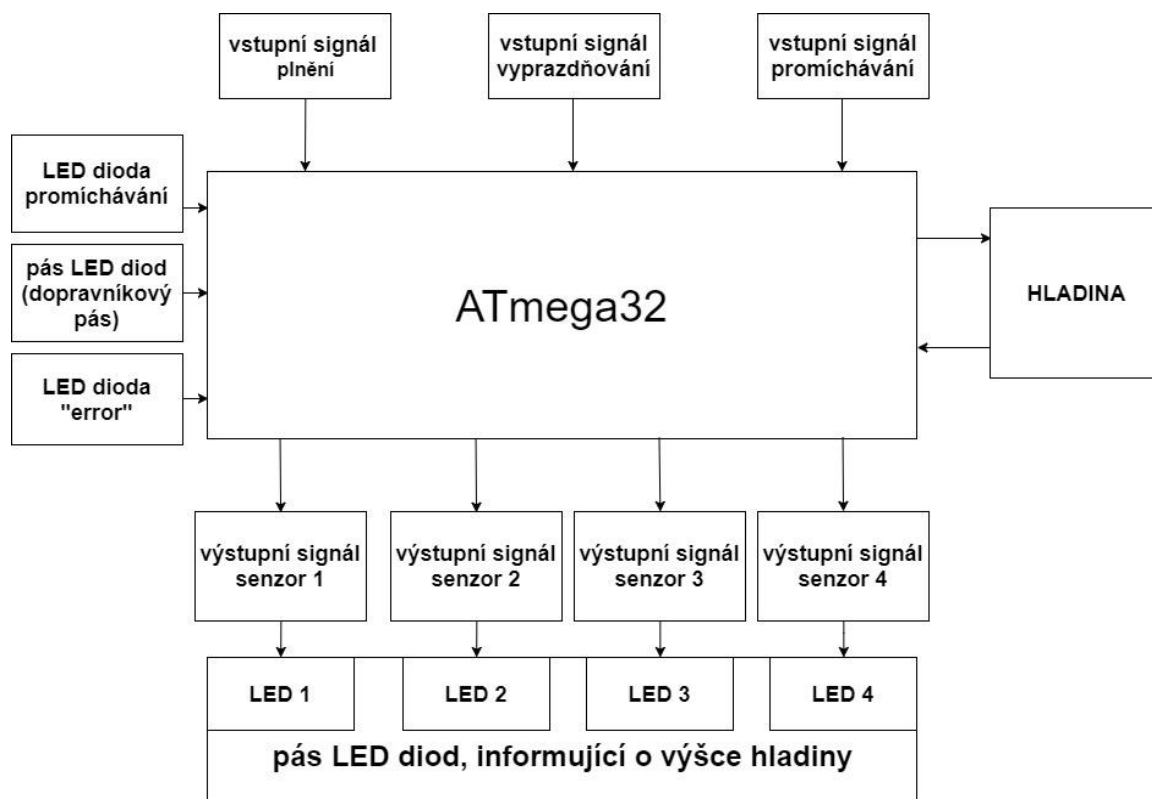
3.3.1 Popis

Tento model, který byl inspirován komerčně vyráběnými modely od firmy EDU tec, navrhují se záměrem dalšího využívání studenty v hodinách. Základním principem tohoto modelu je řízení doplňování sypkého materiálu do zásobníku. Vstupem automatu je signál z přepínače START a detektory hladiny MAX, MIN.

3.3.2 Funkce

- Je-li $PLNENI=0$, materiál se nedoplňuje
- $PLNENI=1$ spouští činnost automatu
- Pokud v průběhu činnosti automatu je na vstupu $PLNENI=0$, automat zastaví doplňování a přejde do klidového stavu.
- Pokud je na vstupu $VYPRAZDNOVANI=1$, automat spustí vyprazdňování zásobníku, v opačném případě automat vypne vyprazdňování.
- $PROMICHAVANI=1$ sepne LED diodu, informující o aktivním promíchávání.

- Přeplnění zásobníku spouští signalizaci ERROR.
- Podle výšky hladiny zásobníku se určují výstupní signály senzorů.
- Pás 4 LED diod informuje o výšce hladiny a rozsvěcí příslušnou diodu,



Obrázek 3.7 – Blokové schéma simulátoru

Hlavní princip realizace fungování simulátoru spočívá na 3 vstupních prvcích a 4 výstupních.

Vstupní signály jsou plnění, vyprazdňování a promíchávání. Model je realizovaný pomocí mikročipu ATmega32. Mikročip čeká na vstupní signály a v případě jejich přivedení dále automaticky generuje signály výstupní. 4 výstupní signály, konkrétně 4 senzory, mění své logické hodnoty, podle hlavní proměnné programu mikročipu, hladiny. Tyto výstupní signály jsou též signalizovány čtyřmi LED diodami. Pokud hladina nabývá hodnotu nula, nesvítí žádná dioda. Dále jsou rovnoměrně rozmístěné 4 diody a každá z nich se rozsvěcí při určité výšce hladiny. Překročení maximální hladiny rozsvěcí diodu ERROR. Více o tomto modelu je napsáno v praktické části této práce.

4 ZÁSObNÍKY SYPKÝCH MATERIÁLŮ

4.1 ZÁSObNÍK

Je prostorová konstrukce, sloužící k uskladnění zrnitých, prachových nebo i částečně vláknitých materiálů. Jde o zařízení finančně nákladná, a proto by se v nich z principu neměly ukládat materiály, které je možné volně uchovat například v bunkru. Materiál uložen v zásobníku by měl dostatečně uchránit materiály, které jsou náchylné na změny vlastností, způsobené počasím (Perna, 2009).

4.2 ROZDĚLENÍ ZÁSObNÍKU DLE TVARU KOMOR

- Zásobníky s pravoúhlým průřezem komory
- Zásobníky s kruhovým průřezem komory
- Zásobníky s mnohoúhelníkovým průřezem komory (Perna, 2009).

4.2.1 Pravoúhlé zásobníky

Používají se obvykle pro menší skladovací kapacity, z důvodu vysokého namáhání stěn. U takovýchto zásobníků často vzniká problém takzvaných mrtvých koutů, ze kterých se materiál velmi obtížně vyprazdňuje. Jedinou výhodou je v tomto případě lepší využití místa při vytváření skupin zásobníků.

4.2.2 Válcové zásobníky

Jsou výhodné, jak z hlediska výrobního, tak z hlediska namáhání pláště zásobníku. Jistá nevýhoda, oproti pravoúhlým zásobníkům, je menší skladovací kapacita při vytváření skupin zásobníků. Válcovité zásobníky jsou nejčastěji vybaveny kuželovitou výpustí, která zaručuje dokonalé vyprázdnění celého objemu zásobníku. Otázkou je pouze navržení správného úhlu výsypky.

4.3 PLNĚNÍ A VYPRAZDŇOVÁNÍ ZÁSObNÍKŮ

4.3.1 Způsoby plnění

Prvním způsobem je mechanické plnění, při kterém je na střeše zásobníku otvor s otevíracím poklopem, jímž jde zásobník pomocí dopravníkového nebo šnekového pásu plnit.

Další možností je pneumatický způsob, kdy je do zásobníku materiál dopravován potrubím, jehož vyústění je těsně pod střechou zásobníku a připojovací konec plnicího potrubí je zhruba 1,5 m nad zemí (Perna, 2009).

4.3.2 Problémy s plněním zásobníku

Způsob plnění zásobníku má též vliv na další provoz zásobníku. Při plnění se projeví segregace částic, v případě že směs obsahuje částice různých velikostí. Mechanismus „samotřídění“ lze demonstrovat i při padání sypkého materiálu na hromadu. Pokud materiál padá z určité výšky na vodorovnou plochu, vytvoří se kužel, jehož velikost a tvar je závislý na vlastnostech materiálu. Následným působením vnějších sil může dojít k deformaci kužele, avšak bez vnějších vlivů by měl být tvar kužele symetrický.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 PLÁN MODELU

Při realizaci modelu mám k dispozici zapůjčený školní mikrokontroler ATmega32. V první řadě je mým úkolem rozmyšlení a navrhnutí všech funkcí modelu a vytvoření vhodného algoritmu, vedoucího ke všem možným stavům, ke kterým by v reálném zásobníku mohlo dojít. Po důkladném rozmyšlení jsem dospěl k vizi, jak by měl celý model fungovat.

Abychom mohli sledovat průběh regulace, na modelu budou umístěné LED diody, ukazující aktuální výšku hladiny. Model bude v mém projektu připraven na další využití a ovládání pomocí PLC automatu. Bude též disponovat soběstačným demonstračním režimem, ovládaným tlačítky.

Rozhodl jsem se do demonstrační části modelu zavést více režimů regulací, které se budou volit tlačítky. Tlačítka budou ovládat i základní funkce jako start, stop a reset. Podle zadání zde přidám i prvek promíchávání, jež bude ovládaný také tlačítkem.

Uvažuji ještě o možnosti manuálního spuštění vyprazdňování, které nebude závislé na stavu regulace. Moje představa fungování modelu je, že po spuštění se načte výška hladiny v zásobníku. Uvažoval jsem o možnostech prázdné nádrže při zapnutí, nebo možností volby mezi prázdnou nádrží a náhodnou výškou hladiny. Nakonec jsem zvolil pouze prázdnou nádrž, protože by druhá možnost neměla využití.

Po uvedení modelu pod napětí by měl model několik sekund čekat, jestli se nestiskne tlačítko „demo“. V případě, že takto obsluha neučiní, automaticky model přejde do režimu řízení PLC. V druhém případě se spustí demonstrační režim, který dále disponuje třemi „podrežimy“. Každý režim zvolím unikátní a půjde zde především o rozdíly požadované výšky hladiny. Po spuštění lze sledovat regulační pochod a je možné do procesu zasahovat změnami režimů po zastavení. Kromě simulace výšky hladiny pomocí diod, zde bude i simulace dopravníkového pásu, který bude aktivní při plnění zásobníku. Systém bude ošetřen varovnou signalizací při překročení 100 % hladiny a je také možné systém resetovat pomocí tlačítka.

Vzhledem k tomu, že mám představu, jak by model měl fungovat, můžu začít nad projektem uvažovat z vývojářského hlediska.

Zvolím si tedy veškeré proměnné, které budou potřeba k realizaci a pojmenuji si je. Pojmenuji si stejným způsobem i všechna potřebná tlačítka, kterými se bude po dokončení a zrealizování tohoto projektu řídit a ovládat simulační model. Obstarám si potřebné LED diody, sloužící k indikaci stavů a simulaci procesů

5.2 PRVKY

V této kapitole se budu zabývat jednotlivými prvky, ze kterých postupně složím celý model. Jde především o proměnné, které nesou ve většině případů logický charakter a také fyzické prvky jako jsou tlačítka a diody. Jejich vzájemné závislosti a provázanosti popisují právě zde.

5.2.1 Základní proměnné

a) hladina

Jedná se o vstupní proměnnou. Stavby mohou nabývat hodnot 0 až 100 a posouvají se po jednotkách.

Existuje zde stav, kdy hodnota překročí 100, což v praxi znamená přeplnění 100 % hladiny nádrže a následnou signalizaci „ERROR“. Tento stav čeká na své využití především v hlavním režimu pro PLC. Hladina je z prvopočátku závislá na načtení hodnoty po startu. Ta bude primárně nulová. Následně je hodnota proměnné určována procesy plnění a vyprazdňování, které přímo přičítají nebo odečítají její hodnotu, a to za jednotku času.

Zpětně zase hladina určuje, kdy se jednotlivý proces vypne a zase zapne.

b) senzory

V mém projektu jsem zavedl 4 senzory (tabulka 5.1). Jedná se o výstupní proměnné.

Tabulka 5.1 –Senzory

proměnná	Symbol proměnné	stavy
Senzor 1	HL20	0;1
Senzor 2	HL40	0;1
Senzor 3	HL60	0;1
Senzor 4	HL90	0;1

Každá z těchto proměnných je přímo závislá na proměnné “hladina”, tedy skutečné hladině, podle jejíž hodnoty se určuje. Ve skutečnosti bychom výšku hladiny mohli pouze odhadovat a k jejímu přesnému určení by sloužily právě tyto senzory.

c) promíchávání

Jde o pasivní vstupní proměnnou V případě přivedení signálu se rozsvěcí dioda, oznamující spuštěné promíchávání. V demo režimu se spouští tlačítkem “promíchávání” a rozsvěcí také stejnojmennou diodu.

V aktuálním návržení modelu nemá více funkcí a neovlivňuje žádné další prvky.

d) motor

Pokud je pozitivní, spouští proces dopravníkového pásu, kdy probíhá simulace pomocí diod. Sama proměnná je závislá na procesu plnění, kdy při jeho aktivitě rovněž nabývá hodnoty 1.

5.2.2 Proměnné „demo“ režimu

a) režim regulace

Tato proměnná se vztahuje pouze k demonstračnímu režimu. Režim regulace se nastavuje po zapnutí celého modelu a následném stisknutí tlačítka “demo”, ovládá se tlačítkem “režim” a jeho aktuální nastavení můžeme kontrolovat pomocí 3 LED diod. Z toho vyplývá, že režim je závislý na stisku zmíněného tlačítka a dále ovlivňuje jak informativní diody, tak samozřejmě jednotlivé procesy, které po spuštění regulace mají různé specifické podmínky. V tabulce 5.2 jsou znázorněny rozdíly mezi těmito stavy.

Tabulka 5.2 –Stavy DEMO režimů

režim	Plnění, %	Vyprazdňování, %
1	Do 20	Od 90 do 100
2	Do 40	Od 90 do 100
3	Do 60	Od 90 do 100

Z důvodu, aby se při mezní hranici rozsvícení celého sloupce LED diod ihned nespustilo vyprazdňování, zavedl jsem jednu odlišnou hodnotu výšky hladiny pro nejvrchnější senzor a pro hladinu, při které se rozsvěcuje celý sloupec diod. Ostatní mezní hodnoty jsou totožné. Tato výjimka představuje umístění vrchního senzoru na 90 % naplnění objemu nádrže, na rozdíl od vrchní LED diody, u které tato hodnota představuje 80 %.

Je zapotřebí trochu upřesnit, co se děje v případě dosažení požadovaného stavu. Neznamená, že pokud model v jistém režimu splní podmínky požadovaného stavu, systém se zastaví a čeká. V případě dosažení požadovaného stavu systém dál reguluje až do mezní hranice, dané aktuálním režimem.

5.2.3 Senzory

Jednotlivé senzory představují 4 výstupní prvky mikrokontroleru, které mají svůj význam v režimu pro PLC, kdy programovatelný automat bude dále zpracovávat jejich signály a řídit podle nich celý model. Co se týká senzorů v DEMO režimu, tak reprezentují pouze pomyslnou funkci, která by byla reálná v případě opravdového systému s reálným silem a opravdovou regulací. V tomto simulačním modelu všechny 4 senzory, které by ve skutečnosti signalizovaly 5 různých stavů výšky hladiny zásobníku (0 – 19, 20 – 39, 40 – 59, 60 – 89 a 90 – 100) %, nahrazuje proměnná “hladina”, která jednoznačně určí, ve kterém z těchto pěti stavů se systém síla nachází. V tabulce 5.3 jsou znázorněné jednotlivé senzory.

Tabulka 5.3 – Umístění senzorů

senzor	Název proměnné	Umístění v nádrži, %
Senzor 1	HL20	20
Senzor 2	HL40	40
Senzor 3	HL60	60
Senzor 4	HL90	90

Existuje ještě jeden, v tabulce 5.3 nezmíněný speciální stav, a to je ten, při kterém hladina překročí hranici 100 %. Tomuto stavu budu říkat zakázaný stav. Senzory zavedu jako proměnné, které budou nabývat dvou hodnot a podle nich se bude systém chovat.

V praxi je zapotřebí také počítat s teoretickou variantou, že následkem poruchy jednoho ze senzorů, nebo nerovnoměrného rozprostření materiálu v nádrži, potažmo chybou a nepřesností zvoleného senzoru, by mohlo dojít k situaci, kdy jakýkoliv senzor nebude posílat informaci o zaplnění nádrže na příslušné úrovni, nýbrž vrchnější senzor pošle informaci o jeho zaplnění. V tomto případě by se nabízelo řešit tuto situaci nejdříve automatickým zapnutím

promíchávání, což by mohlo materiál i v případě větších kusů, mezer či “bublin” dostat do rovnoměrnějšího rozprostření. Pokud by se problém nevyřešil tímto, následovalo by hlášení a signalizace poruchy senzoru. Ačkoliv je podle mého názoru zohlednění této problematiky důležité, v případě mého modelu si můžeme dovolit tuto chybu opomenout, a to s odůvodněním, že by tento stav, vzhledem k návrhu a způsobu programování, neměl nastat. Byla by zde varianta alespoň v demonstračním režimu, kdy bych mohl zavést například náhodně generující proměnnou, která by jednou za delší dobu způsobila tuto poruchu a bylo by zapotřebí ji, byť jen například tlačítkem, pojmenovaným oprava poruchy, napravit. Jde pouze o zajímavou úvahu možného rozšíření, které však v mé práci nebudu aplikovat. Omezíme se tedy na 4 výstupní signály, které budou jednoznačně určovat, jaká je momentální úroveň hladiny.

5.2.4 Seznam tlačítek

Demo/PLC, start, stop, reset, režim, vyprazdňování, Promíchávání, volba režimu.

5.2.5 Seznam LED diod

LED 20, LED 40, LED 60, LED 80, LED MOTOR, LED MICH, LED PAS1, LED PAS2, LED PAS3, LED PAS4, LED ERROR, LED REZ1, LED REZ2, LED REZ3, LED VYPRAZDNOVANI.

5.3 ROZVAHA ALGORITMŮ

5.3.1 Hlavní algoritmus

Nejprve, když se model uvede pod napětí, rozsvítí se dioda „ON“. Nastává pětisekundový čas na stisknutí tlačítka “demo”, které dále zpřístupní další operace, procesy a funkce v demonstračním režimu. Pokud se tak neučiní, musím model připravit na fungování samotného sila a ošetřit veškeré vstupní a výstupní signály, které umožňují další ovládání modelu, pomocí PLC automatu.

Určím tedy proměnnou hladina, která bude vždy po zapnutí nulová. Dále vstupní proměnná promíchávání, při jejímž signálu se rozsvítí dioda “promíchávání”. V případě přivedení signálu plnění, nastane přičítání k proměnné “hladina”, rychlostí 1 jednotka za 0,8 s. Tento signál dále způsobí rozsvícení diody motor a spuštění procesu simulace dopravníkového pásu. Stejně jako plnění, zde musím zavést i podmínku pro vyprazdňování. Po přivedení tohoto řídicího signálu následuje dekrementace výšky hladiny. Zvolil jsem odlišnou rychlost oproti

plnění, a to 2 jednotky za 0,8 s. Následují výstupní signály pro jednotlivé senzory. Výška hladiny vyšší než 19, vyšle výstupní signál 1. senzoru, vyšší než 39 pro druhý senzor, vyšší než 59 třetí senzor a vyšší jak 89 poslední, čtvrtý senzor. Následně ošetřuji pás LED diod, ukazující výšku hladiny. Jde o rovnoměrné rozprostření všech diod. na (20, 40, 60 a 80) % výšky hladiny. V podstatě jde o stejné hodnoty, které generují výstupní signály senzorů, s jednou výjimkou, a to vrchní diody, respektive senzoru. Každá úroveň rozsvěcí příslušný počet diod.

V případě stisknutí tlačítka „demo“ v 5vteřinovém intervalu, řeším demonstrativní program. Ošetřím tlačítka „reset“, „promíchávání“ a „manuální vyprazdňování“, jejichž funkce má přednost před ostatními. Je možné je stisknout kdykoliv během jakékoliv fáze procesu regulace, což vede ve všech případech k jasnému pokynu, bez dalších podmínek, či kritérií.

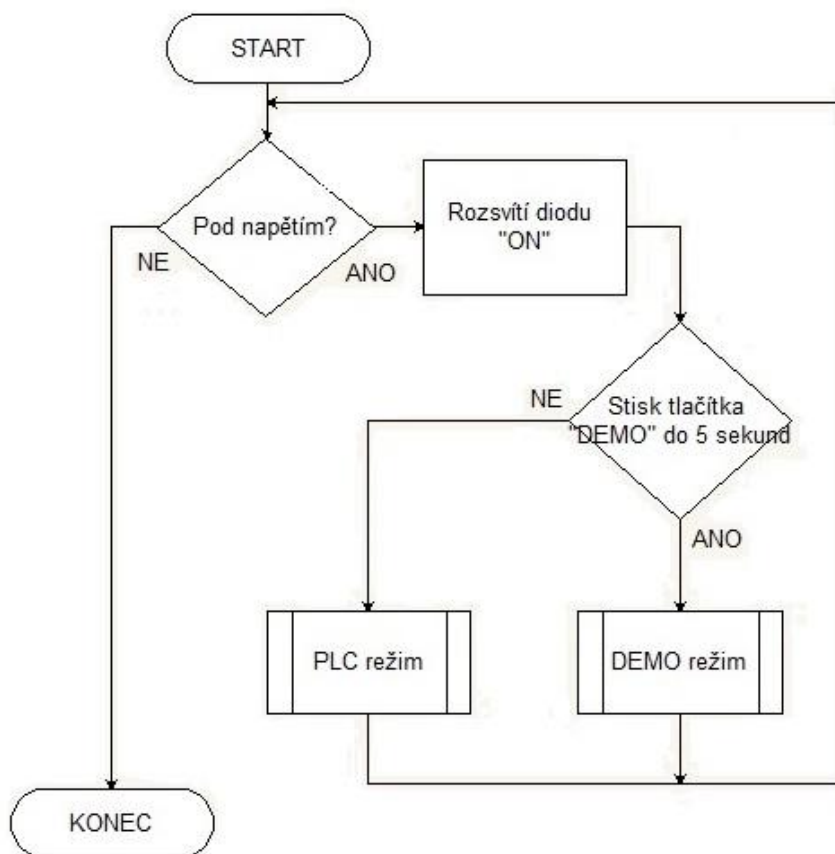
V případě tlačítka RESET, se systém uvede do stavu po zapnutí. Promíchávání pouze změni hodnotu stejnojmenné proměnné z 0 na 1, potažmo naopak. V případě inkrementace symbolicky rozsvítí diodu, signalizující zapnuté promíchávání. Jde o pasivní prvek, který nemá žádné další následky. Pokud stisknutí nastaví logickou 0, dioda se vypne. Je tu ještě možnost úplně proměnnou promíchávání vynechat a nechat tak reagovat na stisknutí tlačítka přímo LED diodu, což by bylo prostší i úspornější, ale přikláním se k ponechání proměnné, aby bylo možné ji potenciálně využít, v případě budoucího doplnění kódu nebo při psaní budoucího ovládacího kódu na PLC automatu.

Po přednostních funkcích přichází na řadu proměnná REŽIM, jež je ovládána tlačítkem REŽIM. Proces je nyní ve fázi, kdy je potřeba zajistit, aby bylo možné měnit proměnnou volby režimů. Režim může reálně nabývat hodnot 0, 1 a 2. Každé stisknutí tlačítka dokola přepíná tyto hodnoty. Jednotlivé režimy se budou zobrazovat formou třech LED diod, které budou svítit a informovat o aktuálně navoleném režimu regulace. Následně stisknutím tlačítka START potvrdíme zvolený režim a spustíme hlavní proces regulace hladiny. Spuštěním se blokuje možnost měnit režimy, aby nebylo možné takovýmto způsobem během průběhu regulace do procesu zasahovat. Jednotlivé průběhy procesů, v závislosti na režimech, jsou rozebrány v podkapitolách jednotlivých režimů.

Následně tedy existuje možnost opětovného zastavení regulace tlačítkem „stop“, což způsobí uvedení modelu do fáze nastavování a je tedy možné opět měnit jednotlivé DEMO režimy. Tento stav je v podstatě identický, jako stav po zapnutí modelu, s tím rozdílem, že nyní zůstane proměnná určující výšku hladiny zachovaná.

Aby bylo možné v programu měnit časové intervaly, jako například délku svícení diod při simulaci nebo rychlost plnění či vyprazdňování, je zapotřebí nejdříve zavést hlavičkový soubor pro zpoždění (delay). Tímto je možné kdekoliv v programu zpoždění přidávat a měnit.

Kromě této funkce, z hlediska ovládání rychlosti simulace, je využita také k ošetření zákmitu tlačítka. Byla možnost toto řešit ještě přes klopné obvody, vybral jsem si však tuto variantu. Tato problematika zákmitu tlačítek způsobuje, že při jeho stisknutí se bez úmyslu signál několikrát změní, v závislosti na délce stisku. Aplikací zpoždění nebo klopných obvodů se tomuto problému předchází.



Obrázek 5.1 – Hlavní algoritmus

5.3.2 Regulace v režimu pro PLC

Jak jsem již zmínil, tento režim nastává po přivedení napětí a nestisknutí tlačítka DEMO do 5 sekund. Tento režim je v podstatě samotnou kostrou fungování zásobníku sypkých hmot. Je opatřen 3 vstupními prvky, ovlivňujícími procesy, simulace a samozřejmě také výstupní signály. Těmi vstupními prvky jsou signály 3 portů mikročipu, plnění, vyprazdňování a promíchávání. Tyto signály, s výjimkou promíchávání, které je pasivním prvkem, spouští jednotlivé procesy plnění a vyprazdňování. Tyto procesy přímo ovlivňují hlavní proměnnou „hladina“. V případě plnění nastává automatické přičítání 1 % každých 0,8 s. Vyprazdňování odečítá 2 % každých 0,8 s. Zvolil jsem tyto rychlosti tak, aby se s modelem pohodlně pracovalo. V reálu by tyto procesy trvaly značně déle. Plnění kromě přímého ovlivnění hodnot hladiny také spouští simulaci dopravníkového pásu, což jsou 4 LED diody, simulující přísun materiálu do zásobníku. O tomto procesu také informuje LED dioda „motor“. Proces vyprazdňování ovlivňuje přímo pouze úroveň hladiny. Ta je tvořena ještě zmíněným plněním nádrže. Úroveň hladiny generuje výstupní signály pinů pro senzory a rovněž ukazatele výšky hladiny, 4 LED diody. Výška hladiny ve speciálním stavu překročení 100 %, rozsvěcí diodu „ERROR“. Funkce řídicích signálů je zřejmá, je nutné se ovšem pozastavit nad simulací dopravníkového pásu. Tato simulace do značné míry komplikuje reakce na tlačítka. Simulace dopravníkového pásu vždy rozsvítí dioda a po krátké časové prodlevě ji opět zhasne a rozsvítí další v řadě. A tak stále dokola, dokud je dopravníkový pás aktivní. Bez ošetření by se tedy rozsvěcely dokola diody a program by nereagoval na vstupní signály, ať už v režimu pro PLC, tak v demonstračních režimech. Z tohoto důvodu je v programu zaveden takzvaný vektor přerušení (TCCRO), který podle zadané frekvence v časovém intervalu kontroluje stisk všech tlačítek, s výjimkou tlačítka „start“, které při zapnutém doplňování, respektive spuštění simulaci dopravníkového pásu, nepotřebuje na stisknutí reagovat.

5.3.3 Regulace v režimu „demo“

Existují 3 režimy regulace. Pro vysvětlení zde popíši první z nich. Ostatní se principiálně neliší. Pouze je zde rozdíl v podmínkách, konkrétně v hodnotách, které má nabývat proměnná „výška hladiny“. Spuštěním regulace se tedy, jak už jsem zmínil v předchozí podkapitole, zablokuje tlačítko „volba režimu“, aby obsluha nemohla měnit režimy při chodu. V případě prvního režimu, tedy pro uvedení nějakého příkladu, je prvotním cílem modelu dostat proměnnou do intervalu žádané hodnoty. To je v případě prvního režimu interval mezi spodním

a vrchním senzorem, tedy 20 % až 89 %. Aby se toho docílilo, vytvořím podmínku, jak se má systém zachovat ve třech různých stavech.

Prvním stavem je nedostatek materiálu. Je určen v tomto případě hodnotou proměnné menší než 20. V takové situaci se spustí proces „plnění“. S procesem se dostane proměnná „plní“ do stavu 1 a proces trvá tak dlouho, dokud ho nezastaví podmínka 3. stavu.

Stav bych nazval nadbytek. Nyní se spustí proces „vyprazdňování“. Tento proces končí až ve chvíli, kdy se výška hladiny dostane opět na kritickou hodnotu 19 %.

Poslední možností, v jakém počátečním stavu při spuštění regulace systém může být, je „žádaná hodnota“, tedy 20 % až 89 %. Jde o stav, kterého chceme docílit, nicméně z důvodů, aby model posloužil tak, jak má, probíhalo udržování hladiny nepřetržitě a byl viditelný jeho průběh, s tímto stavem se systém nespokojí a zahájí plnění nádrže. Bude se tedy systém chovat naprosto stejně, jako v prvním stavu, kdy je nedostatek materiálu.

5.3.4 Výška hladiny

Algoritmus pro kontrolu výšky hladiny zůstává, stejně jako princip plnění a vyprazdňování, pro oba hlavní režimy stejný. Jak pro PLC automat, tak v demonstrativním režimu, se jednotlivé diody v pásu pro kontrolu výšky hladiny rozsvěcí, přesně podle příložené tabulky 5.4.

Tabulka 5.4 – závislost indikačních diod na výšce hladiny

hladina	LED 1	LED 2	LED 3	LED 4
Do 19 %	X	X	X	X
Od 20 % do 39 %	svítí	X	X	X
Od 40 % do 59 %	X	svítí	X	X
Od 60 % do 89 %	X	X	svítí	X
Od 90 % do 100 %	X	X	X	X
Od 100 %	svítí	X	X	X

Může tedy nastat 5 základních stavů, počínaje všemi zhaslými diodami a konče rozsvícením kterékoliv diody, podle výšky. Existuje ještě 6. speciální stav, který rozbliká všechny diody, včetně diody „ERROR“. Jde o připravený stav, ke kterému dojde v případě

ovládání přes PLC, spuštění plnění a neošetření jeho zastavení po naplnění 100 % kapacity nádrže. V DEMO režimu tato situace teoreticky nemůže nastat, protože vrchní senzor vždy nastaví plnění při horním mezním stavu.

5.3.5 Plnění

V případě přivedení signálu “plnění” na mikročip dojde k již zmiňovanému přičítání procent do proměnné “hladina” každých 800 ms. Tento proces trvá až do přerušení tohoto signálu, což proces zastaví a hodnota výšky hladiny se nenavýšuje.

Pomocí zpoždovacích příkazů jsem určil rychlost plnění tak, aby se s modelem pracovalo pohodlně a bez dlouhého čekání.

Tabulka 5.5 – Stavy DEMO režimů

režim	8 sekund, %	16 sekund, %	40 sekund, %	80 sekund, %
plnění	+10	+20	+50	+100
vyprazdňování	-20	-40	-80	X
plnění i vyprazdňování	-10	-20	-50	-100

V tabulce 5.5 je znázorněna závislost přibývajícího a ubývajícího materiálu v nádrži na čase. Jsou zde uvedeny 3 příklady. Jednotlivé procesy plnění a vyprazdňování samostatně a jejich vliv na výšku hladiny při souběžném spuštění. Uvedl jsem zde 4 významné časové intervaly, ve kterých příbytek, respektive úbytek, při mnou zvoleném zpožděním v programu, dosahuje symbolických hodnot.

5.3.6 Vyprazdňování

Signál “vyprazdňování” obdobně ovlivňuje proměnnou výšky hladiny, ovšem na rozdíl od plnění, její hodnotu začne snižovat rychlostí 1 % za 400 ms. Tato rychlost je tedy dvojnásobná oproti plnění. Při zapnutém plnění i vyprazdňování zároveň, hladina klesá rychlostí 1 % za 0,8 s.

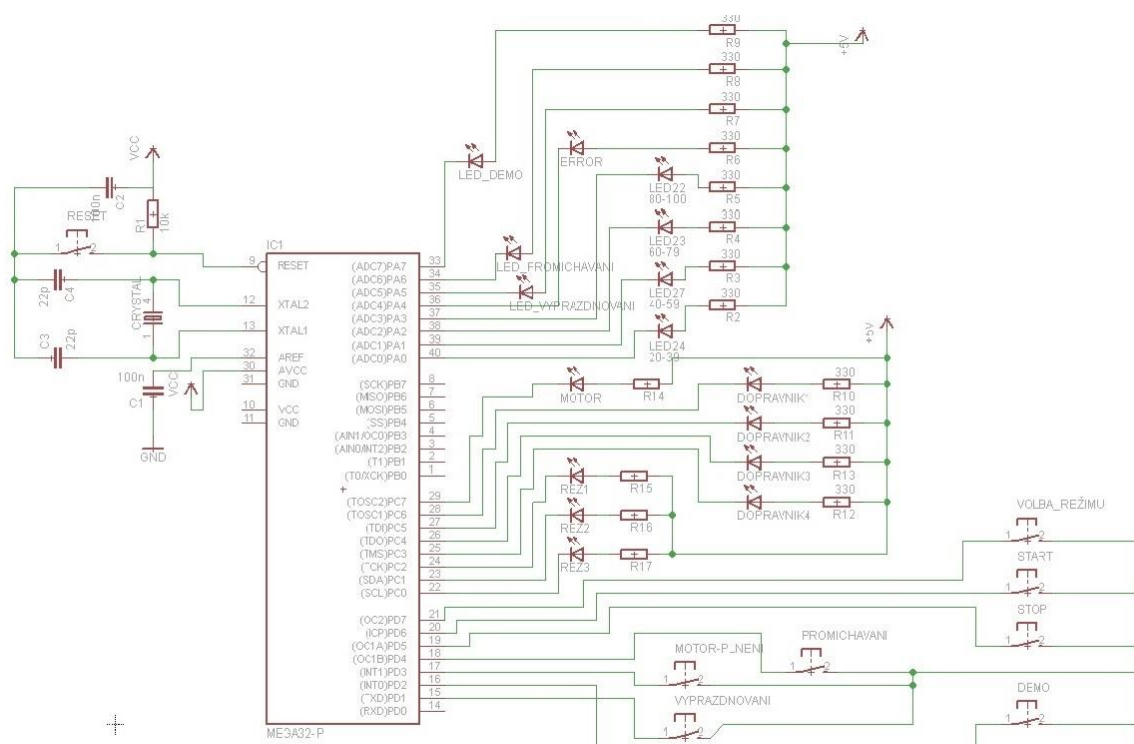
5.3.7 Simulace dopravníkového pásu

Tento proces nastává souběžně s plněním nádrže a jeho princip spočívá v načasování jednotlivých led diod tak, aby simulovaly přivážení materiálu do sila. Pás bude opatřen čtyřmi diodami s tím, že jejich rozsvícení se bude cyklicky po 2 sekundách opakovat. Každou polovinu sekundy bude svítit jedna dioda. Od nejvrchnější po nejspodnější.

5.3.8 Přepínání režimů

Při stisknutí tlačítka „REZIM“ se zjistí, jestli režim nenabývá hodnoty větší než 1, v případě, že ano, proměnná se změní na 0. Pokud je hodnota menší nebo rovna 1, přičte se k proměnné 1. Nula v proměnné znamená nastavený první režim. Jednička aktivuje režim druhý. Dvojka nastaví třetí režim.

5.4 SPUŠTENÍ PROGRAMU NA REÁLNÉM HARDWARE



Obrázek 5.2 – Schéma zapojení mikrokontroleru

K testování mého programu mi byl zapůjčen vývojový kit s mikročipem řady ATmega32. Vzhledem k tomu, že je kit vybaven řadou periférií, včetně například krystalu,

který řídí frekvenci procesoru, skutečné zapojení se týká pouze příslušných LED diod a tlačítek, včetně rezistorů. V případě, že by se realizoval model pomocí pouze mikročipu, nikoliv vývojového kitu, bylo by nezbytné doplnit zapojení se všemi součástkami, jak je znázorněno na schématu (obrázek 5.2). Schéma zapojení se nachází rovněž v příloze, kde je možné ho samostatně zobrazit pro lepší čitelnost.

Nejvhodnější variantou zapojení je zřejmě pomocí nepájivého pole. Protože se jedná pouze o testování, považuji za nevhodné součástky pájet. Po správném zapojení je třeba nahrát řídicí program do samotného mikrokontroleru. Nahrání programu se dá provést pomocí několika programů, k tomu určených. Já jsem použil programátor „PPROGISP“. Po instalaci a spuštění se vybere příslušný mikročip v panelu 1, v našem případě ATmega32.

Nastavení v panelu 2 ponecháme výchozí. V panelu číslo 3 nalezneme zdrojový kód projektu s příponou „hex“. Ve 4. bloku se nastavují vnitřní propojky mikrokontroleru a paměťové zámky.

Po vlastním nastavení (v našem případě se jedná o nastavení krystalu 16 MHz), se potvrdí zapsání tlačítkem „write“. Nyní stačí stisknout tlačítko AUTO a v případě oznámení o úspěšném zapsání do programu, můžeme přejít k testování modelu.

Nejdříve je možné si vyzkoušet demonstrační režim. Po stisknutí tlačítka „demo“, model přejde do zmíněného režimu a následně si tlačítkem „režimy“ zvolím režim, který chci vyzkoušet a stisknutím tlačítka „start“ spustím regulaci

V případě režimu pro PLC, jsem vzhledem k tomu, že nemám řídicí program automatu, testování neprovedl. Nicméně, pro správné fungování je zapotřebí použít měnič napětí, protože na rozdíl od mikrokontroleru, kde je napětí 5 V, je v případě PLC zapotřebí 24 V. Výstupy mikrokontroleru na LED diody na pinech A0, A1, A2 a A3 je zapotřebí paralelně vyvést na měnič napětí, aby bylo možné model připojit k automatu. Obdobně se provede i zapojení výstupů (vstupů PLC), kdy se piny D1, D3 a D4 paralelně vyvedou do PLC, rovněž přes měnič napětí.

6 ZÁVĚR

Nyní, po dokončení této práce a především modelu, jehož funkce jsem měl realizovat, naprogramovat a podle mého uvážení upravit, mohu přejít ke zhodnocení naplnění mých vizí a předpokladů, jak by měl projekt fungovat.

Program jsem nakonec realizoval v jazyce C, což mi přišlo jednodušší než v jazyce Assembler. Nicméně i v tomto případě jsem se setkal s velkou řadou problémů, kdy jsem musel nalézt řešení díky různým návodům, případně fórům, věnovaných programování. Svě vize jsem tedy několikrát měnil, jak v závislosti na programátorských schopnostech, tak především díky vymýšlení nových funkcí, potažmo jejich zavrhováním. První zásadní moment nastal ve chvíli, kdy jsem si rozplánoval veškeré funkce, tlačítka a diody a uvědomil jsem si, že mi nebudou stačit pouze piny mikročipu ATmega8, a to především díky demo režimům, které značně navršily použitá tlačítka, tím pádem i požadované piny. Jako řešení se tedy nabízelo využití i pinů nad rámec ATmega8, tedy pinů ATmega32, nebo použití posuvných registrů. Použití posuvných registrů by mohlo značně ušetřit potřebné piny a zjednodušit i některé procesy, jako například simulaci dopravníkového pásu, která by v případě posuvných registrů mohla zabírat pouze jeden pin mikročipu a oddělit tím pádem i samotný proces simulace tohoto pásu. Výhody použití posuvného registru byly nesporné, ovšem od tohoto nápadu jsem ustoupil, protože s těmito registry nemám zkušenosti a hlavním předpokladem a požadavkem byl funkční program, kterého jsem dosáhl s použitím ATmega32 a 23 z celkového počtu 32 vstupně/výstupních pinů. Měl jsem i spoustu nápadu na využití těch zbylých, ovšem v jednom okamžiku bylo potřeba si říci, že je zapotřebí přestat vymýšlet další funkce a pracovat na realizaci těch, které jsem měl již naplánované. Hlavní cíl, fungování plnění a vyprazdňování nádrže jsem tedy realizoval. K vyzkoušení, jestli fungují, jsem použil tlačítka, která pouštěla signály do příslušných pinů. Výstup byl v případě režimu pro PLC simulován pomocí LED diod.

Realizoval a upravil jsem tedy návrh na tento model pomocí programu, který jsem tvořil v programu „Atmel studio“. Výsledek mé práce bude čekat na další využití, kterým je programování řídicích programů na PLC automatech a následná simulace právě díky tomuto programu modelu.

Budoucí řídicí programy by měly dle mého názoru využít potenciál modelu, což je možnost na základně vstupů do PLC, kterými budou signály ze senzorů, vysílat signály zpět do modelu a tvořit tak řádný simulační regulační proces. Programy by měly zajišťovat, aby hladina

zásobníku byla tam, kde by měla být, nedocházelo k přeplnění nádrže a tím pádem signalizaci chyby, o které informuje LED dioda ERROR.

Tento koncept práce byl pro mě velmi zajímavý a oceňuji na něm především možnost realizace vlastní kreativity, a ačkoliv by program mohl být napsán lepším způsobem a funkce bylo možné rozvést důkladněji, vytvořil jsem funkční simulační model. Ustoupil jsem ovšem od demonstračních příkladných řídicích programů pro PLC, které jsem měl původně v plánu také sestavit.

POUŽITÁ LITERATURA

- JANŮ, O. 2011. *Modely soustav EDU-MOD*. [online]. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. [cit. 2018-01-04]. Vedoucí práce T. Marada. Dostupné z:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/1648/BP_JANU_Ondrej_107787.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- KOHOUT, L. 2008. *Edumat* [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: www.edumat.cz
- KOŠÍČEK, F. 2012. *Využití programovatelného logického automatu Siemens LOGO! při výuce automatizace a elektroniky na SŠ*. [online]. Diplomová práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita V Českých Budějovicích. Fakulta pedagogická. [cit. 2018-01-04]. Vedoucí práce P. Adámek. Dostupné z:
https://theses.cz/id/c72avm/Kosicek_DIPLOMOVA_PRACE.pdf
- PERNA, M. 2009 *Návrh zásobníku na sypký vápenný hydrant*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce J. Malášek.
- RAKUŠAN, O. 2008. *Nová generace modulu Logo! – přidané funkce a vylepšená vizualizace*. *Automa* [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37739
- ŠMEJKAL, L. 1999. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 223 s. ISBN 80-860-5658-9.

PŘÍLOHY

A - CD

Příloha k bakalářské práci

Návrh a realizace řídicího software modelu zásobníku sypkého materiálu

Jiří Pavel

CD

Obsah

- 1 Text práce ve formátu PDF
- 2 Programový kód v jazyce C
- 3 Popis obsluhy modelu
- 4 Schéma zapojení mikrokontroleru