

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Michal Husák



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

NÁVRH A REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY NA TÉMA "STANDARD ISA-S88"

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ISA-S88 LABORATORY MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Husák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Michal Husák

ID: 188985

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace laboratorní úlohy na téma "Standard ISA-S88"

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete a realizujete laboratorní model pro výuku principů standardu ISA-S88.

1. Seznamte se se standardem ISA-S88 a popište jeho základní charakteristické vlastnosti.
2. Proveďte inovaci stávajících nevyhovujících laboratorních modelů pro simulaci míchání směsí.
3. Implementujte řídicí program dle standardu ISA-S88.
4. Vytvořte vizualizaci, prostřednictvím které bude možné sledovat podrobně chování programu.
5. Zadokumentujte vzorovou úlohu tak, aby se mohla stát součástí návodu do cvičení, vytvořte vzorový protokol.
6. Zadokumentujte HW modulů prostřednictvím aplikace EPLAN nebo jiné vhodné aplikace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Štohl, R.; Pásek, J.: Programovatelné automaty - Laboratorní cvičení

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 21. 5. 2018

Vedoucí práce: Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.



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

Bakalářská práce má za úkol objasnit řízení dávkových procesů s využitím standardu ANSI/ISA-S88. Implementuje standard do školní vzorové úlohy, která se stane součástí laboratorní výuky v předmětu *Automatizace procesů* (MAUP). Návrh zadání obsahuje důležité rady pro vypracování laboratorní úlohy. Vzorový protokol dokumentuje programové řešení, které je i podrobným návodem pro studenty. Úloha je realizována na laboratorním modelu „Kuličky“, který bylo nutné hardwarově inovovat a zdokumentovat jeho zapojení. Inovace modelu probíhala v rámci semestrální práce pro potřeby předmětu *Programovatelné automaty* (BPGA).

Klíčová slova

Technologický proces, Dávkové řízení, Receptura, Fáze receptury, Entita, Rozhraní, Faceplate, Inovace, Model, Dávkovač

Abstract

Bachelor thesis aims to clarify the control of batch processes, by using standard ANSI/ISA-S88. It implements the standard in the school example project, which will become a part of the laboratory practices in the course *Process Control* (MAUP). The design of assignment contains valuable tips for successfully finishing a laboratory task. The example protocol documents the program solution, which is also a detailed guide for students. The task is realized on the "Balls" laboratory model, which had to have its hardware innovated and wiring documented. Innovation of the model was done during the semester thesis, for the needs of course *Programmable Logic Controllers* (BPGA).

Keywords

Technology process, Batch control, Recipe, Recipe phase, Entity, Interface, Faceplate, Innovation, Model, Batcher

Bibliografická citace:

HUSÁK, M. Návrh a realizace laboratorní úlohy na téma "Standard ISA-S88". Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh a realizace laboratorní úlohy na téma "Standard ISA-S88" 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: **16. května 2018**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D. a Skupině průmyslové automatizace za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **16. května 2018**

.....
podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	12
2.	Technologické procesy.....	13
2.1	Spojité procesy	13
2.2	Diskrétní procesy	13
2.3	Dávkové procesy	14
2.3.1	Řízení výrobních procesů	14
3.	ANSI/ISA-S88	16
3.1	Modely v S88	16
3.1.1	Procesní model.....	16
3.1.2	Fyzický model.....	17
3.1.3	Procedurální model	19
3.1.4	Vazby mezi modely	19
3.2	Receptury	20
3.3	Úrovně dávkového řízení	22
3.4	Mapování řízení na zařízení	22
3.5	Režimy a stavy	23
4.	Vzorová úloha	25
4.1	Zadání.....	25
4.1.1	Požadavky aplikace SkuMES	25
4.2	Řešení.....	27
4.2.1	HW a OPC konfigurace	27
4.2.2	Struktura programu	28
4.2.2.1	Program	29
4.2.2.2	Data.....	29
4.2.2.3	Uživatelské datové typy (UDT).....	30
4.2.3	Funkce a funkční bloky.....	31
4.2.3.1	Jednotka	31
4.2.3.2	Moduly zařízení / Fáze	31
4.2.3.3	Řídící moduly	32
4.2.4	Globální chybové hlášení.....	33
4.2.5	Vizualizace.....	34
4.2.5.1	Faceplaty a Pop-up obrazovky	35
4.2.6	Aplikace SkuMES.....	36
5.	Inovace modelu [1]	39
5.1	Seznámení s modelem před inovací	39
5.2	Hlavní elektrické komponenty	40
5.3	Konektor CAN25	41
5.4	Svorkovnice.....	41
5.5	Schéma zapojení.....	42

6.	Obsluha modelu	43
6.1	Propojení s PLC	43
6.2	Demontáž krytů	43
6.2.1	Kryt relé	44
6.2.2	Kryt číslicového voliče	44
6.3	Vstupy a výstupy modelu	44
7.	Závěr	45

Seznam symbolů a zkratk

Zkratky:

FEKT	...	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně
BPGA	...	Bakalářský předmět <i>Programovatelné automaty</i>
MAUP	...	Magisterský předmět <i>Automatizace procesů</i>
PLC	...	<i>(Programmable Logic Controller)</i> Průmyslový automat
HMI	...	<i>(Human-Machine Interface)</i> Operátorský panel/prostředí
MES	...	<i>(Manufacturing execution systems)</i> Systém řízení výroby
ERP	...	<i>(Enterprise resource planning)</i> Systém řízení podniku
SCADA	...	<i>(Supervisory control and data acquisition)</i> Dispečerské řízení a sběr dat
HW	...	<i>(Hardware)</i> Fyzické zařízení
SW	...	<i>(Software)</i> Programové vybavení
OPC	...	<i>(Open Platform Communications)</i> Průmyslové komunikační rozhraní mezi PLC a PC
PCS/DCS	...	<i>(Process Control System/ Distributed Control System)</i> Procení řídicí systém
UDT	...	<i>(User data type)</i> Uživatelský datový typ
LAD	...	<i>(Ladder Diagram)</i> Reléové schéma
SCL	...	<i>(Structured Control Language)</i> Strukturovaný jazyk
PN/IE	...	<i>(PROFINET/Industrial Ethernet)</i>
WW	...	<i>(Waste Water)</i> Znečištěná voda
DB	...	Datový blok
FB	...	Funkční blok
FC	...	Funkce
OB	...	Organizační blok
URL	...	<i>(Uniform Resource Locator)</i> Zkrácený odkaz adresy
IP	...	<i>(Internet Protocol)</i> Adresa v síťovém rozhraní
LED	...	<i>(Light-emitting diode)</i> Elektroluminiscenční dioda
EAGLE	...	<i>(Easily Applicable Graphical Layout Editor)</i>

Prostředí pro tvorbu dokumentace

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Řídicí a informační systém výrobního podniku [8]	14
Obr. 2.2 Struktura výrobního podniku [6]	15
Obr. 3.1 Procedurální a procesní model [6]	17
Obr. 3.2 Fyzický model [4][6]	18
Obr. 3.3 Společné vazby modelů [4]	20
Obr. 3.4 Typy receptur [6]	21
Obr. 3.5 Mapování řízení [6]	23
Obr. 3.6 Stavby a povely fáze [4]	24
Obr. 4.1 Struktura UDT fáze	26
Obr. 4.2 Stavový automat fáze	27
Obr. 4.3 Konfigurace PLC a HMI	27
Obr. 4.4 Struktura bloků a vazeb programu	28
Obr. 4.5 Datový blok jednotky s UDT proměnnými	30
Obr. 4.6 Stavby a povely fáze	32
Obr. 4.7 Předávání chybových hlášení	34
Obr. 4.8 Hlavní přehledová obrazovka	35
Obr. 4.9 Obrazovka <i>Linie A</i>	35
Obr. 4.10 Obrazovka fáze <i>Feeding_A</i>	36
Obr. 4.11 Navržené receptury	37
Obr. 4.12 Receptura „Dávkování kuliček“ ve SkuMESu [7]	38
Obr. 5.1 Model – přední a zadní strana	39
Obr. 5.2 Pracoviště s PLC a HMI panelem a konektorový panel	40
Obr. 5.3 Zapojení konektoru CANON	41
Obr. 5.4 Svorkovnice	42
Obr. 6.1 Propojení PLC a modelu	43
Obr. 6.2 Kryt vodičů relé	44
Obr. 6.3 Kryt číslicového voliče	44

Seznam tabulek

Tab. 5.1 Soupis součástí.....	40
Tab. 7.1 Seznam výstupů.....	50
Tab. 7.2 Seznam vstupů.....	50

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá modernizací odborné laboratorní výuky na Ústavu automatizace a měřicí techniky na FEKT, VUT v Brně. Cílové předměty jsou BPGA v bakalářském studiu a MAUP v magisterském studiu. Tyto předměty se zabývají odbornou výukou průmyslové automatizace.

Pro oba předměty je laboratorní výuka páteřní, a proto došlo k modernizaci vybavení v laboratoři. Laboratoř byla nově vybavena pracovišti s průmyslovými automaty od firmy Siemens S7-1500, spolu s operátorským panelem TP700 Comfort. V rámci této změny musely být provedeny adekvátní úpravy na stávajících modelech. Bakalářská práce zahrnuje inovaci stávajícího modelu „Kuličky“, aby jej bylo možné použít v nové laboratoři. Snadné připojení modelu a PLC ulehčí práci vyučujícím ve výměně nebo opravě. Model simuluje dávkovací systém, který mísí tři různé směsi. Na modelu jsou i ovládací prvky, jako je číslicový volič a start stop tlačítka. Každá z dávkovacích tub je vybavena snímačem nízké hladiny kuliček a vypouštěcími západkami. Kuličky jsou shromažďovány v krabici, jejíž přítomnost je detekována spínačem. Výstupem této části práce je hardwarová inovace obou modelů a vytvoření dokumentace.

Vzorová úloha realizovaná v bakalářské práci je obtížností situovaná do magisterského předmětu MAUP. Zadáním je, aby řízení bylo v souladu s normou ISA-S88 zabývající se dávkovým řízením. Úloha dále specifikuje strukturu programu, tak aby bylo možné model ovládat skrze školní MES systém a jeho činnost kvalitním způsobem vizualizovat. Vizualizace dále dovolí řídit model ručně z operátorského panelu na pracovišti. Úloha vychází z praktického zadání dávkového řízení často využívaného v moderním průmyslu 4.0.

Student by si při jejím zvládnutí měl zvýšit znalost programování PLC a HMI značky Siemens v návrhovém prostředí TIA Portál V14. Dále by si měl osvojit pojmy, jako jsou dávkové řízení, MES systém, standard S88, tvorbu faceplatů a další spolu spjaté znalosti i dovednosti. Tato práce by měla objasnit tyto pojmy a uplatnit je v kódu. Výstupem této části je již zmiňovaná vzorová úloha a její zadání.

2. TECHNOLOGICKÉ PROCESY

Kapitola technologické procesy uvádí do tématu průmyslové automatizace, kterým se bakalářská práce zabývá. Jedná se o všeobecný přehled informací, který je významný pro pochopení souvislostí v daném tématu.

Technologický proces je sled mechanických, chemických, fyzikálních, případně biologických aktivit potřebných ke zpracování, přepravě, skladování materiálu nebo energie. Tyto procesy dělíme podle kontinuity toku výstupních materiálů na spojitě, diskrétní a dávkové. Každý z těchto procesů si žádá jiný přístup při návrhu řízení [6].

2.1 Spojité procesy

Spojitá procesní výroba neboli kontinuální výroba je proces, ve kterém se množství vyrobeného produktu měří nejčastěji v hmotnostních nebo objemových jednotkách SI. Kontinuální výroba se odlišuje tím, že produkt je zpracováván nepřetržitě. Výsledkem takového procesu je tok vyráběného produktu. Technologie zpracovávající takové procesy je většinou jednoúčelová a vyrábí stejné výrobky po celou dobu jejich provozu [6].

Největším příkladem je výroba elektrické energie, zpracování ropy nebo výroba jiných chemických látek. Dalším významným nevýrobním spojitým procesem je přeprava velkého množství strategických surovin jako například plynovody, produktovody (přeprava ropy, benzínu, nafty, ...), ale i přeprava elektrické energie.

Řízení je zaměřeno na tři základní stavy technologie a to spouštění (najatí), udržení ustáleného stavu provozu a bezpečné odstavení. Důležité hledisko v řízení těchto procesů je bezpečnost a ekonomika. Časté spouštění bývá podstatně ekonomicky náročnější než stabilní provoz a může být i nestabilní (nebezpečné) [6].

2.2 Diskrétní procesy

Nespojitě nebo také diskrétní procesy jsou typické pro víceúčelové technologie. Výstupem těchto procesů bývá série konkrétních výrobků o stejných vlastnostech. Víceúčelovost těchto technologií je dána seřízením linky nebo možností modulárně vyměňovat prvky a tím přizpůsobit kvalitu výroby a reagovat na poptávku trhu.

Největším představitelem nespojitých procesů je strojírenská výroba. Například výroba automobilů nebo výroba nábytku v dřevozpracujícím průmyslu.

V řízení se nejvíce dbá na optimalizaci výroby z hlediska rychlosti výroby, využití zdrojů materiálů a výrobních kapacit. K tomu se nejčastěji využívají softwary vyšších forem řízení podniku, jako jsou MES, ERP (viz kap. 2.3.1) [6].

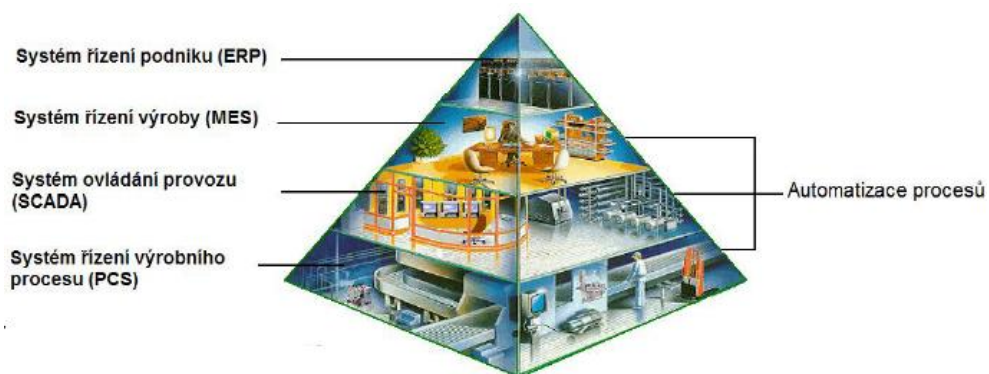
2.3 Dávkové procesy

V této části se seznámíme s dávkovými nebo šaržovými procesy a metodami řízení. Jedná se o obecný popis systému, který je realizován v praktické části práce.

Dávka nebo šarže je určité množství výrobku s podobnými vlastnostmi, chemickým složením nebo postupem výroby. Tyto dávky jsou výstupem dávkového procesu. Technologie dávek je kombinací spojitého a nespojitého procesu a vyniká svojí modularitou, víceúčelovostí a flexibilitou. Umožňuje vyrábět množinu možných výrobků a reagovat na poptávku trhu. Tento proces se nejčastěji vyskytuje ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu.

2.3.1 Řízení výrobních procesů

Hierarchie řídicího systému výrobního podniku je podobná pro všechny procesy. U dávkových procesů se využívá nejvíce vlastností vyšších forem řízení, jako jsou ERP a MES. Struktura řízení takového podniku se nejčastěji znázorňuje ve formě pyramidy (viz obr. 2.1) [8].



Obr. 2.1 Řídicí a informační systém výrobního podniku [8]

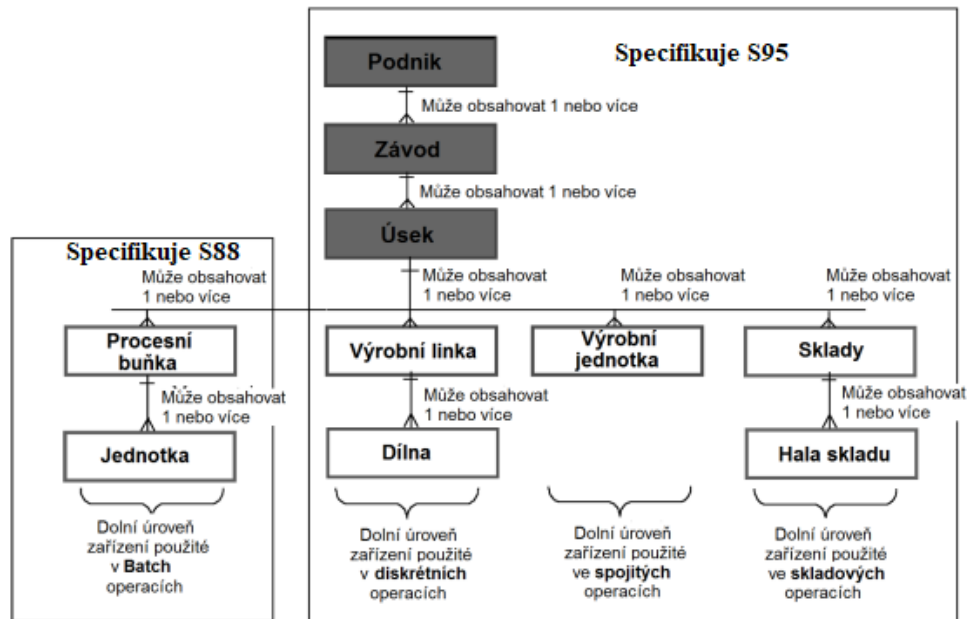
Nejvyšším kontrolním členem je takzvané ERP (*Enterprise Resource Planning*). Hlavním úkolem je koordinovat dodávky materiálu v závislosti na požadavku výroby produktu. Tento systém je stěžejní pro efektivní využití skladů a je informačním výstupem pro hlavní management podniku [8][9].

MES (*Manufacturing Execution System*) je, jak název napovídá, část řízení zodpovědná za spuštění výroby. Plánuje efektivní a ekonomické využití dostupné technologie, aby nedocházelo k prostojům nebo odstávkám. Dále se stará o archivaci a značení výrobních šarží (dávek) a receptur. Díky tomu je možné zpětně odhalit příčinu vady a stáhnout například celou šarži z prodeje nebo varovat odběratele [8][9].

SCADA (*Supervisory control and data acquisition*) je systém dohlížející na správnost a bezporuchovost výroby. Archivuje provozní parametry a stavy technologie.

Tento systém využívají centrální pracoviště, takzvané dispečinky, pro vzdálený dohled nad výrobou. Systém dokáže plánovat odstávky technologie za účelem servisu [8][9].

V nejnižší vrstvě jsou konkrétní řídicí systémy jako PLC, průmyslové PC, decentralizované periferie, čidla, akční členy a další. Rozložením prvků v této vrstvě se zabývá norma ISA-S88 [8][9].



Obr. 2.2 Struktura výrobního podniku [6]

Strukturu a způsob řízení výrobních podniků popisují normy jako jsou ISA-S88 a ISA-S95. Okruhy působnosti norem je vidět na obrázku (obr. 2.2). Hlavní strukturu řízení podnik, jako jsou podnik, závod, úsek a další specifikuje norma S95. Jde především o vyšší patra pyramidy (viz obr. 2.1). Tato norma není obsahem této práce, a proto se jí nebudeme dále zabývat [8].

ISA-S88 specifikuje dávkové řízení a topologii nižších pater pyramidy. Díky tomu je možné dosáhnout všech vlastností dávkového řízení, které budou popsány v následující kapitole [5].

3. ANSI/ISA-S88

Tato kapitola má za úkol objasnit standard S88, který je využit v praktické části bakalářské práce. Znalost této základní teorie je stěžejní k pochopení vzorové úlohy nebo její realizaci. Standard je hojně využíván v praxi, která znalost tohoto standardu vyžaduje.

S88 je obecný název pro mezinárodní normu týkající se dávkových systémů. První pokusy o standardizaci započaly v roce 1988 a mezi normy ISA (*The International Society of Automation*) se zařadila v roce 1995 a byla schválena v ANSI (*American National Standards Institute*). V roce 2010 byla norma upravena do dnešní podoby[4][5].

Základní filozofií standardu je rozdělení procesu na dílčí části (entity), které jsou organizovány do modelů. Standard taktéž definuje terminologii pro dávkové systémy a jejich řízení. Na základě těchto specifikací umožní S88 řadu výhod, které by běžné metody řízení neumožňovaly [4].

Modularita snižuje čas potřebný ke stavbě nebo úpravám provozu a tím zrychluje reakce podniku na požadavky trhu. Z modularity vyplývá i opakovatelnost použití technologie. To dramaticky snižuje pořizovací náklady a uspoří čas.

Rozdělení procesu přináší snazší součinnost mezi integrátory (programátory), provozní techniky (technology) a pracovníky montáže, kteří mohou pracovat paralelně a jejich činnosti se nepřekrývají. Nemusí být odborníky na danou technologii, ale jen na jednu vrstvu (model) technologie.

3.1 Modely v S88

Důležité pro pochopení celé problematiky je pochopení již zmíněných modelů. Norma popisuje čtyři modely, ale pro nás jsou stěžejní jen první tři [4].

- Procesní model je popsán z hlediska chemických nebo fyzikálních změn.
- Fyzický model je popsán z hlediska zařízení.
- Procedurální model je popsána z hlediska řízení.
- Model řízení činnosti (*Management activity model*) je popsán z hlediska toku informací.

3.1.1 Procesní model

Procesní model představuje postup výroby produktu s ohledem na chemické a fyzikální změny. Například jaký je poměr surovin, jak se zpracovávají, za jakých teplot a tlaků nebo jaké katalyzátory se přidávají. Procesní model není ve spojení s fyzickým

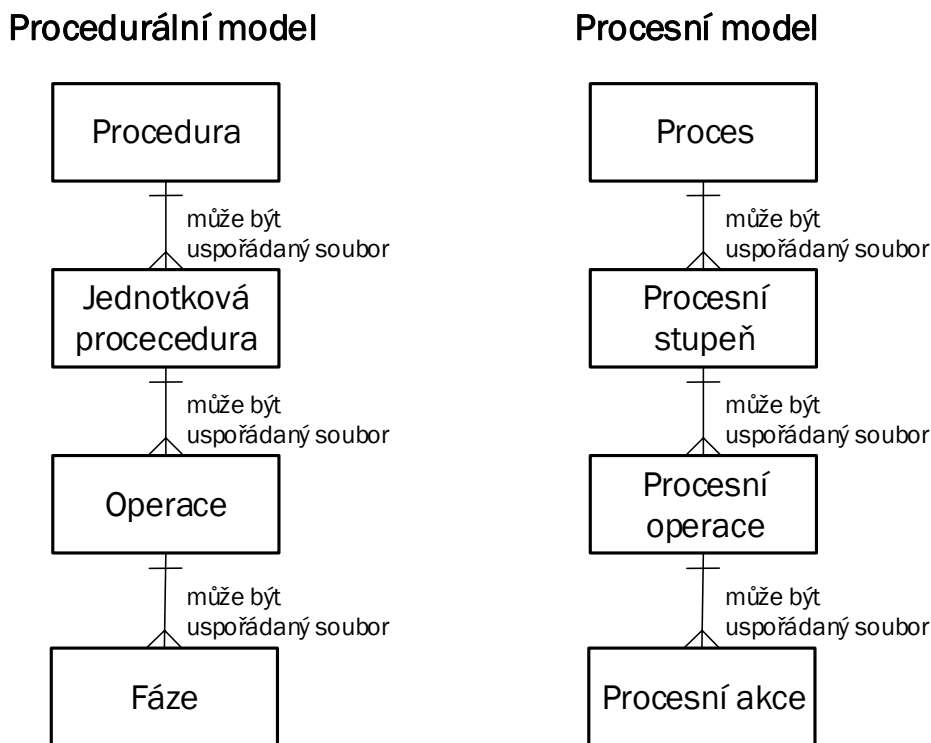
vybavením, ale svým popisem definuje dávkový proces. Model se skládá ze čtyř hierarchických úrovní(viz Obr. 3.1 v pravo) [4].

Proces je nejvyšší částí procesního modelu a určuje nám, jaké operace je nutné provést se vstupními surovinami. Výstupem procesu je výsledný produkt [6].

Procesní stupeň je částí procesu, který se provádí nezávisle na ostatních stupních. V procesu se většinou skládá z více procesních stupňů, které mohou být chemické nebo fyzikální [6].

Procesní operace je hlavní procesní činnost. Příkladem je příprava reaktoru, plnění surovinami, vlastní reakce a ukončení reakce [6].

Procesní akce je nejnižší činností procesního modelu. Skládá se ze základních úkonů, jako jsou dávkování jednotlivých surovin, míchání, vyhřívání nebo chlazení a udržení regulovaných setpointů [6].



Obr. 3.1 Procedurální a procesní model [6]

3.1.2 Fyzický model

Pokud máme vytvořený a laboratorně ověřený procesní model, potřebujeme popsat fyzické vybavení nutné k výrobě produktu. K tomu nám slouží fyzický model, který znázorňuje strukturu konkrétního zařízení výrobního podniku. Struktura fyzického modelu se skládá ze čtyř základních bloků. Jednotlivé úrovně bloků nám dělí složitou a komplexní technologii na dílčí snadno řešitelné aplikace (viz Obr. 3.2) [4][6].

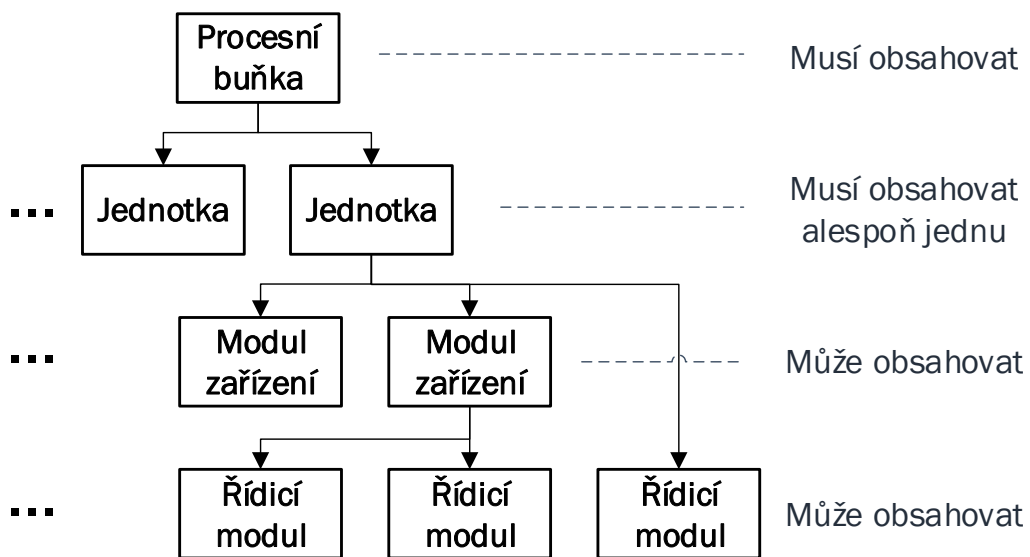
Procesní buňka je základní povinnou částí fyzického modelu. Má za úkol koordinovat jednotky a řídit přepravu dávek mezi nimi. Jednotky sdružené pod procesní buňku mají společný úkol, vytvořit jednu nebo více dávek finálního produktu. Struktura procesní buňky je dána propojením jednotek mezi sebou.

- Jednocestná struktura (lineární), kdy dávka postupuje jednotkami v jednom směru a po průchodu dávky všemi jednotkami vzniká výsledný produkt. Jedná se o jednoúčelové výrobní linky.
- Vícecestná (paralelní) struktura je modulárnější. Výběrem cesty je možné ovlivnit vlastnosti výsledného produktu nebo urychlit výrobu na obsazených jednotkách použitím volných jednotek. Je možné vyrábět více dávek najednou.
- Síťová struktura je nejvíce univerzální, ale také nejvíce nákladná. Rychlost výroby roste společně s efektivitou využití celé procesní buňky.

Jednotka je seskupení zařízení potřebné pro výrobu jedné dávky (procesní aktivity). Uvnitř jednotky se v daném čase může vyrábět pouze jedna dávka. V procesní buňce musí být alespoň jedna jednotka. Jednotky jsou na sobě nezávislé, ale mohou si vypomáhat mezi sebou [6].

Modul zařízení obsahuje jeden nebo více řídicích modulů nebo podřízený modul zařízení. Moduly zařízení mohou být i nezávislé na jednotce, většinou se jedná o přepravu dávek mezi jednotkami.

Řídicí modul je nejnižší entita ve fyzickém modelu. Jeho součástí je alespoň jeden senzor nebo akční člen. Hlavním úkolem řídicího modulu je udržet systém v daném stabilním stavu (set pointu).



Obr. 3.2 Fyzický model [4][6]

3.1.3 Procedurální model

Procedurální model spojuje předchozí dva modely a popisuje hierarchii funkcí, které se mají vykonat při výrobě dávky. Je z něj odvozeno procedurální řízení a skládá se ze čtyř úrovní (viz Obr. 3.1 vlevo) [4].

Procedura (procedura receptury) je strategie výrobního procesu vykonávané na procesní buňce. Skládá se z jednotkových procedur, které koordinuje a definuje jejich počáteční podmínky.

Jednotková procedura (procedura jednotkové receptury) má obdobnou funkci jako procedura, ale v rámci jednotky. Měla by definovat počáteční podmínky pro operace. Aktivní operace se vykonává právě na jedné jednotce.

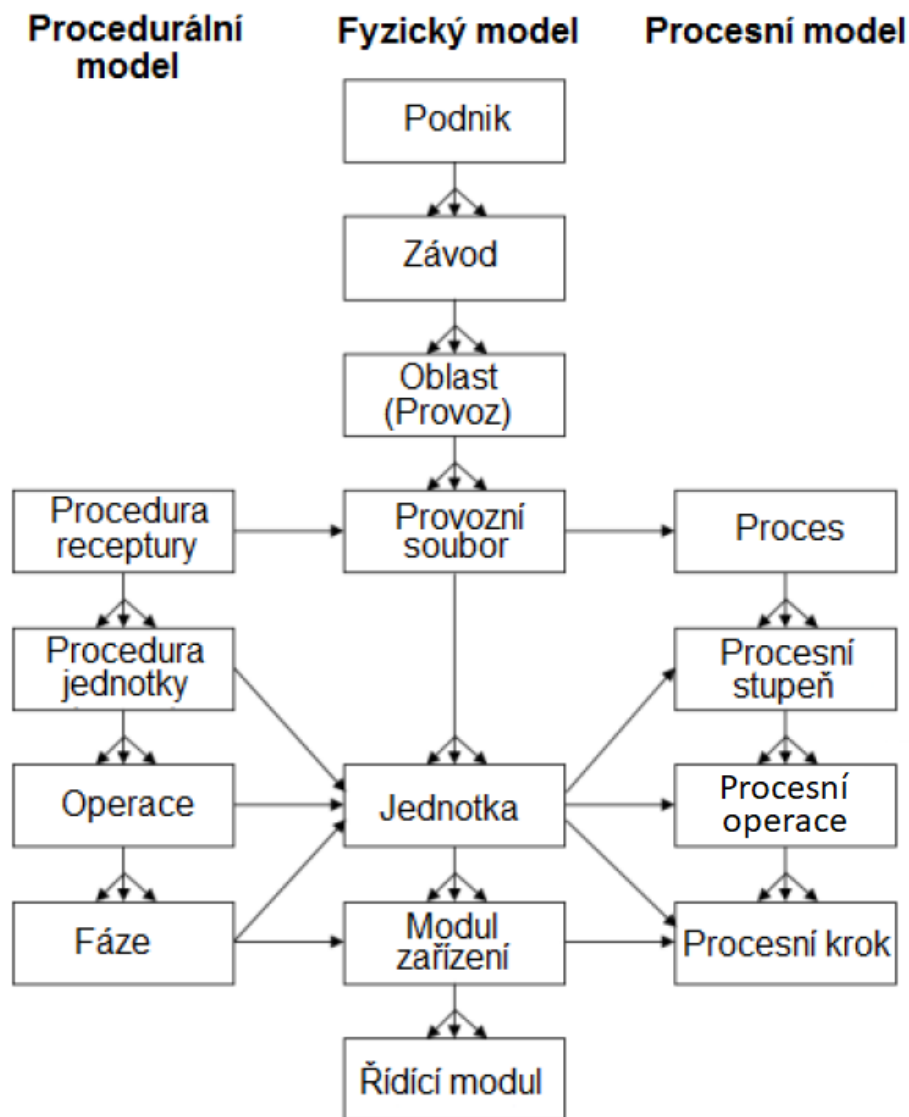
Operace (operace receptury) je soubor fází potřebných k úpravě materiálu nebo meziprojektu. Úpravou se myslí chemické nebo fyzikální změny látek. Koordinuje fáze a definuje jejich počáteční podmínky.

Fáze (fáze receptury) je posledním a nejmenším prvkem procedurálního modelu. Fáze je zodpovědná za realizaci procesní akce. Fáze specifikuje povely vysílané k modulu zařízení, jako jsou například nastavení pracovních hodnot (setpointů), spuštění regulací, čtení stavů a hodnot. Modul zařízení následně odpovídá na požadavky fáze, která data využije ke své potřebě nebo je předá do vyšších struktur pro vizualizaci nebo archivaci.

3.1.4 Vazby mezi modely

Každý z modelů představuje dávkový systém z pohledu dávkového procesu, návrhu zařízení a procesního řízení. Modely mají podobnou hierarchickou strukturu, která logicky koresponduje mezi modely. Tyto modely musí být na sobě nezávislé, proto standard S88 tyto vazby nespécifikuje. Díky tomu je možné zvolit více implementačních metod [6].

Jeden z možných příkladů společné vazby mezi modely, kde je rozšířený fyzický model (viz Obr. 3.3).



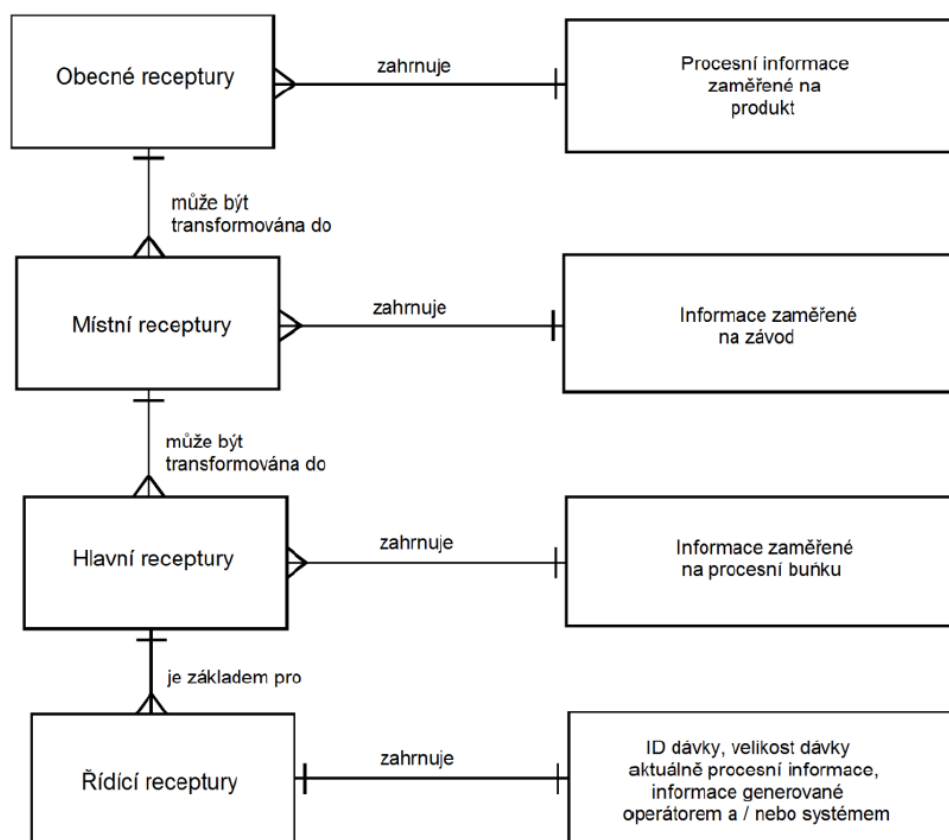
Obr. 3.3 Společné vazby modelů [4]

3.2 Receptury

Receptura je soubor informací potřebný pro vytvoření jedné dávky v konkrétním podniku na konkrétní lince (know how). Receptura obsahuje hlavičku, požadavky na zařízení, formuly a procedury [4].

Hlavička je soubor administrativních informací jako například číslo verze receptury, datum vytvoření nebo místo vzniku [4].

Formule specifikuje procesní vstupy, výstupy a parametry materiálu jako je množství, složení, teplota nebo pH [4].



Obr. 3.4 Typy receptur [6]

Receptury dělíme podle jejich využití a detailů, které obsahují čtyři stupně. Každý ze stupňů má jiné uplatnění ve výrobním podniku (viz Obr. 3.4) [4].

- Obecná receptura
- Místní receptura
- Hlavní receptura
- Řídící receptura

Obecná a místní receptura nespécifikuje žádné vybavení potřebné k výrobě produktu. Vycházejí z procesního modelu a píší ji technologové, chemici nebo jiní odborníci [4].

Hlavní a řídicí receptura specifikuje konkrétní výrobní buňku a jednotku, na které se bude dávka vyrábět. Vychází z procedurálního modelu. Tím určují přesné složení a parametry jedinečné výstupní dávky materiálu [4][6].

3.3 Úrovně dávkového řízení

Je důležité zmínit, že bez řízení není fyzické vybavení k ničemu, proto součástí fyzického modelu je i řídicí logika jednotek, modulů zařízení a řídicích modulů. Klíčové pro zobecnění a znovupoužití softwaru dávkového řízení je, aby moduly zařízení a řídicí moduly byly spolu propojeny [4][6].

Koncepce řízení je dělena na tři úrovně:

- Koordinační (*Coordination Control*)
- Procedurální (*Procedural Control*)
- Základní (*Basic Control*) nebo (*Equipment Control*)

Koordinační řízení probíhá v rámci jednotek a procesních buňek, ale také mimo jejich hranice. Hlavním úkolem je využití celé kapacity technologie (zaměstnat co nejvíce jednotek), přeprava dávek mezi jednotkami, čištění jednotek a efektivní využívání sdílených zdrojů. Jako koordinační řízení v nižších entitách můžeme brát přepínání režimů AUT/MAN modů [4].

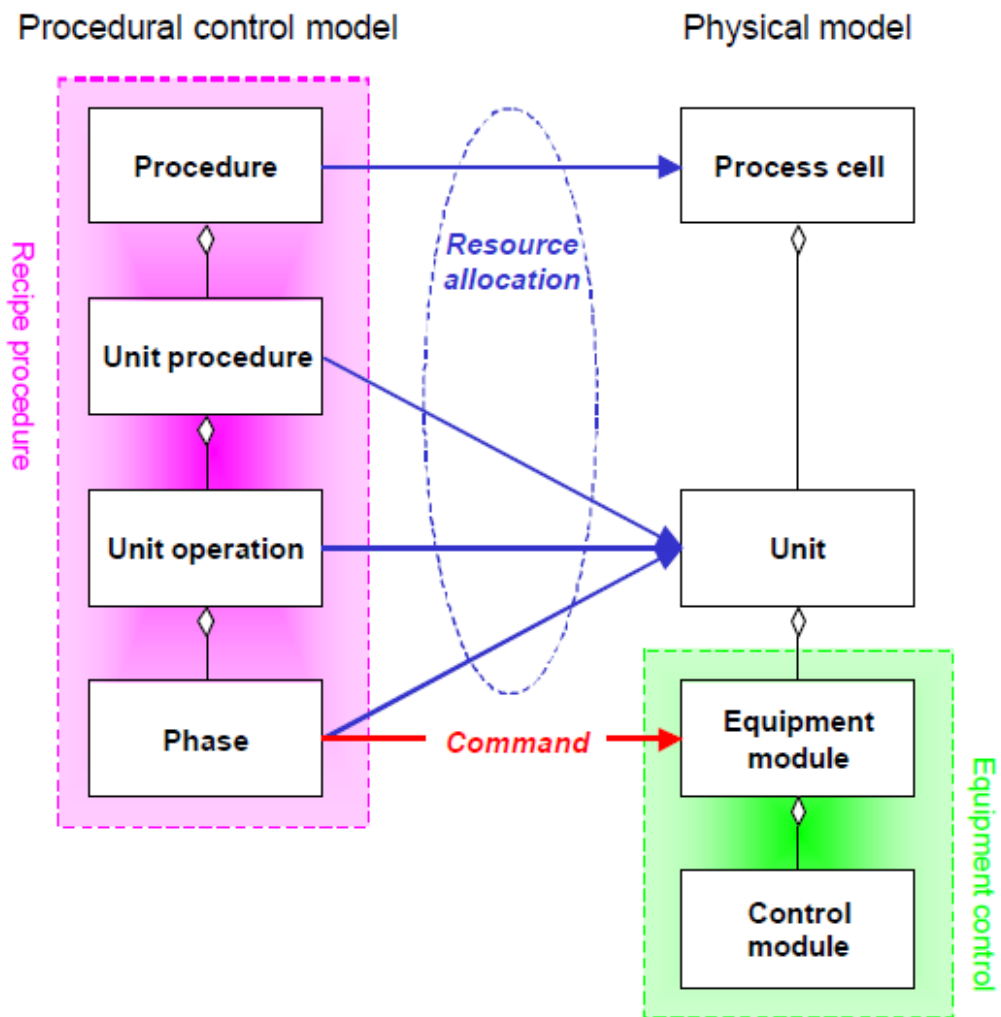
Procedurální řízení probíhá na modulech zařízení a v jednotkách. Jednotky mají za úkol přeložit proceduru receptury na povely pro entity. Moduly zařízení provádí fáze receptury.

Základní řízení je nejnižší logika řízení v řídicích modulech a modulech zařízení. Vykonává základní funkce entit. Tyto funkce jsou:

- Regulace
- Logické kombinační nebo sekvenční podmínky
- Alarmy
- Blokování spuštění (interlock)

3.4 Mapování řízení na zařízení

Mapování řízení na zařízení nám určuje hranice mezi řízeními. Jedno z možných řešení, které je využito ve školním MES systému SkuMES, je mapování fází na řídicích modulech. Základní řízení se vykonává v PLC nebo DCS a procedurální řízení zajišťuje systém MES v PC. V obrázku (Obr. 3.5) je znázorněn interface mezi procedurálním řízením (růžová část *Recipe procedure*) a základním řízením (zelená část *Equipment Control*). Při návrhu základního řízení musíme zaručit aby byl interface mezi fází a modulem zařízení stejný a moduly zařízení měly stejné stavy a přechody (viz Obr. 3.6).



Obr. 3.5 Mapování řízení [6]

3.5 Režimy a stavy

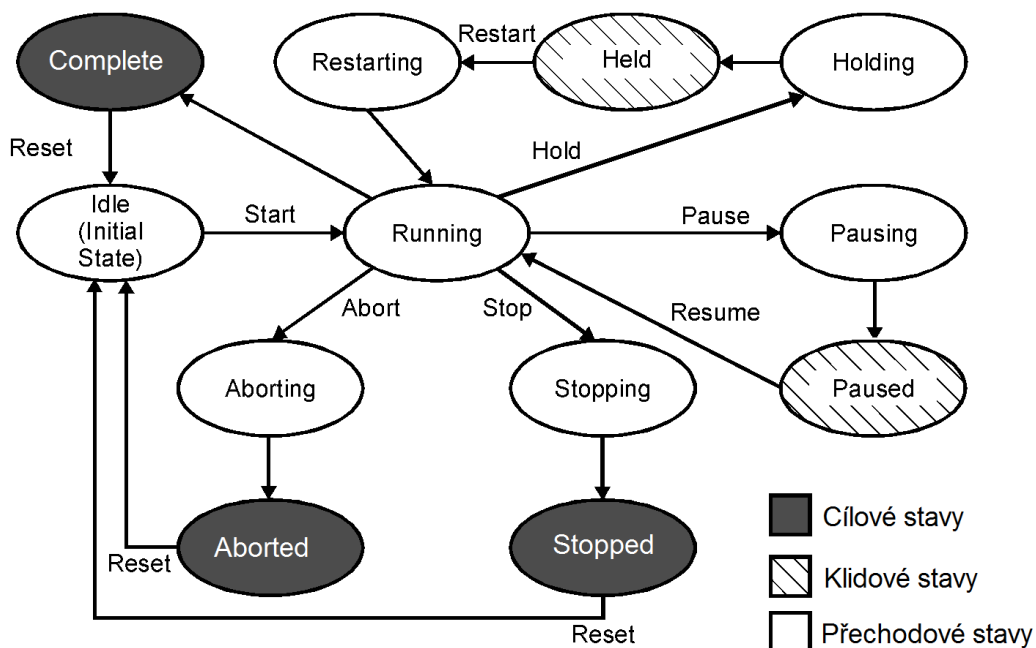
S88 definuje pro procedurální prvky tři režimy (automatické, poloautomatické a ruční). Pro entity fyzického zařízení definuje dva režimy (automatické a ruční).

Automatický režim (AUT) zaručuje autonomní vykonání procedury bez zásahu operátora. Operátor je schopný pouze pozastavit postup operací na procedurální úrovni, ale nemůže vynutit přechod. Operátor nesmí zasahovat do základního řízení (modulů zařízení a řídicích modulů) [4].

Poloautomatický režim (Semi-AUT) je na půl závislý na akci operátora. Operátor potvrzuje spuštění přechodu, ale není schopen přechod vynutit [4].

Ruční režim (MAN) je plně v kompetenci operátora. Operátor určí pořadí přechodů procedur a může vynutit přechod před dosažení ukončovací podmínky. Na úrovni základního řízení nejsou entity řízeny svým algoritmem, ale operátorem [4].

Logiku fází definují její stavy a přechody. Stavový automat fáze se skládá z cílových, přechodových a klidových stavů (viz Obr. 3.6) a je implementován ve fyzických entitách. Ve školním modelovém systému SkuMES jsou touto logikou vybaveny moduly zařízení. Povelů vydává operátor nebo procedurální prvek (fáze) v MES systému [4].



Obr. 3.6 Stavy a povelů fáze [4]

4. VZOROVÁ ÚLOHA

Vzorová úloha je zaměřena na pochopení principů ISA-S88 a implementaci standardu do řízení školního modelu „Kuličky“. Výstupem této části práce je zadání laboratorní úlohy do předmětu MAUP, které se stane součástí laboratorních skript. Řešení této úlohy je zdokumentováno pro potřeby výuky.

4.1 Zadání

Navrhnete fyzickou a procedurální strukturu modelu „Kuliček“ dle standardu ISA-S88. Snažte se, co nejvíce si ulehčit práci a vytvářejte mnohonásobně použitelné bloky kódu.

Vytvořte program v PLC:

- Řízení alespoň jedné fyzicky mnohonásobně použité fáze pro dávkování kuliček ze zásobníků.
- Řízení libovolné simulované fáze, například míchání dávkované směsi nebo čištění zásobníků. Její činnost bude zobrazovat HMI panel.
- Výhodné pro práci s aplikací SkuMES je vytvořit fázi, která nevykonává žádnou procesní akci.
- Vhodnou vizualizaci procesu a její manuální ovládání na HMI panelu.
- Využijte alespoň jeden faceplate pro ulehčení kreslení vizualizace.

V aplikaci SkuMES, kterou naleznete na odkazu <http://skumes.vlada.pl/>.

- Zadefinujte stanici PLC, její adresu a datový blok.
- Na stanici vytvořte jednotku dávkovače.
- Pro jednotku vytvořte fáze, které použijete v receptuře.
- Vytvořte alespoň jednu recepturu, která dokáže paralelně dávkovat libovolný počet kuliček z válců.

4.1.1 Požadavky aplikace SkuMES

Aby aplikace SkuMES mohla vykonávat fáze na jednotce, je nutné, splnit tyto požadavky:

- Stavů a přechodů řízení fáze dle Obr. 4.2.
- UDT fází musí být přesně podle Obr. 4.1.
- Všechny *Cmd* signály se musí po vyhodnocení, úspěšném i neúspěšném, deaktivovat.

- OPC UA je nakonfigurováno dle návodu.

Fáze je řízena dvěma způsoby, v automatickém režimu z aplikace SkuMES nebo v manuálním (ručním) režimu z HMI panelu a modelu. Každý režim má své příkazy, které dokáže obsloužit a nezasahuje do druhého. Algoritmus fáze je stavový automat, který má tři stavy. Implicitně je ve stavu *Idle*, který je klidový. Po spuštění z jakéhokoliv režimu se dostává do stavu *Running*, kde se vykonává fáze. Úspěšným ukončením fáze se generuje signál *Done* a vrací se do klidového stavu. Signál *Done* informuje SkuMES, že fáze byla provedena a signál resetuje pomocí *ResetDone*. Stav *Paused* je dostupný pouze pro manuální řízení a fáze je v tomto stavu pozastavena. To znamená, že akční členy jsou v klidových polohách.

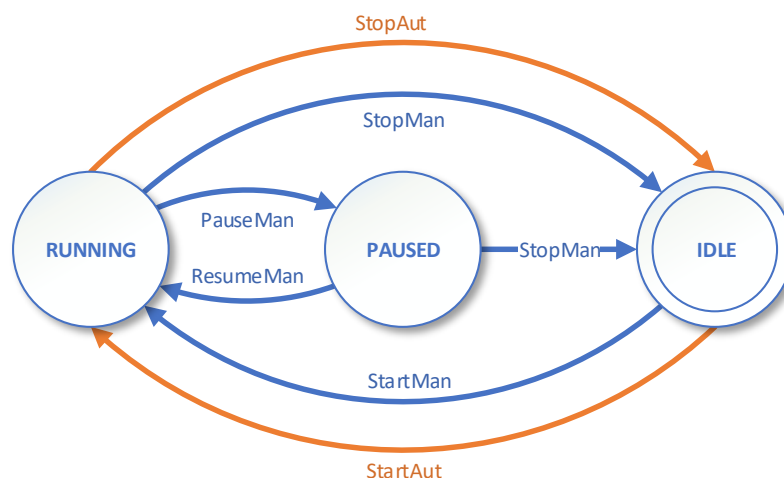
struktura UDT fáze			
	Name	Data type	Comment
1	Cmd	Struct	Ovládání fáze
2	StartAut	Bool	Start v automatickém režimu
3	StopAut	Bool	Zastavení v automatickém režimu
4	StartMan	Bool	Start ručně
5	StopMan	Bool	Stop ručně
6	PauseMan	Bool	Pozastavení ručně
7	ResumeMan	Bool	Pokračování ručně
8	ResetDone	Bool	Reset signálu Done
9	Automat	Bool	Přepnutí do automatického režimu
10	Manual	Bool	Přepnutí do ručního režimu
11	State	Struct	Stavy fáze
12	Running	Bool	Fáze se vykonává
13	Idle	Bool	Fáze je odstavena
14	Paused	Bool	Fáze je pozastavena
15	Done	Bool	Fáze byla úspěšně dokončena
16	Automat	Bool	Stav řízení z aplikace SkuMES
17	Manual	Bool	Stav řízení ruční
18	State	Int	Združené hlášení stavů a chyby
19	Param	Struct	Parametry fáze (volitelné)
20	Parametr_1	Dint	Volitelný parametr
21	Parametr_n	Dint	Další parametr fáze
22	Volitelná proměnná	Int	Volitelné proměnné a konstanty

Obr. 4.1 Struktura UDT fáze

Všechny UDT proměnné pro řízení fází musí být vytvořeny v datovém bloku, kde by měly být dále organizovány do jednotek. Společně s těmito proměnnými v datovém bloku musí být definovaná proměnná *GlobalError* typu *Bool*. Tato proměnná předává globální hlášení chyby na jednotce. Pokud je *GlobalError* aktivní (v úrovni *High*), aplikace SkuMES nezačne vykonávat recepturu připravenou ke spuštění.

Konfigurace OPC serveru se nastaví v *Device configuration* v PLC. Zde v *Properties* je nutné nastavit dvě věci:

- (*General/Runtime licences/OPC UA*) vyberte z nabídky *SIMATIC OPC UA S7-1500 small*
- (*General/OPC UA/Server/General*) zaškrtnete check box *Activate OPC UA server*



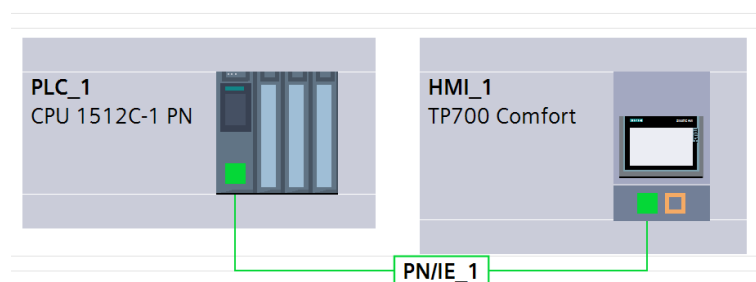
Obr. 4.2 Stavový automat fáze

Nesmí se stát, aby sekvence receptury začínala a končila stejnou fází. Aplikace SkuMES se zacyklí a recepturu nespustí a ani vás o této chybě neinformuje. Proto pokud chcete mít stejnou fázi počáteční i koncovou, nadefinujte si v receptuře dvě fáze s jiným jménem. Při spouštění receptury se namapujte na stejnou fázi jednotky. Výhodné pro paralelní větvení receptury je, když využijete fázi, která nic nevykonává.

4.2 Řešení

Zde je popsáno programové řešení úlohy, koncipované jako vzorový protokol.

4.2.1 HW a OPC konfigurace



Obr. 4.3 Konfigurace PLC a HMI

Hardwarová konfigurace se provádí v kartě *Device & networks*. Skládá se z PLC (*Programmable logic controller*) a HMI (*Human–Machine Interface*) neboli operátorský panel. Tyto komponenty nalezneme v hardwarovém katalogu:

- **PLC:** *Catalog/Controllers/SIMATIC S7-1500/CPU/CPU 1512C-1 PN/6ES7 512-1CK00-0AB0 (Firmware V2.1)*

- **HMI:** *Catalog/HMI/SIMATIC Comfort Panel/7“ Display/TP700 Comfort/6AV2 124-0GC0-0AX0*

Propojeny jsou pomocí PN/IE (průmyslový ethernet) (viz Obr. 4.3). Konfigurace OPC UA je popsáno v zadání úlohy (Kap. 4.1.1).

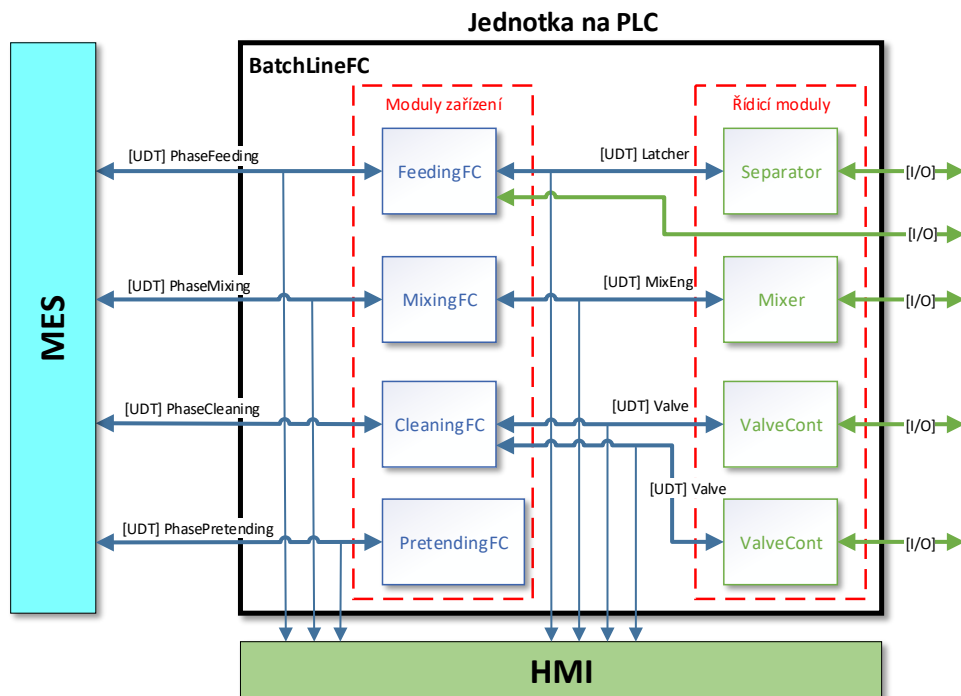
Hodinové paměťové bity, které se dají použít pro časování nebo PWM modulaci, se nastavují také v *Properties* daného PLC.

- (*General/System and clock memory*) zaškrtnutím *Eneble the use of clock memory byte*

4.2.2 Struktura programu

Struktura programu je dělena na tři úrovně dle standardu S88. Blokové znázornění této struktury je naznačeno v (Obr. 4.4).

- **Jednotka:** Hlavní vrstva v PLC, která obaluje danou technologii výroby.
- **Modul zařízení (fáze):** Organizuje vykonávání fází receptury a je ovládána z MES systému nebo z HMI panelu.
- **Řídicí modul:** Je nejnižší vrstvou, která ovládá k sobě náležící výstupy a vstupy modelu.



Obr. 4.4 Struktura bloků a vazeb programu

4.2.2.1 Program

Pro psaní programu je použito vývojové prostředí od firmy Siemens TIA Portál V14, kterým jsou vybaveny laboratoře průmyslové automatizace. Toto prostředí je jak programovací, tak konfigurační nástroj pro programování PLC a HMI od firmy Siemens. V prostředí TIA je možné programovací jazyky kombinovat, proto jsou v úloze použity jazyky SCL (*Structured Control Language*) a LAD (*Ladder diagram*).

SCL má jistou podobnost s vyššími programovacími jazyky. Je snazší na implementaci složitějších algoritmů. Člověk s lehkou znalostí jazyka C nebo Pascal si na tento jazyk rychle zvykne. Veškeré řídicí algoritmy, funkční bloky a funkce jsou napsány v tomto jazyce.

LAD je grafickým jazykem, který vychází z kreslení reléových schémat. Tento jazyk je použit pouze na názorné volání funkčních bloků. Výhodou použití LAD je přehlednost a rychlá pochopitelnost.

4.2.2.2 Data

Data potřebná pro řízení jednotky jsou organizována v datovém bloku *Data* (viz Obr. 4.5). V DB2 je vytvořena hlavní UDT proměnná *BatchUnit* typu *BatchU*. Tato proměnná a její vnitřní proměnné fáze se mapují v aplikaci SkuMES přes OPC server. Zároveň jsou UDT proměnné propojeny s HMI pomocí HMI tagů. Skrze tyto vazby jsou fáze jednotky ovládány. Proměnná *BatchUnit* je na druhé straně připojena jako vstupně výstupní proměnná do funkčního bloku jednotky *BatchLineFC* (viz Obr. 4.5).

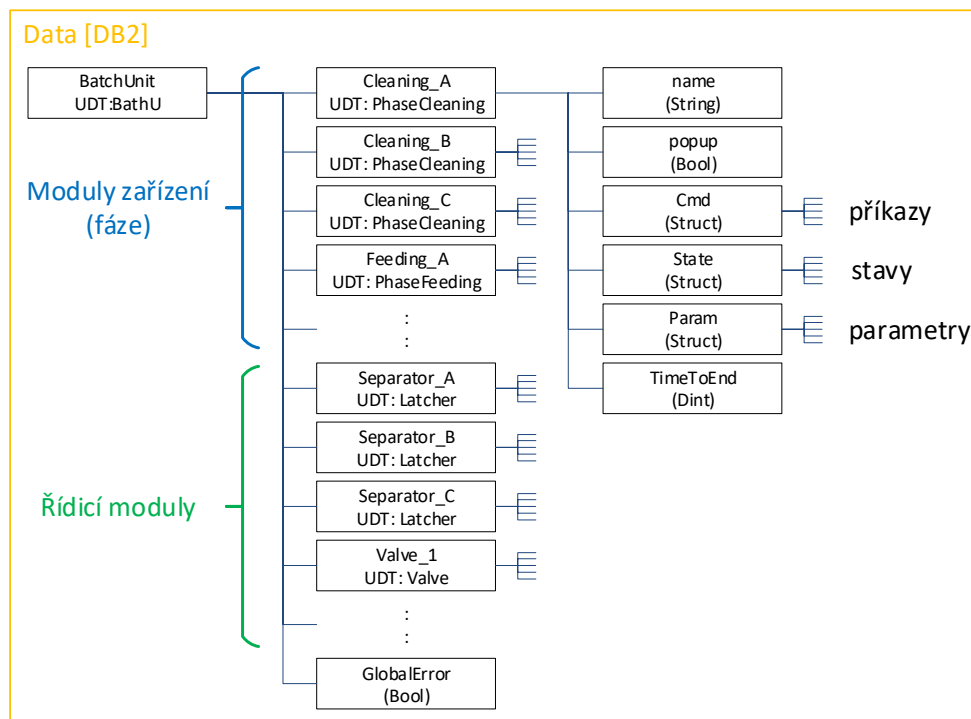
Funkční bloky FB vyžadují při volání vlastní datový blok nebo vlastní instanci uloženou v datovém bloku. Instance je proměnná stejného datového typu, jako je jméno FB. Díky tomu je možné volat x funkčních bloků a není potřeba vytvářet stejný počet datových bloků. To je výhodné pro snadnou klonovatelnost jednotek. Toto mapování dat k funkčním blokům se nazývá *Multi-instances*. V projektu je vytvořený pouze jeden datový blok pro FB jednotky *BatchLineFC_DB*, který obsahuje sektory:

- **Input:** Obsahuje vstupy jednotky.
- **Output:** Obsahuje výstupy jednotky.
- **InOut:** Obsahuje proměnnou *BatchUnit* z DB *Data*.
- **Static:** Obsahuje všechny instance funkčních bloků volaných uvnitř jednotky a vnitřní proměnné jednotky.

Při používání časovačů nebo funkcí pro detekci náběžné/sestupné hrany, je výhodné použití *Multiple instance* volání. Rozhraní těchto funkcí jsou uložena ve *Static* paměťovém prostoru funkčního bloku, kde se funkce používají.

4.2.2.3 Uživatelské datové typy (UDT)

Jsou vlastní strukturované datové typy, které se použijí jako struktura. O hlavním UDT jednotky už bylo zmíněno (Kap. 4.2.2.2), ale ta je tvořena dílčími UDT.



Obr. 4.5 Datový blok jednotky s UDT proměnnými

Fáze mají vlastní UDT, které má přesnou strukturu popsanou v požadavcích pro SkuMES. Skládá se z povinné části, *Cmd*, *States*, *Param* a volitelných procesních parametrů nebo jiných proměnných. Na obrázku (Obr. 4.5) je vidět příklad UDT fáze *Cleaning_A*. Procesní parametr fáze je proměnná *TimeToEnd*, která ukazuje čas do konce fáze. Tyto parametry se dají zobrazovat v aplikaci SkuMES. Proměnná *popup* a konstanta *name* jsou určeny pro vizualizaci.

Řídicí moduly mají také vlastní UDT, ale jejich vzhled není pevně dán. Jediným doporučením je, aby se nepříliš podobaly struktuře UDT fází, a to z důvodu záměny. Funkci mají ale stejnou, propojit fázi a HMI s řídicím modulem.

Další důležitá funkce UDT je pro vytváření faceplatů ve vizualizaci. UDT se musí vložit do projektové knihovny, ve které se vytvářejí právě i faceplaty. Funkce UDT je v tomto případě propojení faceplatů s HMI tagy, které jsou propojeny s daty v jednotce (viz Obr. 4.4). Bez UDT není možné vytvořit faceplate.

4.2.3 Funkce a funkční bloky

4.2.3.1 Jednotka

Jednotka dle S88 zastřešuje ostatní moduly zařízení a řídicí moduly. V programu to vypadá tak, že jednotkou je funkční blok *BatchLineFC* (viz Obr. 4.1). Funkční blok je naprogramován v jazyce LAD, který je názornější a na požadavky prostého volání funkčních bloků a funkcí dostačující. Příkladem funkce, která se opakuje je výpočet BCD čísla z číslicového voliče *DecodeBCD*. Pro složitější funkce jednotky, které se neopakují, je použit jazyk SCL (Network 5-8). Tyto funkce jsou:

- **Network 5:** *Řízení pop-up faceplatů* – Odstraňuje dynamická okna vizualizace. Tato funkce je potřebná pro dané řešení vizualizace a její existence bude objasněna (viz Kap. 4.2.5.).
- **Network 6:** *Simulace zpětné vazby motoru míchadla* – Simuluje funkci míchadla. Generuje virtuální vstup *#diEng_Mix_Running*.
- **Network 7:** *GlobalError* – Jeho funkce bude popsána (viz Kap. 4.2.4.).
- **Network 8:** *Signalizace ledek na modelu* – Tato funkce ovládá diody LED, které jsou podřízeny jednotce. Diody signalizují jestli je jednotka v provozu (je spuštěno dávkování) nebo ne.

Volání tohoto bloku je uskutečněno v organizačním bloku OB1, který je cyklicky volán v hlavní smyčce PLC. Vstupy a výstupy PLC jsou předány bloku *BatchLineFC* jako vstupy a výstupy bloku. Řízení jednotky je předáno jako vstupně výstupní proměnná UDT *BatchUnit* v datovém bloku *Data*. Společně s tímto funkčním blokem musí být vytvořený i datový blok, který obsahuje vnitřní proměnné jednotky. V programu je tento datový blok nazván *BatchLineFC_DB*.

4.2.3.2 Moduly zařízení / Fáze

Moduly zařízení jsou dle S88 definovány ve fyzickém modelu. Ve vazbách mezi modely standardu je dáno, že fáze procedurálního modelu se provádí právě na modulech zařízení, proto se o řídicí rutíně budeme bavit už jen jako o fázi. Fáze je vykonávána v rámci jednotky podle receptury dané v systému MES. V úloze jsou vytvořeny čtyři fáze, které mají své funkční bloky:

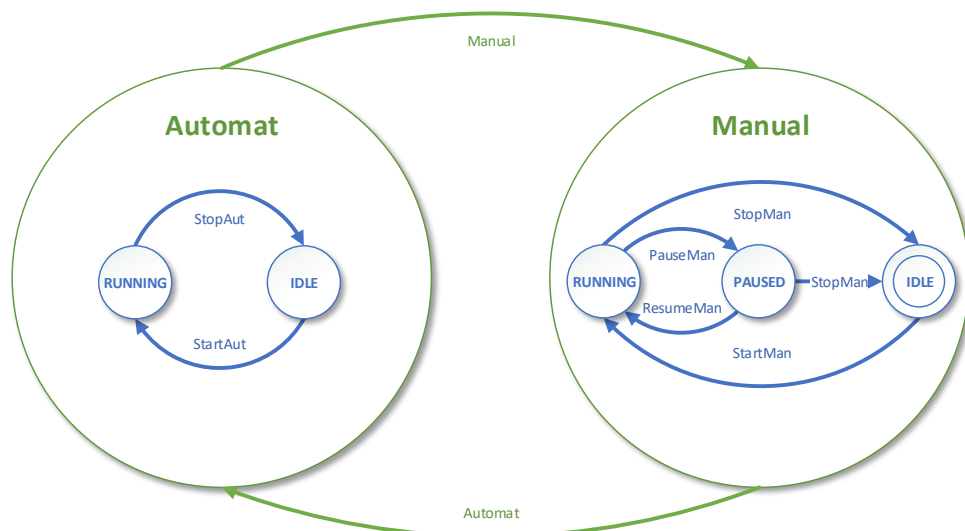
- ***CleaningFC*:** Fáze čištění na modulu A až C se skládá ze simulovaného vyplachování a samovolného vysychání násypek. Parametr *CleaningTime* je čas proplachování v celých sekundách a *DryingTime* je čas sušení také v celých sekundách.

- **FeedingFC:** Fáze dávkování na modulu A až C spustí a odpočítá požadovaný počet cyklů dávkovače. Počet dávek udává parametr *CountOfBatch*.
- **MixingFC:** Fáze simuluje míchání dávkované směsi. Parametrem je délka míchání *RunTime* v celých sekundách.
- **PretendingFC:** Je fáze, která nic nevykonává, ale je nutná pro SkuMES, aby začínala a ukončovala recepturu. Fáze je splněna ihned po spuštění a nemá ruční ovládání.

Řízení fáze zajišťuje stavový automat, který přepíná základní režimy (stavy). Režimy definují odkud bude fáze spuštěna nebo aktuálně ovládána.

- **Manual:** Řízení je dostupné z operátorského panelu nebo modelu. Ovládání na modelu je dostupné pouze pro fáze *Feeding_A-C*.
- **Automat:** Řízení je předáno SkuMESu.

Uvnitř těchto režimů se nachází stavy a povely vykonávající fázi. Jedná se o zjednodušený model stavů a povelů z teorie (Obr. 3.6). V automatickém ovládání není stav *Pause*, protože v tomto režimu operátor nesmí zasahovat do průběhu fáze (Obr. 4.6). Důležitým signálem, který není na obrázku, je signál *Done*. Signál se aktivuje po úspěšném dokončení fáze a je společně s globálním chybovým hlášením a provozními parametry fází zpětnou vazbou pro SkuMES.



Obr. 4.6 Stavy a povely fáze

4.2.3.3 Řídicí moduly

Řídicí moduly jsou přímo podřízeny fázím neboli modulům zařízení. Ovládají akční členy části technologie dle fyzického modelu standardu S88. Jednoduché technologické

celky obsahující například jeden výstup, bez složité řídicí funkce, nemusí mít tyto funkční bloky. V úloze jsou navrženy tři řídicí moduly:

- **Separator:** Obsluhuje horní a spodní solenoid. Detekuje přítomnost krabice.
- **Mixer:** Je simulovaná obsluha míchadla. Detekuje neúspěšné spuštění a generuje čas chodu míchadla.
- **ValveCont:** Prikazuje otevření a zavření ventilů. Princip (*Reset-Set*) klopného obvodu.

Separátor má za úkol po spuštění v automatickém režimu vypustit jednu kuličku pomocí horního a spodního solenoidu v tubě. Funkce je implementována jako stavový automat o dvou stavech a dvou přechodech. V inicializačním stavu je horní západka otevřená a spodní zavřená. Po startu fáze je spuštěn časovač, který zaručí, že inicializační stav trvá po dostatečně dlouhou dobu. Kulička má čas propadnout na dolní západku. Po vypršení času se invertuje nastavení západek a opět se spustí časovač. Ten zaručí samovolné vypadnutí kuličky z dávkovače a uvede automat opět do inicializačního stavu. Časovač se nastavuje pomocí parametru fáze *FlipTime* v UDT *Latcher*. Cyklus je možné spustit z HMI v automatickém režimu nebo je také možné samostatně manipulovat se západkami v manuálním režimu. Separátor detekuje přítomnost krabice pod dávkovači, a tím blokuje vypadnutí kuliček.

Mixér má oproti řízení ventilů navíc vstup se signálem, jestli se míchadlo otáčí. Tím je zabráněno zničení motoru v případě, že motor po startu neroztočí míchadlo. Do kdy se musí míchadlo roztočit udává parametr *StartTimeOut* v UDT *MixEng*. Po spuštění míchání z fáze v automatickém režimu se čas od spuštění inkrementuje. Etalonem časového intervalu je v tomto případě hodinový paměťový bit *Clock_0.5Hz*. Čas se zobrazuje ve stavové proměnné *RunTime* v UDT *MixEng* s přesností závisící na okamžiku spuštění ($\pm 0,5$ sekundy).

4.2.4 Globální chybové hlášení

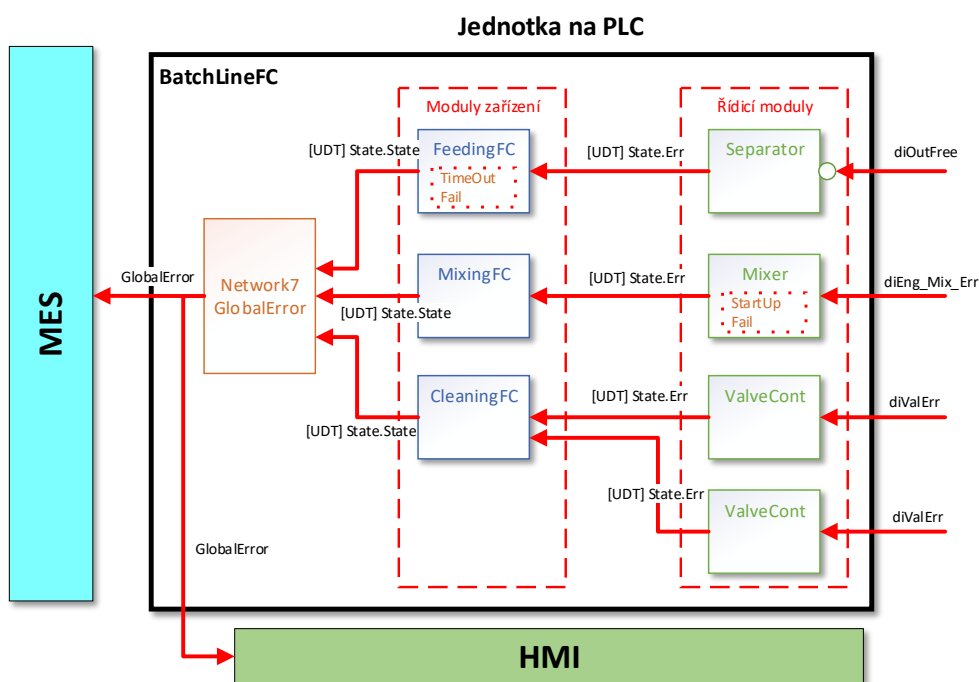
Globálně se chybové hlášení celé jednotky k programu MES dostává přes proměnnou *GlobalError*, která je umístěna v datové struktuře *Data* (viz Obr. 4.5). Většina programových bloků jednotky generuje svoje hlášení chyby, které se podle hierarchie dávkového řízení přenáší z řídicích bloků do modulů zařízení a ty následně ovlivňují *GlobalError*. Předávání chyb je graficky znázorněno v obrázku (Obr. 4.7). Výsledná reakce programu SkuMES je popsána v zadání (Kap. 4.1.1).

V jednotce nastávají chyby, které dělíme podle místa jejich vzniku.

- **Externí:** Jsou generovány hardwarově reálným zařízením modulů řízení a jsou kontrolovány na vstupech PLC. V tomto případě je to signál na modulu *diOutFree*, který slouží k detekci krabice. Tento signál má inverzní logiku

oproti ostatním signálům. *True* znamená, že krabice je přítomna a *False*, když není krabice na svém místě. Ostatní signály jako jsou (*diEng_Mix_Err* a *diValErr*) v programu jen simulovány pomocí merkrů v paměti.

- **Interní:** Se generují uvnitř bloků programu za splnění sekvenčních podmínek. Podmínkou je vypršení času nějaké akce. Ve funkčním bloku *FeedingFC* je to vypršení času, po který se vykonává fáze (*Time Out Fail*) a v bloku *Mixer* je to neúspěšné spuštění motoru (*Start Up Fail*) (viz Obr. 4.7). Tyto chyby neodezní samy, ale musí je resetovat operátor.



Obr. 4.7 Předávání chybových hlášení

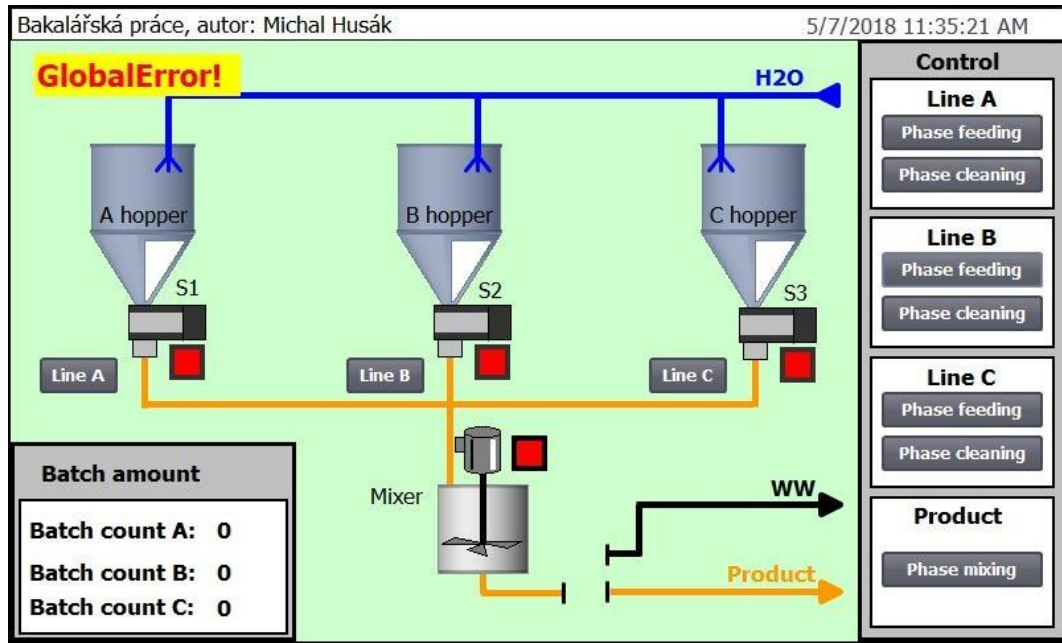
4.2.5 Vizualizace

Vizualizace je navržena v aplikaci SIMATIC WinCC Runtime Advanced, která je součástí vývojového prostředí TIA Portal V14, pro Comfort panel TP700. Skládá se ze čtyř obrazovek:

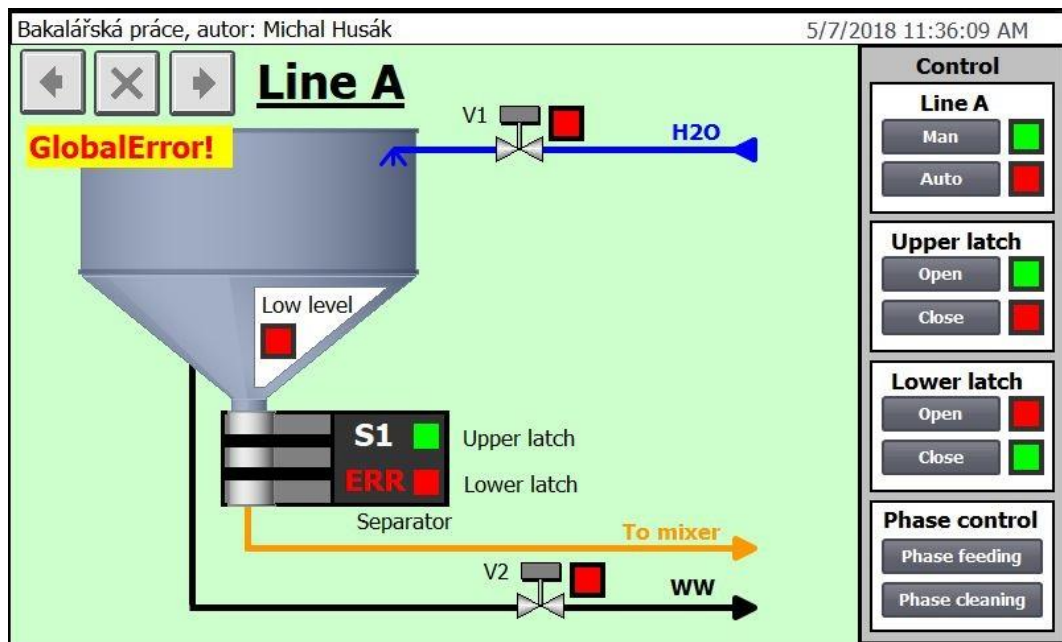
- Hlavní přehledová obrazovka celé jednotky (viz Obr. 4.8).
- Dávkovací linie A až C (příklad *Line A* viz Obr. 4.9).

Pro řízení a vizualizaci stavů fází a řídicích modulů se používá jejich UDT proměnných (viz Obr. 4.4). Proměnné jsou navázány na faceplaty, které ovládají nebo jen zobrazují stav dané entity. Obrazovky jsou vybaveny vyskakovacími ovládacími panely, které se otvírají pomocí tlačítek. U ventilů a míchadla je tlačítko pro zobrazení ovládacího panelu integrováno do signalizačního čtverečku.

Z hlavní obrazovky se do detailních obrazovek dostaneme stiskem tlačítka *Line A-C*. Mezi obrazovkami linií se dá přecházet nebo je opustit na hlavní obrazovku pomocí tlačítek v levém horním rohu obrazovky.



Obr. 4.8 Hlavní přehledová obrazovka



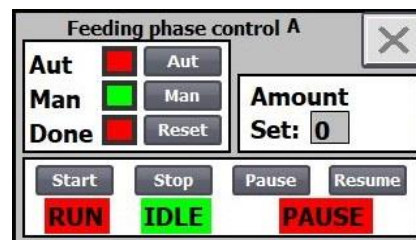
Obr. 4.9 Obrazovka *Linie A*

4.2.5.1 Faceplaty a Pop-up obrazovky

Faceplate je objekt složený ze skupiny obrázků a ovládacích prvků. Výměna dat mezi objektem a PLC se provádí přes interface a zajišťuje ji UDT. Vytváří se v projektové knihovně pomocí speciálního editoru v prostředí TIA Portal V14 [2][3].

Výhodou je opakovatelnost použití, které zefektivní a zrychlí tvorbu vizualizací. V projektu je faceplate použit u všech opakujících se entit. Jako jsou ventily, dávkovače, ovládací panely fází a ovládací panely řídicích modulů. Lze je rozdělit na dva druhy:

- **Grafické faceplaty:** Jsou to například grafické znázornění ventilu, který má jednoduchou signalizaci otevřeno/zavřeno. Jméno ventilu se předává pomocí stringu *name* v UDT. Signalizační ikonka slouží také k otevření ovládacího panelu ventilu.
- **Ovládací panely:** Slouží k ovládání modelu a jsou děleny podle umístění.
 - **Pevné:** Jsou pevnou součástí obrazovky, ale opakují se na více obrazovkách. V projektu je to faceplate na obrazovkách *Line A-C*, na pravé straně obrazovky (*Faceplate_BatchLine_control_pan*).
 - **Dynamické (pop up):** Jsou vyskakovací panely pro ruční ovládání fází nebo řídicích modulů. Objevování panelů je řízeno proměnnou *popup*, která je součástí UDT dané entity. Na obrazovce může být aktivní pouze jeden panel, aby se nestala nepřehledná. Toto ošetření je ve funkčním bloku jednotky (Network 5) (viz Kap. 4.2.3.1). Příkladem je dynamický pop-up panel pro řízení fáze *Feeding_A* (viz Obr. 4.10).



Obr. 4.10 Obrazovka fáze *Feeding_A*

Návod na vytvoření faceplatů je výborně popsán na stránkách podpory firmy Siemens. Odkaz na tuto stránku:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/68014632>

4.2.6 Aplikace SkuMES

V aplikaci SkuMES je možné navrhovat, plánovat, archivovat a spouštět receptury. SkuMES je webová aplikace propojená přes OPC UA rozhraní s PLC. Rozhraní čte a zapisuje do datového bloku *Data* v PLC, a tím řídí přes UDT proměnné entity jednotky. Na jedné PLC stanici může být řízeno více jednotek.

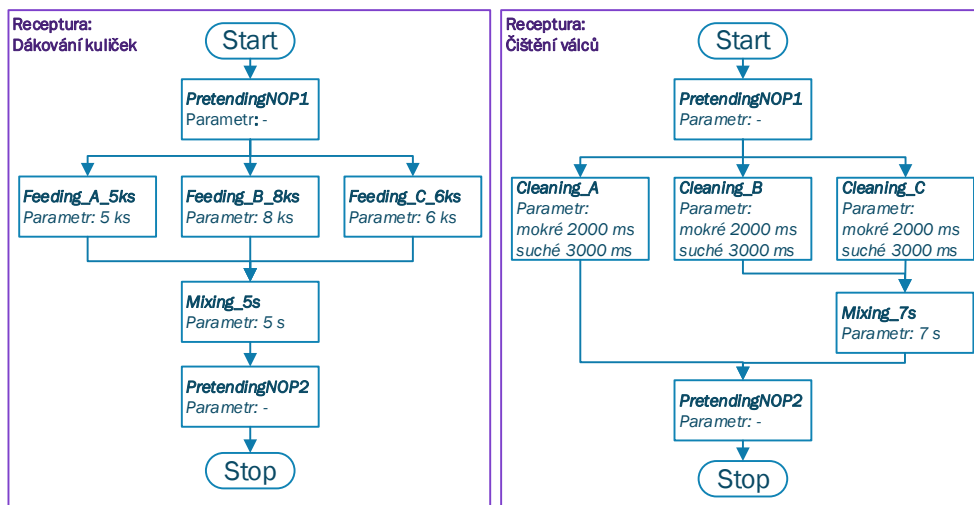
V záložce *PLCs* je definovaná stanice PLC. Stanice je pojmenována *Stanice KULIČKY*. Nastavení stanice zahrnuje URL OPC UA serveru (odpovídá IP adrese PLC)

a namapovaný datový blok *Data* v PLC, ve kterém jsou uloženy UDT proměnné fáze. Dále jsou zde definovány jednotky na PLC. Jednotky obsahují identifikátory všech fází, které jsou na jednotce dostupné. Receptury se navrhují v záložce *Plán výroby/Receptury*. Je možné recepturu duplikovat z jiné a následně jí editovat nebo ji vytvořit novou.

V záložce *Fáze receptury* se specifikují fáze i s parametry startu. Můžeme nadefinovat více fází a namapovat je na jeden modul zařízení v PLC. Například v návrhu receptury *Dávkování kuliček* (Obr. 4.11) jsou to stejné fáze *PretendingNOP1* a *PretendingNOP2*.

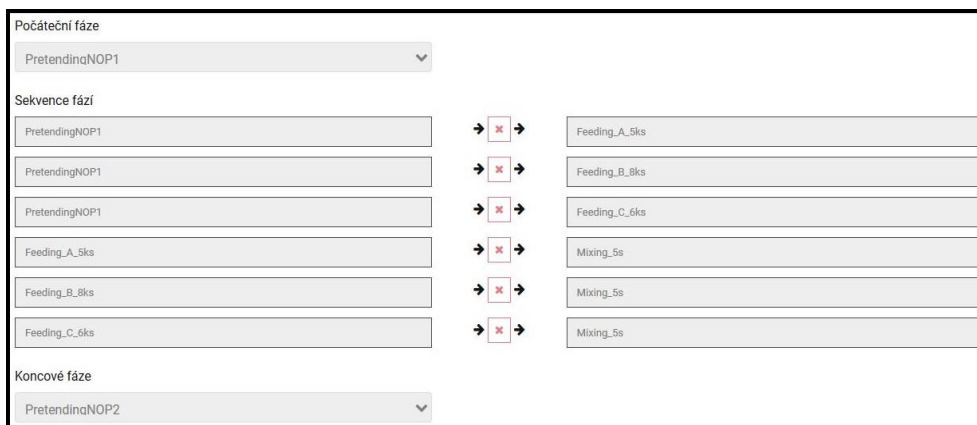
Pořadí vykonávání fází je definované v záložce *Sekvence fází*. Nesmí se stát, aby jedna receptura začínala a končila stejnou fází. Jinak dojde k zacyklení a aplikace recepturu nespustí. Je využito vlastnosti SkuMES, která dovolí namapovat více fází na jednu fázi v jednotce.

Při zařazení receptury do výroby, v záložce *Vyrobít*, se mapuje stanice PLC, jednotka a fáze receptury. Fáze receptury se mapuje na moduly zařízení (fáze) jednotky. Fáze *PretendingNOP1* a *PretendingNOP2* jsou obě namapovány na jednu fázi jednotky *PretendingNOP*. Díky tomu se receptura nezacyklí a lze ji spustit. Tyto fáze jsou použity jako počáteční a koncová fáze a slouží pro větvení receptury.



Obr. 4.11 Navržené receptury

Aplikace SkuMES nemá grafické prostředí. Fáze se zapisují lineárně za sebou do tabulky. Paralelní větvení fází se provede tak, že vytvoříme přechod první fáze s druhou na jednom řádku a na druhém řádku vytvoříme přechod první fáze s třetí. Paralelní větve musíme stejným způsobem i ukončit. Tím docílíme paralelního zpracování druhé a třetí fáze (viz Obr. 4.12). Receptura v aplikaci SkuMES (Obr. 4.12) je navržena podle grafického návrhu *Dávkování kuliček* (viz Obr. 4.11).



Obr. 4.12 Receptura „Dávkování kuliček“ ve SkuMESu [7]

Receptura *Dávkování kuliček* provádí souběžné dávkování kuliček ze všech válců. Z válce A vypustí pět kuliček, z válce B osm kuliček a z válce C šest kuliček. Receptura čeká na dokončení všech paralelních fází. Poté se spustí míchání a to po dobu pěti sekund.

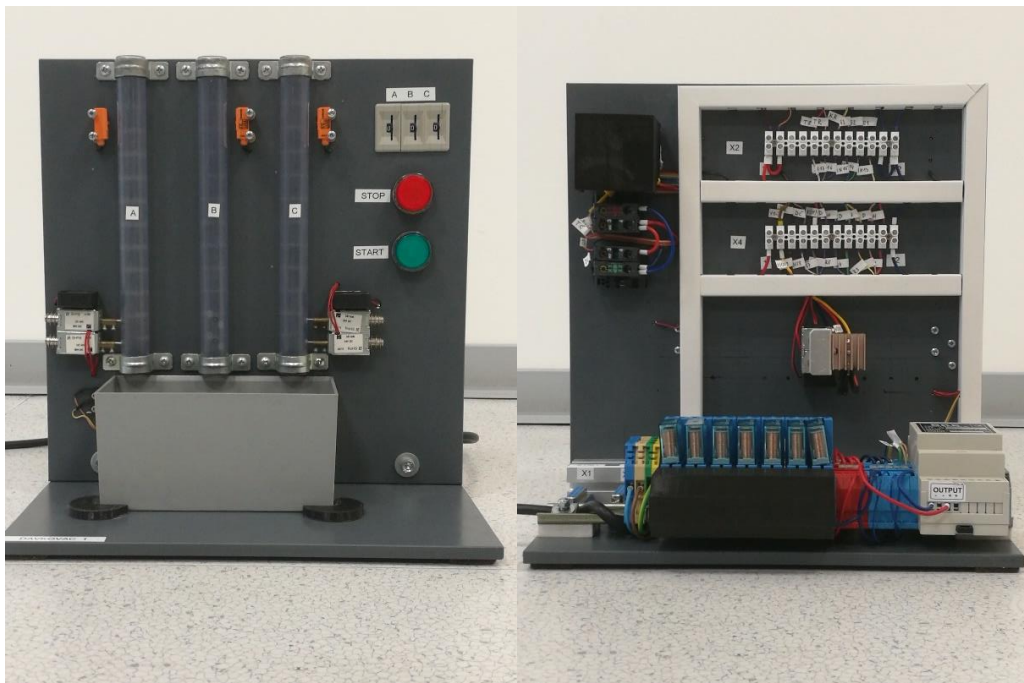
Receptura *Čištění válců* provádí čištění na všech válcích souběžně s tím rozdílem, že míchání se spustí až po splnění fáze čištění na válci B a C. Receptura je ukončena po dočištění válce A a sedmi sekundovém míchání.

5. INOVACE MODELU [1]

Kapitola vychází ze semestrální práce, která je uvedena v literárních zdrojích. Tato část dokumentuje inovace modelu, díky kterým lze model nadále používat ve výuce a pro potřeby této bakalářské práce.

5.1 Seznámení s modelem před inovací

Model „Kuliček“ je školní model simulující dávkovač nebo počítadlo. Tři tuby naplníme kuličkami a díky třem otočným spínačům v BCD kódu vybereme kolik kuliček bude nadávkováno z každé tuby. Na modelu probíhá výuka v předmětech BPGA a MAUP.



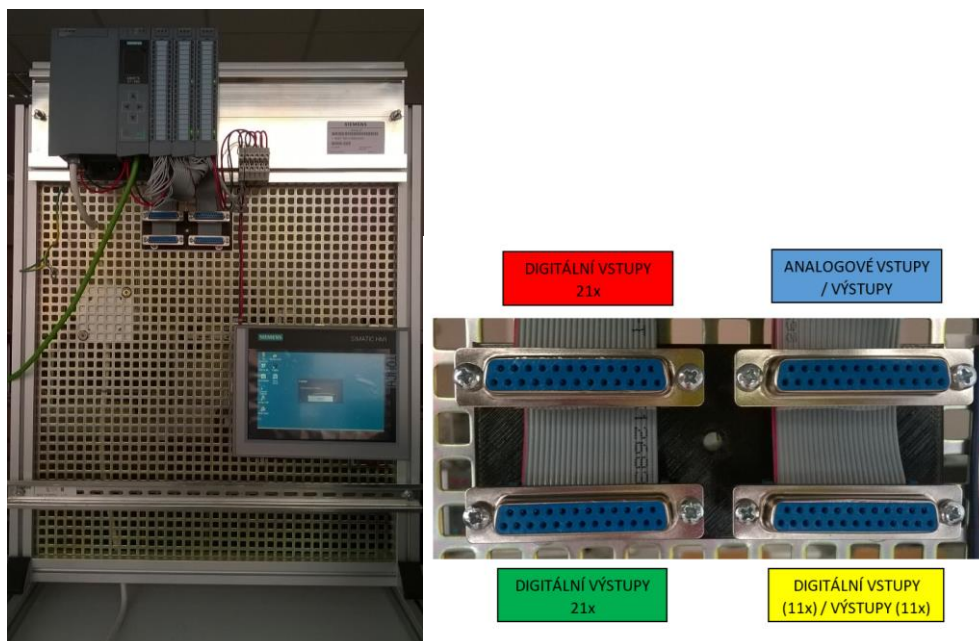
Obr. 5.1 Model – přední a zadní strana

Laboratoř, pro kterou je model určen, je po inovaci vybavena novými průmyslovými automaty od firmy Siemens S7-1500 typ 1512C -1 PN a operátorskými HMI panely TP 700 Comfort, viz foto pracoviště (Obr. 5.2). Vstupy a výstupy PLC karet jsou vyvedeny na konektory CAN25 a umístěny na panelu pod automatem.

Bylo zapotřebí inovovat i vnitřní zapojení modelu, aby byl plně kompatibilní a laboratoř byla modulární ve smyslu „*plug and play*“. Tento způsob inovace simultánně probíhá na ostatních modelech stejným způsobem.

Původně měl model vstupy a výstupy vyvedeny na konektor CAN25, ale k PLC byl připojen pomocí jednotlivých vodičů na svorky I/O karet. Nepřehlednost způsobovala,

že výměna modelu mohla zabrat i hodiny. Model měl také nekryté a neuspořádané vnitřní zapojení, které nebylo přehledné a nemělo ani požadovanou dokumentaci.



Obr. 5.2 Pracoviště s PLC a HMI panelem a konektorový panel

5.2 Hlavní elektrické komponenty

Označení a umístění hlavních komponent modelu ve schématu (viz Tab. 5.1).

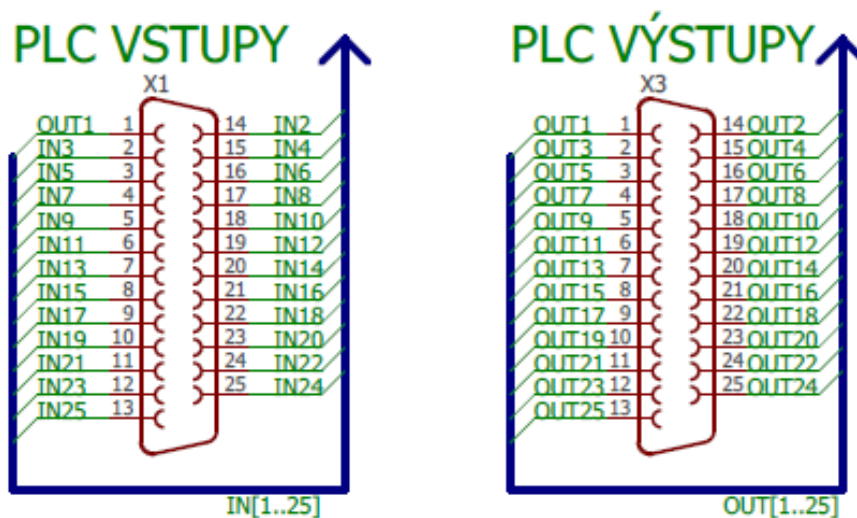
Tab. 5.1 Soupis součástí

Součástky	Výrobce /typ	Označení	Umístění
Spínaný zdroj 24 V / 1,25 A	BKE JS-30-240/DIN	+24 V, GND	-
Regulátor napětí 12 V / 1,5 A	ST L7812CV	IC1	Q B5 ¹
Proximitní snímač	Ifm OH5008	XR1...3	I C5
Tlačítko	Schneider ZBE101	SW1...2	I A5
LED signalizace	Schneider ZBVB3/4	D1...2	Q B5
Číslicový volič	Tesla TS 211 02 01	BCD1...3	I B3
Relé s patičí na DIN	Finder relé - 40.61, patice 95.05	R1...7	Q C3
Solenoid	RS 44A 220 621 720	SOL1...6	Q C5
Ventilátor 12 V	Sunon KDE1202PFB2-8	VENT1...3	Q B5
Mikrospínač s kladkou	ZIPPY SM-05S-05A0-Z	KRABICE	I B5

¹ I = input_schema, Q = output_schema

5.3 Konektor CAN25

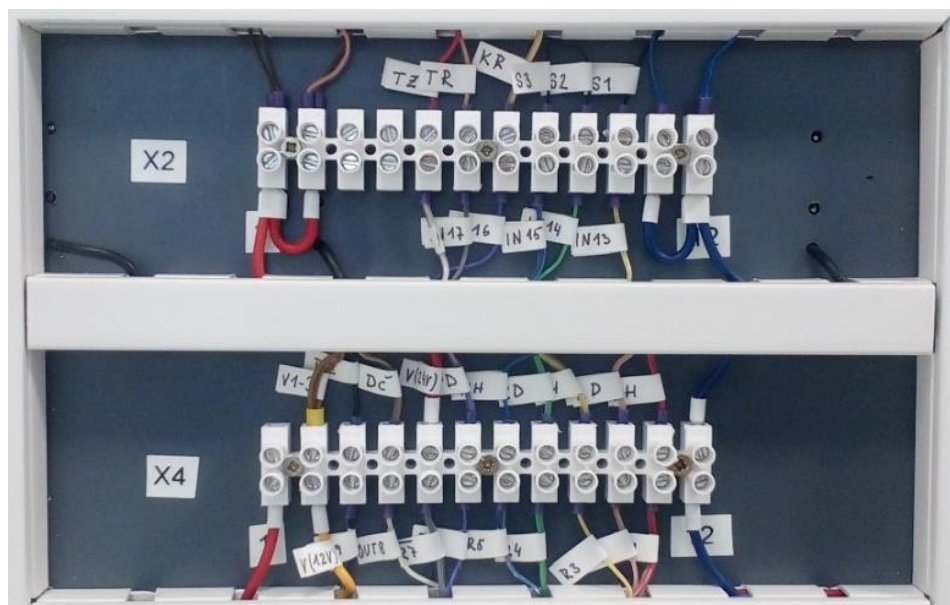
Konektory jsou přepojeny podle požadavků na inovace laboratoře Siemens. Konektor X1 je na modelu označen IN(PLC) a X3 jako OUT(PLC). Značení koresponduje s označením na modelu i ve schématu.



Obr. 5.3 Zapojení konektoru CANON

5.4 Svorkovnice

Jsou použity šroubovací svorkovnice „čokoláda“ 2x12 svorek. Svorkovnice X2 je v modelu vyhrazena pro snímače a ovládací prvky. Na této svorkovnici jsou první dvě svorky (X2.1, X2.2) obsazeny napájecím napětí zdroje (+24 V). K těmto svorkám přísluší i zemní svorky GND na pozici (X2.11, X2.12). Druhá svorkovnice X4 je obsazena akčními členy modelu. Na svorkovnici X4 je vyhrazeno napájecí napětí zdroje pouze na svorkách (X4.1 pro +24 V) a (X4.12 pro GND). Detailní obsazení svorkovnice je uvedeno ve schématech (Příloha 1 a 2).



Obr. 5.4 Svorkovnice

5.5 Schéma zapojení

Schémat jsou dělena podle vstupů a výstupů PLC. Výstupy jsou akční členy modelu a vstupy jsou senzory a ovládací prvky. Schémata jsou uvedena v přílohách schéma vstupů a schéma výstupů na konci dokumentu (Příloha 1 a 2).

Pro tvorbu grafické dokumentace je použito návrhové prostředí EAGLE od firmy AUTODESK. EAGLE je sice primárně určen k návrhu desek plošných spojů, ale editor schémat je snadný a univerzální kreslicí nástroj pro tvorbu jakýchkoliv elektrických schémat. Pro některé komponenty, jako například číslicový volič nebo proximitní snímač, nebyla v knihovně dostupná vhodná značka. Pro tyto komponenty jsou vytvořeny značky v uživatelské knihovně. Knihovna je součástí souboru *Eagle dokumentace* v přílohách na CD. Součástí přílohy jsou i zdrojové soubory aplikace EAGLE.

6. OBSLUHA MODELU

Tato kapitola slouží jako stručný návod pro odbornou manipulaci s modelem. Návod je určen pro vyučující a bude k dispozici v laboratoři.

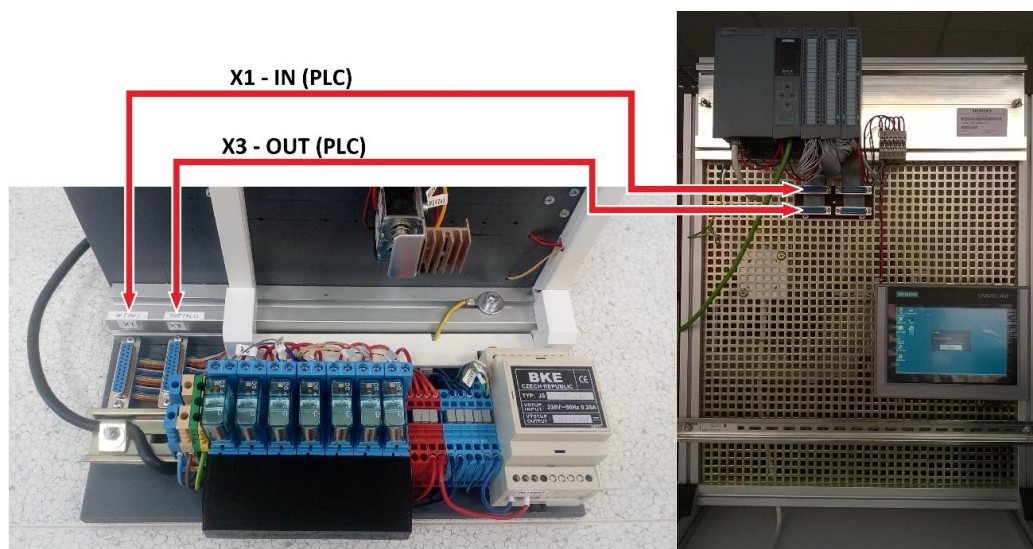
6.1 Propojení s PLC

Návod je pro PLC S7-1500 typu 1512C -1 PN, které jsou v laboratoři SE2.132.

Pro propojení modelu a PLC je potřeba dvou přímých 25-žilových propojovacích kabelů. Tyto ploché kabely jsou na obou koncích zakončeny konektorem CAN25 typu „samec“. Propojení modelu a PLC (viz Obr. 6.1). Model zapojíme do napájecí sítě a můžeme pracovat.

Po zapojení modelu do sítě se rozběhnou ventilátory, které chladí solenoidy. Ty lze programově vypínat, ale není to doporučeno.

Nekřížit vstupy s výstupy PLC!!



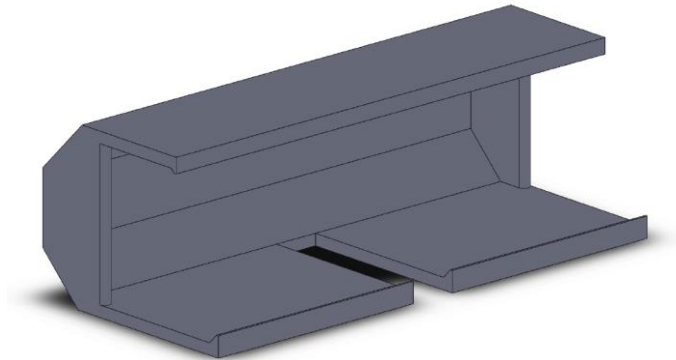
Obr. 6.1 Propojení PLC a modelu

6.2 Demontáž krytů

Všechny vodiče prochází přes montážní lišty. Ty se skládají z koryta a krytu, který je možné odejmout po zmačknutí koryta ze strany. Dejte pozor na to, že v korytech jsou prořezány otvory na kabely, a proto je nutné zmačknout všechny separované části. Rohy a koncovky lišt nejsou pevně uchyceny a je možné je také odstranit.

6.2.1 Kryt relé

Kryt chrání proti vytržení signálových vodičů z relé a je mechanicky odnímatelný. Díl drží na patičkách relé díky hornímu a dolnímu zámku jako klip. Demontáž se provede stažením krytu směrem od patiček k sobě.

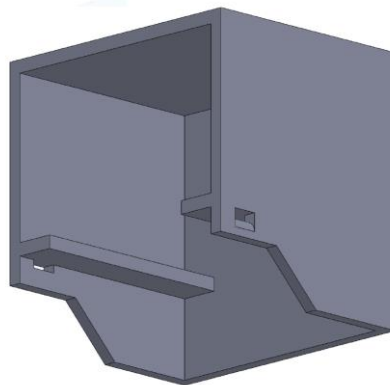


Obr. 6.2 Kryt vodičů relé

6.2.2 Kryt číslicového voliče

Kryt chrání proti ulomení připájených vodičů k voliči a je mechanicky připevněn stahovací páskou. Kryt se uvolní po odstranění stahovací pásky provlečené v otvorech krytu. Poté lze kryt stáhnout směrem k sobě.

Při demontáži pásky kleštěmi dejte pozor, aby nedošlo přestřížení vodičů!!



Obr. 6.3 Kryt číslicového voliče

6.3 Vstupy a výstupy modelu

V tabulkách vstupů a výstupů (Tab. 7.1 a Tab. 7.2), které jsou uvedeny v třetí příloze, jsou adresy paměťových míst v PLC, na kterých jsou namapovány vstupy a výstupy modelu. Tato tabulka je součástí všech laboratorních zadání souvisejících s tímto inovovaným modelem.

7. ZÁVĚR

V rámci semestrální práce jsem měl za úkol provést hardwarové opravy dvou totožných modelů „Kuliček“ a vytvořit k nim adekvátní dokumentaci. Po inovaci laboratoře byly modely v laboratoři nepoužitelné, proto jej bylo nutné urychleně připravit pro výuku BPGA. Celkový stav byl nevyhovující. Vodiče byly v neuspořádaném stavu uloženy na zadní straně modelu. Jako řešení jsem zvolil použití kabelových lišt, do kterých jsem elektroinstalaci ukryl. Model jsem po doporučení doplnil kryty vytištěnými na 3D tiskárně. Díly jsem modeloval v programu SolidWorks. Při tvorbě dokumentace jsem po domluvě s vedoucím použil návrhový program Eagle, aby byla dokumentace ve stejném programu jako dříve inovované modely.

Při psaní programu jsem dosažené mezivýsledky simuloval pomocí nástroje S7-PLCSIM V14. Takto jsem zkoušel všechny funkční bloky a funkce. Následně jsem program fyzicky odzkoušel na reálném modelu a aplikaci SkuMES. Program fungoval dle očekávání.

Výhodou daného řešení je flexibilita. Například změna rychlosti dávkování se dá snadno programově upravit. Požadavek byl, aby každá třetí kulička byla vypuštěna pomaleji než ostatní. Následné řešení obsáhlo tři řádky kódu. Kód je přehledný a rychle pochopitelný. Snadná je i modularita i rozšiřitelnost. Bloky programu by bylo možné použít v nástroji TIA Portal Openness a automaticky generovat kód na nové nebo modifikované jednotky. Tím by bylo možné vytvářet řízení i vizualizaci pro celé procesní buňky nebo celé továrny pouze stiskem tlačítka.

Společně s prací v aplikaci SkuMES probíhalo ladění této aplikace pro laboratorní výuku. Vyzkoušel jsem si funkci testera na úrovni uživatele neboli studenta, který bude úlohu v budoucnu řešit. V průběhu ladění se objevily drobné problémy, které se s pomocí vedoucího práce podařilo vyřešit. Tato řešení jsou zakomponována do zadání úlohy tak, aby studentům a vyučujícím ušetřila čas při realizaci. Tuto zpětnou vazbu ocenil i vedoucí, který je tvůrcem aplikace SkuMES.

Myšlenkou této úlohy v rámci výuky MAUP je vybavit ostatní modely v laboratoři řízením ve standardu S88. Dané modely (jednotky) budou organizovány do procesní buňky, která lze řídit aplikací SkuMES. Díky tomu vznikne v laboratoři simulace celé výrobní linky, na které se studenti budou zdokonalovat ve svých znalostech a dovednostech, které v daném odvětví praxe určitě uplatní.

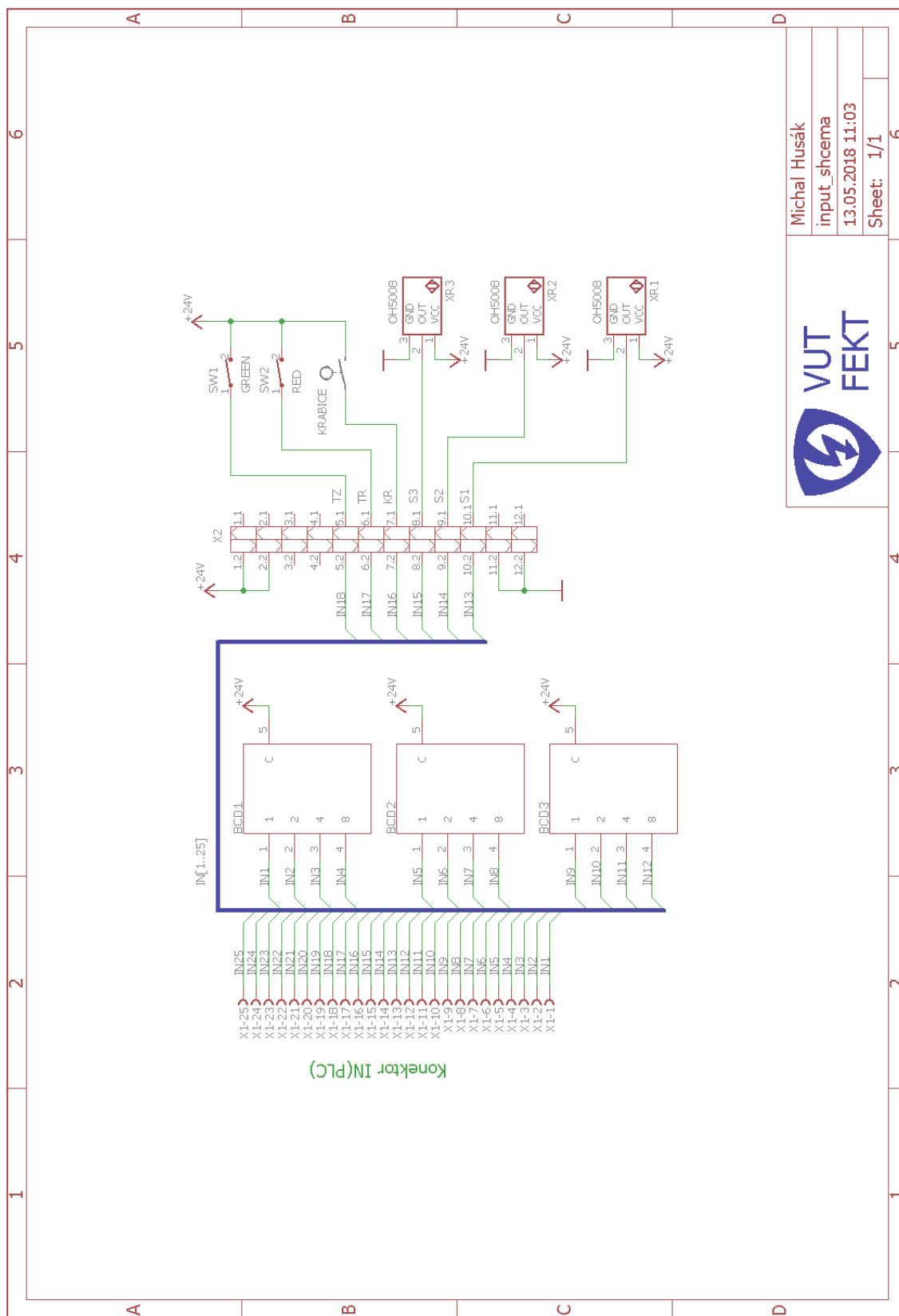
Literatura

- [1] 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] Vedoucí semestrální práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D..
- [2] *Basics on HMI Faceplates: SIMATIC Comfort Panels, Runtime Advanced and WinCC (TIA Portal)* [online]. Německo: SIEMENS, 2015 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z:
https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/68014632/68014632_faceplates_instruction_doku_v14_en.pdf
- [3] *Industry Online Support: Product Support* [online]. Německo: Siemens, 2015 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/68014632>
- [4] *Introduction to S88: For the improvement of the design of batch systems* [online]. Japonsko: JBF, 2007 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z:
<http://jbf.pse143.org/files/S88e.pdf>
- [5] ISA [online]. USA: The International Society of Automation, 2015 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.isa.org/>
- [6] PÁSEK, Jan a Vlastimil BRAUN. *Automatizace procesů II: Úroveň řízení výroby* [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z:
<https://www.vutbr.cz/studenti/predmety/detail/176270>. Skriptum. FEKT VUT.
- [7] SKUMES [online]. Brno: VUT FEKT, 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z:
<http://skumes.vlada.pl/batchrecipe/>
- [8] ŠTOHL, Radek a Jan PÁSEK. *Programovatelné automaty: Laboratorní cvičení*. Brno, 2017. Skriptum. VUT FEKT. [cit. 2018-02-14]
- [9] ZEZULKA, František, Jan PÁSEK, Milan FINDURA a Jaroslav PREČAN. *Automatizace procesů I: Úroveň procesního řízení* [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/predmety/detail/176270>. Skriptum. VUT FEKT.

Seznam příloh

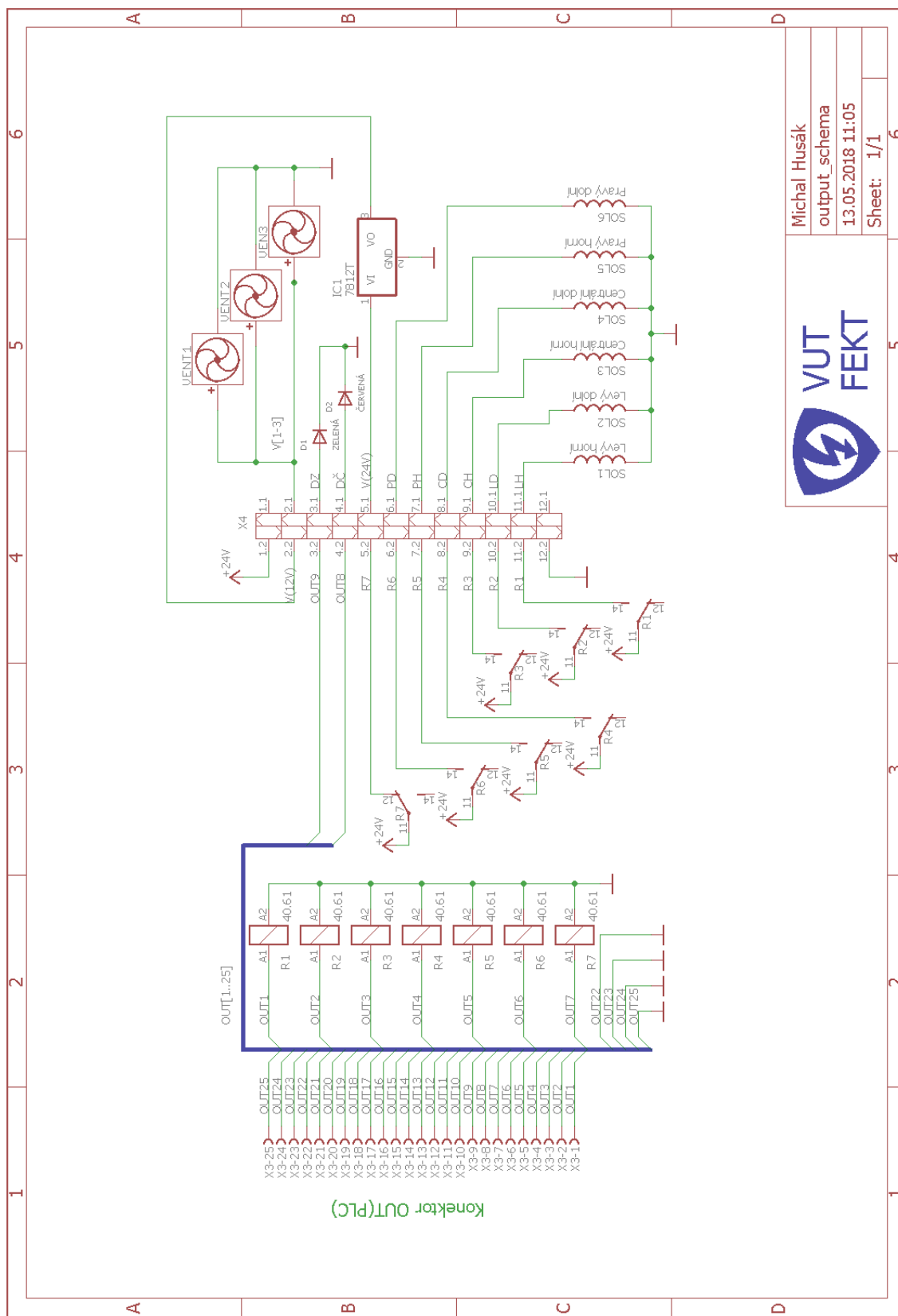
Příloha 1 - Schéma vstupů	48
Příloha 2 - Schéma výstupů	49
Příloha 3 - Tabulky vstupů a výstupů PLC	50
Příloha 4 - Přílohy na CD	51

Příloha 1 - Schéma vstupů



Michal Husák
input_shcema
13.05.2018 11:03
Sheet: 1/1

Příloha 2 - Schéma výstupů



Michal Husák
output_schema
13.05.2018 11:05
Sheet: 1/1

Příloha 3 - Tabulky vstupů a výstupů PLC

Tab. 7.1 Seznam výstupů

Výstup	Zařízení	Označení na modelu
%Q 4.0	Zarážka levá horní	A
%Q 4.1	Zarážka levá dolní	
%Q 4.2	Zarážka střední horní	B
%Q 4.3	Zarážka střední dolní	
%Q 4.4	Zarážka pravá horní	C
%Q 4.5	Zarážka pravá dolní	
%Q 4.6	Ventilátory	-
%Q 4.7	LED červená	-
%Q 5.0	LED zelená	-

Tab. 7.2 Seznam vstupů

Vstup	Zařízení	Označení na modelu
%I 10.0	BCD levý válec (2^0)	A
%I 10.1	BCD levý válec (2^1)	
%I 10.2	BCD levý válec (2^2)	
%I 10.3	BCD levý válec (2^3)	
%I 10.4	BCD střední válec (2^0)	B
%I 10.5	BCD střední válec (2^1)	
%I 10.6	BCD střední válec (2^2)	
%I 10.7	BCD střední válec (2^3)	
%I 11.0	BCD pravý válec (2^0)	C
%I 11.1	BCD pravý válec (2^1)	
%I 11.2	BCD pravý válec (2^2)	
%I 11.3	BCD pravý válec (2^3)	
%I 11.4	Čidlo levý válec	A
%I 11.5	Čidlo střední válec	B
%I 11.6	Čidlo pravý válec	C
%I 11.7	Čidlo krabice	-
%I 12.0	Červené tlačítko	-
%I 12.1	Zelené tlačítko	-

Příloha 4 - Přílohy na CD

• 3D_tisk.zip	...	Modely krytů
• datasheety.zip	...	Dokumentace komponent
• eagle_doku.zip	...	Zdrojové soubory schémat
• foto_doku .zip	...	Fotografická dokumentace modelu
• obr_doku.zip	...	Kreslené obrázky
• program TIA/maupBatch.ap14	...	Zdrojový program v TIA V14
• doku_model.doc	...	Dokumentace modelu
• vzor_protokol.doc	...	Vzorový protokol
• zadani_MAUP.doc	...	Zadání úlohy
• husak_michal_2018.doc	...	Zdrojový text práce
• husak_michal_2018.pdf	...	Elektronická verze práce v PDF