

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO LABORATORNÍ MODEL DESTILAČNÍ KOLONY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

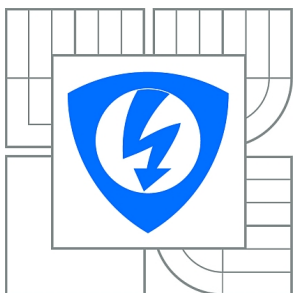
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR CHLAD

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION**

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO LABORATORNÍ MODEL DESTILAČNÍ KOLONY

CONTROL SYSTEM FOR LABORATORY DISTILLATION COLUMN MODEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR CHLAD

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Petr Chlad

ID: 106485

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém pro laboratorní model destilační kolony

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Na základě požadavků na řízení a monitorování procesu destilace proveďte průzkum trhu a určete vhodné prvky procesní instrumentace modelu destilační kolony.
2. Navrhněte a realizujte rozmístění čidel a akčních členů na modelu destilační kolony.
3. Realizujte řídicí algoritmy pro destilační kolonu.
4. Vytvořte názornou vizualizaci destilační kolony.
5. Ověřte funkčnost celého systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

FRATZSCHER, W., et al. Energetická analýza destilace, sorpce a extrakce, 1987, SNTL Praha, přeložil Hanuš Steidl

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 21.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit řídicí systém pro laboratorní model destilační kolony. Pro řešení byly zvoleny dva typy modelů - reálný a softwarový. Pro reálný model byly vybrány vhodné komponenty a byl sestaven model. Softwarový model umožňuje bezpečné testování řídicích algoritmů bez použití reálného modelu. Byla vytvořena přehledná vizualizace nezávislá na použitém modelu. V poslední fázi byly oba modely otestovány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Destilace, destilační kolona, AS-interface, řízení, řídicí systém, vizualizace

ABSTRACT

The aim of this master's thesis was to create a control system for laboratory distillation column model. There are two different models considered. Real and software model. For the real model suitable components were selected and the model was built. Software model allows safe testing of control algorithm functionality without the need of real model. The simple visualization that works with both models was developed. Both distillation column models - real and software - were tested as a last phase of work.

KEYWORDS

Distillation, distillation column, AS-interface, control, control system, visualization

CHLAD, Petr *Řídicí systém pro laboratorní model destilační kolony*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012. 98 s. Vedoucí práce byl Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řídicí systém pro laboratorní model destilační kolony“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Václavu Kaczmarczykovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne:

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	12
I Teoretická část	13
1 Destilace	14
1.1 Druhy destilací	15
1.2 Jednoduchá destilace	16
1.2.1 Obecně	16
1.2.2 Přístroje pro jednoduchou destilaci	16
1.2.3 Postup při jednoduché destilaci	17
1.3 Destilace s nosnou párou	18
1.3.1 Obecně	18
1.3.2 Destilace s vodní párou	19
1.4 Návrh destilačních kolon	20
2 Sběrnice AS-interface	23
2.1 Připojení a topologie	23
2.2 Komunikace	24
2.3 Safety at Work	25
II Praktická část	26
3 Funkční model destilační kolony	27
3.1 Základní popis	27
3.2 Chemická část	28
3.2.1 Vyvíječ páry	28
3.2.2 Destilační baňka	29
3.2.3 Chladič a výstupní část	30
3.3 Senzorika	32
3.3.1 Snímač tlaku	32
3.3.2 Snímače teploty	32
3.3.3 Snímače hladiny	34
3.3.4 Kapacitní snímače	35
3.4 Akční členy	37
3.4.1 Topná hnízda	37
3.4.2 Laboratorní lednice PolyScience	37

3.4.3	Čerpadlo Cole-Parmer	38
3.4.4	Čerpadlo IWAKI	39
3.4.5	Solenoid	40
3.5	AS-i sběrnice a moduly	41
3.5.1	Implementace AS-i sběrnice	41
3.5.2	AS-i moduly	42
3.6	Rozváděč	46
4	Software	52
4.1	Volba modelu kolony	52
4.2	Uživatelské rozhraní	53
4.3	Bezpečnostní část	55
4.3.1	Hlavní stavový automat	56
4.3.2	Bezpečnostní solenoid	57
4.3.3	Čerpadlo vody do vyvíječe	59
4.3.4	Topné hnízdo 1	60
4.3.5	Topné hnízdo 2	62
4.3.6	Čerpadlo chladicí kapaliny	63
4.3.7	Laboratorní lednice	64
4.4	Softwarový model	67
4.5	Vizualizace	69
5	Testování	76
5.1	Testování dílčích částí a subsystémů	76
5.1.1	Pokus #1 - těsnost chladicího okruhu	76
5.1.2	Pokus #2 - havarijní stav vyvíječe páry	77
5.1.3	Pokus #3 - doplňování vyvíječe páry	79
5.1.4	Pokus #4 - test elektroinstalace a komponent	79
5.1.5	Pokus #5 - výroba páry ve vyvíječi	80
5.1.6	Pokus #6 - funkce chladicího okruhu	82
5.2	Testování kompletního procesu destilace	82
5.2.1	Pokus #1	82
5.2.2	Pokus #2	84
5.2.3	Pokus #3	85
6	Závěr	86
	Literatura	88
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	91

Seznam příloh	92
A Grafy získané při testování zařízení	93
A.1 Pokus #5 - Výroba páry ve vyvíječi	93
A.2 Pokus #6 - Funkce chladicího okruhu	94
A.3 Pokus #1 - Testování kompletního procesu destilace	95
B DPS se stabilizátory	97
C Obsah přiloženého CD	98

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Přístroj pro jednoduchou destilaci [4]	18
1.2	Přístroj pro destilaci s vodní párou [4]	20
2.1	Topologie AS-i	23
3.1	Rozmístění částí kolony	27
3.2	Vyvíječ páry	29
3.3	Destilační baňka	30
3.4	Chladič (destilační most) a výstupní část	31
3.5	Senzor tlaku PI2956 [6]	32
3.6	Senzor teploty TT2181 [7]	33
3.7	Senzor teploty TS2229 [18]	33
3.8	Limitní senzor hladiny KG5065 [8]	34
3.9	Kapacitní senzor hladiny LK3122 [9]	35
3.10	Klimatická trubice pro senzor hladiny LK3122 [10]	35
3.11	Kapacitní snímač KD5023 [11]	36
3.12	Topné hnízdo LTHS 4000	37
3.13	Laboratorní lednice PolyScience KR-30A, připojení do chl. okruhu	38
3.14	Systém MasterFlex Cole-Parmer - hlava čerpadla a její uchycení k motoru	39
3.15	Čerpadlo chladicí kapaliny IWAKI	39
3.16	Solenoid PK-0802-NO	40
3.17	AS-i topologie a moduly s adresami	41
3.18	Připojení digitálních výstupů	43
3.19	Připojení čerpadel	44
3.20	Připojení analogových senzorů	46
3.21	Obsah rozváděče	49
3.22	Funkční model destilační kolony - legenda Tab.3.4 a Tab. 3.5	50
4.1	Volba a přístup k modelům	53
4.2	Princip funkce rozhraní pro model	53
4.3	Hlavní stavový automat	56
4.4	Stavový automat a logická funkce pro solenoid	58
4.5	Stavový automat pro čerpadlo vody	59
4.6	Stavový automat a logická funkce pro topné hnízdo 1	61
4.7	Stavový automat a logická funkce pro topné hnízdo 2	62
4.8	Stavový automat a logická funkce pro čerpadlo chladicí kapaliny	63
4.9	Stavový automat pro lednici	65
4.10	Struktura vizualizace	69
4.11	Úvodní obrazovky - Info a Choice	70

4.12	Hlavní obrazovka vizualizace - Central	71
4.13	Vyvíječ - detail Steam	72
4.14	Destilační baňka - detail Dist	72
4.15	Chladicí okruh - detail Refridge	73
4.16	Výstupní část - detail Output	73
4.17	Zobrazení teplot a signálu do topných hnízd - TempSystem	74
4.18	Zobrazení teplot v chladicím okruhu - CoolingSystem	74
4.19	Zobrazení hladiny ve výstupní nádobě - Output	75
5.1	Chladicí okruh	77
5.2	Vyvíječ páry v havarijním stavu	78
5.3	Část aparatury pro výrobu páry	80
5.4	Foto z destilace pomerančové kůry a hřebíčku	85
A.1	Průběh teplot v obou baňkách, PWM spouštění topných hnízd	93
A.2	Průběh teploty v chladicím okruhu	94
A.3	Rozdíl potřebného výkonu na udržování stabilní teploty	95
A.4	Kolísání teploty při regulaci teploty v chladicím okruhu	96
B.1	Schema zapojení	97
B.2	Předloha DPS	97
B.3	Osazovací plán	97

SEZNAM TABULEK

3.1	Použité AS-i moduly	42
3.2	Nastavení analogových modulů	46
3.3	Obsah rozváděče	49
3.4	Legenda k obrázku 3.22 - žluté popisky (funkční prvky)	51
3.5	Legenda k obrázku 3.22 - zelené popisky (elektrické a elektronické prvky)	51
4.1	Tabulka přechodů a podmínek - hlavní stavový automat	57
4.2	Pravdivostní tabulka funkce AND	58
4.3	Tabulka přechodů a podmínek - solenoid	58
4.4	Tabulka přechodů a podmínek - čerpadlo vody	60
4.5	Tabulka přechodů a podmínek - topné hnízdo 1	61
4.6	Tabulka přechodů a podmínek - topné hnízdo 2	63
4.7	Pravdivostní tabulka funkce OR	64
4.8	Tabulka přechodů a podmínek - čerpadlo chladicí kapaliny	64
4.9	Tabulka přechodů a podmínek - laboratorní lednice	66

ÚVOD

Tato diplomová práce je situována do oblasti procesní automatizace. Popisuje stavbu laboratorního modelu destilační kolony. Dále představuje vytvořený software pro tento model. Na závěr ukazuje a hodnotí dosažené výsledky na základě provedených testů.

Pro začátek je vhodné seznámit se s destilací a funkcí destilační kolony. O této problematice pojednává teoretická část. V jednotlivých podkapitolách je nejprve popsána samotná destilace a její druhy. Konkrétní průběh destilace je popsán na principu jednoduché periodické (vsádkové) destilace. Poté se práce zaměřuje na destilaci s nosnou vodní párou, na jejímž principu je postaven model destilační kolony. Dále je obecně popsán návrh destilačních kolon. Druhým bodem v teoretické části je základní popis sběrnice AS-interface. Zde je vysvětlen způsob připojení na sběrnici, pravidla a parametry komunikace a na závěr představena technologie Safety at Work.

Druhá část se zaměřuje již na praktické řešení. První kapitola popisuje funkční model destilační kolony. Celé zařízení je zde popsáno nejprve z pohledu chemie. Další částí je popis z pohledu elektrotechniky tj. popis použitých senzorů, akčních členů, implementace AS-i sběrnice a propojení do rozváděče. Druhá kapitola představuje vytvořený software. Konkrétně je zde vysvětlen mechanismus volby modelu a rozhraní pro uživatele. Dále je zde řešeno zajištění bezpečnosti celého zařízení a jednoduchý softwarový model, na kterém je možné si práci se zařízením bezpečně vyzkoušet. Oblast software zakončuje popis vytvořené vizualizace. Poslední kapitola se snaží zachytit průběh testování a seznamování se s chováním vytvořeného zařízení. Vyvozuje závěry z jednotlivých testů a zhodnocuje dosažené výsledky.

Část I

Teoretická část

1 DESTILACE

Destilace je jedna z mnoha separačních metod. Separační metody [1] využívají fyzikální, fyzikálně chemické a chemické vlastnosti jednotlivých složek ve vzorku k tomu, aby byl vzorek rozdělen nejméně na dvě části různého složení. Cílem separace je zvýšit koncentraci vybrané složky (nebo složek) vzhledem k těm ostatním. Pro charakteristiku separačních metod jsou zavedeny následující parametry:

- *Selektivita* - označuje schopnost metody dělit látky na základě jejich vlastností. Ty mohou být např. fyzikální, chemické, biochemické, tvar molekul.
- *Rozsah použitelnosti* - udává schopnost metody dělit podle fyzikálně chemických vlastností vzorku. Metodu označujeme jako vhodnou pro separaci např. atomů, molekul, těkavých látek.
- *Frakcionační kapacita* - číselně vyjadřuje maximální počet složek, na které může být vzorek rozdělen v jedné operaci.

Destilace [3] patří mezi fyzikální separační metody. Umožňuje oddělení jednotlivých složek kapalně směsi. Metoda je založena na základě rozdílné těkavosti složek (různá teplota varu). Při zahřátí se část směsi přemění na páru, v oddělené části zpět zkondenzuje a vznikne tak destilát s těkavějšími složkami. V destilačním zbytku, tj. část, která se neodpařila, jsou obsaženy méně těkavé složky.

Z hlediska energetického [2] destilace neprobíhá samovolně. Je tedy třeba při separaci destilací dodávat do systému energii. Pokud se přivádí energie ve společném proudu s látkou, jedná se o proces otevřený (chlazení ledem, rozmrazování solí). V případě, že je energie dodávána nezávisle na látce, lze ji do systému přivádět v podobě práce (kompresor, čerpadlo atd.) nebo tepla (ohřev párou, spalovací komora atd.). Naproti tomu při směšování látek není nutné energii dodávat, používá se pouze pro zrychlení děje.

Destilace můžeme rozdělit podle způsobu provedení na několik druhů: prostá destilace, rektifikace, frakční destilace, destilace za sníženého tlaku, destilace s nosnou parou, azeotropní destilace a molekulární destilace.

Pro správné provedení destilace platí některá základní pravidla a doporučení:

1. Baňka, ze které destilujeme, by měla být naplněna přibližně do dvou třetin. Pokud je naplněna méně, dochází v horní části ke chlazení, pokud více, může kapalina ve varu pronikat do chladiče.
2. Do destilované kapaliny je vhodné vložit varné kameny (kousky porcelánu nebo kameniny), aby nedošlo při přehřátí k utajenému varu¹. Tyto kameny lze ale

¹ *Utajený var* je jev velmi čistých kapalin. Ty neobsahují mechanické částice umožňující vznik bublinek (místo přeměny vody na páru) při dosažení bodu varu. Dojde tak k přehřátí kapaliny nad bod varu, aniž by v kapalině došlo k varu.

- použít pouze jednou, protože se po ochlazení znehodnotí a ztratí svou funkci.
3. K chlazení par se používá vodní chlazení. Pokud je teplota varu kapaliny vyšší než 180°C , je nutné použít chlazení vzduchem. Chladič musí být i vhodně nadimenzován, aby nedocházelo k jeho zahlcení.
 4. Při zahřívání destilační baňky pomocí vodní lázně musíme udržovat teplotu lázně alespoň o 30°C vyšší, než je teplota varu destilované kapaliny.
 5. Ohřev destilační kapaliny by měl být rovnoměrný a pomalý.
 6. Destilace se neprovádí do úplného odpaření kapaliny, zbylá část je destilačním zbytkem.
 7. Všechny spoje částí aparatury musí být pevné a těsné.

1.1 Druhy destilací

Vzhledem k rozmanitosti druhů destilací [5] je jejich přesné odlišení poměrně obtížné. V praxi se destilace provádí v kolonách od malých laboratorních s malou kapacitou až po obrovské válcovité kolony o průměru až 15 metrů a vysokých přes 70 metrů. Mezi základní dělení by se dalo zařadit rozdělení na provoz periodický (vsádkový) a kontinuální. V průmyslu se používá nepřetržitý provoz zatímco v laboratořích periodický provoz.

Jednostupňová kontinuální destilace

Jedná se o nejjednodušší kontinuální destilaci. Kapalina se částečně odpařuje za kontinuálního provozu v jednom stupni a pára se odlučuje od zbytku v uvolňovací nádobě. Možný je také způsob, kdy pára částečně kondenzuje a kapalina se odděluje od zbylé páry. Tento způsob destilace se používá pouze jako pomocná operace, protože pro oddělování látek má malou účinnost.

Vícestepňová kontinuální destilace

Vícestepňová destilace se provádí ve vertikálních kolonách nebo věžích. Zde prochází pára a kapalina proti sobě přes různé vestavby a výplně, které zlepšují samotný proces. Destilační látku je možno přivádět do kolony na libovolném místě. Produkty se zpravidla odebírají ve spodní části ve formě kapaliny a ve vrchní části ve formě páry a pokud to proces vyžaduje, tak i v částech mezi nimi. Často se většina tepla nutného k odpařování získává odebráním kapaliny ve spodní části, která je přeměněna na páru a vrací se zpět ve spodní části. Pára ve vrchní části se částečně kondenzuje a vrací se také zpět.

Jednostupňová periodická (vsádková) destilace

Při periodické destilaci se destilační látka umístí do velké nádoby, která se následně

zahřívá. Vznikající páry jsou odebírány a obvykle se kondenzují a rozdělují na jednotlivé složky do oddělených nádob. Díky tomu, že se páry odebírají ihned po vzniku, dosahuje se větší účinnosti než v jednostupňové kontinuální destilaci. Tohoto druhu destilace se často využívalo zejména v počátcích vzniku ropných rafinerií, postupně se ale pochopitelně přešlo na kontinuální způsob.

Vícetupňová periodická destilace

Stejně jako je tomu u kontinuální metody, je možno zlepšit kvalitu dělení přidáním více rovnovážných stupňů. Mezi kotlem a kondenzátorem je umístěna kolona a část zkondenzované kapaliny se vrací zpět do kolony. Pokud má kolona dostatečný počet stupňů a dostatečný zpětný tok, je možné rozdělit původní látku na téměř čisté složky. Toho se využívá v laboratořích při analýze látek. Tato metoda se využívala zejména při zpracování ropy a výrobě chemikálií. V současnosti se ale uplatňuje zejména v chemické výrobě v malém měřítku.

1.2 Jednoduchá destilace

1.2.1 Obecně

Základní princip destilace bude vysvětlen a popsán na jednoduché destilaci [4]. Jedná se o jednostupňovou periodickou metodu. Tato metoda se hodí k výrobě destilované vody a k oddělení snadno těkajících rozpouštědel od méně těkavých látek.

Při jednoduché destilaci se přivádí pára z vařící se kapaliny přímo na kondenzační zařízení. Pára a kondenzát proudí stejným směrem. Chladicí kapalina protéká proti směru destilace. Aby byl tento postup použitelný, musí se teploty varu separovaných látek lišit alespoň o 100 *deg*².

1.2.2 Přístroje pro jednoduchou destilaci

Soustava pro jednoduchou destilaci (Obr.1.1) se obvykle skládá z těchto základních částí:

1. zdroj tepla,
2. destilační baňka,
3. destilační nástavec pro spojení baňky s chladičem s otvorem pro teploměr,
4. teploměr pro kontrolu teploty,
5. chladič par,

²Jednotkou teplotního rozdílu je *teplotní stupeň*. Tato jednotka je definována jako 273,16. díl teplotního rozdílu mezi absolutní nulou a teplotou trojného bodu vody měřený v termodynamické stupnici a označuje se značkou *deg*.

6. alonž pro spojení chladiče s předlohou,
7. předloha (jímadlo)

U **zdroje tepla** je důležité, aby se daná směs zahřívala stejnoměrně a převod tepla se dal regulovat. Při destilaci hořlavých kapalin s teplotou varu pod 100°C musí být použit zdroj tepla, který nemůže kapalinu zapálit. Lze použít například ohřev pomocí vodních par nebo vodní lázně s elektrickým topným systémem. Hořlavé páry, které nezkondenzují, je třeba odvádět. Doporučuje se také maximální obsah baňky 4 l a naplnění nejvýše do dvou třetin. Je také nutné zabránit utajenému jevu.

Na **destilační baňku** se nasadí **destilační nástavec** se zasunutým teploměrem. Boční vývod se spojí s chladičem. Místo těchto dvou částí lze použít speciální frakční baňku, která tvoří jeden kus s nástavcem nebo nástavec s chladičem.

Rozsah **teploměru** musí odpovídat teplotě destilace. Umístění v baňce by mělo být takové, že nádoba se rtutí by měla být přibližně 1 cm pod spodním okrajem bočního vývodu.

Výběr **chladiče** se odvíjí od teploty varu kapaliny. Účinnost chlazení stoupá s chladicí plochou.

Typy chladičů dle účinnosti vzestupně: vzdušný, Liebigův, kuličkový, spirálový, Dimbothův, chladič s vnitřním a vnějším chlazením.

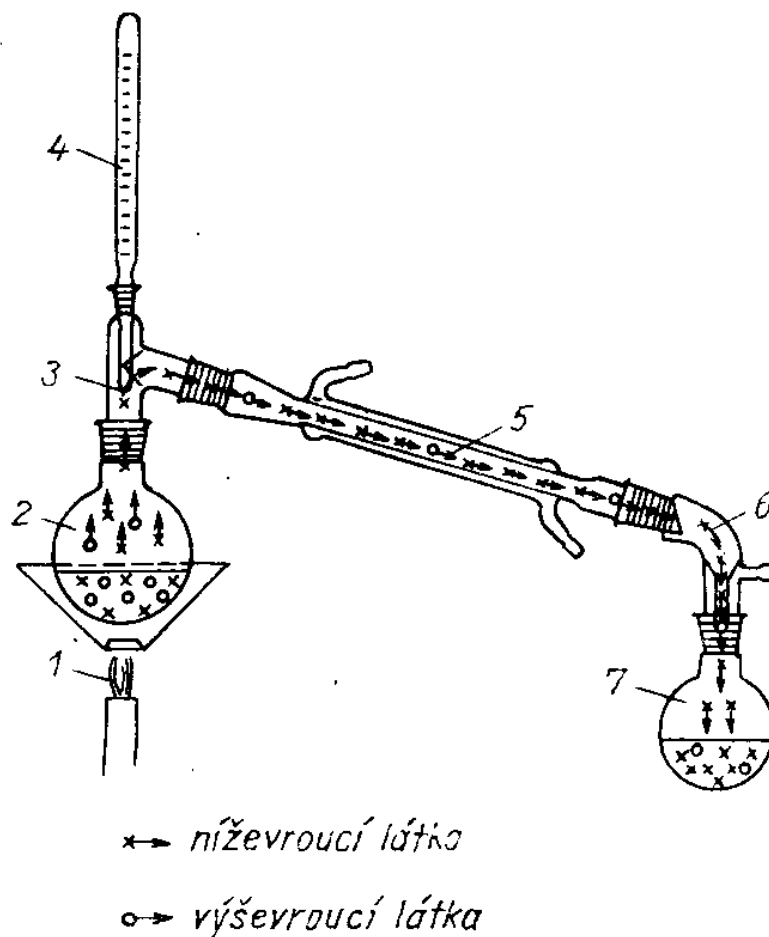
Kuličkové a spirálové chladiče musí být ve svislé poloze, aby mohla zkondenzovaná látka odtékat.

Předloha se nejčastěji připojuje pomocí alonže s odsávacím otvorem. Tím je možné odsávat například hořlavé nebo jedovaté páry vznikající při destilaci.

1.2.3 Postup při jednoduché destilaci

Přístroj pro jednoduchou destilaci může vypadat následovně Obr.1.1. Baňka a chladič musí být uchyceny v držácích tak, aby nevzniklo pnutí. Zdroj tepla odpovídá teplotě varu látky. Destilační baňku naplníme otvorem v destilačním nástavci destilační kapalinou, avšak ne více než do dvou třetin. Poté vložíme do baňky varné kameny a upevníme teploměr do hrdla baňky. Následně můžeme začít se zahříváním a do chladiče vpustíme chladicí kapalinu. Na teploměru sledujeme průběh zahřívání. Teplota by nejprve měla stoupat pomalu. Pokud jsou v kapalině nízkovroucí látky, začnou destilovat jako první a tvoří tzv. přední podíl. Po oddestilování předního podílu stoupá teplota rychle až k teplotě varu a již se nezvyšuje. V této chvíli vyměníme předlohu, protože ta současná obsahuje přední podíl. Do nové začneme jímát hlavní kapalinu. Ohřev by měl být nastaven tak, aby z chladiče odkapávala kapalina po jedné až dvou sekundách. Teplota páry by neměla kolísat více než 2 deg. Pokud

již teplota nestoupá, zdroj tepla odstraníme a ukončíme destilaci dříve, než před úplným oddestilováním kapaliny, aby v baňce zůstalo malé množství kapaliny. Pokud teplota ještě stoupá, vyměníme znovu předlohu a jímáme zadní podíl. V předním i zadním podílu je i částečně hlavní podíl, takže pokud jej chceme získat, musíme je destilovat podruhé (můžeme i současně).



Obr. 1.1: Příklad přístroje pro jednoduchou destilaci: 1 - zdroj tepla, 2 - baňka, 3 - destilační nástavec, 4 - teploměr, 5 - chladič, 6 - alonž, 7 - předloha [4]

1.3 Destilace s nosnou párou

1.3.1 Obecně

Destilační proces lze různými způsoby modifikovat pro účely dané aplikace. Stejně jako azeotropní a extrakční destilace se při destilaci s nosnou párou [4] využívá další látka, která způsobí snazší rozdělení směsi. Destilace s nosnou párou je tedy rozšířením klasické destilace.

Nejznámější je destilace s vodní párou (přehánění vodní párou). Vodní pára při destilaci snižuje teplotu varu destilované směsi, protože destilace probíhá vždy při teplotě, při níž je součet tlaku vodní páry a tlaku par destilované látky roven atmosferickému tlaku.

Vodní páry při destilaci lze využít pouze u látek, které s vodní párou těkají. Důležité je také to, aby byla tato látka s vodou nesmíchatelná vůbec nebo jen málo. Mezi takové látky patří benzen, toluen, anilín, dehtové frakce apod.

1.3.2 Destilace s vodní párou

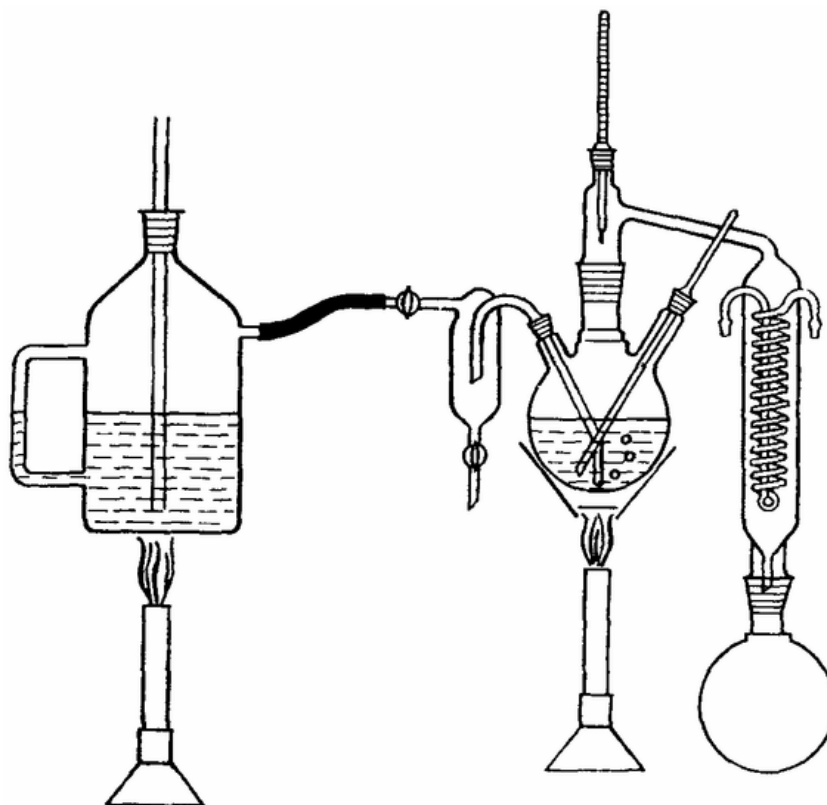
Tento druh destilace se používá poměrně často v organické syntéze pro čištění kapalných látek s vysokou teplotou varu nebo tepelně nestálých kapalin, které se při dosažení teploty varu rozkládají. Využití vody jako zdroje páry je zapříčiněno vhodnými vlastnosti.

- Voda se nemísí s většinou organických látek.
- Množství vodní páry nutné k destilaci daného množství organické látky je relativně malé. To je dáno malou molární hmotností ve srovnání s většinou organických látek.
- Tenze (vnitřní napětí par) par vody oproti tenzi většiny organických látek snižuje bod varu směsi velmi výrazně.

Oproti přístrojům pro ostatní druhy destilace je zde (Obr.1.2) potřebný vyvíječ vodní páry. Vhodné je použít kovovou nádobu nebo kulatou baňku. Mezi vyvíječ páry a destilační nádobu je možné umístit spirálu pro přehřívání páry a odlučovač vody s výpustí.

Postup při destilaci s vodní párou je následující:

Zde je popsána varianta jednostupňové periodické destilace. Nejprve je třeba zahřát vyvíječ páry, do poloviny plný vody. Před zahájením destilaci ohřejeme destilační baňku na téměř 100°C , aby kondenzující voda ne zvětšovala objem destilované kapaliny. V okamžiku, kdy se začne vařit voda ve vyvíječi, spustíme chladicí okruh a otevřeme přívod páry do destilační baňky. Tím prakticky začne probíhat destilace. Destilaci zastavíme až ve chvíli, kdy se přestane zakalovat vznikající destilát. Nejprve odpojíme vyvíječ od baňky a potom zastavíme ohřívání vody. Tento postup odpojení musí být dodržen, aby se do vyvíječe nenasála kapaliny z destilační baňky. V separátoru nebo předloze (nádobu za chladičem s destilátem a zkondenzovanou vodou) se vytvoří dvě vrstvy kapalin, což může i chvíli trvat, než se kapaliny oddělí a ustálí.



Obr. 1.2: Příklad přístroje pro destilaci s vodní párou [4]

1.4 Návrh destilačních kolon

Samotné stavbě kolony musí předcházet její návrh. Je to nejdůležitější fáze vzniku kolony. Návrh by měl zajistit, aby výsledná kolona plnila přesně nároky, které jsou kladeny na výstupní produkt. Nepřesnost nebo chyba v návrhu by mohla způsobit velké komplikace. Při návrhu destilační kolony se postupuje zpravidla takto:

1. Volba ostrosti dělení
2. Stanovení provozního tlaku
3. Výpočet počtu rovnovážných stupňů a potřebný zpětný tok
4. Výpočet velikosti zařízení
5. Návrh měření a regulace

Volba ostrosti dělení je převážně ekonomický problém. Čím čistší výstupní produkt je požadován, tím větší jsou náklady na zařízení a zejména provoz. Nejjednodušší je situace, kdy se jako kritérium ostrosti dělení udává čistota látek, protože je jednoduché její vyjádření a použití při výpočtech. Složitější je to v případě, kdy jsou požadavky vyjádřeny ve formě vlastností látek (viskozita, bod vzplanutí apod.). K vyjádření je zapotřebí znalosti vztahu mezi vlastnostmi látky a jejího složení.

Velmi zásadní vliv má na výslednou podobu kolony provozní teplota a tlak, na který bude kolona dimenzována. Teplota a tlak jsou na sobě závislé. Při zvyšování tlaku se zvyšuje bod varu kapalin. Provozní tlak se tedy nejčastěji volí co nejbližší atmosferickému. Pokud je provozní tlak nižší než atmosferický, mluvíme o vakuové destilaci. S nižším tlakem ale značně stoupá pořizovací cena kolony i provozní náklady. Vakuové operace se proto obecně provádí při nejvyšším možném tlaku. U kolon pracujících při vyšším tlaku než atmosferickém je situace komplikovanější. Tlak zde totiž působí několika způsoby: ovlivňuje pořizovací cenu kolony, pořizovací cenu zařízení pro přestup tepla a spotřebu tepla. Volba tlaku působí na pořizovací cenu kolony zejména z těchto důvodů:

- Při zvyšování tlaku se zvyšuje i teplota. S vyšší teplotou ale klesá těkavost látek. Proto jsou vyšší nároky kladeny na zpětný tok nebo na počet rovnovážných stupňů kolony.
- Z hlediska průtoku par je dovolené zatížení kolony úměrné přibližně odmocnině tlaku.
- Tloušťka stěny samotné kolony je přímo úměrná tlaku a průměru válce kolony. Zvýšení tlaku při předem daném průchodu sníží nároky na průměr kolony, zároveň ale vyžaduje silnější stěnu pláště kolony.

Kapacita kolony může s rostoucím tlakem růst i klesat. Záleží na podmínkách, ze kterých se vychází. Proto je optimální tlak pro návrh kolony obvykle nižší, než při maximální kapacitě kolony, protože se musí přihlídnout i k faktu, že rostoucí tlak zvyšuje nároky na zpětný tok. S vyšším tlakem jsou také vyšší teploty v koloně. Rozdíl mezi kondenzační teplotou par a teplotou chladícího zařízení je vyšší, tudíž není třeba taková plocha přestupu tepla kondenzátoru. Naproti tomu rozdíl mezi teplotou varu ve spodní části a teplotou topného zařízení je menší. Plocha topného zařízení tak musí být větší.

Zpětný tok, počet rovnovážných stupňů kolony a těkavost složek přímo ovlivňují ostrost dělení. Potřebný zpětný tok je možné snížit větším počtem stupňů a naopak. Pro každé určité dělení je odpovídající kombinace počtu stupňů a zpětného toku. Oba tyto parametry se většinou určují výpočtem teoretických vztahů. K tomu je třeba znát informace o rovnováze kapalina-plyn a entalpická data. Stanovení těchto dat je popsáno v [5] v kapitolách 14 a 15.

Rozměry kolony jsou samozřejmě nejvíce závislé na struktuře kolony. Výšku udává počet stupňů kolony a také stanovená výška jednoho stupně. Výška stupně se odvíjí od účinnosti patra a vzdálenosti mezi patry. Účinnost patra je definována jako poměr počtu rovnovážných stupňů a počtu skutečných pater. Je závislá na vzdálenosti mezi patry a částečně i rychlosti par. Čím větší jsou rychlosti par v koloně, tím větší vzdálenost musí být mezi patry. Rychlost par je ale závislá na průměru. Vý-

počet účinnosti je podrobně popsán v [5] v kapitole 10 a rozměry kolony v kapitole 11.

Poslední fáze návrhu je určení způsobu měření a regulace, aby bylo dosaženo požadované kvality a čistoty výstupního produktu. Tato fáze vychází z předchozích bodů. Požadovaná ostrost dělení ovlivňuje přesnost měření, které musíme zajistit. Proto jsou některé metody a druhy snímačů méně vhodné než jiné nebo jsou přímo nepoužitelné. Provozním tlakem je dána volba snímačů, které jsou v přímém kontaktu s médiem v koloně nebo podléhají stejným podmínkám. Velikost kolony a jejích částí ovlivňuje možnost použití některých druhů snímačů. To platí zejména pro menší kolony. Regulace celého procesu i jednotlivých okruhů v koloně podléhá v první řadě podmínkám a požadavkům z oblasti chemie. Je nutné nejprve dodržet požadavky dané např. chemickou reakcí probíhající v dané části kolony. Důležité také je, jak přesného měření lze dosáhnout. Z toho pak vychází volba druhu regulace, rychlost apod.

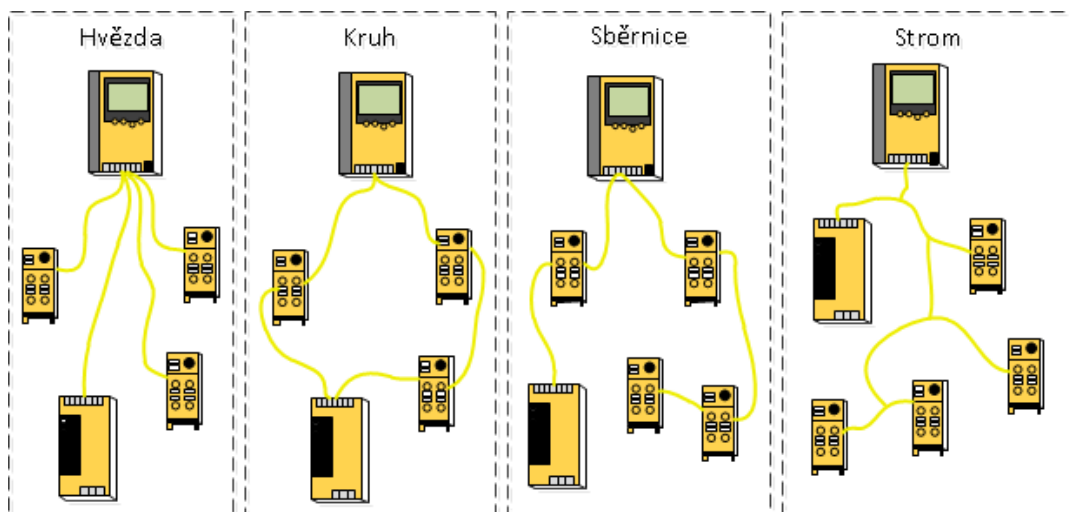
2 SBĚRNICE AS-INTERFACE

AS-interface [20] je sběrnice pro nejnižší úroveň automatizace. Tato sběrnice byla navržena v roce 1990 seskupením 11 společností. Původní návrh byl v roce 1998 rozšířen specifikací 2.1. V roce 2001 byly poprvé představeny bezpečnostní prvky kategorie 4 (EN 951-1) pro AS-i sběrnici. Poslední verze 3.0 vznikla roku 2004 a rozšířila sběrnici o možnost přenášet 16-ti bitové informace.

2.1 Připojení a topologie

Jedním z hlavních důvodů, proč se tato sběrnice hojně využívá je úspora kabeláže a jednoduchost nasazení. Tato sběrnice si totiž vystačí s dvojicí vodičů resp. dvoužilovým kabelem. Těmito vodiči (hnědý je ASI+, modrý ASI-) je vedeno napájení, komunikace a také v případě Safety at Work i bezpečná komunikace. Maximální délka sběrnice je 100m a se speciálními opakovači 400m.

Sběrnice je napájena 24 V_{DC}. Zdroje musí být odolné vůči trvalému zkratu a přetížení. Maximální odběr proudu sítě je 8 A, přičemž každé zařízení může odebírat maximálně 100 mA (ver.2.1). Připojení se provádí velice snadno bez použití jakéhokoli nářadí. Systém připojení na kabel sběrnice je založen na typickém tvaru a materiálu kabelu. Ten nevyžaduje žádnou mechanickou úpravu, pouze se na něj namáčkne modul s hroty, které proniknou izolací a připojí se na vodiče. Po odpojení se kabel zatáhne a jeho vlastnosti jako před připojením se obnoví.



Obr. 2.1: Topologie AS-i

Sběrnice může být propojena v několika možných topologiích [21] (obr.2.1). Celkově může být na sběrnici připojeno 31 nebo 62 (adresace A a B) Slave zařízení. Maximální počet vstupů a výstupů na sběrnici je 496/496. Pro moduly se používají definované profily zařízení, takže lze používat moduly bez ohledu na výrobce.

2.2 Komunikace

Komunikace probíhá na bázi Master-Slave. Obstarává ji Master systémem „cyclic polling“, tedy cyklicky obvolává všechna připojená zařízení typu Slave. Doba jednoho cyklu závisí na počtu připojených Slave zařízení, obvykle je ale do 5 ms. Lze ji také vypočítat tak, že přičteme k počtu Slave zařízení 2 a výsledek vynásobíme časem 154 us.

Signál komunikace je kódován typem Manchester II, což je kód s vnitřní synchronizací bez stejnosměrné složky. Přenosová rychlost 167 kb/s může působit nedostatečně. V tomto případě je ale komunikace omezena řádově na jednotky bitů. Standardní zprávy jsou definovány takto:

- Zpráva od Master
 - start bit
 - řídicí bit
 - adresa slave - 5 bitů
 - informace - 5 bitů
 - paritní bit
 - stop bit
- Zpráva od Slave
 - start bit
 - informace - 4 bity
 - paritní bit
 - stop bit

Zabezpečení komunikace u AS-i sběrnice zaručuje vysokou schopnost detekce chyb. Chyby jsou detekovány na základě apriorních znalostí parametrů komunikace:

- špatná polarita start bitu
- špatná polarita stop bitu
- špatná polarita pulsu (dodržení pravidla Manchesteru II)
- velká prodleva mezi pulsy
- nesouhlasí parita
- chybějící puls
- špatná délka zprávy
- Slave neodpovídá na dotaz Mastera

- Master přestal vysílat

Jak již bylo zmíněno v úvodu, poslední verze umožňuje přenášet 16-ti bitová data z analogových modulů. Moduly s analogovými vstupy/výstupy jsou detekovány jako ostatní typy definovaných modulů pomocí profilu zařízení. Jednotlivé profily mají stanoveny konkrétní pravidla v pořadí přenášených bitů a přesný počet cyklů potřebných k přenesení všech bitů.

2.3 Safety at Work

Technologie Safety at Work umožňuje zajištění bezpečnosti při použití standardní sběrnice AS-i. Bezpečný systém nevyžaduje žádnou modifikaci ani bezpečný AS-i master nebo zdroj.

Specifikace definuje bezpečné vstupy, které lze používat i se standardními zařízeními. Diagnostika také probíhá pomocí základních služeb sběrnice. Počet bezpečných Slave zařízení je omezen na 31. Odezva na požadavek vyvolání STOP stavu je i při maximálním počtu zařízení do 40 *ms*.

Funkce systému:

- na sběrnici se připojí Safety Monitor
- každý bezpečný Slave má výrobcem danou unikátní kódovou tabulku (8x4b), kterou postupně posílá cyklicky po sběrnici
- při spuštění systému si Safety Monitor uloží sekvence všech bezpečných zařízení na sběrnici
- Safety Monitor neustále kontroluje sekvence od bezp. Slavů
- vyhodnotí STOP při porušení sekvence nebo pokud Slave přestane vysílat
- při STOP stavu Master zastaví aplikaci a přeruší komunikaci na sběrnici

Svými vlastnostmi tato technologie dovoluje dosažení bezpečnosti kategorie 4 (EN 954-1) a SIL3 (IEC 61508).

Část II

Praktická část

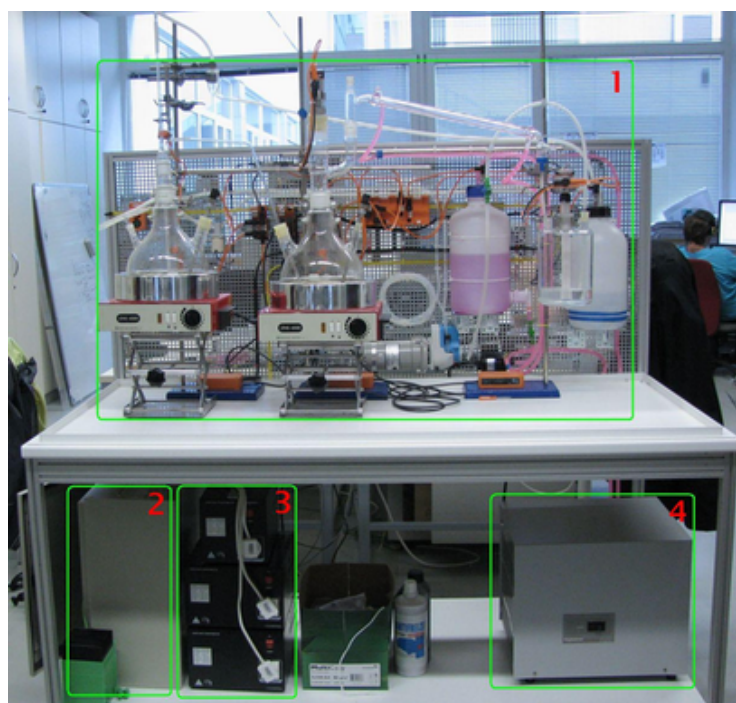
3 FUNKČNÍ MODEL DESTILAČNÍ KOLONY

Tato kapitola obsahuje kompletní popis modelu destilační kolony. V několika podkapitolách je popsána stavba chemické části, osazení senzoricou a dalšími elektronickými prvky včetně jejich zapojení a kompletní zapojení rozváděče.

3.1 Základní popis

Tato podkapitola je zaměřena na základní parametry modelu. Před samotným popisem jednotlivých částí bude popsáno jejich fyzické umístění.

Kompletní model (Obr.3.1) je umístěn na konstrukci, sestavené z kovových profilů. Jedná se o poměrně často využívaný systém pro stavbu konstrukcí. Z profilů je sestaven kvádr o rozměrech $70 \times 156 \times 81$ (v \times š \times h). Zadní stěna je prodloužena a vyplněna kovovým sítím 70×156 . Vznikla tak plocha pro uchycení některých částí, zejména rozvod AS-i sběrnice, hadic a některých akčních členů. Na vrchní a spodní stěnu je připevněna povrchově upravená dřevěná deska. Na vrchní části je postavena chemická aparatura (Obr.3.1 - č.1). Ve spodní části je pak umístěn rozváděč (č.2), oddělovací transformátory (č.3) a laboratorní lednice (č.4).



Obr. 3.1: Rozmístění částí kolony

3.2 Chemická část

Chemická část, tedy funkční zařízení bude popsáno zejména z hlediska stavby, jeho funkce a parametrů případně omezení. Nebude zde řešen odborný popis z pohledu chemie, zejména proto, že zařízení nevznikalo v rámci práce studentů či pedagogů chemické fakulty, ale fakulty elektrotechnické. Zařízení vznikalo jako pomůcka pro studium řízení technologických procesů. Proto také nebylo zařízení stavěno podle odborného návrhu a vypočtených parametrů a dimenzováno na konkrétní potřebný výkon.

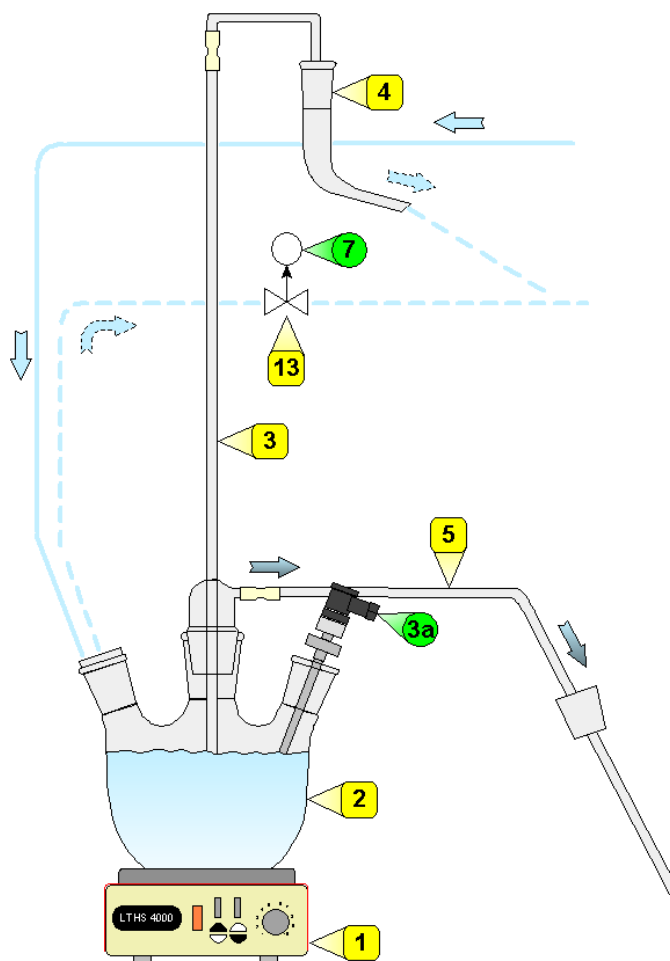
Z hlediska chemie bylo toto zařízení stavěno pro daný typ destilace, tedy destilaci s nosnou párou resp. vodní párou. Specifika tohoto druhu destilace jsou popsána v teoretické části (kapitola 1.3).

Zařízení pro destilaci s nosnou párou lze rozdělit na několik dílčích podsystémů: vyvíječ páry, destilační část nebo baňka a chladič s výstupní částí. Tyto systémy mají svou specifickou funkci, chování a způsob řízení. Celé zařízení je na obrázku 3.22, kde žlutě označené jsou prvky potřebné pro správnou funkci a chod celého systému. Zeleně označené jsou prvky důležité z pohledu řízení a regulace.

3.2.1 Vyvíječ páry

První z hlediska výrobního procesu je vyvíječ páry. Jedná se o zařízení na výrobu páry. V našem případě (Obr.3.2) se jedná o sestavu topného hnízda, baňky s vodou a speciální trubice pro odvod páry a odvod případného přetlaku.

Topné hnízdo je popsáno v části 3.4.1. Provádí ohřev vody na požadovanou teplotu, čímž také reguluje množství generované páry. Baňka na vodu pro výrobu páry je klasického provedení s objemem 4l. Má hlavní horní vývod (45/40) a dva boční s rozdílným průměrem (15,5/23; 29,2/32). V horním vývodu je umístěna trubice pro odvod páry a přetlaku. V jednom z bočních je umístěn snímač teploty a ve druhém přívod pro doplňování vody a bezpečnostní odvod páry přes uzavíratelný ventil. Trubice pro odvod páry a přetlaku má speciální tvar (č.3 - obr.3.2). Bočním vývodem odchází generovaná pára. Středová trubice sahá ode dna baňky přibližně do stejné vzdálenosti nad ní. Spodní konec trubice by měl být ponořený, aby ním neodcházela vyráběná pára. Horní konec by měl být dostatečně dlouhý, aby nedošlo k vytlačení vody při malém přetlaku. Při zvýšení tlaku začne touto trubicí stoupat vodní sloupec až dojde k vytečení vody.



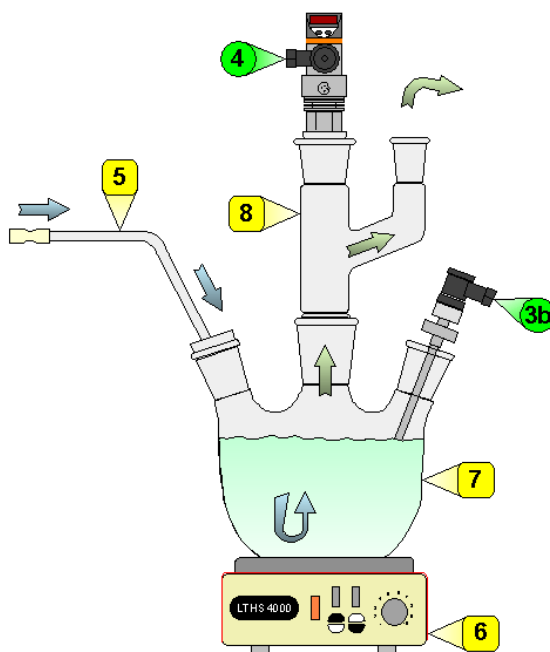
Obr. 3.2: Vyvíječ páry

3.2.2 Destilační baňka

Prostřední a zároveň nejdůležitější částí je destilační baňka (Obr.3.3). Její provedení a napojení na ostatní části je klíčové. Zde probíhá nejdůležitější část procesu při destilaci s nosnou párou tj. extrahování požadovaných látek z destilační směsi. Proto je důležité jak správné přivedení nosné (vodní) páry do baňky a také vhodné provedení odváděné obohacené páry.

Destilační baňka je shodná jako ve vyvíječi páry. Topné hnízdo je také shodné. V jednom z bočních vývodů je umístěn snímač teploty směsi. Druhým je přivedena pára z vyvíječe. Přívod by měl sahát ke dnu destilační baňky, aby pára procházela co největším množstvím směsi. Tak bude množství extrahovaných látek největší. Z hlediska délky by měl být přívod mezi vyvíječem a vstupem do baňky co nejkratší. Tím bude tepelná ztráta co nejmenší a pára nezačne kondenzovat v přívodu. To se dá částečně omezit izolací přívodu. Zkondenzovanou vodu v přívodu lze také zachytit odlučovačem kapek.

Na hlavní vývod je připojen destilační nástavec se svislou odbočkou. Na hlavní vývod nástavce je připevněn snímač tlaku. Ten monitoruje tlak v této části kolony. Je zde z důvodu bezpečnosti, kdy má za úkol odhalit nestandardní chování např. při ucpání některého z vývodů a následnému nárůstu tlaku. V běžném provozu zaznamenává pouze mírné odchylky od atmosferického tlaku vlivem stavu uvnitř aparatury. Zmíněnou odbočkou je odvedena obohacená pára na vstup chladiče.



Obr. 3.3: Destilační baňka

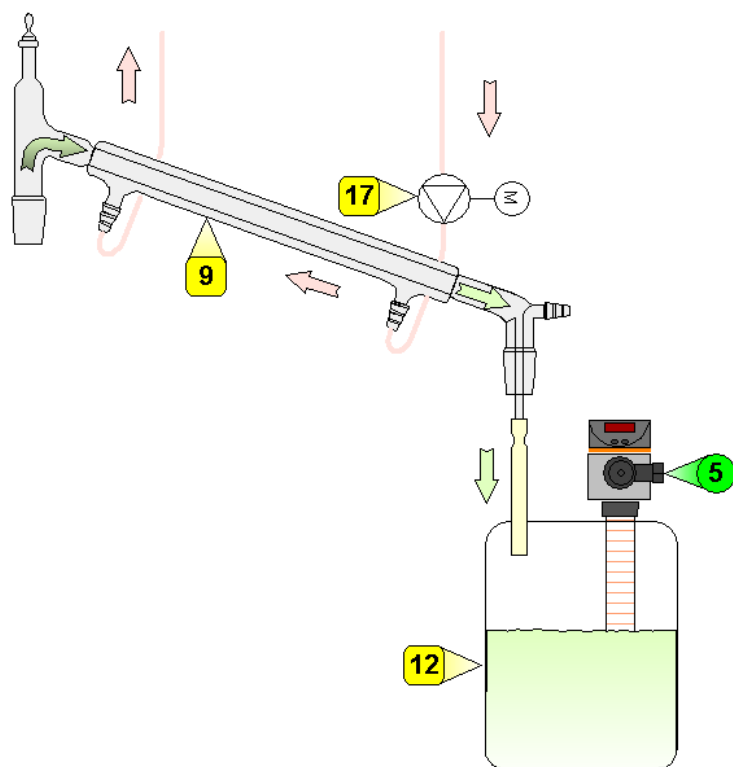
3.2.3 Chladič a výstupní část

Chladič a výstupní část je koncovým stupněm chemické aparatury (Obr.3.4). Provedení chladiče ovlivňuje účinnost celého zařízení. Výstupní část shromažďuje výsledný produkt.

Během destilace je třeba, aby destilovaná látka ve formě páry přešla zpět do kapalného skupenství v definované části kolony. Aby to bylo možné zaručit, je třeba dosáhnout dostatečně nízké teploty v chladiči nebo dostatečného rozdílu těchto teplot. Chladič obecně je zařízení pro výměnu (přenos) tepla, tedy pro odvedení tepla z hlavního toku tzn. ochlazení vodní páry obohacené o požadované složky vystupující z destilační baňky. Existují různé chladiče s různou účinností, takže volba správného chladiče je dosti důležitá. Účinnost chladiče je závislá na velikosti plochy chlazení, s čímž narůstá pochopitelně i velikost celého chladiče. Proto ani příliš předimenzovaný chladič nemusí být ideální volbou.

V tomto případě je použit chladič přímo pro destilaci tzv. destilační most. Jeho konstrukce se skládá ze středové trubice, kterou prochází ochlazovaná látka (pára). Okolo této středové trubice je další trubice, kterou prochází chladicí kapalina. Chladič je poměrně dlouhý, aby byla zaručena jeho účinnost. Přívody chladicí kapaliny jsou provedeny skleněným zakončením přímo pro nasazení hadiček. Tento chladič má přímo integrován destilační nástavec a alonž (pro srovnání chladič přímý 1.1 a 3.4 - č.9), proto tedy název destilační most. Připojení hlavního proudu je provedeno normovanými hrdly se zábrusem. Pro tuto aplikaci je tento typ i velikost plně dostačující.

Výstupní část může plnit několik funkcí. Ty závisí na požadavcích procesu. Můžou zde být například různé separátory apod. V tomto případě je na výstupu pouze předloha. Předloha není připojena přímo pomocí hrdel se zábrusem, ale pomocí hadičky. Je to z toho důvodu, že do ní je zaveden ještě kapacitní snímač hladiny. Ten vyžaduje hrdlo s největším průměrem (reagoval by na okolní sklo). Navíc předloha nemá vypustný kohout pro odpouštění vody a produktu a tak je manipulace s ní jednodušší.



Obr. 3.4: Chladič (destilační most) a výstupní část

3.3 Senzorika

3.3.1 Snímač tlaku

Snímání tlaku při destilaci je poměrně důležité. Pro samotný průběh destilace není nutné znát tlak v destilační baňce. Tento druh snímače je použit z bezpečnostních důvodů. Měří tlak v destilační baňce, kde by mohlo dojít ke zvýšení tlaku např. ucpáním přívodu vodní páry nebo odvodu destilátu do chladiče a následnému poškození skleněných částí kolony. Vzhledem k vysokým teplotám látek v koloně by tak mohlo dojít ohrožení zdraví a majetku v okolí.

Pro snímání tlaku v koloně byl zvolen snímač PI2956 [6] od firmy IFM Electronics. Jedná se o snímač relativního tlaku. Je vhodný pro pastová média, média obsahující pevné látky, kapalná a plynná média. Důležité také je, že je určen pro hygienické prostředí. Disponuje dvojicí výstupů, které lze navolit na následující kombinace:

- 2× spínač/rozpínač
- 1× spínač/rozpínač + 1× analog 4...20 mA/0...10 V

Měřicí rozsah je $-13 \dots 250 \text{ kPa}$ a teplota média může být v rozsahu $-25 \dots 125 \text{ }^\circ\text{C}$. Součástí je také 7-segmentový LED displej pro zobrazení změřeného tlaku, dvě LED diody signalizující stav obou výstupů a dvě tlačítka. Tlačítka lze nastavovat hodnoty spínání jednotlivých výstupů.



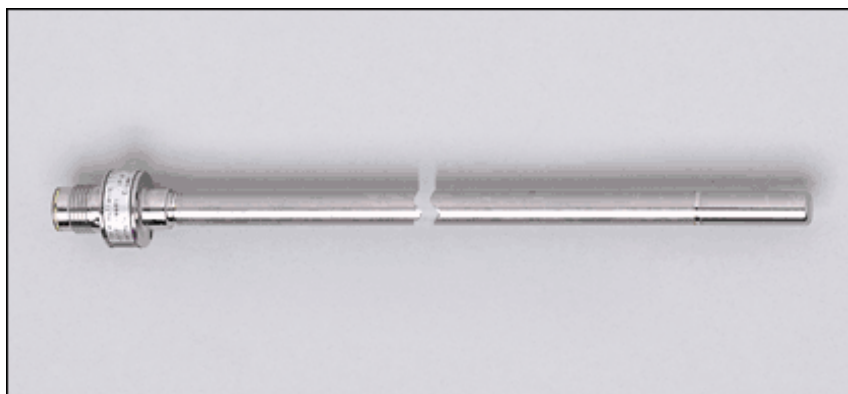
Obr. 3.5: Senzor tlaku PI2956 [6]

3.3.2 Snímače teploty

Při chemických procesech a přeměnách poměrně často hraje roli teplota, při které tento či onen jev probíhá. Často je to i podmínka nutná k tomu, aby proces mohl proběhnout. Destilace je toho typickým příkladem, protože může proběhnout pouze

při dosažení potřebných teplot v jednotlivých částech destilační kolony. Právě proto je měření teploty nejdůležitějším měřením a jeho přesnost ovlivňuje průběh samotného procesu destilace. Se znalostí přesných teplot v kritických místech kolony jsme schopni účinně regulovat průběh destilace a dosáhnout tak optimální rychlosti procesu, účinnosti destilace a zejména kvality výstupního produktu.

Pro měření teploty byl vybrán senzor TT2181 [7] od firmy IFM Electronics. Je to teplotní senzor v tyčovém provedení. Měřicím prvkem je Pt100. Je určen pro kapalná a plynná média v rozsahu $-40...150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Délka měřicí tyče je 260 mm o průměru 8 mm . Tímto senzorem bude měřena teplota vody v baňce pro výrobu páry a teplota v destilační baňce. Také bude použit pro měření teploty chladicí kapaliny v zásobníku.



Obr. 3.6: Senzor teploty TT2181 [7]



Obr. 3.7: Senzor teploty TS2229 [18]

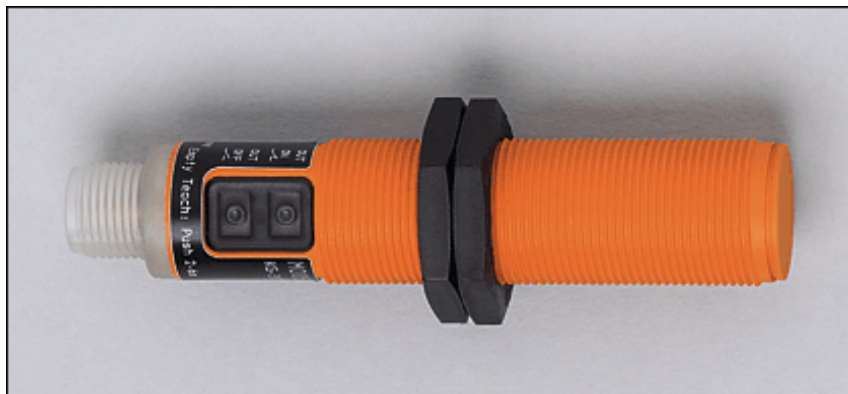
Dalším použitým typem snímače je TS2229 [18]. Tento snímač je z hlediska provedení ploché příložné čidlo. Je přímo vyráběn o určité délce kabelu se standardním typem konektoru. Připojuje se stejně jako předchozí typ do modulu Pt100. Měřicí

rozsah je $-25...90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejprve byl instalován pouze jeden na zadní desku jako snímač teploty okolního prostředí. Poté se ukázalo jako vhodné použít jej i na přibližné měření teploty v chladiči, resp. na jeho obou koncích. Tím byla získána přibližná informace o teplotě v chladiči. Pro lepší přenos tepla byla použita i teplovodivá pasta.

3.3.3 Snímače hladiny

Během destilace se přesouvají některé látky a složky látek. Tyto přesuny mohou být jak ven z kolony (např. únik páry), tak zejména uvnitř kolony mezi jejími částmi. Proto je vhodné znát stav hladiny v některých důležitých částech kolony. Často není nutné znát aktuální hladinu, ale postačí kontrolovat limitní stavy hladiny, nejen maximum, ale i minimum.

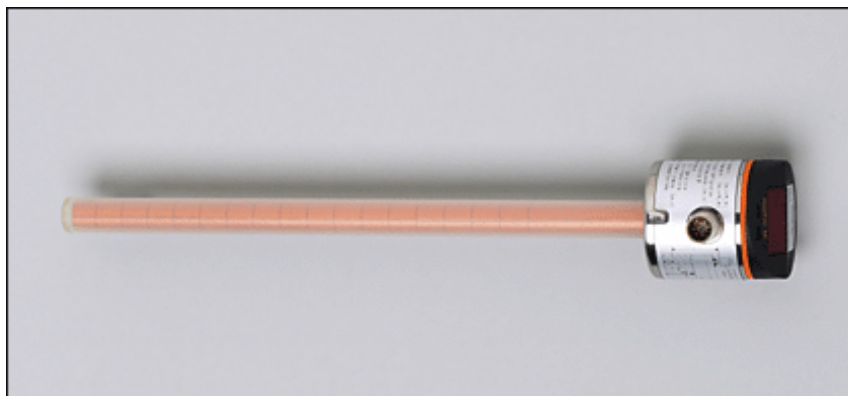
V baňkách pro tvorbu páry a destilaci je použita limitní metoda měření hladiny. S ohledem na podmínky uvnitř kolony a omezený přístup byl zvolen bezkontaktní kapacitní senzor KG5065 [8] od firmy IFM Electronics. Jeho oblast nasazení je pro suché sypké materiály a kapaliny. Může pracovat v režimu spínače/rozpínače. Maximální teplota měřeného materiálu je 110°C , což je v našem případě dostačující. Mezi nejdůležitější parametry, které vedly k volbě tohoto snímače je spínací vzdálenost $12\text{ mm} \pm 10\%$, což umožňuje snímání hladiny přes sklo baňky. Pro správnou funkci lze citlivost jednoduše nastavit.



Obr. 3.8: Limitní senzor hladiny KG5065 [8]

Dalším použitým typem snímače je LK3122 [9] (IFM Electronics) pro spojitě kontaktní měření hladiny. Hladina bude měřena v koncovém zásobníku pro výsledný destilát a zkondenzovanou vodu. Snímač pracuje na kapacitním principu a je určen pro chladicí a mazací kapaliny a oleje. Délka tyče je 264 mm o průměru 16 mm ,

ale aktivní oblast je 195 mm . Výstupem snímače je analogový signál úměrný hladině ($4 \dots 20\text{ mA}$ nebo $0 \dots 10\text{ V}$). Snímač má i binární výstup. Je tak realizována signalizace přeplnění. Spínací bod přeplnění je možné nastavit. Součástí snímače je displej s tlačítky. Na displeji je zobrazena aktuální výška hladiny. LED diodou je zobrazen stav spínače přeplnění.



Obr. 3.9: Kapacitní senzor hladiny LK3122 [9]



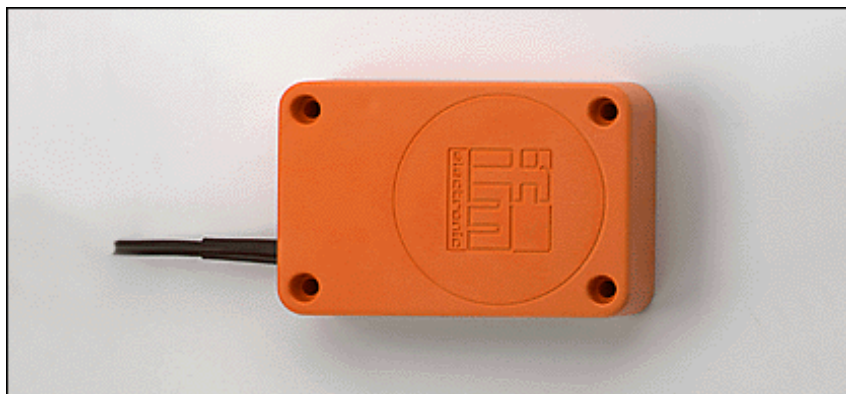
Obr. 3.10: Klimatická trubice pro senzor hladiny LK3122 [10]

Dovolená teplota měřeného média pro snímač LK3122 je pouze v rozsahu $0 \dots 35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplotu média vystupujícího z chladiče není možné zaručit (zejména maximální teplotu). Proto je použita přídatná klimatická trubice E43100 [10]. Ta umožní měřit hladinu kapaliny o teplotě $0 \dots 65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3.4 Kapacitní snímače

Z bezpečnostních důvodů je důležité monitorovat i okolí destilační kolony. Z tohoto důvodu byly vybrány a instalovány tři kapacitní snímače KD5023 [11]. Jsou umístěny pod kritickými oblastmi chemické aparatury, kde monitorují únik provozních a procesních kapalin.

Snímač je založen na kapacitním principu a pracuje jako rozpínač se spínací vzdáleností 60 *mm*. Je uložen v umělohmotném pouzdře, ze kterého je vyveden kabel o délce 2 *m*. Má zvýšenou odolnost proti rušení. Rozepnutí indikuje LED dioda v těle snímače. Napájení lze použít v rozmezí 10...36 *V*_{DC}. Citlivost lze jednoduše nastavit otočením potenciometru.



Obr. 3.11: Kapacitní snímač KD5023 [11]

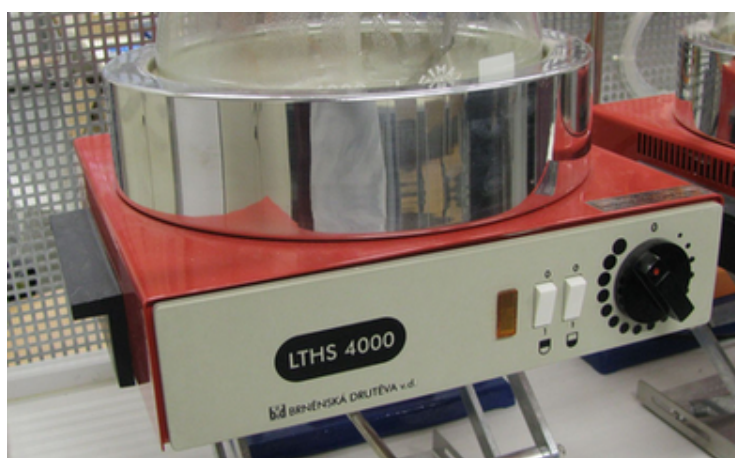
3.4 Akční členy

Důležitou součástí procesu jsou akční členy. Již z názvu plyne, že konají určitou akci. Jejich prostřednictvím můžeme zasahovat do procesu a upravovat jeho průběh.

3.4.1 Topná hnízda

Jako topné médium pro ohřev kapalin v baňkách jsou použita topná hnízda od firmy Brněnská Drutěva. Jsou to topná hnízda určená pro elektrický ohřev látek ve skleněných baňkách do teploty 220°C . Jsou určena zejména pro výzkumná střediska a laboratoře. Každý typ je určen pro konkrétní objem baňky. V tomto případě se jedná o typ LTHS 4000 [15] pro použití s baňkou o objemu 4000 ml . Napájení je klasické $230\text{ V}/50\text{ Hz}$ a příkon 700 W .

Topné hnízdo má možnost nastavení požadovaného výkonu. Také lze zapínat jednotlivě horní nebo spodní ohřev. Zařízení ale není vybaveno žádnou další elektronikou, aby jej bylo možné ovládat dálkově. Proto je ovládání vyřešeno jiným způsobem a to tak, že je nastaven horní i spodní ohřev na maximum a výkon je regulován pulzně šířkovou modulací napájecího napětí.



Obr. 3.12: Topné hnízdo LTHS 4000

3.4.2 Laboratorní lednice PolyScience

V chladicím okruhu, jak již plyne z názvu, je třeba dosáhnout dostatečně nízké teploty. To obstarává laboratorní lednice KR-30A [16] od firmy PolyScience. Toto chladicí zařízení je možné použít k dosažení nízké teploty v okruhu s nechladicím čerpadlem (jako v tomto případě), ale také jako podpůrné zařízení okruhu s chladicím čerpadlem. Série KR je navržena na maximální výkon chlazení po celou dobu

běhu, tudíž regulaci teploty musí provádět externí zařízení. Pro případ výpadku regulačního orgánu nebo poruchy cirkulačního čerpadla musí být v okruhu nemrznoucí kapalina.

Typ KR-30A je možné použít pro okruhy, kde se bude teplota média pohybovat v rozmezí $-20...+40^{\circ}\text{C}$. Překročení v obou směrech jej může nevratně poškodit. Na to je třeba myslet při volbě kapaliny, která lednicí bude procházet nebo cirkulovat v okruhu. Provedení je průtokové - tzn. neobsahuje ponornou sondu pro chlazení kapaliny v libovolné nádobě, ale dvojici přírub pro připojení do chladicího okruhu. Napájení je $230\text{ V}/50\text{ Hz}$ a příkon 575 W při teplotě kapaliny 20°C . Lednici je nutno umístit na zem nebo dostatečně tuhou konstrukci (váha 33 kg).



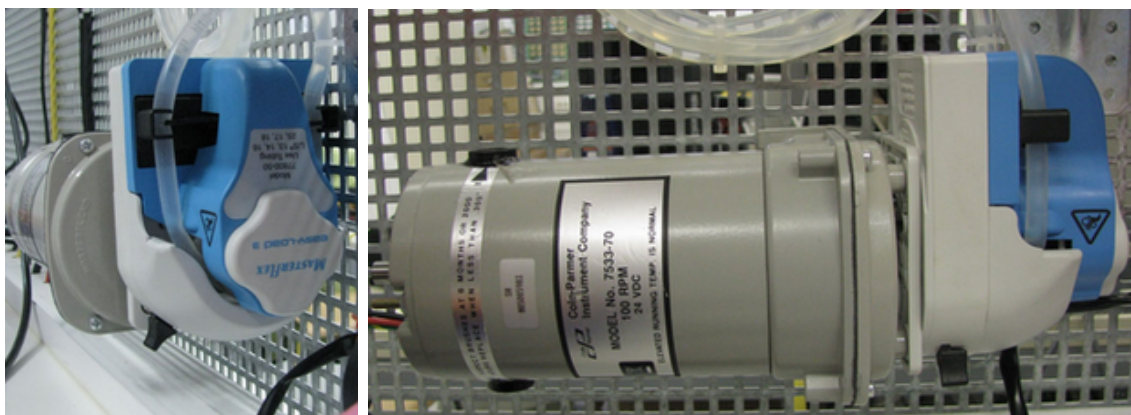
Obr. 3.13: Laboratorní lednice PolyScience KR-30A, připojení do chl. okruhu

3.4.3 Čerpadlo Cole-Parmer

Ovládání modelu destilační kolony vyžaduje práci s kapalinami. Pro jejich přesun mezi různými částmi nebo pro cirkulaci byly použity rozdílné druhy čerpadel.

Pro čerpání vody do vyvíječe páry bylo použito čerpadlo od firmy Cole-Parmer. Jedná se o systém MasterFlex pro velmi přesné čerpání. Tento systém je složený z motoru (model č.7533-70)[13] a hlavy čerpadla Easy-Load 3 (č. 77800-50)[14]. Hlava čerpadla je speciální zařízení, které pomocí systému uchycení speciální silikonové hadice čerpá kapalinu bezkontaktně. Hlava je schopna přečerpat $0,001...2300\text{ ml}/\text{min}$. v závislosti na otáčkách motoru a průřezu hadice. Při použití zmíněného motoru je možno dosáhnout výkonu $0,001...380\text{ ml}/\text{min}$. Systém uchycení umožňuje montáž a demontáž hlavy i upevnění hadice bez použití nářadí. Je nutné ale pamatovat na

to, že hadice se opotřebovává a je nutné ji po určité době vyměnit. Tato doba je stanovena v hodinách provozu pro daný typ a průřez hadice.



Obr. 3.14: Systém MasterFlex Cole-Parmer - hlava čerpadla a její uchycení k motoru

3.4.4 Čerpadlo IWAKI

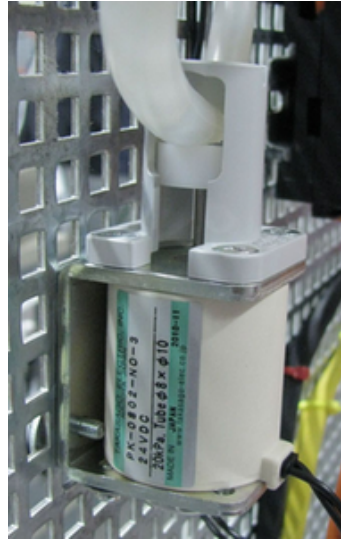
Čerpadlo IWAKI RD-05HCV24-05 [12] bylo použito pro zabezpečení cirkulace chladicí kapaliny v chladicím okruhu. Je umístěno na stěně pod zásobníkem s chladicí kapalinou, aby bylo samovolně zaplavené kapalinou. V čerpadle je použit stejnosměrný bezkartáčový motor napájený 24 VDC s příkonem 17 W. Je použitelné pro kapaliny o teplotě do 60°C a je schopno je čerpat až do 9 m. Čerpadlo navíc disponuje několika ochrannými funkcemi. Je to zejména detekce zablokovaného čerpadla, detekce přehřátí čerpadla zvýšenou teplotou média nebo okolí a nadproudová ochrana.



Obr. 3.15: Čerpadlo chladicí kapaliny IWAKI

3.4.5 Solenoid

Solenoid PK-0802-NO [17] od firmy Takasago Electric Inc. je ventil vytvořený pro uzavírání silikonových hadic. Tento typ je v klidovém stavu otevřený, přivedením napětí 24 V_{DC} dojde k zaškrcení hadice. Ventil dokáže k zaškrcení vyvinout tlak až 20 kPa.



Obr. 3.16: Solenoid PK-0802-NO

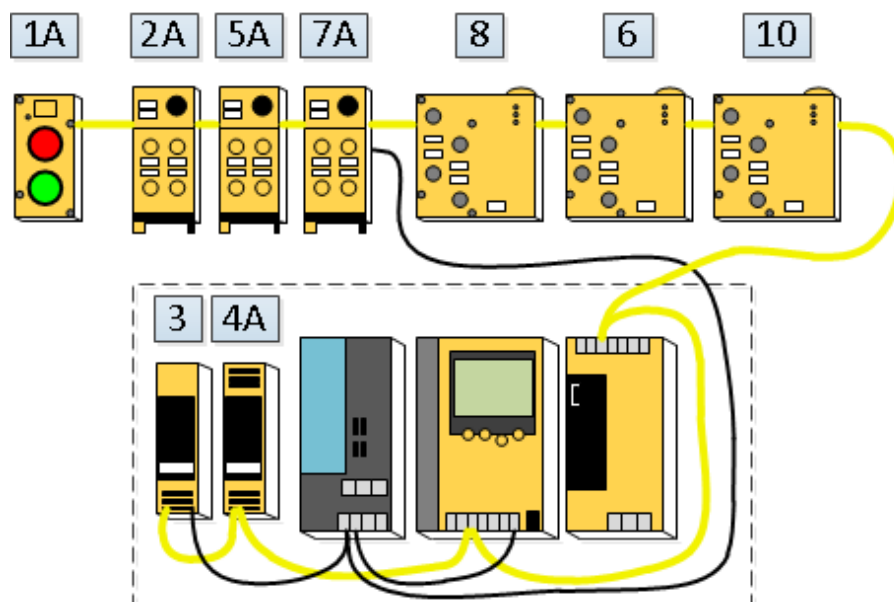
3.5 AS-i sběrnice a moduly

Tato kapitola popisuje implementaci AS-i sběrnice a použité moduly. Nejprve je popsáno samotné provedení. Jsou zde adresy připojených modulů a senzory a zařízení k nim připojené. Poté jsou stručně popsány typy použitých modulů a jejich základní parametry.

AS-i sběrnice byla vybrána zejména proto, že svými vlastnostmi vyhovuje potřebám této práce. Vzhledem k velikosti modelu se nepředpokládá, že maximální délka kabelu by se přiblížila na hranice možností sběrnice. Na sběrnici lze také jednoduše přidávat další moduly a zařízení pro případ přidání dalších snímačů a akčních členů. Také zde nejsou nároky na velký objem přenášených dat.

3.5.1 Implementace AS-i sběrnice

Hlavními prvky pro implementaci AS-i sběrnice jsou zde PLC AC1337 [19] od firmy IFM electronic a příslušné zdroje. Jsou zde použity dva základní typy zdrojů, jeden SITOP 6EP1 333-2AA01 [23] s výstupní napětím $24\text{ V}_{\text{DC}}/5\text{ A}$ pro napájení PLC a přídatné napájení pro vybrané moduly, druhý AC1224 [22] s výstupní napětím v rozsahu $29,5 \dots 31,6\text{ V}_{\text{DC}}/4\text{ A}$ pro napájení všech modulů.



Obr. 3.17: AS-i topologie a moduly s adresami

Samotná sběrnice je zapojena v topologii sběrnice (Obr.3.17). Dle používaného standardu je komunikace a napájení vedena žlutým kabelem (AC4000, zdroj AC1224)

a externí napájení černým kabelem (AC4002, zdroj SITOP). Žlutý kabel je tedy veden ke všem modulům. Černý je veden k PLC a pouze k modulům, které vyžadují externí napájení, v tomto případě jsou to pouze digitální výstupy. Na obrázku jsou také adresy jednotlivých modulů. Ohraničená část je umístěna v rozváděči.

3.5.2 AS-i moduly

V této části jsou popsány použité moduly. Moduly jsou od firmy IFM electronic. Všechny jsou v provedení pro přichycení na DIN lištu. V následující tabulce 3.1 jsou moduly seřazené podle nastavených adres a jejich stručný popis. Reálné umístění na sběrnici je na obrázku 3.17.

Tab. 3.1: Použité AS-i moduly

Adresa	Označení	Typ	Popis
1A	AC2086	-	2x tlačítko, 2x LED signalizace
2A	AC5215	DI	4x digitální vstup
3	AC2252	DO	4x digitální výstup
4A	AC2256	DI, Relé	4x digitální vstup, 2x reléový výstup
5A	AC5215	DI	4x digitální vstup
6	AC2520	Pt100	4x Pt100 vstup
7A	AC5214	DI, DO	2x digitální vstup, 2x výstup
8	AC2520	Pt100	4x Pt100 vstup
10	AC2517	AI	4x analogový vstup

Tlačítka a LED - AC2086

Tento modul obsahuje dvě tlačítka a dvě LED. Barvy LED diod lze změnit výměnnými krytkami. Adresy pro jednotlivé prvky modulu jsou následující:

- %QX1.1.0 - LED dolní
- %QX1.1.1 - LED horní
- ← %IX1.1.2 - tlačítko dolní
- ← %IX1.1.3 - tlačítko horní

Digitální vstupy - AC5215

Modul AC5215 obsahuje čtyři digitální vstupy. Pro model byly použity dva tyto moduly. Na jeden jsou připojeny válcovité kapacitní senzory pro limitní měření hladiny. Na druhý jsou připojeny kapacitní senzory pro detekci úniku kapalin. Prostřednictvím modulů jsou stavy senzorů viditelné na těchto adresách:

- ← %IX1.2.0 - detekce přetlaku v baňce vyvíječe

- ← %IX1.2.1 - minimální hladina v baňce vyvíječe
- ← %IX1.2.2 - minimální hladina v zásobníku s vodou
- ← %IX1.2.3 - maximální hladina v destilační baňce
- ← %IX1.5.0 - detekce úniku kapaliny pod vyvíječem
- ← %IX1.5.2 - detekce úniku kapaliny pod chladičem
- ← %IX1.5.3 - detekce úniku kapaliny pod destilační baňkou

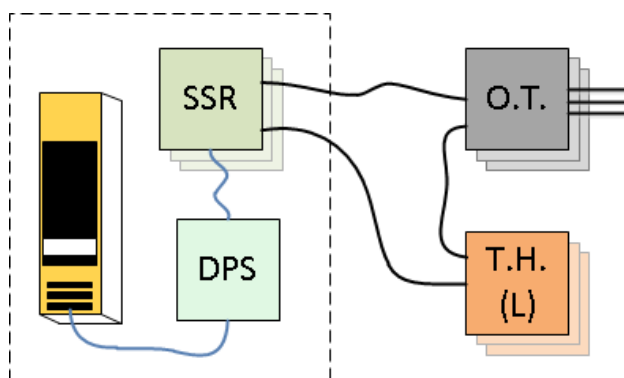
Senzory pro detekci úniku kapaliny jsou připojeny integrovaným kabelem se standardním konektorem. Pro připojení válcovitých senzorů byly použity kabely EVT067 a konektory E11505.

Digitální výstupy - AC2252

Rozváděčový modul AC2252 umožňuje ovládat čtyři digitální výstupy. Výstupy jsou použity k ovládání hlavních akčních členů tj. topných hnízd a lednice.

- %QX1.3.0 - topné hnízdo vyvíječe páry
- %QX1.3.1 - topné hnízdo destilační baňky
- %QX1.3.2 - laboratorní lednice

Připojení těchto akčních členů nelze přímo kvůli rozdílnému napájení. Použitím zástrčky Combicon E70230 je na modul připojena DPS (kap.3.6) pro stabilizaci napětí pro spínání SSR relé (kap.3.6). Teprve tato relé spínají zmiňovaná topná hnízda (T.H.) a lednici. Tento okruh je navíc napájen pomocí oddělovacích transformátorů (kap.3.6). Celé připojení je blokově zobrazeno na obrázku 3.18.



Obr. 3.18: Připojení digitálních výstupů

Digitální vstupy, reléové výstupy - AC2256

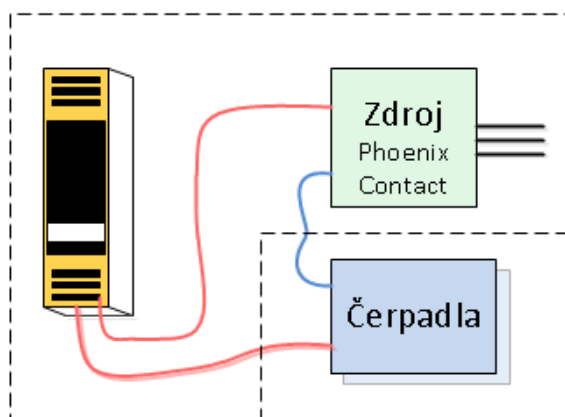
Modul AC2256 je druhý z použitých rozváděčových modulů. Modul kombinuje reléové výstupy a digitální vstupy. Prostřednictvím tohoto modulu jsou ovládány obě čerpadla a přepínání ovládaného modelu destilační kolony. Konkrétní adresy jsou následující:

- %QX1.4.0 - čerpadlo chladicí kapaliny

→ %QX1.4.1 - čerpadlo vody

← %IX1.4.0 - přepínač - volba řízeného modelu

Připojení čerpadel je podobně jako v předchozím případě mírně komplikované. Vzhledem k tomu, že stávající zdroj AC1224 nezvládal napájení zejména při rozběhu čerpadla vody, byl použit další zdroj Phoenix Contact (kap.3.6). Docházelo k tomu, že při spuštění čerpadla byl pokles napětí na sběrnici tak velký, že se automaticky restartovalo PLC. Připojení čerpadel je nastíněno na obrázku 3.19. Na digitálním vstupu je připojen přepínač s LED podsvícením.



Obr. 3.19: Připojení čerpadel

Pt100 vstupy - AC2520

AC2520 je modul čtyř analogových vstupů, který umožňuje připojení pouze snímačů teploty Pt100. V modelu je použit dvakrát. Na jeden modul jsou připojeny všechny trubicové senzory (TT2181), které jsou v přímém kontaktu s procesem. Druhý modul zprostředkovává informaci o teplotě okolí a o teplotách na povrchu chladiče (TS2229).

← %IW21.6.0 - teplota ve vyvíječi páry

← %IW21.6.1 - teplota v zásobníku vody

← %IW21.6.2 - teplota v destilační baňce

← %IW21.6.3 - teplota v zásobníku chladicí kapaliny

← %IW21.8.0 - teplota na chladiči - vstup chl. kapaliny

← %IW21.8.1 - teplota na chladiči - výstup chl. kapaliny

← %IW21.8.2 - okolní teplota

Senzory TS2229 jsou připojeny pomocí vlastních integrovaných kabelů s konektorem. Senzory TT2181 mají přívodní kabely vyrobeny z kabelů EVT067 a konektorů E11505 a E11509.

U analogových Pt100 modulů může být problém se správným nastavením modulu. Nastavení je nutné provádět podle toho, jaké snímače (druh zapojení - dvou

příp. čtyřvodičové) jsou k modulu připojeny a zda využíváme všechny vstupy. Modul tak může hlásit chybu, která je způsobena například tím, že odečítá hodnotu z nezapojeného vstupu. Jedná se zde o nastavení parametrů P0 - P3 [26]. Bit P0 udává použitý filtr a P3 druh zapojení (2 nebo 4-vodičové). Bity P1 a P2 udávají, které vstupy jsou používány. Pro přehlednost jsou v tabulce 3.2 tyto parametry uvedeny pro oba moduly.

Digitální vstupy a výstupy - AC5214

Dalším z kombinovaných modulů je AC5214. Modul nabízí po dvou digitálních vstupech a výstupech. Výstup je použit pro zavírání ventilu na vývodu z vyvíječe páry. Vstupy přenášejí varovné signály ze spojitých snímačů hladiny a tlaku, a to při dosažení nebo překročení uživatelem nastavené meze.

- %QX1.7.0 - ventil (solenoid)
- ← %IX1.7.2 - překročení nastavené hladiny
- ← %IX1.7.3 - překročení nastaveného tlaku

Ventil je připojen konektorem E11505. Připojení spojitých snímačů na digitální vstupy je provedeno přes speciální T-konektor. Kompletní připojení těchto snímačů je popsáno v následující části pro analogové vstupy.

Analogové vstupy - AC2517

Posledním z použitých modulů jsou analogové vstupy. Do modelu byl přidán právě kvůli sběru dat ze spojitých snímačů tlaku a hladiny. Analogové hodnoty z těchto snímačů jsou dostupné na těchto adresách:

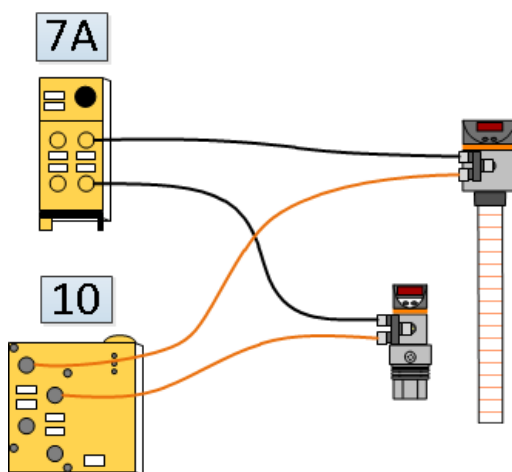
- ← %IW21.10.0 - tlak v destilační baňce
- ← %IW21.10.0 - hladina ve výstupní nádobě

Snímače tlaku a hladiny umožňují několik variant nastavení a tím i více možností dat, které z nich lze vyčíst a dále zpracovávat. V tomto případě byly snímače nastaveny tak, že mimo standardní analogové hodnoty navíc nabízí i binární výstup, který signalizuje dosažení nebo překročení předem nastavené analogové hodnoty. Výhodou je to, že v řídicím členu nemusí nejprve proběhnout zpracování analogové hodnoty a vyhodnocení tohoto stavu a teprve poté další reakce. Reagovat může tento člen ihned po sepnutí tohoto bitu a není závislý na předchozím vyhodnocení nebo přímou doručení analogové hodnoty.

Toto nastavení snímačů ale vyžaduje rozdílný způsob připojení. Výstup ze snímače je rozdělen T-konektorem E11569. Jedna větev je vedena na modul analogových vstupů (kabel EVT067 a konektor E11505). Druhá je vedena na digitální vstupy (kabel EVC004, konektory E11505). Zapojení je na obrázku 3.20.

U tohoto modulu je podobný problém jako u modulu Pt100 s nastavením [27] správného čtení dat. Jedná se o bity P0 - P3, kde se nastavuje druh zapojení (2,3

nebo 4-vodičové), aktivace jednotlivých vstupů a indikace chyby. Toto nastavení je uvedeno v tabulce 3.2.



Obr. 3.20: Připojení analogových senzorů

Tab. 3.2: Nastavení analogových modulů

Modul	Adresa	P3	P2	P1	P0	Nastaveno
Pt100	6	1	1	0	0	12
Pt100	8	0	0	1	1	3
AI 0 – 10V	10	1	1	1	1	15

3.6 Rozváděč

V této části je kompletně zdokumentován rozváděč. V modelu je společný rozváděč pro silnoproudou i slaboproudou část.

Tělo rozváděče je standardní výrobek běžně dostupný na trhu. Vrchní část je přizpůsobena pro vyvedení kabelů. V čelní stěně jsou vodotěsná dvířka. V jedné z bočních stěn je umístěn přepínač, kterým se před spuštěním volí mezi ovládním reálného systému nebo softwarového modelu. Jednotlivé části byly vodivě propojeny a jsou uzemněny. V rozváděči byly instalovány DIN lišty ve dvou řadách. Vodiče uvnitř rozváděče jsou taženy plastovými žlaby. Na obrázku 3.21 a tabulce 3.3 je kompletní popis obsahu rozváděče.

Vypínač Eaton, jistič Moeller a svorky

Pro připojení rozvaděče do rozvodné sítě je základním prvkem jištění. Zde je jistič

Moeller PL6 - B16/1. Tento typ má vypínací schopnost $6kA$ a jmenovitý proud až do $63A$.

Před jističem je hlavní vypínač Eaton IS-25/1. Tento vypínač je vhodný pro jmenovitý proud $25A$ a patří do kategorie AC-22.

Všechny vodiče vstupující do rozvaděče (s výjimkou kabelu pro RS-232 a Ethernet) jsou připojeny pomocí běžných svorek Weidmüller. Byly použity tři barvy svorek (světle hnědá, modrá a zelenožlutá) pro různé druhy vodičů.

Zdroj Phoenix Contact

Zdroj Phoenix Contact byl přidán do rozvaděče až jako poslední zařízení, protože stávající zdroje nepokryly potřebnou spotřebu. Problém byl převážně při spouštění čerpadel. Jedná se o spínaný zdroj napájený $230V/50Hz$. Výstupní napětí je $24 V_{DC}/5 A$. Momentálně jsou z něj napájena právě čerpadla.

Oddělovací transformátory Diametral

Ke galvanickému oddělení topných hnízd a lednice byly použity oddělovací transformátory Diametral. Oddělení je provedeno kvůli oddělení od síťového napětí při spínání zátěží do určitého odběru proudu. Jsou zde dva typy transformátorů OT230.030 a OT230.050. Oba typy mají výstupní napětí $230V/50Hz$. Liší se zejména maximálním výstupním proudem $3A$ a $5A$. Konkrétní parametry lze najít u výrobce [24].

Umístění transformátorů je na obrázku 3.1. Jejich napájení není připojeno do rozvaděče, ale přímo do sítě, proto se musí zapínat a vypínat každý samostatně vlastním vypínačem. Zapínat je je vhodné postupně s menšími prodlevami. Je to poměrně velká zátěž na síť a může dojít ke shození jističe.

Transformátory tedy běží po celou dobu, jen se mění jejich zatížení. Sekundární vinutí je připojeno do okruhu s top. hnízd (lednicí) a SSR relé, což je naznačeno na obrázku 3.18.

DPS pro stabilizaci na $10 V_{DC}$

Pro spínání SSR relé musí být k dispozici napětí $0 - 10 V_{DC}$. Z tohoto důvodu byla navržena jednoduchá DPS se stabilizátory napětí. Pro stabilizaci napětí z $24 V_{DC}$ (AS-i zdroj) na $10 V_{DC}$ byly zvoleny stabilizátory L7810. Schema zapojení, předloha a osazovací plán jsou v příloze B.

SSR relé

Pro spínání topných hnízd a lednice byla použita Solid state relé. Jedná se o polovodičové spínací zařízení, které se používá jako ekvivalent klasických relé. Důvod jejich použití je dán jejich vlastnostmi, kterými předčí klasická relé. Hlavní výhodou je, že neobsahuje žádné mechanické části, takže je daleko spolehlivější. Díky tomu jej lze spínat s vyšší frekvencí a dlouhodobě, aniž by ztratilo svoje vlastnosti. Je tak

vhodným prvkem právě při spínání topných těles signálem PWM (pulsně šířková modulace). Nevýhodou použití je vyšší pořizovací cena a pro vyšší výkony nutnost pasivního chladiče.

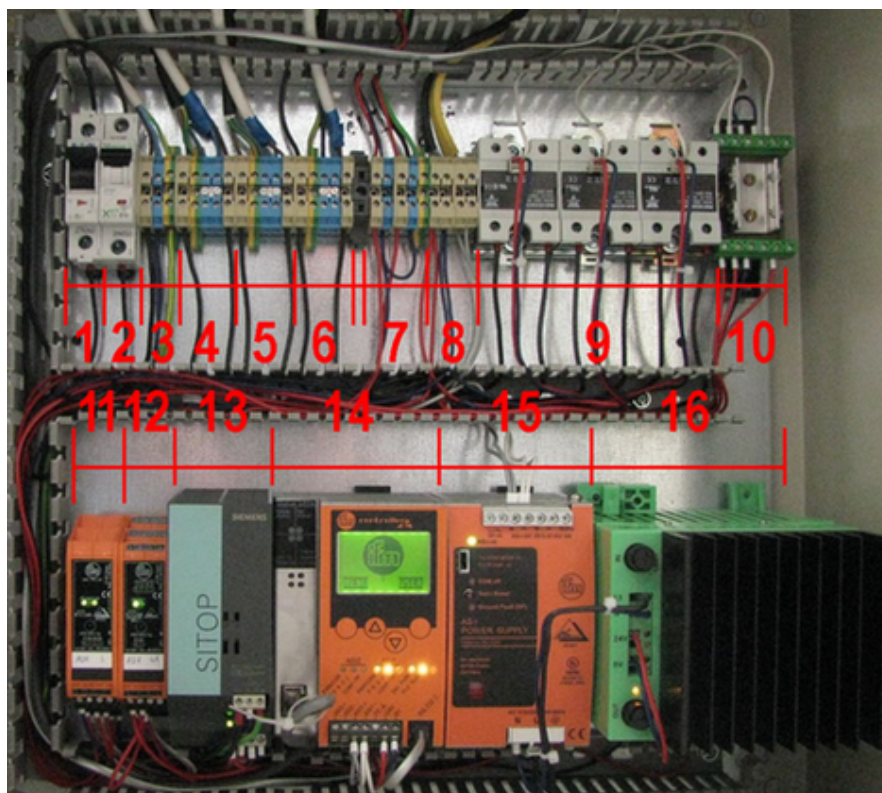
Vybrán byl model RM1E23V25 [25], což je relé spínané napětím. Toto relé může spínat 90 až 265 V_{AC} při 25A. Spínací obvod vyžaduje napájení 24 V_{DC} a samotné spínání se provádí řídicím napětím 0 – 10 V_{DC} .

Relé jsou připojena do obvodu s transformátory a topnými hnízdy (obr.3.18). Napájení spínací části je připojeno na AS-i zdroj a řídicí napětí je získáno ze stabilizátorů na DPS. Jelikož jsou relé uzpůsobena pouze pro přidělení na chladič, musela být doplněna o držák na DIN lištu.

STOP tlačítko a přepínač s LED Telemecanique

Pro případ bezpečného vypnutí celého zařízení v případě, že selžou ostatní ochranné prvky, je vpravo na spodní straně desky pod aparaturou umístěno Stop tlačítko Telemecanique XAL K178E. To je připojeno před hlavní vypínač celého rozváděče a při stisku jej okamžitě odpojí.

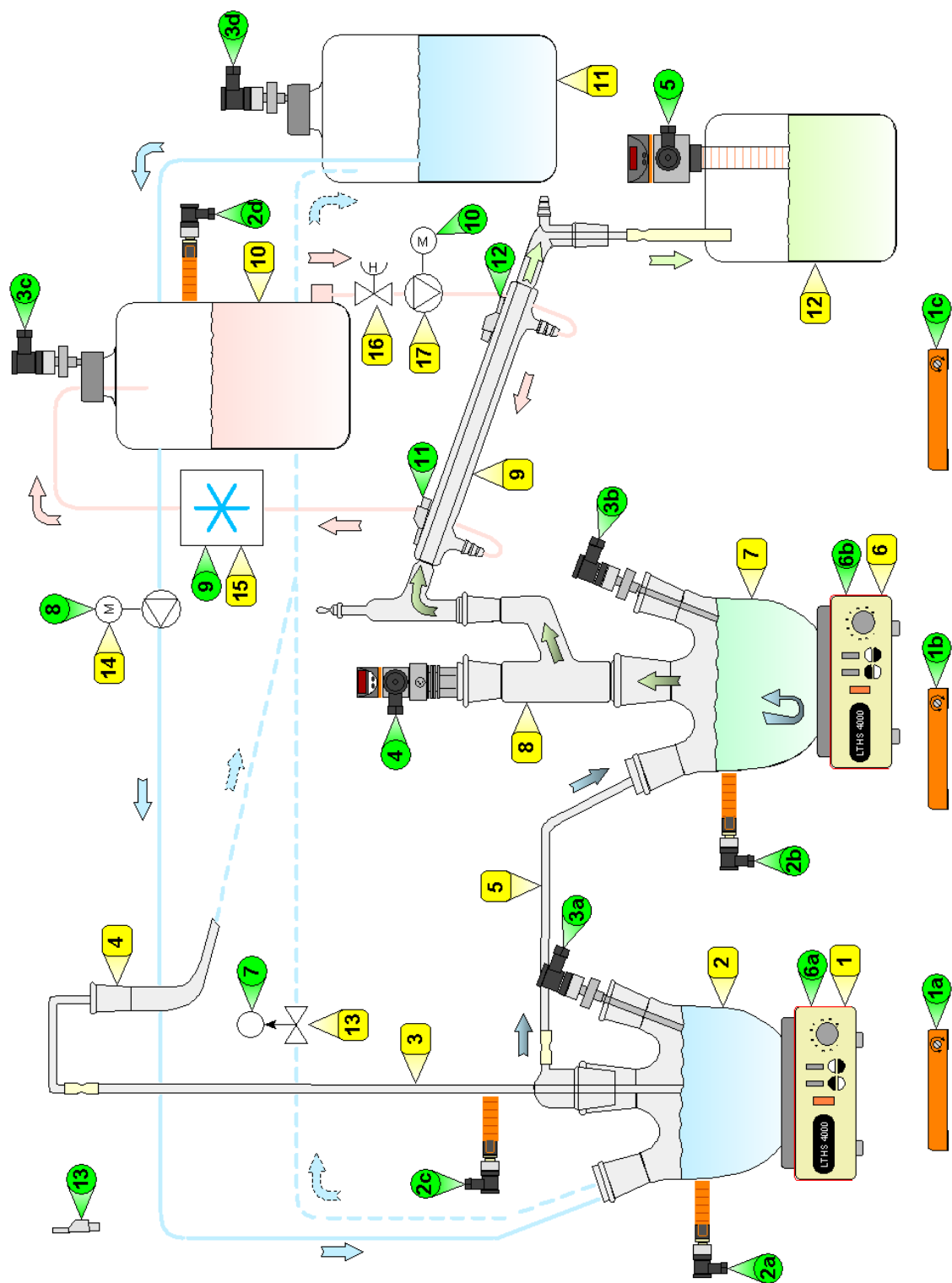
Na boční stěnu rozváděče je vyveden jeden přepínač s LED diodou (Telemecanique ZBE 101 a ZBV B3). Přepínač má dvě polohy a lze ním měnit volbu řízeného modelu. Při rozsvícené LED je to reálný, při zhasnuté softwarový. Změna modelu se projeví až po restartu PLC.



Obr. 3.21: Obsah rozváděče

Tab. 3.3: Obsah rozváděče

Umístění	Typ	Popis
1	Vypínač	Napájení 230 V _{AC} v rozváděči
2	Jistič	Jistič rozváděče
3	Svorky 1-3	Napájení rozváděče
4	Svorky 4-6, 7-8	Topné hnízdo 1, oddělovací transformátor 1
5	Svorky 9-11, 12-13	Topné hnízdo 2, oddělovací transformátor 2
6	Svorky 14-16, 17-18	Laboratorní lednice, oddělovací transformátor 3
7	Svorky 19-21, 22-23	Čerpadlo vody, čerpadlo chladicí kapaliny
8	Svorky 24-25, 26-27	AS-i sběrnice - externí napájení, komunikace
9	RSS relé	Spínání topidel 1, 2 a lednice
10	DPS	DPS se stabilizátory 30 V _{DC} /10 V _{DC}
11	AS-i modul	Modul digitálních výstupů
12	AS-i modul	Modul reléových výstupů a digitálních vstupů
13	Zdroj	Zdroj SITOP 24 V _{DC} /3 A
14	PLC	Řídicí PLC IFM
15	Zdroj	Zdroj 30 V _{DC} pro PLC
16	Zdroj	Zdroj Phoenix Contact 24 V _{DC} /5 A



Obr. 3.22: Funkční model destilační kolony - legenda Tab.3.4 a Tab. 3.5

Tab. 3.4: Legenda k obrázku 3.22 - žluté popisky (funkční prvky)

Označení	Popis
1	Topné hnízdo - vyvíječ páry
2	Baňka vyvíječe pára
3	Odvod páry z vyvíječe, přetlakový vývod
4	Alonž - přerušení odvodu přetlakové vody
5	Trubice - odvod páry do destilační baňky
6	Topné hnízdo - destilační baňka
7	Destilační baňka
8	Destilační nástavec se svislou odbočkou
9	Destilační most (chladič)
10	Zásobník chladicí kapaliny
11	Zásobník vody pro vyvíječ páry
12	Láhev dle Woulfa - výstupní produkt a neslučitelný zbytek
13	El. ventil - bezpečností odvod páry
14	Čerpadlo - doplňování vody ve vyvíječi
15	Laboratorní lednice - chladicí okruh
16	Ruční ventil - chladicí okruh

Tab. 3.5: Legenda k obrázku 3.22 - zelené popisky (elektrické a elektronické prvky)

Označení	Popis
1a, 1b, 1c	Kapacitní snímače - detekce úniku kapalin
2a, 2b	Kapacitní snímače - optimální, mezní hladina
2c	Kapacitní snímač - detekce přetlaku ve vyvíječi
2d	Kapacitní snímač - optimální hladina chladicí kapaliny
3a, 3b	Pt100 snímač - teplota ve vyvíječi/destilační baňce
3c, 3d	Pt100 snímač - teplota chladicí kapaliny/vody v zásobníku
4	Tlakový snímač - tlak v destilační baňce
5	Snímač hladiny - hladina v předloze
6a, 6b	Topná hnízda - vyvíječ/destilační baňka
7	Solenoid/ventil - bezpečnostní odvod páry
8	Čerpadlo - doplňování vody do vyvíječe páry
9	Laboratorní lednice - chlazení kapaliny v chladicím okruhu
10	Čerpadlo - cirkulace v chladicím okruhu
11, 12	Pt100 snímač - teplota chladiče
13	Pt100 snímač - okolní teplota

4 SOFTWARE

Tato kapitola popisuje software pro PLC. Proces samotný vyžaduje rozdělení na několik částí. Nejdůležitější je bezpečnostní část. Nejprve je zmíněn samotný přístup k systému. Následuje uživatelské rozhraní, zmíněná bezpečnost pro reálný a softwarový model, popis softwarového modelu a vizualizace.

4.1 Volba modelu kolony

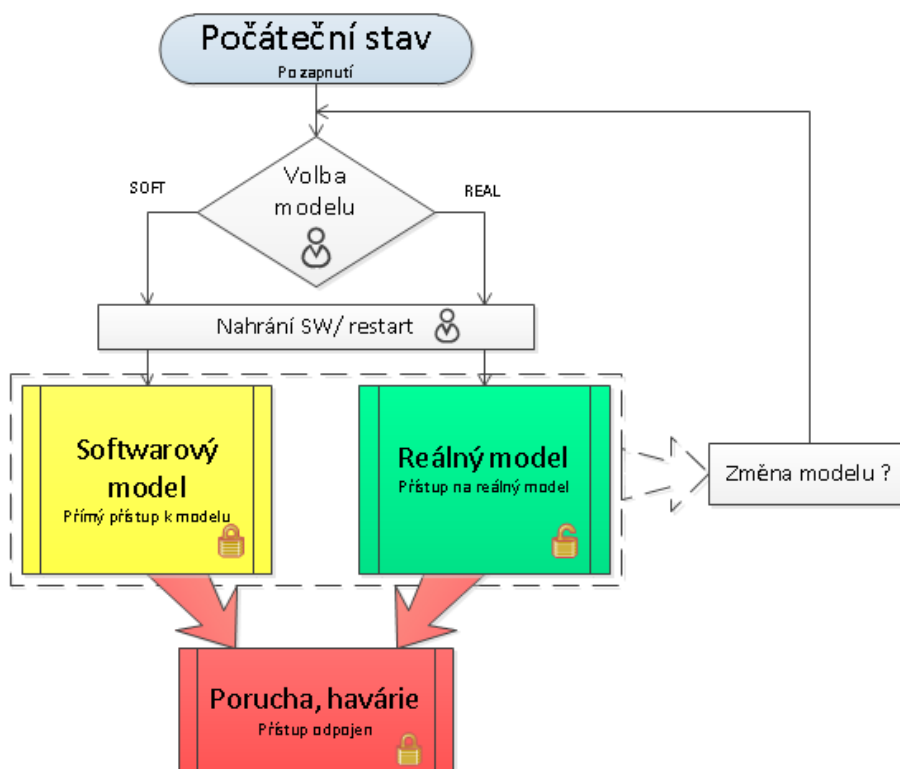
Tato část ukazuje navržený systém volby modelu a způsob přístupu.

Pro přístup bylo zvoleno následující schéma 4.1. Jaký model chce uživatel používat si volí přepnutím zeleného přepínače na boční straně rozváděče. Přičemž platí, že rozsvícený přepínač upozorňuje, že je zvolený reálný model. Při zhasnutém je tedy ovládán pouze softwarový model.

Při zapnutí zařízení a PLC je přepínač v nějaké poloze. Dokud poprvé nenahrajeme software a nespustíme vykonávání programu, je možné měnit model. Po nahrání software a spuštění se automaticky uloží zvolený model a software již na dodatečnou změnu nereaguje. Toto opatření je samozřejmě ochrana proti neúmyslnému přepnutí modelu a také jako bezpečnostní prvek. Z pohledu bezpečnosti by nebylo vhodné změnit model přepnutím jednoho přepínače. Zejména proto, že bezpečnostní část softwaru je navržena univerzálně a je vždy spojena pouze se zvoleným modelem, právě proto aby mohly být testovány bezpečnostní zásahy i na softwarovém modelu. Tak by mohlo dojít k vyřazení jakéhokoli dohledu na právě probíhající proces destilace v reálném modelu.

Po prvním nahrání software a spuštění programu je tedy ovládán vybraný model, na který také dohlíží bezpečnostní část. Při jakémkoli nebezpečném stavu, který je zachycen softwarem je podle jeho závažnosti upozorněn uživatel, omezena jeho pravomoc zasahovat do procesu nebo je úplně odpojen od možnosti ovládání. V případě, že pominou závažné okolnosti, je uživateli postupně vracena možnost zásahu do procesu.

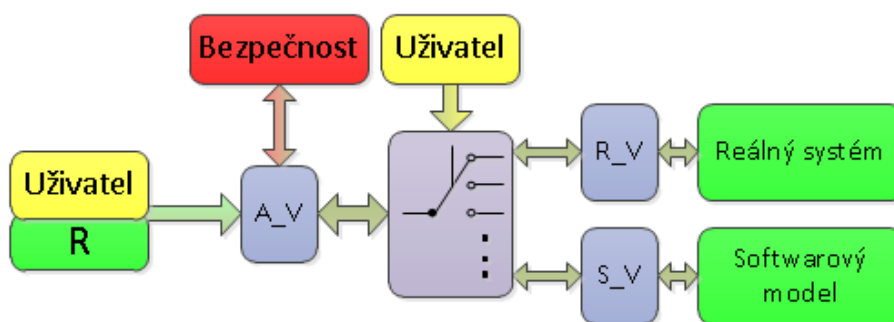
Pokud chce uživatel změnit zvolený model, musí nejprve přepnout přepínač na požadovaný model a restartovat PLC. Po restartu se uloží nová volba a platí opět předchozí podmínky a pravidla.



Obr. 4.1: Volba a přístup k modelům

4.2 Uživatelské rozhraní

Aby bylo možné pojmout celý software jako několik nezávislých bloků, které lze kdykoli vyměnit za novější verzi apod., bylo nutné vytvořit pevné rozhraní, prostřednictvím kterého bude probíhat veškerá výměna dat mezi bloky.



Obr. 4.2: Princip funkce rozhraní pro model

Princip je naznačen na obrázku 4.2, kde si uživatel může zvolit model a pracovat s daty z rozhraní A_V (Access variables). Případně zde může vstupovat nějaký řídicí algoritmus (R) apod. Bezpečnost je nezávislá na uživateli, avšak má přednost před

uživatel. Rozhraní R_V (Real variables) a S_V (Software variables) představují soubory proměnných, které odpovídají rozhraní A_V, aby je bylo možné propojit. Rozhraní A_V obsahuje více položek než R_V a S_V, protože je rozšířeno o některé upravené hodnoty ze snímačů pro lepší práci s nimi, také obsahuje bity pro spuštění zařízení a zároveň jejich aktuální stav (rozdíl zásahem bezpečnosti).

Dále je popsáno kompletní rozhraní:

- A_TEMP0, A_TEMP0r - teplota ve vyvíječi par (INT, REAL)
- A_TEMP1, A_TEMP1r - teplota v zásobníku vody (INT, REAL)
- A_TEMP2, A_TEMP2r - teplota v destilační baňce (INT, REAL)
- A_TEMP3, A_TEMP3r - teplota v zásobníku fridexu (INT, REAL)
- A_TEMP4, A_TEMP4r - teplota chladiče - vstup fridexu (INT, REAL)
- A_TEMP5, A_TEMP5r - teplota chladiče - výstup fridexu (INT, REAL)
- A_TEMP6, A_TEMP6r - teplota okolí (INT, REAL)
- A_TEMP7, A_TEMP7r - momentálně nevyužito
- A_LEVEL, A_LEVELr - hladina ve výstupní části (WORD, REAL)
- A_LEVELOverflow - signalizace překročení nastavené hladiny A_LEVEL (BOOL)
- A_PRESS, A_PRESSr - tlak v destilační baňce (WORD, REAL)
- A_PRESSOverflow - signalizace překročení nastaveného tlaku A_PRESS (BOOL)
- A_LimitLevel1 - detekce přetlaku ve vyvíječi (BOOL)
- A_LimitLevel2 - minimální hladina ve vyvíječi (BOOL)
- A_LimitLevel3 - minimální hladina v zásobníku vody (BOOL)
- A_LimitLevel4 - maximální hladina v destilační baňce (BOOL)
- A_Liquid1 - detekce úniku kapaliny pod vyvíječem (BOOL)
- A_Liquid2 - detekce úniku kapaliny pod destilační baňkou (BOOL)
- A_Liquid3 - detekce úniku kapaliny pod chladičem (BOOL)
- A_Man_Solenoid - požadavek zavření solenoidu (BOOL)
- A_Man_PumpCool - požadavek zapnutí čerpadla chl. okruhu (BOOL)
- A_Man_PumpWater - požadavek zapnutí čerpadla vody (BOOL)
- A_Man_Heater1, A_Man_Heater2 - požadavek zapnutí topného hnízda 1, 2 (BOOL)
- A_Man_H1c, A_Man_H2c - nastavení topného hnízda - 0->nastavuje se výkon, 1->nastavuje se žádaná teplota (BOOL)
 - A_Man_Heater1power, A_Man_Heater2power - požadovaný výkon (BYTE)
 - A_Flask1TempZ, A_Flask2TempZ - požadovaná teplota (INT)
- A_Man_FridgeOn - požadavek zapnutí lednice (BOOL)
- A_PushButtonU, A_PushButtonD - „stisk“ horní, spodní tlačítko - pro případ simulace v Soft-modelu (BOOL)
- A_OSM_WaterFull - doplnění zásobníku vody, pouze Soft-model (BOOL)

- A_OSM_ResetModel - reset Soft-modelu (BOOL)
- A_OSM_SModelPace - nastavení rychlosti Soft-modelu, 0-5, 0 = stop stav (BYTE)
- A_Solen - info o stavu solenoidu - On/Off (BOOL)
- A_PumpC - info o běhu čerpadla fridexu - On/Off (BOOL)
- A_PumpW - info o běhu vody - On/Off (BOOL)
- A_Aut_Heater1, A_Aut_Heater2 - info o blokování topných hnízd (BOOL)
- A_Heater1, A_Heater2 - info o stavu topných hnízd - On/Off (BOOL)
- A_Fridge - info o běhu lednice - On/Off (BOOL)
- A_FridgeTimeAct - info o aktuální době blokování vypnutí lednice (DWORD)
- A_FridgeTime - celková doba blokování (DWORD)
- A_FridgeBlocking - info o blokování vypnutí lednice (BOOL)
- A_LedU, A_LedD - info o zapnutých LED (BOOL)
- A_Acoustic - info o zvukové signalizaci, momentálně není zapojeno (BOOL)
- A_Model - info o zvoleném modelu - 0->Software, 1->Real (BOOL)
- A_SafetyState - info o bezp. stavu zvoleného modelu, 0-3 (BYTE)

4.3 Bezpečnostní část

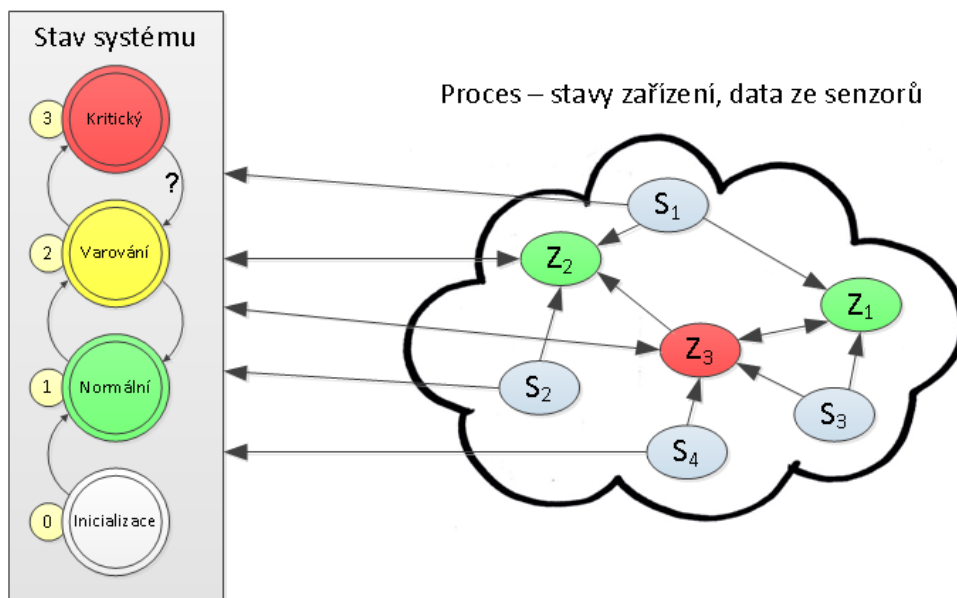
Bezpečnostní část software je logicky nejdůležitějším prvkem celého software. I když je často vyzdvihována kvalita regulace, rychlost produkce výstupního produktu, výkon zařízení a podobně, všechna tato kritéria by byla bezvýznamná, kdyby nefungovaly bezpečnostní mechanismy, které na systém dohlížejí. V chemickém průmyslu to platí dvojnásobně, protože se zde často pracuje s nebezpečnými látkami a tak může být přímo ohroženo zdraví lidí případně životní prostředí. Není proto možné tuto část pojmout zjednodušeně nebo ji dokonce opomenout.

Bezpečnost reálného systému je poměrně složitá problematika. Zejména při návrhu bezpečnostních opatření a mechanismů musí být podrobně analyzována možná rizika. Také je nutné uvažovat všechny možné stavy, do kterých se systém může dostat, i když jsou velice nepravděpodobné.

Převážná část bezpečnosti se zabývá akčními členy. Řeší jejich stavy a využívá data z procesu, které zprostředkovávají snímače. Jako nejvhodnější se ukázal systém stavových automatů. Pro celý systém je vytvořen centrální stavový automat udávající stav celého zařízení. U některých akčních členů jsou použité stavové automaty přímo udávající stav zařízení. Jinde se ukázala jako vhodnější kombinace automatu a logiky. Automat zde představuje doporučený stav z hlediska bezpečnosti a logika udává jeho prioritu oproti uživatelem zvolenému stavu. Specifika pro každý z akčních členů jsou popsány v následujících podkapitolách.

4.3.1 Hlavní stavový automat

Hlavní stavový automat je nadřazen všem ostatním. Vyhodnocuje stavy jednotlivých zařízení a data ze senzorů. Podle toho se mění stav celého zařízení.



Obr. 4.3: Hlavní stavový automat

Stavový automat má čtyři stavy. Každému stavu odpovídá i vizuální signalizace prostřednictvím modulu s tlačítky a LED. To usnadňuje práci se zařízením, protože není potřeba neustále kontrolovat vizualizaci.

- 0 **Inicializační** stav nastává pouze při prvním spuštění programu nebo po restartu PLC. Pro přechod do normálního stavu musí uživatel stisknout spodní zelené tlačítko. Do tohoto stavu se při běhu programu již zařízení nevrátí. Tento stav je signalizován blikající zelenou diodou.
- 1 **Normální** stav nastává v případě, že proběhla inicializace v pořádku a ne-nastaly žádné varovné nebo nebezpečné události. Z tohoto stavu se lze dostat pouze do stavu Varování nebo do Kritického stavu. Tento stav je signalizován svítící zelenou diodou.
- 2 Stav **Varování** nastává v případě, že se objevily méně či více závažné události. Nejsou to však nijak závažné problémy a proces může běžet dál. V určitých případech se může stát, že jsou omezena jen konkrétní zařízení vlastním bezpečnostním automatem. V případě, že tyto málo závažné události odezní, přechází systém zpět do stavu Normální. Tento stav je signalizován svítící zelenou a blikající červenou diodou.

- 3 **Kritický** stav nastává v případě, že se objevily závažné události. Může to být například zaznamenaný únik kapalin apod. Proces je v tomto stavu postupně zastaven a uživatel je odpojen od procesu. Pokud tyto závažné události odezní, musí uživatel navíc potvrdit stiskem horního červeného tlačítka, že tuto nebezpečnou situaci zaznamenal a je možné pokračovat v práci. Tím se systém vrátí do stavu Normální nebo Varování. Tento stav je signalizován svítící červenou diodou.

V následující tabulce jsou popsány podmínky přechodů mezi jednotlivými stavy systému.

Tab. 4.1: Tabulka přechodů a podmínek - hlavní stavový automat

Přechod	Podmínky přechodu
0 → 1	stisk tlačítka A_PushButtonD
1 → 2	rozepnut senzor úniku kapalin nebo přetlak ve vyvíječi nebo zvýšená hladina v dest. baňce nebo dopouštění vody do vyvíječe nebo přehřáté některé topidlo
1 → 3	alespoň jeden ze senzorů úniku kapalin rozepnut po dobu SafetyTime (Safety1TON)
2 → 1	pominuly všechny podmínky z přechodu 1 → 2
2 → 3	alespoň jeden ze senzorů úniku kapalin rozepnut po dobu SafetyTime (Safety1TON)
3 → 1	kapalina neuniká a uživatel potvrdil tuto událost (A_PushButtonU)

Do všech následujících stavových automatů jednotlivých zařízení byly přidány podmínky na vypnutý stav během inicializace a v kritickém stavu.

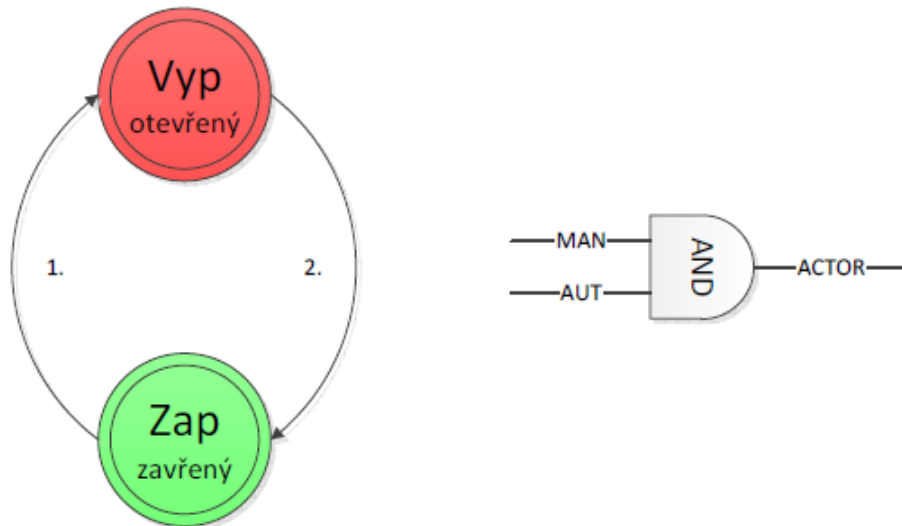
4.3.2 Bezpečnostní solenoid

Bezpečnostní solenoid je umístěn na zadní stěně konstrukce kolony. Uzavírá zde odvod případného přetlaku ve vyvíječi páry. Během procesu je tak permanentně zavřený. Otevírá se pouze při zvýšeném tlaku.

Software pro solenoid je jednoduchý. Skládá se ze stavového automatu (Obr.4.4) se dvěma stavy. Stavový automat je zde ve funkci doporučeného stavu z hlediska bezpečnosti. Výsledná manipulace se solenoidem závisí na výstupu z logické funkce, do které vstupuje jak bezpečnostní stav (AUT), tak manuální volba uživatele (MAN). Z požadavků na prioritu ovládání vyplynula jako jediná možná logická funkce AND (Tab.4.2).

Tab. 4.2: Pravdivostní tabulka funkce AND

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Obr. 4.4: Stavový automat a logická funkce pro solenoid

Přechody mezi stavy ve stavovém automatu (výstup AUT) jsou dány splněním stanovených podmínek. Podmínky pro přechody jsou popsány v následující tabulce 4.3. Pro odpočet časů byly použity časovače Sol1TON a Sol2TON, oba typu TON.

Tab. 4.3: Tabulka přechodů a podmínek - solenoid

Přechod č.	Podmínky přechodu
1	kritická hladina v baňce 1 (<code>LimitLevel1 = TRUE</code>) po dobu <code>Sol_MinCritTime</code>
2	bezpečná hladina v baňce 1 (<code>LimitLevel1 = FALSE</code>) po dobu <code>Sol_MinNonCritTime</code>

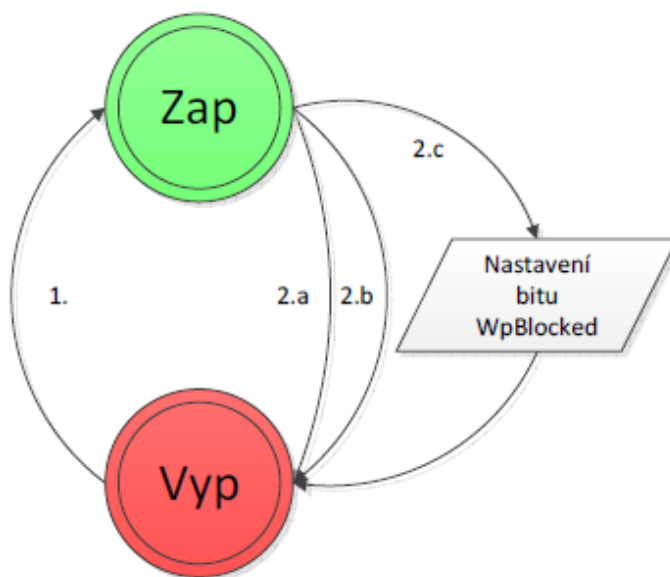
4.3.3 Čerpadlo vody do vyvíječe

Čerpadlo vody provádí doplňování vody do vyvíječe páry. Je v provozu pouze v případě, že je zapnuto topidlo vyvíječe. Software by měl zaručit, že v nádobě při ohřevu bude vždy optimální hladina vody.

Vzhledem k tomu, že hladina v nádobě je snímána pouze binárně a navíc v jednom místě, byl pro doplňování vody stanoven časový interval, který představuje „hysterezi“ doplňování vody. V případě, že je hladina od počátku nebo vlivem odpařování vody nižší než snímaná, začne se odpočítávat čas (časovač `Wp1TON`). Pokud se hladina nezvýší do určité doby (`Wp_MaxNonFullF1Time`), je spuštěno čerpadlo. Stejně je řešeno i vypnutí čerpadla. Pokud je hladina optimální alespoň po danou dobu (`Wp_MaxOverflowRun`, časovač `Wp2TON`), je čerpadlo vypnuto.

Aby bylo možné doplňovat vodu zcela autonomně, bylo nutné ošetřit předvídatelnou poruchu limitního snímače hladiny. Pokud by porucha ošetřena nebyla, mohlo by dojít k přetečení nádoby vyvíječe. Řešením tohoto problému je další časovač (`Wp3TON`), který zaznamenává dobu běhu čerpadla. V okamžiku, kdy přesáhne maximální dovolenou dobu (`Wp_MaxOperTime`), je čerpadlo zablokováno k dalšímu použití nastavením bitu `WpBlocked`. Tento bit je samozřejmě lokálního charakteru, aby jej nebylo možné resetovat přímo.

Pro čerpadlo vody byl využit pouze stavový automat (Obr.4.5). Je to dáno tím, že uživatel nemá možnost toto zařízení ovládat. Stavový automat má dva stavy představující zapnuté a vypnuté čerpadlo.



Obr. 4.5: Stavový automat pro čerpadlo vody

Tab. 4.4: Tabulka přechodů a podmínek - čerpadlo vody

Přechod č.	Podmínky přechodu
1	běží topidlo 1 (<code>Aut_Heater1 = 1</code>), nízká hladina (<code>LimitLevel2 = FALSE</code>) po dobu <code>Wp_MaxNonFillF1Time</code> , není blokováno spuštění (<code>WpBlocked = FALSE</code>)
2 a	neběží topidlo 1 (<code>Aut_Heater1 = 0</code>)
2 b	optimální hladina (<code>LimitLevel2 = TRUE</code>) po dobu <code>Wp_MaxOverflowRun</code>
2 c	čerpadlo běží velmi dlouho (<code>Wp_MaxOperTime</code>)

4.3.4 Topné hnízdo 1

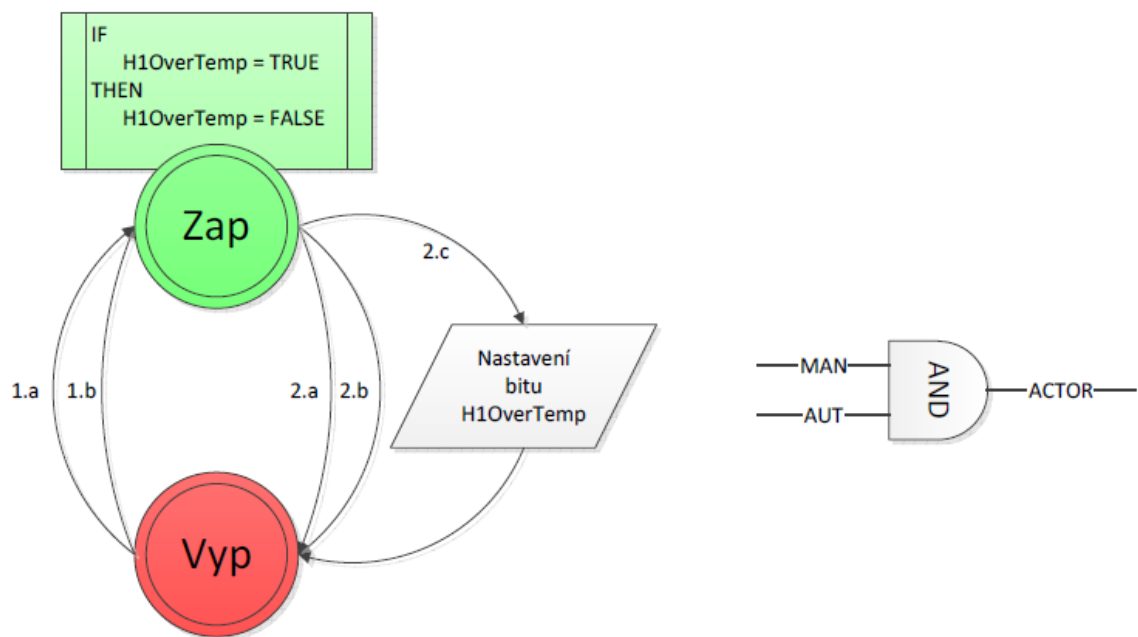
Topné hnízdo 1 zajišťuje ohřev vody a výrobu páry. Jelikož topné hnízdo je možné ovládat a nastavovat pouze manuálně, je regulace řešena zapínáním přívodu elektřiny. Tato část software řeší pouze stav zařízení. Pro regulaci jeho výkonu byl vytvořen program, který jej spíná ve smyslu pulzně šířkové modulace. Tento program bude popsán samostatně.

Bezpečnost je řešena stavovým automatem se dvěma stavy, které pouze doporučují nastavení stavu reálného. Reálný stav je dán logickou funkcí AND (Tab.4.2) dvou vstupů (AUT, MAN). Doporučený stav systému závisí na několika signálech ze snímačů a aktuálním stavu kolony. Při splnění podmínek (Tab.4.5) mezi nimi přechází.

Je zde použit jeden časovač H1TON, který řeší spolu s proměnnou H1_MaxTempF1 problematický stav. Jedná se o situaci, kdy teplota v baňce vyvíječe (TEMP0r) vystoupá nad nastavenou mez H1_MaxTempF1. Tato mez byla zjištěna experimentálně a představuje teplotu, které lze dosáhnout pouze s malým množstvím nebo bez kapaliny a může znamenat riziko přehřátí systému. Při jejím dosažení přejde stav do VYP a nastaví se příznak této události H1OverTemp. Tento stav je udržován dokud neuběhne čas H1_MinNatCool a zároveň nepoklesne teplota pod hodnotu H1_NatCoolTempF1.

Do stavu VYP se může automat dostat také důsledkem zvýšené hladiny v destilační baňce (LimitLevel14). Tím se omezí přísun páry a vody do baňky, aby hladina již nestoupala. Znovu zapnout lze po uplynutí doby H1_DelayTimeLL4 (H22TON), kdy je snímač odkrytý.

Po změně stavu na ZAP se maže příznak H1OverTemp, pokud byl nastaven.



Obr. 4.6: Stavový automat a logická funkce pro topné hnízdo 1

Tab. 4.5: Tabulka přechodů a podmínek - topné hnízdo 1

Přechod č.	Podmínky přechodu
1 a	příznak překročení teploty ($H1OverTemp = TRUE$), uběhla doba chladnutí $H1_MinNatCool$ a poklesla teplota pod $H1_NatCoolTempF1$
1 b	není příznak překročení teploty ($H1OverTemp = FALSE$), není překročen tlak $H1_MaxPress$ a hladina v dest. baňce je optimální po dobu $H2_DelayTimeLL4$
2 a	překročen tlak $H1_MaxPress$
2 b	zvýšená hladina v dest. baňce ($LimitLevel4 = TRUE$) po dobu $H2_TimeLL4$
2 c	překročení teploty $H1_MaxTempF1$

4.3.5 Topné hnízdo 2

Topné hnízdo 2 zajišťuje ohřev destilační směsi. Je stejného typu jako ve vyvíječi, regulace je řešena zapínáním přívodu elektřiny a pomocí pulzně šířkové modulace.

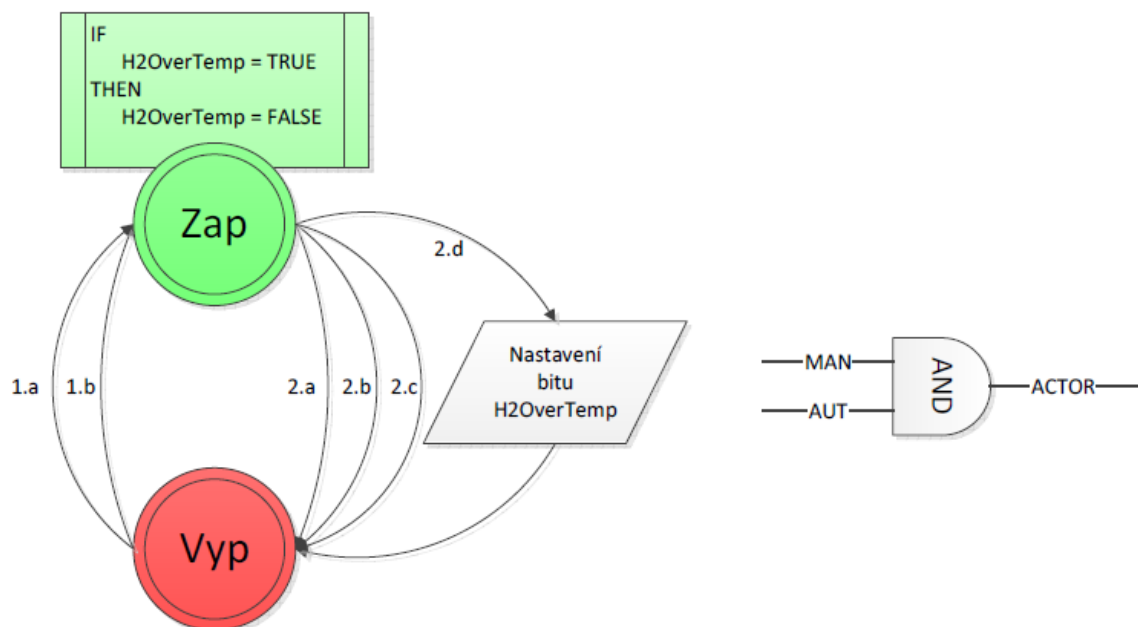
Je zde také stavový automat se dvěma stavy, které doporučují nastavení reálného stavu. Reálný stav je dán logickou funkcí AND (Tab.4.2) dvou vstupů (AUT, MAN). Doporučený stav závisí na signálech ze snímačů a aktuálním stavu kolony. Přechod mezi stavy je dán podmínkami (Tab.4.6).

Časovač H21TON a proměnná H2_MaxTempF2 řeší stav přehřátí (TEMP2r), popsany pro topné hnízdo 1 (kapitola 4.3.4). Pro tento stav je příznak H2OverTemp, čas H2_MinNatCool a teplota H2_NatCoolTempF1.

Do stavu VYP se může automat dostat také důsledkem zvýšené hladiny v destilační baňce (LimitLevel14) trvajícím minimálně dobu H2_TimeLL4 (H23TON). Znovu zapnout lze po uplynutí doby H1_DelayTimeLL4 (H22TON), kdy je snímač odkrytý.

Odlíšný přechod do stavu VYP oproti hnízdu 1 je zmenšením rozdílu teplot v obou baňkách na méně než 3°C, kdy teplota v destilační baňce by měla být nižší. Podrobně je tento problém popsán v části Testování - kapitola 5.2.

Po změně stavu na ZAP se také maže příznak H2OverTemp, pokud byl nastaven.



Obr. 4.7: Stavový automat a logická funkce pro topné hnízdo 2

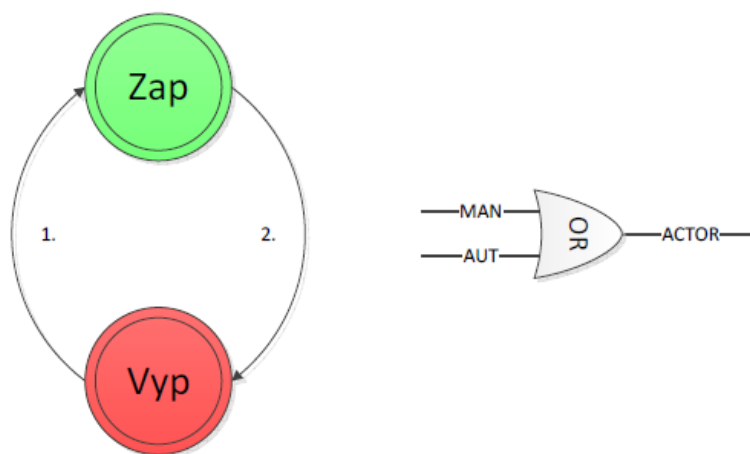
Tab. 4.6: Tabulka přechodů a podmínek - topné hnízdo 2

Přechod č.	Podmínky přechodu
1 a	příznak překročení teploty ($H20veTemp = TRUE$), uběhla doba chladnutí $H2_MinNatCool$ a poklesla teplota pod $H2_NatCoolTempF2$
1 b	není příznak překročení teploty ($H20veTemp = FALSE$), není překročen tlak $H1_MaxPress$ a hladina v dest. baňce je optimální po dobu $H2_DelayTimeLL4$
2 a	překročen tlak $H1_MaxPress$
2 b	zvýšená hladina v dest. baňce ($LimitLevel4 = TRUE$) po dobu $H2_TimeLL4$
2 c	teplota ve vyvíječi $TEMP0r$ se přiblížila k teplotě dest. baňky $TEMP2r$
2 d	překročení teploty $H2_MaxTempF2$

4.3.6 Čerpadlo chladicí kapaliny

Čerpadlo chladicí kapaliny udržuje cirkulaci v chladicím okruhu. Může pracovat dle požadavku uživatele, avšak při zapnuté lednici pracuje vynuceně.

Stavový automat (Obr.4.8) pro čerpadlo má dva stavy, které prakticky závisí na stavu lednice. Při zapnutí lednice ($FridgeState \geq 2$) se zapne i čerpadlo, aby nemohlo dojít k zamrznutí kapaliny v lednici. Vypnutí je mírně modifikováno. Po vypnutí lednice ($FridgeState = 1$ nebo 0) se rozběhne časovač ($CpTON$) a po uplynutí nastavené doby ($Cp_TimeDelayFrOff$) se vypne i čerpadlo. Pro manuální ovládání je zde použita také logika, a to hradlo OR (Tab.4.7).



Obr. 4.8: Stavový automat a logická funkce pro čerpadlo chladicí kapaliny

Tab. 4.7: Pravdivostní tabulka funkce OR

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

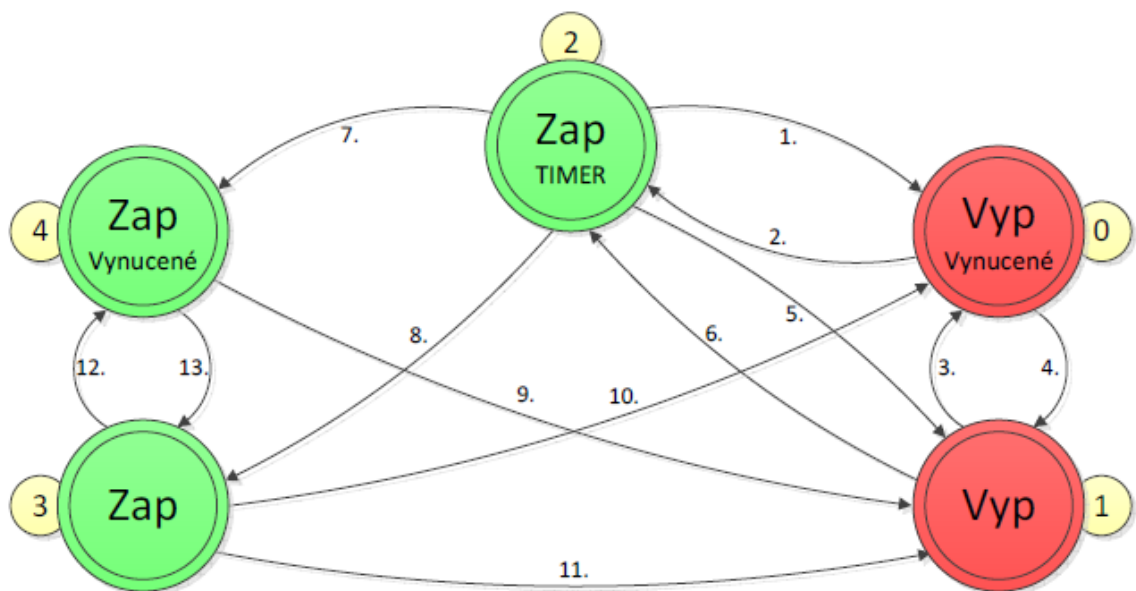
Tab. 4.8: Tabulka přechodů a podmínek - čerpadlo chladicí kapaliny

Přechod č.	Podmínky
1	běží lednice (<code>FridgeState >= 2</code>)
2	neběží lednice (<code>FridgeState = 1</code> nebo <code>0</code>) po dobu <code>Cp_TimeDelayFrOff</code>

4.3.7 Laboratorní lednice

Laboratorní lednice je z hlediska bezpečnostního software složitějším zařízením. Proto nebylo vhodné použít jednoduchý automat příp. doplněný logickou funkcí, jako v předchozích případech.

Pro zajištění bezpečného chodu byl vytvořen stavový automat (Obr.4.9) o pěti stavech. Kombinuje v sobě jak automatické, tak manuální ovládání (uživatel). Každý stav odpovídá reálnému chodu zařízení. Stav č.2 (Zap - TIMER) je stav, kdy je spuštěna lednice a odpočítává se minimální čas běhu čerpadla (`Fr_MinRunTime`). Tento stav nastává vždy při spuštění lednice, jak vynuceném, tak i zvoleném. Stavů č.0 a 4 jsou vynucené stavy. Tyto stavy nastávají v případě, že nejsou teplotní podmínky v chladicím okruhu optimální. Rozmezí přípustných teplot v okruhu je uloženo v proměnných `Fr_MaxTempCS` a `Fr_MinTempCS`. Vzhledem k tomu, že lednice musí běžet nastavenou minimální dobu (cca 15 minut), byla vytvořena ještě jedna proměnná `Fr_MinTempFrON`. Ta udává minimální teplotu, při které je možno zapnout lednici. Tato teplota byla stanovena z dat získaných během testování (Test č.6 - Obr.A.2). Je tak zaručeno, že za normálního stavu neklesne teplota pod určitou hodnotu, která by mohla poškodit zejména čerpadlo chladicí kapaliny. Stavů č.1 a 3 jsou uživatelem volené stavy. Do stavu č.3 (Zap) se systém může dostat uplynutím minimálního času běhu a požadavku zapnutého chlazení, nebo změnou teploty v okruhu mimo vynucující podmínky. Pro stav č.1 platí podobná pravidla. Je to zároveň i počáteční stav při spuštění programu.



Obr. 4.9: Stavový automat pro lednici

Tab. 4.9: Tabulka přechodů a podmínek - laboratorní lednice

Č.	Přechod	Podmínky přechodu
1	2 → 0	doběhl čas Fr_MinRunTime, teplota je nižší než Fr_MinTempCS
2	0 → 2	teplota je vyšší než Fr_MinTempFrON i Fr_MaxTempCS
2	0 → 2	teplota je vyšší než Fr_MinTempFrON, uživatel požaduje zapnutí (Man_FridgeOn = TRUE)
3	1 → 0	teplota je nižší než Fr_MinTempFrON
4	0 → 1	teplota je vyšší než Fr_MinTempFrON, nižší než Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje vypnutí (Man_FridgeOn = FALSE)
5	2 → 1	doběhl čas Fr_MinRunTime, teplota je v rozmezí Fr_MinTempCS a Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje vypnutí (Man_FridgeOn = FALSE)
6	1 → 2	teplota je vyšší než Fr_MinTempFrON, uživatel požaduje zapnutí (Man_FridgeOn = TRUE)
6	1 → 2	teplota je vyšší než Fr_MaxTempCS
7	2 → 4	doběhl čas Fr_MinRunTime, teplota je vyšší než Fr_MaxTempCS
8	2 → 3	doběhl čas Fr_MinRunTime, teplota je v rozmezí Fr_MinTempCS a Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje zapnutí (Man_FridgeOn = TRUE)
9	4 → 1	teplota je nižší než Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje vypnutí (Man_FridgeOn = FALSE)
10	3 → 0	teplota je nižší než Fr_MinTempCS
11	3 → 1	teplota je v rozmezí Fr_MinTempCS a Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje vypnutí (Man_FridgeOn = FALSE)
12	3 → 4	teplota je vyšší než Fr_MaxTempCS
13	4 → 3	teplota je nižší než Fr_MaxTempCS, uživatel požaduje zapnutí (Man_FridgeOn = TRUE)

4.4 Softwarový model

V této části je popsán softwarový model destilační kolony. Tento model byl vytvořen zejména proto, že samotná manipulace s reálným systémem může být pro nezkušené uživatele složitá. Díky modelu je možné vytvořený algoritmus či program otestovat a sledovat reakci systému, aniž by došlo k nějakým nevratným změnám na reálné soustavě. Také poslouží jako první seznámení s modelem, způsobu ovládání apod. Model samozřejmě není přesnou kopií toho reálného. Pro běžné testování vytvořených programů je však dostačující. Tento kompromis je důsledkem toho, že takto složitý proces a zejména přenos tepla mezi jednotlivými částmi a okolím není jednoduché změřit a tudíž i matematicky namodelovat a softwarově naimplementovat.

Pro softwarový model platí stejné bezpečnostní mechanismy jako pro reálný proces. Uživatel by tak prakticky neměl poznat, zda je připojen k reálnému či softwarovému modelu. Samozřejmě má ale k dispozici více parametrů oproti reálnému, jako je například volba rychlosti reakce modelu. Na druhou stranu některé události v modelu zachyceny, například události jako náhodné spínání některých senzorů (únik kapaliny, tlak ve vyvíječi).

Tento model je postaven na soustavě několika hlavních čítačů představujících základní veličiny v systému (teploty v baňkách, hladiny) a dalších pomocných, které zajišťují např. pomalejší chladnutí apod.

Generátor CLK

Základem pro dynamiku systému je generátor CLK. Jedná se o lokální časovač `Timer` typu `TON`. Časovač běží po celou dobu volby softwarového modelu. V okamžiku, kdy dosáhne nastavené hodnoty se restartuje a pokračuje od začátku. Kladný impuls trvá $300ms$ a doba periody je dána hodnotou v proměnné `A_OSM_SModelPace`. Hodnoty 1 - 5 představují doby periody 5, 3, 2, 1 a 0,5s. Pro ostatní hodnoty je časovač ve stop stavu.

Okolní teplota

Okolní teplota je uložena v proměnné `TempCurr`. Její hodnota je omezena na $10 - 45^{\circ}C$. Její počáteční hodnota je $25^{\circ}C$ a není nijak ovlivňována. Je tedy možné ji libovolně měnit.

Zásobník vody

Zásobník vody zde má dvě vlastnosti. Je to teplota a hladina. Teplota (`TempWater`) je nastavena jako interval $\langle \text{TempCurr} - 3; \text{TempCurr} + 3 \rangle$. Tudíž se posouvá s daným posunem s teplotou okolí.

Hladina je vyjádřena v %. Jedná se o CTD (`CTLevelW`), takže je po inicializaci nastaven na 100. Je provázán s čítačem hladiny baňky 1 `CTLevelF1`. V okamžiku,

kdy je spuštěno čerpadlo pro doplňování vody, se zároveň zvyšuje hladina v baňce a snižuje v zásobníku. Vodu v zásobníku lze „doplnit“ bitem `A_OSM_WaterFull`, aniž by musel být restartován celý model.

Vyvíječ páry

Hladina vyvíječe je v čítači `CTLevelF1`. Hladina je omezena na 100%. Pokud je hladina nižší, začne se zvyšovat při běžícím čerpadle `S_PumpW` a `CLK`. Musí ovšem být hladina zásobníku vody > 0 . Hladina se může i snižovat, a to v případě, že je teplota v baňce menší než 100°C a zároveň neběží čerpadlo vody. Ubývání je zpomalené pomocí čítače `CTLevelVapor`. Po deseti inkrementacích se vždy sníží hladina o 1. S hladinou v baňce je spojen také kapacitní snímač hladiny. Zde je nastaveno, že se sepne při 70% hladiny.

Teplota ve vyvíječi je na počátku nastavena na 28°C . Může nabývat hodnot $\langle \text{TempCurr} - 5; 120 \rangle$. Teplota se zvyšuje při zapnutém topidle `S_Heater1` a `CLK`. Při vypnutém topidle se pomalu teplota snižuje. Je to díky dalšímu pomocnému čítači `CTTempNC`, který vytváří pomalejší chladnutí. Je společný pro obě topidla. Nastavená hodnota čítače udává, po kolika `CLK` se sníží teplota.

Destilační baňka

Hladina v destilační baňce v modelu není zachycena. Je nastavena při inicializaci na 50% (`CTLevelF2`). Je zde pouze nastaveno, že při dosažení 90% se sepne snímač pro maximální bezpečnou hladinu v baňce. Čítač je oboustranný, takže lze s hladinou libovolně pohybovat a sledovat reakci systému.

Teplota je zde pojata podobně jako ve vyvíječi. Je také omezena na interval $\langle \text{TempCurr} - 5; 120 \rangle$. Zvyšování teploty je také závislé na zapnutém topidle 2 (`S_Heater2`). Pokud je topidlo vypnuté, snižuje se teplota stejně jako u vyvíječe. Je zde ale jedna výjimka, protože při teplotě ve vyvíječi větší než 75°C se teplota nesnižuje. I v reálném systému totiž teplo přicházející z vyvíječe udržuje teplotu v baňce.

Chladič a zásobník kapaliny

Teplota v zásobníku chladicí kapaliny je uložena v čítači `CTTempFrid`. Rozsah teplot je $\langle -10; 60 \rangle$, protože výstupní hodnota čítače je snížena o 10. Teplotu lze snižovat spuštěním lednice `S_Fridge` a čerpadla `S_PumpC`. Teplota se zvyšuje samovolně za podmínky, že je teplota v destilační baňce větší než 90°C , běží čerpadlo a neběží lednice. Teplota se zvyšuje pomaleji díky čítači `CTTempWarm` (po čtyřech `CLK`).

Teploty v chladiči jsou závislé na teplotě v zásobníku kapaliny. Pokud běží čerpadlo, je teplota na výstupu z chladiče o 4°C vyšší než v zásobníku, na vstupu je vyšší o 2°C . V případě, že čerpadlo neběží a teplota v dest. baňce je větší než 95°C ,

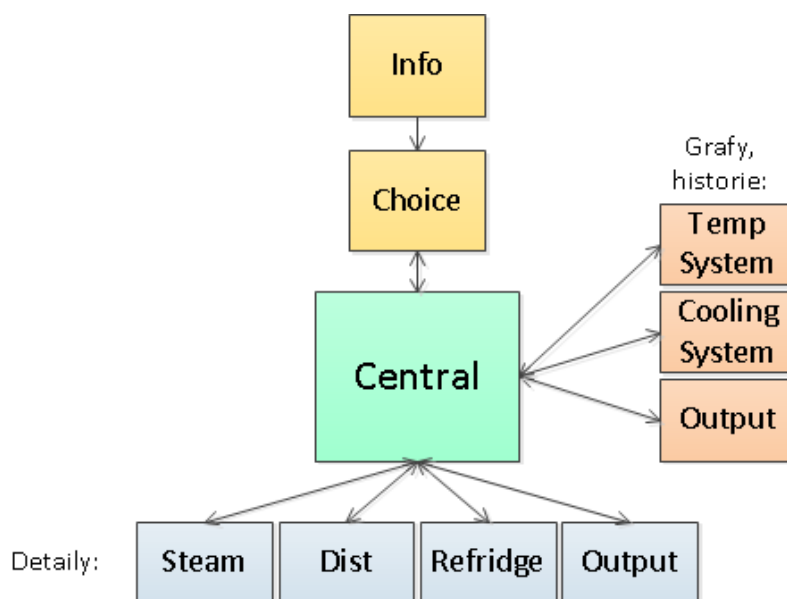
tak se začne teplota zvyšovat s CLK. Pokud je teplota v chladiči větší než v baňce i v okolí, tak bude pomaleji klesat (CTCoolerNC, po šesti CLK).

4.5 Vizualizace

Vizualizace je nedílnou součástí celé práce. Má za úkol co nejlépe zprostředkovat uživateli celý proces a zařízení. Důraz je zde kladen na jednoduchost, přehlednost a snadné a intuitivní ovládání.

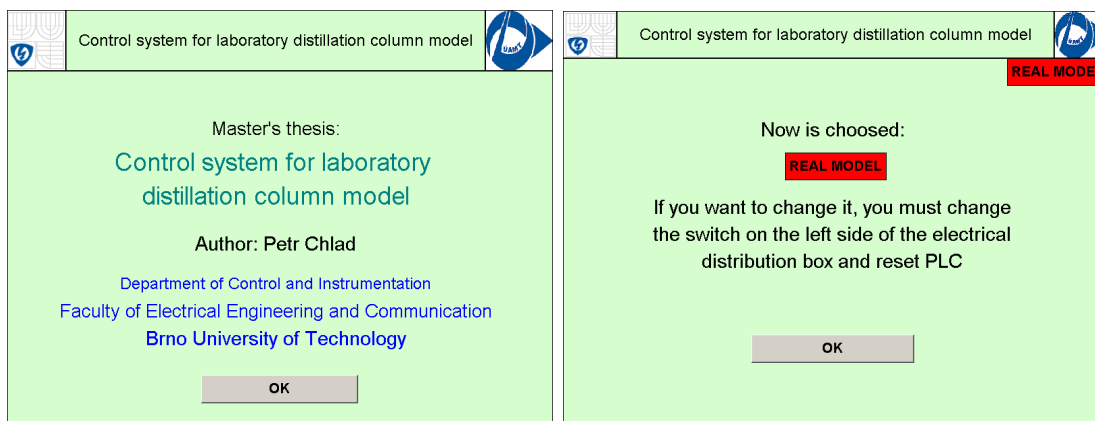
Vizualizace je rozdělena na 10 screenů. Všechny prvky vizualizace, které pracují s informacemi z procesu nebo do něj zasahují, jsou propojeny prostřednictvím vytvořeného rozhraní (4.2).

Celá struktura je nastíněna na obrázku 4.10. V horní části jsou dvě obrazovky informativního charakteru. Následuje centrální obrazovka se všemi důležitými informacemi. Z centrální obrazovky se lze podívat na graficky vyjádřená data z procesu s omezenou historií. Také lze pro lepší náhled na jednotlivé části procesu využít detailnější zobrazení s podrobnějším popisem.



Obr. 4.10: Struktura vizualizace

První obrazovka Info (obr.4.11 vlevo) slouží pouze jako informace pro uživatele. Druhá (obr.4.11 vpravo) ho již informuje o zvoleném modelu a jednoduchém postupu, jak jej změnit. Odtud se již dostane na hlavní obrazovku Central.



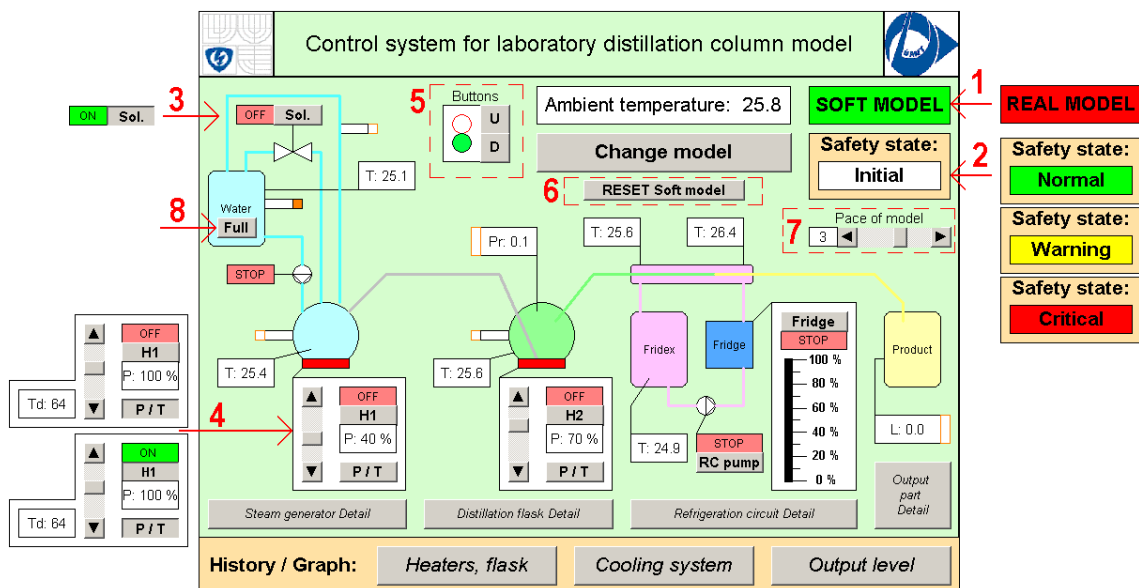
Obr. 4.11: Úvodní obrazovky - Info a Choice

Hlavní obrazovka je rozdělena na několik částí. V pravém horním rohu jsou důležité informace o zvoleném modelu a zejména o stavu, ve kterém se nachází (označení 1 a 2 obr.4.12). Také je zde zobrazena okolní teplota a tlačítko pro přechod na obrazovku s informacemi o změně modelu. Ve spodní části je panel s tlačítky odkazujícími na obrazovky s grafy a historií vybraných veličin. Převážná část plochy je zaplněna vizualizací procesu. Zobrazuje se zde aktuální stav akčních členů a tlačítka pro jejich přepnutí (např. 3). Změnou barvy polí jsou zde vyjádřeny stavy kapacitních snímačů hladiny u jednotlivých nádob. Také jsou zde vypsány aktuální hodnoty teplot, tlaku a hladiny. Pro topná hnízda je zde také tlačítko (č. 4) pro změnu zadávání buď přímo výkonu nebo žádané teploty. U lednice je navíc procentuální zobrazení doby, která zbývá do minimálního času běhu. Pod jednotlivými částmi procesu jsou tlačítka pro přechod na obrazovky, kde jsou informace a ovládací prvky zvětšeny a popsány.

Části 5 - 8 jsou prvky, které jsou viditelné pouze pro softwarový model. Číslo 5 simuluje modul s tlačítky a LED. V levé části zobrazuje stav LED, v pravé jsou tlačítka pro simulaci stisku. Tlačítko 6 umožňuje restart celého modelu. Oblast 7 obsahuje Slider a zobrazení právě navolené rychlosti modelu. Poslední část 8 je tlačítko, které při stisku nastaví hladinu v zásobníku vody na 100%.

Obrázek 4.13 je detail vyvíječe. Jsou zde stejné prvky jako na hlavní obrazovce, jsou ale zvětšeny a s popisem. Oblast 8 je pouze pro softwarový modul. Na stejné bázi jsou i obrázky s destilační baňkou (4.14), chladičím okruhem (4.15) a výstupní částí (4.16). Informace zde jsou zvětšené a s popisem a tlačítka lze použít k ovládní akčních členů jako na hlavní obrazovce.

Obrazovka pro Temperature System (obr.4.17) zobrazuje v horní části aktuální teploty v obou baňkách. Ve spodní části je aktuální signál (PWM) do topných hnízd

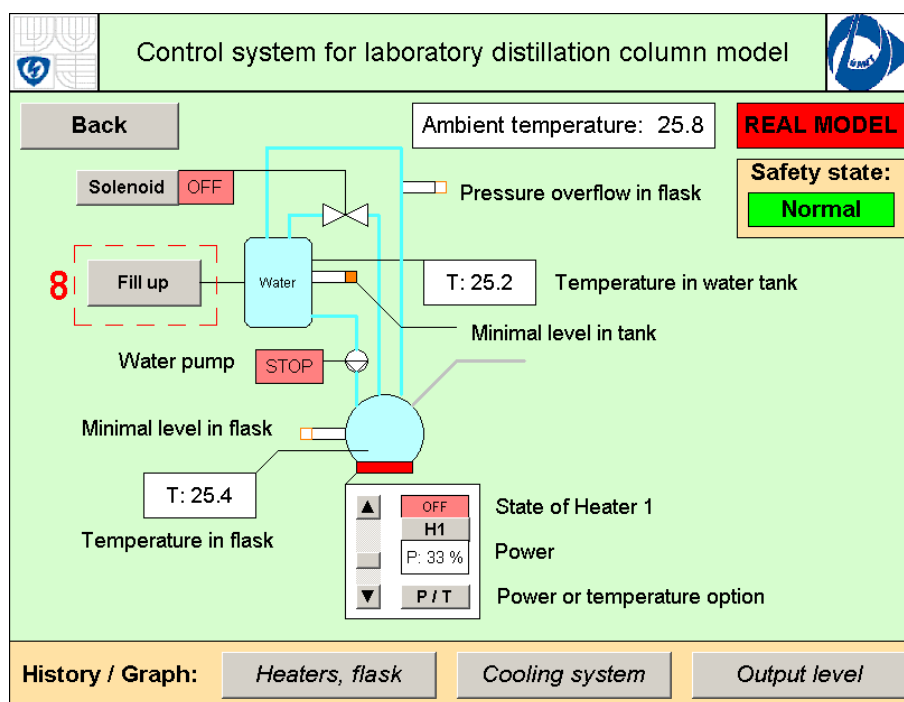


Obr. 4.12: Hlavní obrazovka vizualizace - Central

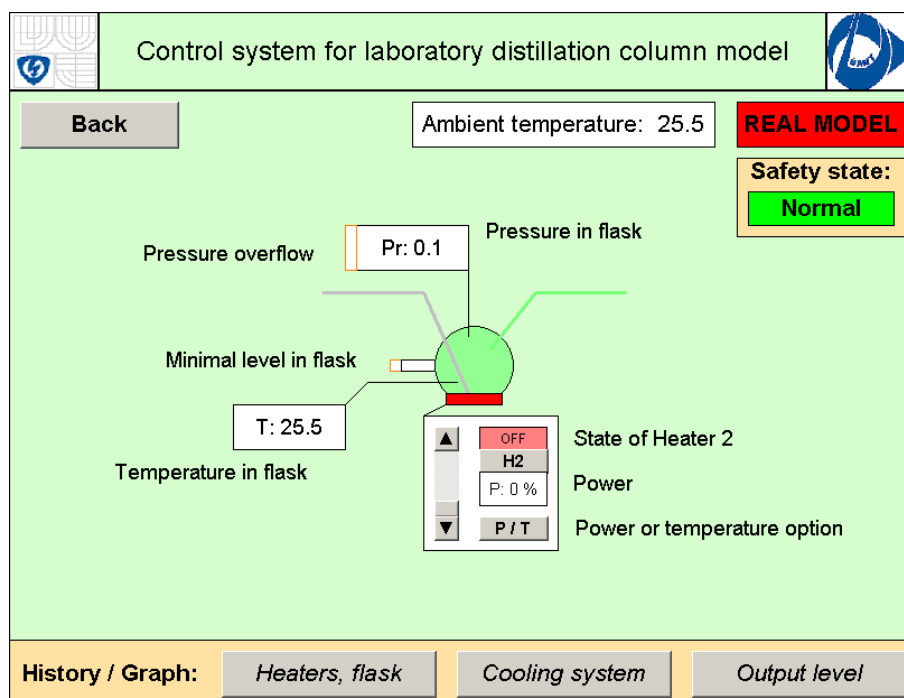
(výstup z PWM je lépe zachycen na obr.A.3). Většinu plochy zabírá trend historie teplot v baňkách, kterou lze pomocí ovládacích tlačítek přiblížit.

Následuje obrazovka 4.18 s informacemi o teplotách v chladicím okruhu. V horní části jsou rovněž aktuální hodnoty. Trend zobrazuje historii teplot v zásobníku a na chladiči, které lze také přiblížit.

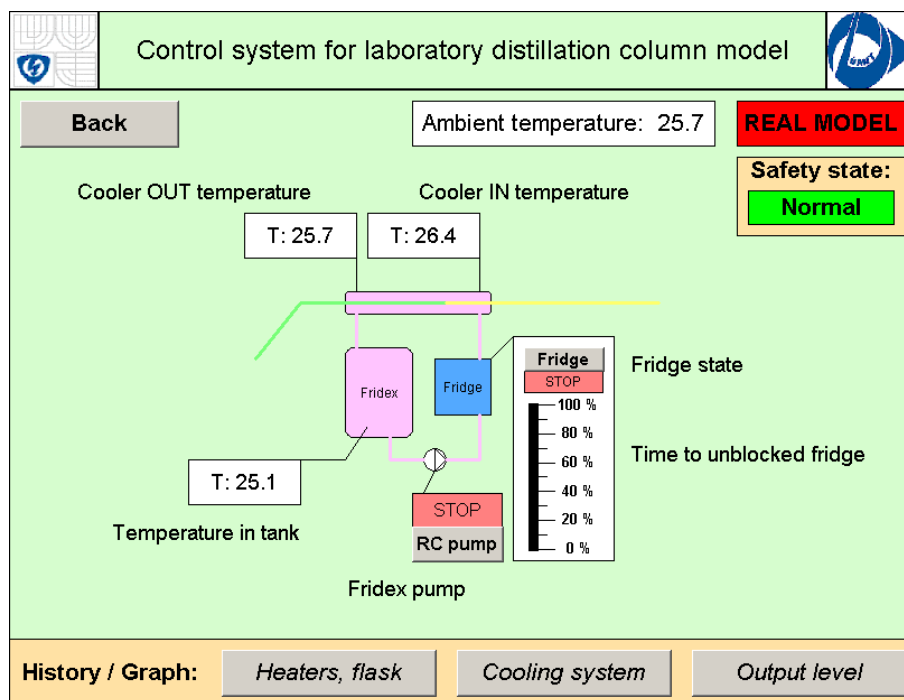
Poslední je obrazovka 4.19 s výstupní hladinou. Vypisuje se aktuální hodnota a zobrazuje historie. Zobrazení je vyjádřeno v počtu sektorů na snímači, které jsou zaplavené, protože je snímač používán pro různé nádoby a není tedy možné udělat konkrétní přepočítání na např. objemové jednotky. Uprostřed je červeně vyznačeno maximum, které snímač vyhodnotí.



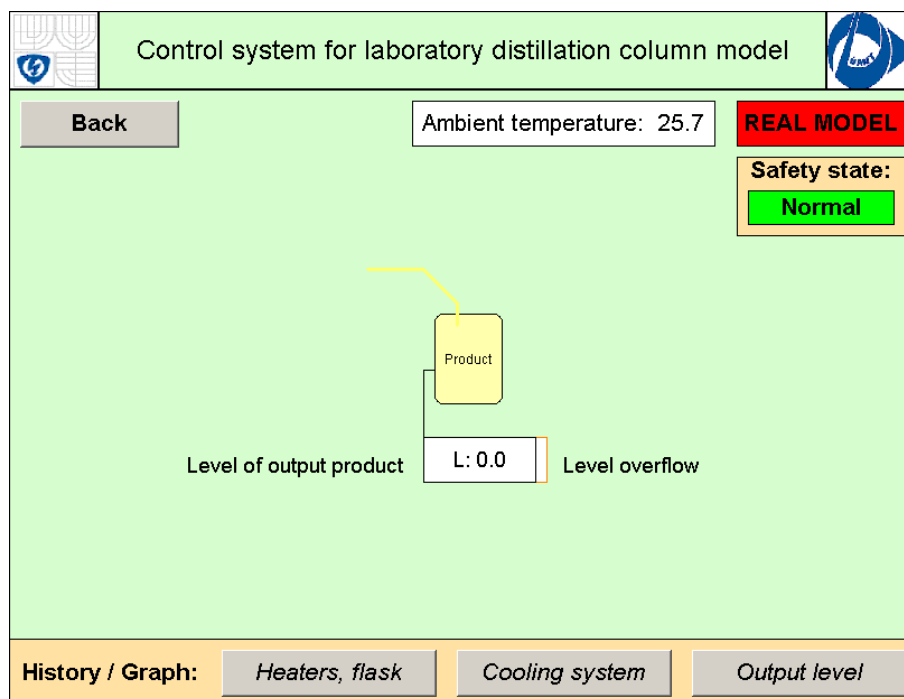
Obr. 4.13: Vytvíječ - detail Steam



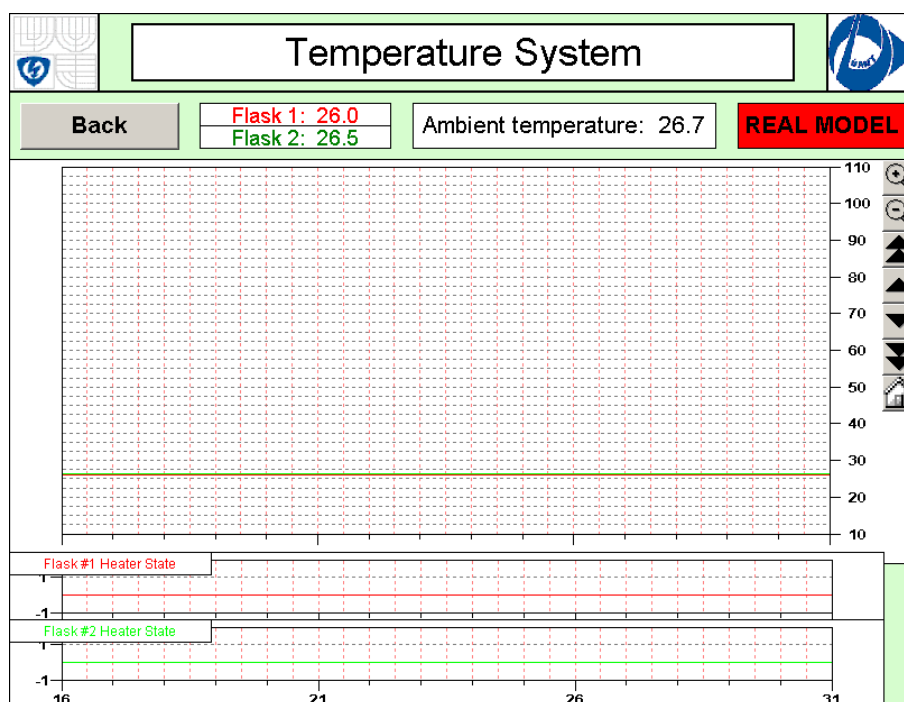
Obr. 4.14: Destilační baňka - detail Dist



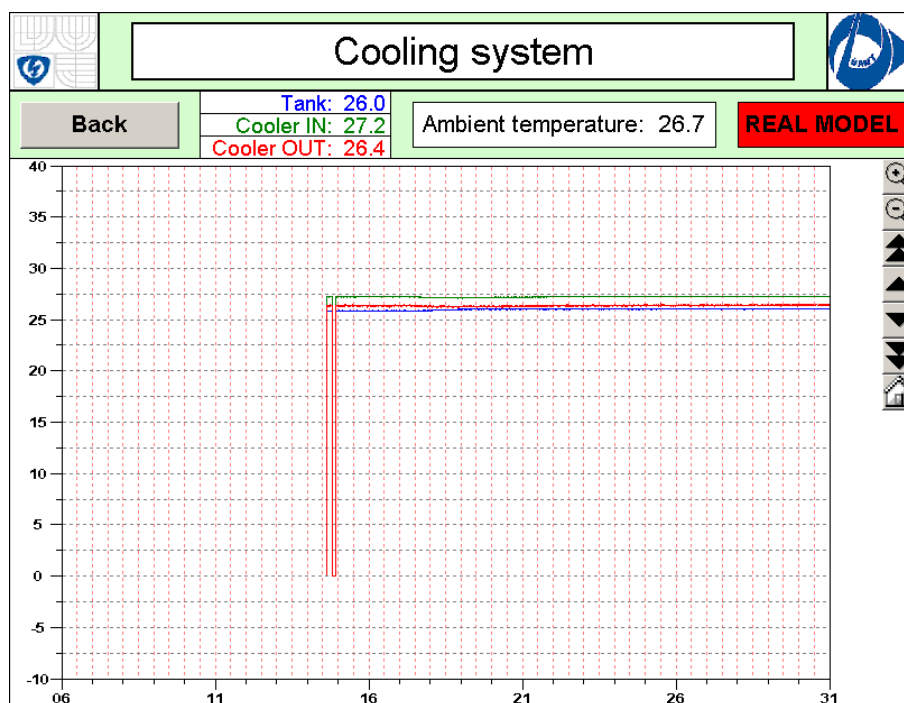
Obr. 4.15: Chladičící okruh - detail Refridge



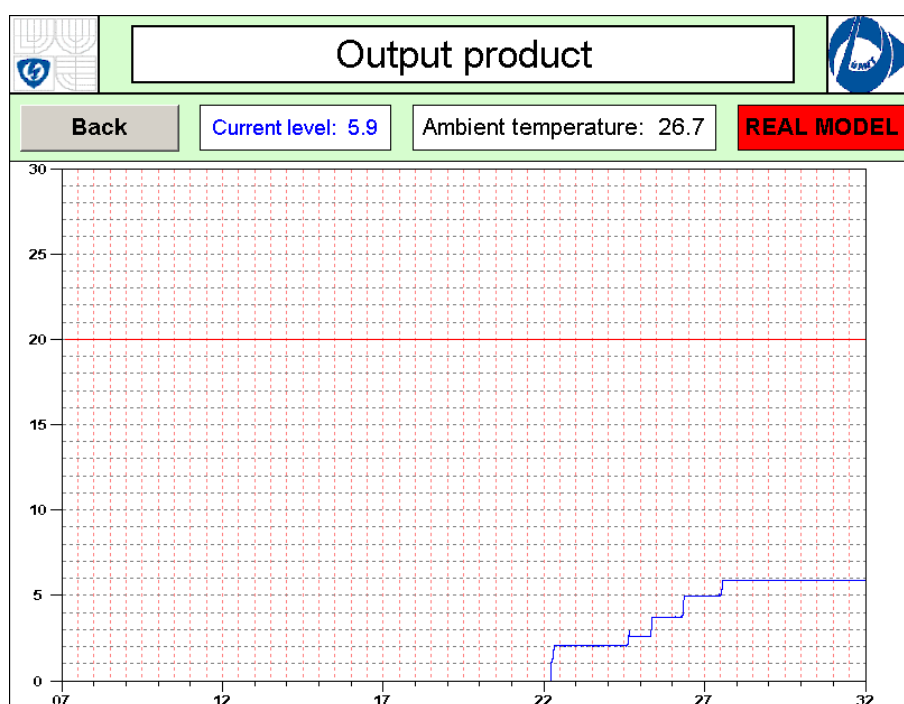
Obr. 4.16: Výstupní část - detail Output



Obr. 4.17: Zobrazení teplot a signálu do topných hnízd - TempSystem



Obr. 4.18: Zobrazení teplot v chladičím okruhu - CoolingSystem



Obr. 4.19: Zobrazení hladiny ve výstupní nádobě - Output

5 TESTOVÁNÍ

Důležitou součástí výzkumu, vývoje nových technologií či procesu tvorby nového zařízení je bezesporu praktická část. Zde jsou využity teoretické poznatky k tomu, aby mohli být potvrzeny nebo popřeny předpokládané teorie, stanoven průběh dosud neznámého procesu, získání důležitých informací z probíhající reakce apod.

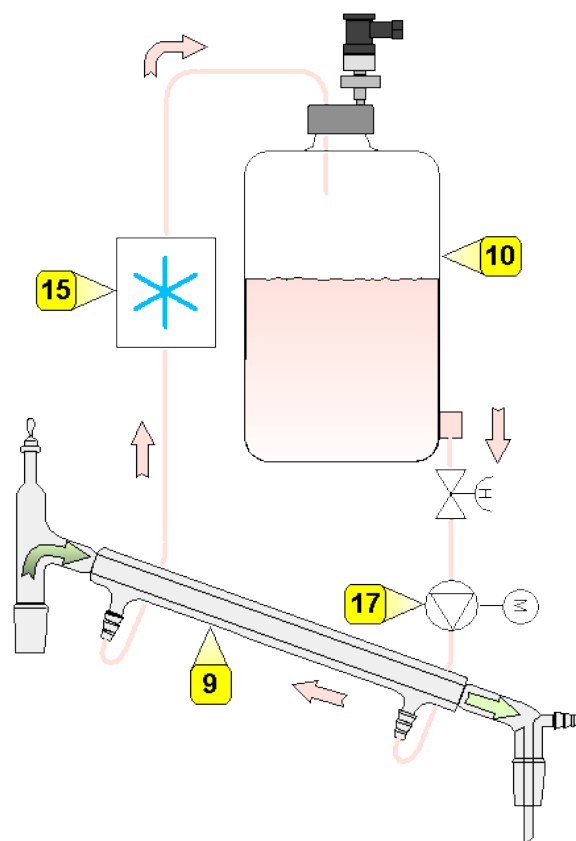
5.1 Testování dílčích částí a subsystémů

Tato část se věnuje testům, provedeným na vznikajícím zařízení. Popisuje zejména testování jednotlivých podsystémů zařízení. Tyto testy byly prováděny v různých stádiích výstavby kolony. Poznatky získané během testů byly využity pro úpravu samotné kolony z hlediska funkčnosti i bezpečnosti a pro korekci teoreticky stanovených parametrů.

5.1.1 Pokus #1 - těsnost chladicího okruhu

Tento pokus byl zaměřen na funkčnost a zejména těsnost chladicího okruhu (Obr.5.1). Cílem bylo stanovit, zda použité čerpadlo IWAKI (kapitola: 3.4.4) dostačuje pro daný okruh chladicí kapaliny. Dalším cílem bylo otestovat těsnost jednotlivých spojů a přechodů mezi částmi kolony v tomto okruhu. Pro vedení chladicí kapaliny byly použity silikonové hadice, běžně používané v chemických laboratořích a zařízeních. Z hlediska bezpečnosti byl test proveden pouze s vodou, aby nevznikly případné škody rozlítím chladicí kapaliny. Také nebylo v provozu chladicí zařízení (č.15 - Obr.5.1), aby nedošlo k zamrznutí některé části okruhu (zejména skleněné prvky), protože v době testu nebyla dokončena regulace teploty kapaliny.

Testem bylo potvrzeno, že použité čerpadlo bylo zvoleno s potřebnou rezervou parametrů. Čerpadlo (č.17 - Obr.5.1) dokáže dostatečně rychle pohánět chladicí okruh. Také bylo ověřeno, že jednotlivé spoje jsou dostatečně těsné (napojení na skleněné i plastové části). Jediným problémem se ukázala netěsnost zásobníku chladicí kapaliny (č.10 - Obr.5.1). Šlo o netěsnost kohoutu na výstupu (výpusť) z nádoby. Tento problém byl vyřešen nákupem nového zásobníku. Po několika neúspěšných pokusech o utěsnění byl kohout vyjmut a otvor zaslepen. Nádoba pak byla použita jako zásobník vody pro výrobu páry. Zde není třeba nádoba s kohoutem ve spodní části, protože použité čerpadlo Cole-Parmer (kapitola: 3.4.3) dokáže vodu nasát bez zaplavení.



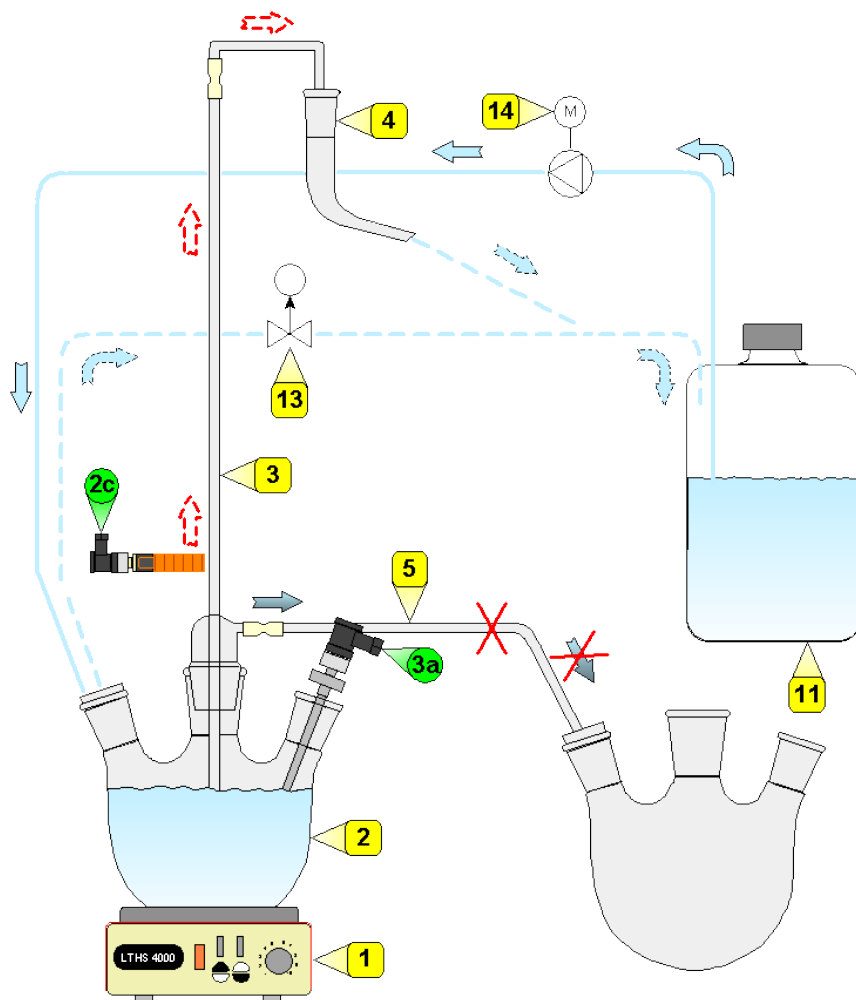
Obr. 5.1: Chladicí okruh

5.1.2 Pokus #2 - havarijní stav vyvíječe páry

Druhý experiment měl simulovat havarijní stav vyvíječe páry (Obr.5.2). V nádobě vyvíječe (č.2) jsou celkem čtyři otvory. Jedním (č.5) je odváděna pára do destilační části. V dalším otvoru je umístěn snímač teploty (č.3a). Jeden otvor je napojen přes čerpadlo na zásobník vody (č.11) pro doplňování vody na výrobu páry. Posledním otvorem vede skleněná trubička (č.3) pro odvod případného přetlaku.

Experiment simuloval stav, kdy bude neúmyslně ucpaný odvod páry (č.5). Ve vyvíječi tak bude vzrůstat tlak a bylo nutné stanovit, jakým způsobem bude aparatura reagovat na tento stav. Předpokládané vytlačení vody již zmíněným odvodem při přetlaku bylo zabezpečeno instalací odvodu vody (č.4) do zvláštní nádoby, aby horká voda nepoškodila elektrické komponenty a vedení. Skleněná trubice (č.3) pro odvod při přetlaku sahá téměř na dno vyvíječe a vystupuje několik desítek centimetrů nad kolonu. Odvod je v horní části přerušen (č.4), aby „samospádem“ nedošlo k odčerpání veškeré vody z vyvíječe. Toto opatření se ukázalo jako velmi vhodné, avšak nedostačující. I v případě, že při vystoupání vody na nejvyšší bod trubice byl ihned vypnut ohřev vody, byla setrvačnost celé soustavy velmi dlouhá a tlak ve vyvíječi stále stoupal. Následkem toho se rychlost odtoku vody zvyšovala, odvod ji

nestačil odvádět a docházelo k rozlévání vody. Při několika pokusech došlo také k uvolnění částí skleněné aparatury. To bylo důsledkem vyššího tlaku a nedostatečné pevnosti spojů.



Obr. 5.2: Vyvíječ páry v havarijním stavu

Tímto experimentem byly získány velice cenné informace o chování vyvíječe páry při havarijním stavu. Z těchto informací bylo vyvozeno několik nutných opatření:

1. Na trubici pro odvod vody při přetlaku je vhodné umístit limitní snímač hladiny (č.2c). Snímač musí být umístěn v nejnižším možném bodě trubice, avšak v dostatečné vzdálenosti od horní části vyvíječe, aby nereagoval na kapky vznikající kondenzací páry. Tak dojde k vypnutí ohřevu vody v relativně krátkém čase po nárůstu tlaku.
2. Vzhledem k velké setrvačnosti soustavy může být i opatření z bodu 1 nedostatečné. Proto by bylo vhodné do zaslepeného otvoru vyvíječe umístit elektrický

ventil (solenoid - č.13), který by se po určité době od signálu ze snímače (bod 1) otevřel (na omezenou dobu) a uvolnil tak vzniklý přetlak v nádobě.

5.1.3 Pokus #3 - doplňování vyvíječe páry

Tento test byl zaměřen na čerpání vody ze zásobníku do vyvíječe páry čerpadlem Cole-Parmer (kapitola: 3.4.3). Čerpadlo je připojeno na motor s převodovkou pro menší otáčky. Předpoklad byl, že čerpadlo díky speciálnímu mechanickému systému pro uchycení hadičky dokáže nasát vodu ze zásobníku, aniž by bylo nutné mít v hadičce vodu. Samotné čerpadlo je umístěno pod zásobníkem s vodou.

Tento předpoklad se ale nepotvrdil. Také byl pokus proveden s hadičkou plnou vody, ale i tak čerpadlo není schopné udržet vodu v hadičce. Vyčerpalo vždy jen vodu, která byla před ním ve směru průtoku. Tyto problémy byly způsobeny tím, že v této soustavě je vývod v horní části baňky č.1. Zásobník s vodou je pod jeho úrovní. I při vypnutém čerpadle jím prochází vzduch a voda uniká samospádem zpět.

Po konzultaci s dodavatelem čerpadla bylo potvrzeno, že je toto čerpadlo schopno nasát vodu i z několika metrů. Proto byla hledána příčina nefunkčnosti. Jako možná příčina byla shledána mírná netěsnost na přechodech mezi hadicí a skleněnou trubkou. Tyto přechody jsou nutné pro napojení různých druhů a průměrů hadiček.

5.1.4 Pokus #4 - test elektroinstalace a komponent

Na kolonu byla osazeny veškeré senzory, akční členy a rozvody. Byl kompletně sestaven a zapojen rozváděč. Bylo tedy nutné ověřit funkčnost. Test byl zaměřen na funkčnost jednotlivých zařízení, správnost získaných dat z procesu a ovládání akčních členů.

Již na počátku se objevil první problém. Při zapínání jednotlivých částí došlo ke shození jističe v laboratoři. Ukázalo se, že to bylo způsobeno zapnutím tří oddělovacích transformátorů současně. Při předchozím zapínání se toto nestalo, ale pravděpodobně to bylo tím, že v laboratoři nebyla v tu chvíli výuka a neběželo tak dalších 8 PC.

V první části byly ověřeny všechny adresy senzorů a správnost naměřených hodnot. V průběhu se nevyskytla žádná chyba. V další části byly spínány jednotlivé akční členy (topná hnízda, lednice, čerpadla). Téměř všechny členy byly zapnuty bez problémů. Pouze při spínání čerpadla č.2 (kapitola: 3.4.3) došlo k restartu PLC. Bylo to způsobeno velkým odběrem při rozběhu motoru, protože čerpadla i zařízení

v rozváděči včetně PLC byly připojeny na jeden zdroj. Následně nebylo možné zařízení spínat a musel být proveden restart zařízení. Toto lze řešit výměnou zdroje za silnější nebo přidáním dalšího zdroje pouze pro čerpadla.

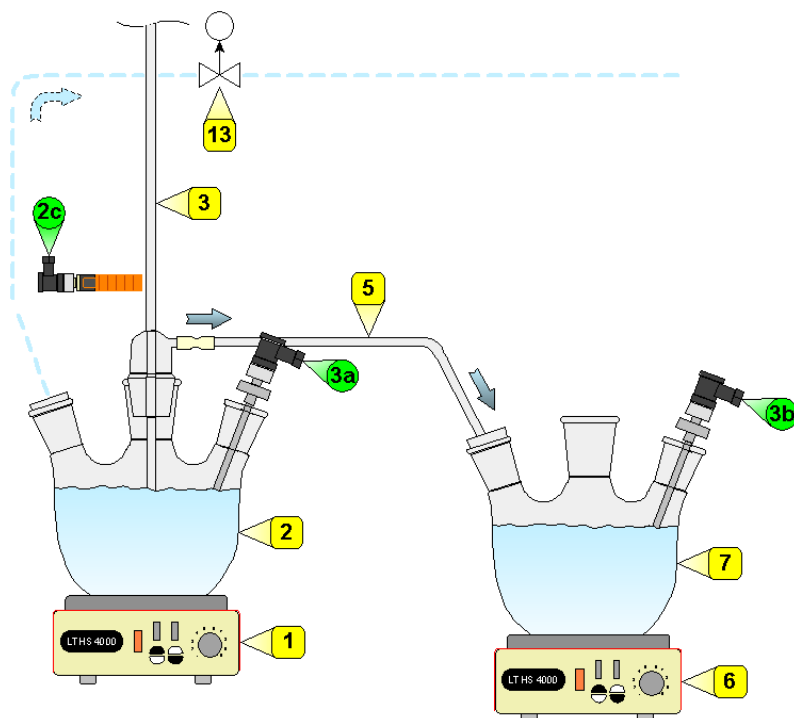
Výstupem tohoto testu jsou následující doporučení a závěry:

1. Z důvodu výpadku napájení při zapnutí transformátorů je doporučeno zapínat je postupně s krátkou pauzou.
2. Do rozváděče bude přidán zdroj 24 V_{DC} separátně pro čerpadla.

5.1.5 Pokus #5 - výroba páry ve vyvíječi

Po otestování různých systémů přišel na řadu i vyvíječ páry z pohledu jeho primární funkce. Cílem bylo získat jeho přibližný výkon. Výkonem vyvíječe je myšleno množství vyrobené páry za jednotku času.

Na obrázku Obr.5.3 je zobrazena část aparatury, která byla použita pro tento test. Topné hnízdo (číslo 1) a baňka (č. 2) tvoří hlavní část vyvíječe. Pomocí prvků 3 a 5 je pára odváděna do destilační baňky (č. 7). Snímači 3a a 3b je zaznamenávána teplota během testu (záznam části průběhu testu viz A.1). Snímač 2c a solenoid (č. 13) jsou zde pouze z bezpečnostních důvodů.



Obr. 5.3: Část aparatury pro výrobu páry

Z důvodu prakticky nulových zkušeností s měřením tohoto druhu byl původní návrh měření následující:

1. pro měření budou použity obě baňky, vyvíječ a destilační baňka, která bude sloužit jako výstupní prvek měření,
2. po celou dobu měření bude topné hnízdo pro výstupní baňku vypnuté, baňka bude naplněna definovaným množstvím vody (2500 ml),
3. vyvíječ bude spuštěn na plný výkon dokud nedosáhne teplota v baňce požadované hodnoty (100°C),
4. po dosažení této teploty bude snížen výkon na přibližně 70 - 80 % a udržována konstantní teplota,
5. v tomto stavu bude kolona ponechána několik minut, aby odezněly přechodové děje,
6. ve chvíli, kdy bude možné prohlásit stav za ustálený, začne samotné měření,
7. po definovanou dobu bude otevřen přívod páry do výstupní baňky, tato doba byla předběžně stanovena na 5 min., pára bude probublávat do výstupní baňky a z kondenzuje vlivem podstatně nižší teploty vody,
8. to uplynutí této doby bude přívod páry uzavřen a vyvíječ vypnut,
9. následně bude změřena hladina ve výstupní baňce,
10. rozdílem počáteční a konečné hodnoty bude získáno množství vyrobené páry, to bude následně přepočteno na jednotku času, čímž dostaneme výsledný výkon vyvíječe.

Tento postup musel být modifikován. Bod 4 nebyl možný, protože i zvýšení výkonu na 90 % nebylo dostačující. Proto vyvíječ pracoval na 100 % a vypínání obstarával interní termostat v topném hnízdě. Také bod 7 byl upraven, předběžně stanovená doba 5 min. byla nedostatečná, protože zvýšení hladiny ve výstupní baňce nebylo příliš viditelné. Doba měření byla tedy prodloužena na 15 minut.

Výstupem z tohoto testu byly následující hodnoty:
počáteční množství vody v destilační baňce 2500 ml,
konečné množství vody v destilační baňce 2625 ml,
doba měření 15 min.,
výsledek měření: 125 ml/15 min. \implies 8,3 ml/min.

Výsledek měření není možné prohlásit za přesný s určitou chybou. Je to dáno podmínkami při měření, kde nejsme schopni určit, kolik páry uniklo netěsností aparatury. Množství vody bylo určováno cejchovanou chemickou nádobou. Jiné měření nebylo možné, protože baňka není cejchována. Snímač hladiny není možné do baňky umístit, zejména proto, že jsou všechny vývody obsazené. Chyba měření mohla ovlivnit výsledek i při přelévání vody do odměrné nádoby. Také odečítání hladiny bylo prováděno pouze vizuálně.

Orientační představa o množství páry, které je možné vyrobit za určitou dobu, byla získána. Pro účely tohoto projektu to postačuje. Pokud budou požadavky na přesnost měření vyšší než v současné době, bude nutno postup měření, metodu a způsob odečtení výsledků modifikovat.

5.1.6 Pokus #6 - funkce chladicího okruhu

Šestáým pokusem byla získána charakteristika chladicího okruhu. Test měl ukázat, jaké vlastnosti má okruh, zejména výkonnost chladicího zařízení a průběh poklesu teploty při zapnutém čerpadle. Důležité je zmínit, že test probíhal za „ideálního“ stavu, kdy nebyl chladič zevnitř zahříván procházející párou.

Pro tento test byla v serverovém programu vytvořena jednoduchá vizualizace. Zobrazovala průběh teploty v rozsahu 30 až $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ v závislosti na čase. Test byl spuštěn zapnutím čerpadla a po 5 s bylo spuštěno chladicí zařízení. Pomocí zobrazovacího objektu byl vykreslován průběh teploty. Test trval přibližně 20 minut. Je to z toho důvodu, že od výrobce je doporučeno spouštět chladicí zařízení na nejméně 15 minut. Je to vyžadováno použitou technologií a nedodržení by mohlo způsobit závažnou poruchu.

Výstupem z testu je následující průběh na Obr.A.2. Je z něj zřejmé, že chladicí zařízení má dostatečný výkon a teplota klesá poměrně rychle. S klesající teplotou se strmost křivky snižuje, je to dáno zvyšujícím se rozdílem teploty okolí a kapaliny v zásobníku.

5.2 Testování kompletního procesu destilace

Po otestování hlavních částí a důležitých prvků bylo možné přistoupit ke kompletnímu testu. Kompletní testy jsou zaměřeny na celkové chování systému, zjištění vhodného nastavení parametrů a závislostí a vzájemného působení jednotlivých částí.

5.2.1 Pokus #1

Tento test byl zaměřen na optimální nastavení parametrů z hlediska funkčnosti a rychlosti produkce výstupního produktu. Důležitou podmínkou spuštění testu byla z velké části hotová bezpečnostní část software, která „dohlíží“ na průběh destilace. Software nebyl kompletní, ale jeho nejdůležitější a nejkritičtější části byly hotové.

Výstupem z tohoto testu je vyhodnocení samotného procesu destilace. Není zde nijak řešen náběh procesu, který nemá potřebnou vypovídací schopnost. Doba náběhu procesu a jeho průběh je ovlivněn množstvím a teplotou kapalin v aparatuře a aktuálně spuštěnými zařízeními. Také zde působí vliv okolních podmínek, zejména okolní teplota.

Samotnému zahájení testu předcházela přípravná fáze tj. spuštění všech dílčích systémů, napájecích zdrojů a transformátorů. Poté byla zapnuta topná hnízda na maximální výkon. Celý systém má poměrně velké dopravní zpoždění, což je dáno rychlostí přenosu tepla z topidel na kapaliny. Pro start tohoto pokusu bylo třeba dosáhnout teplot přibližně na hranici $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ v destilační baňce a přes $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve vyvíječi, aby začal produkovat dostatečné množství páry. Náběh systému do zmíněného dosažení teplot trval přibližně 15-20 minut. Tato doba je samozřejmě při teplotě kapalin v aparatuře na úrovni pokojové teploty.

Po najetí do požadovaného stavu bylo možné spustit samotný test. Nejprve bylo třeba dosáhnout požadovaného množství páry generovaného vyvíječem. To bylo odhadnuto vizuálně. V destilační baňce byla teplota požadovaná teplota nastavena stejně jako ve vyvíječi. To se postupem času ukázalo jako nevhodné. Vyrovnaním teplot dochází totiž i k vyrovnáním tlaků a generovaná pára vstupuje v menším množství do destilační baňky. Úbytek páry na výstupu z vyvíječe se projeví zvýšením tlaku ve vyvíječi a dochází tak k občasnému otevírání bezpečnostního solenoidu. Ze systému proto odchází část vyrobené páry. Jako optimální se ukázalo udržovat teplotu v destilační baňce o několik stupňů nižší (cca $3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Jak je vidět z příloženého průběhu A.3, v destilační baňce není třeba topit takovým výkonem jako ve vyvíječi, protože horká pára zároveň ohřívá směs v baňce.

Ve stavu, kdy udržujeme stabilní množství generované páry a teploty na optimálních hodnotách, začne se ustalovat i množství obohacené páry na výstupu. To se projeví až na množství výstupní kapaliny, protože množství páry nejsme schopni měřit. Projeví se to ale i na značném narůstání teploty kapaliny v chladicím okruhu (při spuštěném čerpadle okruhu).

Teplota v chladicím okruhu je problematictější. Regulace není příliš optimální a přesná. Je to dáno zejména proto, že lednice musí běžet poměrně dlouhou dobu. Proto lze dosáhnout jen kolísání teploty A.4. Kritická je maximální a minimální teplota v okruhu, daná omezením teplotního rozsahu média v čerpadle a lednici. Z těchto omezení a kombinace stavů byly odvozeny následující teploty: maximální teplota v okruhu je $36\text{ }^{\circ}\text{C}$, minimální teplota v okruhu $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a minimální teplota pro spuštění lednice je $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bezpečnostní software tyto mezní stavy hlídá, takže poškození nesprávnou regulací nehrozí.

Jako závěr z tohoto testu byly sestaveny následující poznámky:

1. při použití reálného modelu je nutno počítat s náběhem procesu do provozních podmínek za přibližně 15-20 minut,
2. teplota v destilační baňce by měla být nižší než ve vyvíječi (doporučený rozdíl $3\text{ }^{\circ}\text{C}$),
3. rychlost a množství výroby výstupního produktu závisí na množství páry generované vyvíječem a na rozdílu teplot v obou baňkách, příliš nízká teplota v destilační baňce způsobí, že pára zkondenzuje ochlazením při průchodu destilační kapalinou,
4. v chladičím okruhu je přípustný rozsah teplot od -5 do $36\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž minimální teplota pro spuštění chlazení je $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, což bylo stanoveno experimentálně jako důsledek minimální doby běhu lednice 15 minut.

5.2.2 Pokus #2

Test číslo 2 byl již testem funkce destilační kolony z pohledu chemie. Z tohoto pohledu to byl první test, který již neřešil technologii, ale produkci celého zařízení. Cílem byla snaha prokázat správnou funkci kolony a vyselektovat z přírodní suroviny požadovanou silici.

Po zvážení možných surovin obsahujících silici v dostatečném množství, byla vybrána jako surovina pomerančová kůra. Tato surovina byla vybrána zejména také pro svou relativně nízkou pořizovací cenu.

Test probíhal podle standardního postupu. Před testem byla destilační baňka naplněna přibližně do poloviny pomerančovou kůrou a zalita destilovanou vodou. Destilovaná voda zde byla použita proto, aby test nebyl ovlivněn dalšími látkami z pitné vody, zejména vodní kámen, který se začal usazovat na stěnách obou baněk. Ve vyvíječi byla použita běžná pitná voda jako v předchozích případech. Do výstupní části byl také zakomponován separátor. Je to z toho důvodu, že při destilaci se společně se separovanou látkou dostává do výstupní části poměrně velké množství vody oproti požadované látce. S touto změnou je možné upouštět vodu ve spodní části, přičemž olej se hromadí na hladině.

Test byl spuštěn ohřevem obsahu obou baněk. Po ustálení celého systému byla ve vyvíječi udržována teplota v rozmezí 103 až $104\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota v destilační baňce byla udržována na teplotě $98,5$ až $99,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průběh testu není podstatné popisovat. Pouze je vhodné zmínit, že teploty byly udržovány ve stanovených rozmezích, přibližně při $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl spuštěn chladičím okruh a vypínán při $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Přibližně po 30-ti minutách bylo již patrné ve výstupním separátoru vrstva oleje na vodní hladině. Po 3 hodinách byl test ukončen. Bylo vyprodukováno relativně

malé množství silice, několik mililitrů.

Z tohoto testu je možné vyvodit následující poznatky. Ukázalo se jako velmi vhodné využít ve výstupní části separátor, který usnadňuje průběh destilace. Zejména tedy v případě, že produkce silice je řádově nižší oproti množství vody, která se dostává společně na výstup. Dále je třeba zvolit surovinu s větším obsahem silice, aby bylo možné získat více výstupního produktu.

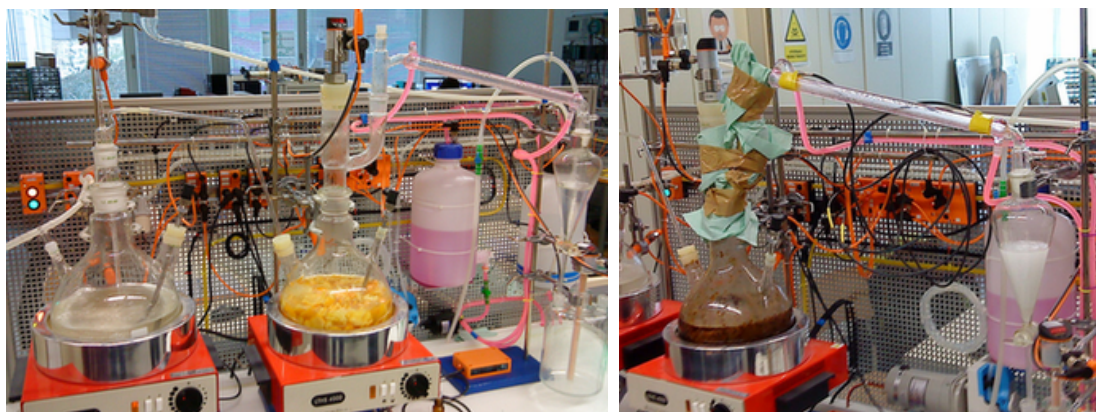
5.2.3 Pokus #3

Třetí test celé destilační kolony byl zároveň poslední z testů produkce zařízení. Po testu s pomerančovou kůrou bylo možné s jistotou vyzkoušet kvalitnější surovinu. Nehrozilo zbytečné znehodnocení suroviny bez dosaženého výsledku.

Jako surovina byl vybrán hřebíček (celý). Aby bylo snazší z něj získat silici, byl nejprve rozdrčen. Přibližně 0,5kg bylo poté vsypáno do destilační baňky a zalito destilovanou vodou. Po připravení celého zařízení byla zahájena destilace.

Průběh destilace byl totožný s oběma předchozími testy. Během testu byla také vyzkoušena provizorní tepelná izolace (obr.5.4). To mělo za následek výrazné zvýšení produkce na výstupu.

Výstupem z testu je poměrně velké množství kapaliny obsahující viditelné stopy silice. Silice je ale více rozptýlena v celém objemu a nelze ji jednoduše oddělit od zbytku jako u silice z pomerančové kůry. Pro oddělení tedy bude následovat další postup již za pomoci kolegů z Chemické fakulty.



Obr. 5.4: Foto z destilace pomerančové kůry a hřebíčku

6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je vyústěním předchozích semestrálních projektů. Využívá získaných poznatků a pokračuje ve vývoji zařízení a jeho dokončení. Také popisuje vzniklý software a testování funkce celého systému.

Z poznatků získaných v teoretické části byl vytvořen reálný model destilační kolony. Bylo navrženo osazení modelu jednotlivými senzory a akčními členy a následně výběr vhodných modelů. Tento proces probíhal postupně a průběžně se objevovaly problémy, kvůli kterým bylo nutné původní návrh modifikovat. Bylo to zejména z bezpečnostních důvodů. Pro komunikaci a sběr dat z procesu byla implementována AS-i sběrnice. Kompletní elektronika byla svedena do jednoho rozváděče.

Dále byl řešen software pro práci s modelem. Byl definován postup volby modelu, se kterým uživatel pracuje. Dále bylo vytvořeno rozhraní pro práci s modelem. Rozhraní bylo navrženo tak, aby bylo co nejvíce univerzální a bylo možné přes něj ovládat model různými druhy řídicích algoritmů apod. Z opačného pohledu byla i snaha, aby bylo možné fyzický model nahradit i různými softwarovými. Nejdůležitější částí bylo zajištění bezpečného provozu. Nejprve předcházela analýza rizik a možných stavů, do kterých se zařízení může dostat. Poté návrh řešení, které je již popsáno ve 4. kapitole. Bezpečnostní software prošel postupným vývojem a modifikacemi. Zejména to bylo způsobeno novými poznatky a problémy, které se objevily během průběžného testování. Další částí softwaru byla snaha vytvořit softwarový model destilační kolony, kde by bylo možné vyzkoušet si práci se zařízením ještě před připojením na reálný model. Model je jednoduchý a neklade si za cíl věrohodně kopírovat chování zařízení. Pro počáteční vyzkoušení si práce se zařízením nebo jednoduché testování řídicích algoritmů je ale dostačující. Poslední oblastí software bylo vytvoření vizualizace celého procesu. Nejprve byla navržena struktura vizualizace a poté jednotlivé části. Vizualizace je pojata jednoduše a přehledně, aby uživateli předala co nejvíce potřebných informací. Byla vytvořena celková přehledová obrazovka, z níž lze přejít do detailů jednotlivých technologických částí s podrobným popisem a na grafické zobrazení dat z procesu.

V poslední části je popsána fáze testování. Testovány byly jak části zařízení a jejich funkce samostatně, tak i funkce celého modelu. Z každého testu byly získány důležité poznatky, které byly využity pro další vývoj modelu. Na závěr byla testována i schopnost produkce celého zařízení. Nejprve s pomerančovou kůrou, jakožto levnou dostupnou surovinou pro testování. V okamžiku, kdy byla potvrzena funkčnost a schopnost produkce celého zařízení, byl vybrán hřebíček jako kvalitnější surovina. Následně byla získána předestilovaná kapalina s obsahem silice z hřebíčku.

Pro separaci čisté silice hřebíčku je ještě potřeba několik chemických operací, které budou provedeny dodatečně ve spolupráci s Fakultou chemickou.

Na závěr je odhad dalšího vývoje a práce na vzniklém zařízení. Z pohledu fyzického modelu pravděpodobně není velká perspektiva rozvoje. Největší potenciál by mohl být v softwaru. Nabízí se možnost pracovat na kvalitním softwarovém modelu, který bude daleko lépe kopírovat chování reálného zařízení. Ale hlavní využití zařízení do budoucnosti by mohlo být v oblasti řídicích algoritmů. Jak z pohledu regulace jednotlivých veličin, tak z pohledu řízení celého procesu.

LITERATURA

- [1] CHURÁČEK, J., et al. *Analytická separace látek*
1990, SNTL Praha
- [2] FRATZSCHER, W., et al. *Energetická analýza destilace, sorpce a extrakce*
1987, SNTL Praha, přeložil Hanuš Steidl
- [3] HASAL, P., SCHREIBER, I., ŠNITA, D., et al. *Chemické inženýrství I*
2007, VŠCHT Praha
- [4] FELBER, W. *Laboratorní technika pro provozní chemiky a laboranty*
1971, SNTL Praha
- [5] HENGSTEBECK, R. J. *Destilace - Teoretické základy a návrh provozního za-
řízení*
1966, SNTL Praha
- [6] IFM Electronic *Datový list PI2956* [online]. 11-2005 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!PI2956.html>>.
- [7] IFM Electronic *Datový list TT2181* [online]. 12-2008 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!TT2181.html>>.
- [8] IFM Electronic *Datový list KG5065* [online]. 11-2010 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!KG5065.html>>.
- [9] IFM Electronic *Datový list LK3122* [online]. 10-2011 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!LK3122.html>>.
- [10] IFM Electronic *Datový list E43100* [online]. 09-2003 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!E43100.html>>.
- [11] IFM Electronic *Datový list KD5023* [online]. 12-2008 [cit. 2011-12-20]
<<http://ifm.com/ifmcz/web/dsfs!KD5023.html>>.
- [12] Iwaki America Inc. *RD series direct drive pump - Instruction manual* [online].
11-2009 [cit. 2011-12-20]
<http://www.iwakiamerica.com/Literature/RD/180286_RDmanual.pdf>.
- [13] Cole-Parmer *Datový list L/S DC-Powered drives* [online]. [cit. 2011-12-20]
<<http://www.coleparmer.com/Virtual-Catalog/I/1246>>.

- [14] Cole-Parmer *MasterFlex L/S Easy-Load 3 pump heads - Operating manual* [online]. A-1299-5093 Edition 05 [cit. 2011-12-20]
<http://www.coleparmer.com/Assets/manual_pdfs/77800-50,-52,-60,-62.pdf>.
- [15] Brněnská Drutěva výrobní družstvo *Laboratorní topná hnízda LTHS* [online]. [cit. 2011-12-20]
<<http://www.druteva.cz/vyroba-sluzby/laboratorni-topna-hnizda-topne-pasy/laboratorni-topna-hnizda-lths>>.
- [16] PolyScience *Katalog* [online]. 05-2006 [cit. 2011-12-20]
<http://www.laboplus.pl/images/stories/katalogi/Circulator_Catalog.pdf>.
- [17] Takasago Electric Inc. *Datový list PK-0802-NO* [online]. [cit. 2011-12-20]
<<http://www.takasago-elec.com/pdf/pk-0802-no-e.pdf>>.
- [18] IFM Electronic *Datový list TS2229* [online]. 01-2010 [cit. 2012-3-15]
<<http://www.ifm.com/products/cz/ds/TS2229.htm>>.
- [19] IFM Electronic *Datový list AC1337* [online]. 02-2008 [cit. 2012-3-15]
<<http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC1337.htm>>.
- [20] AS-International Association *Automation is easy with AS-Interface* [online]. 09-2009 [cit. 2012-5-10]
<http://as-interface.net/Download/System/Facts/Automation_is_easy_with_AS-Interface.pdf>.
- [21] IFM Electronic *AS-Interface manual* [online]. 11-2009 [cit. 2012-5-10]
<<http://www.ifm.com/mounting/7390566UK.pdf>>.
- [22] IFM Electronic *Datový list AC1224* [online]. 11-2009 [cit. 2012-3-15]
<<http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC1224.htm>>.
- [23] Siemens *SITOP smart* [online]. 03-2008 [cit. 2012-3-15]
<<https://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pp/Documentsu20Brochures/e80001-a2190-p310-v1-7600.pdf>>.
- [24] Diametral *Tabulka parametrů oddělovacích transformátorů* [online]. [cit. 2012-3-15]
<<http://www.diametral.cz/srovnavaci-tabulka.html?k=8>>.
- [25] Carlo Gavazzi *Katalogový list SSR relé* [online]. [cit. 2012-4-10]
<<http://www.gme.cz/dokumentace/635/635-300/dsh.635-300.1.pdf>>.

- [26] IFM Electronic *Installation Instructions - AS-i module AC2520* [online]. 06-2009 [cit. 2012-5-16]
<<http://www.ifm.com/mounting/7390795DEFRUK.pdf>>.
- [27] IFM Electronic *Installation Instructions - AS-i module AC2517* [online]. 06-2009 [cit. 2012-5-16]
<<http://www.ifm.com/mounting/7390792DEFRUK.pdf>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DSP číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing

f_{vz} vzorkovací kmitočet

AS-i průmyslová sběrnice – Actuator Sensor-interface

ASI+, ASI- označení vodičů AS-i sběrnice

SIL úroveň integrity bezpečnosti – Safety Integrity Level

EN evropská norma

LED Polovodičová světlo vyzařující dioda – Light Emitting Diode

PLC programovatelný automat – Programmable Logic Controller

DPS deska plošných spojů

SSR polovodičové relé – Solid State Relay

PWM pulsně šířková modulace – Pulse-Width Modulation

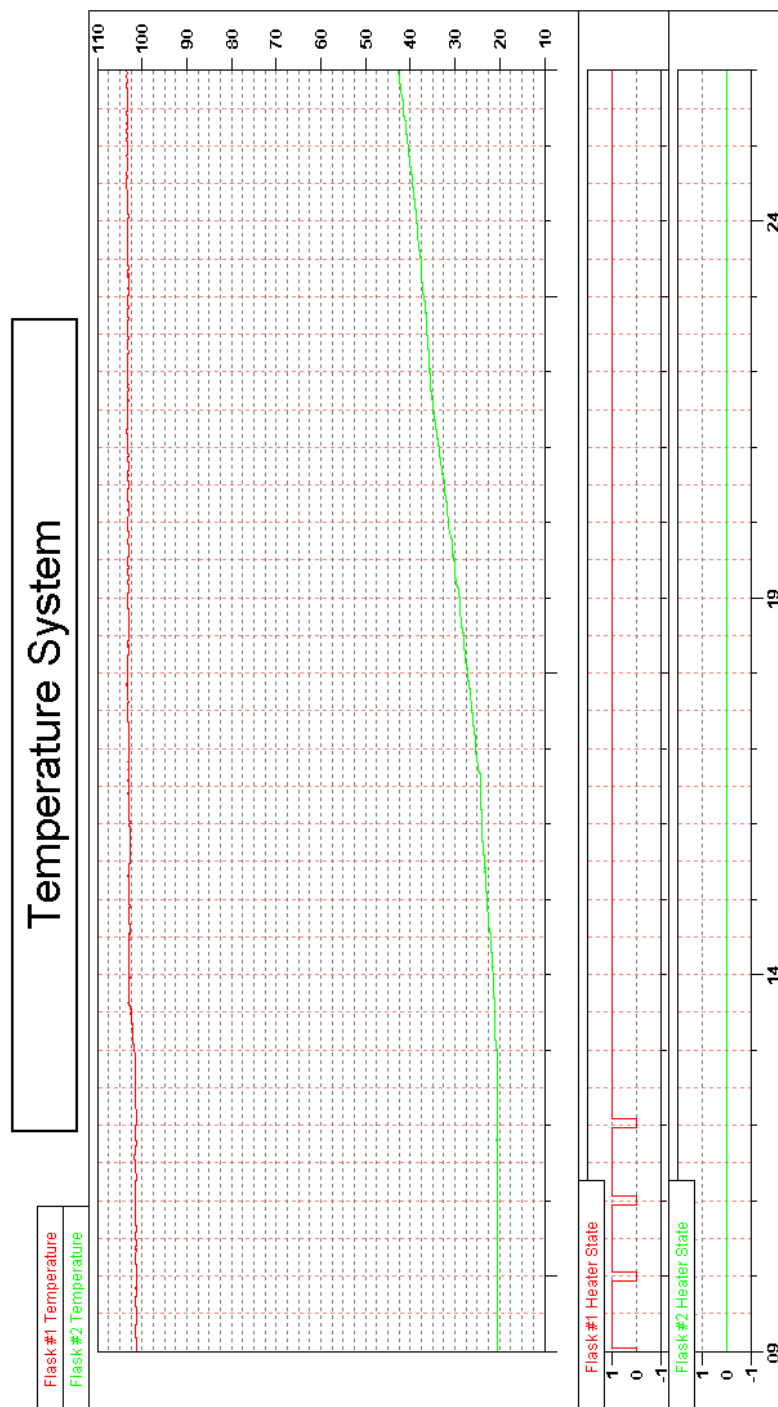
CLK hodinový kmitočet – CLock

SEZNAM PŘÍLOH

A Grafy získané při testování zařízení	93
A.1 Pokus #5 - Výroba páry ve vyvíječi	93
A.2 Pokus #6 - Funkce chladičícího okruhu	94
A.3 Pokus #1 - Testování kompletního procesu destilace	95
B DPS se stabilizátory	97
C Obsah přiloženého CD	98

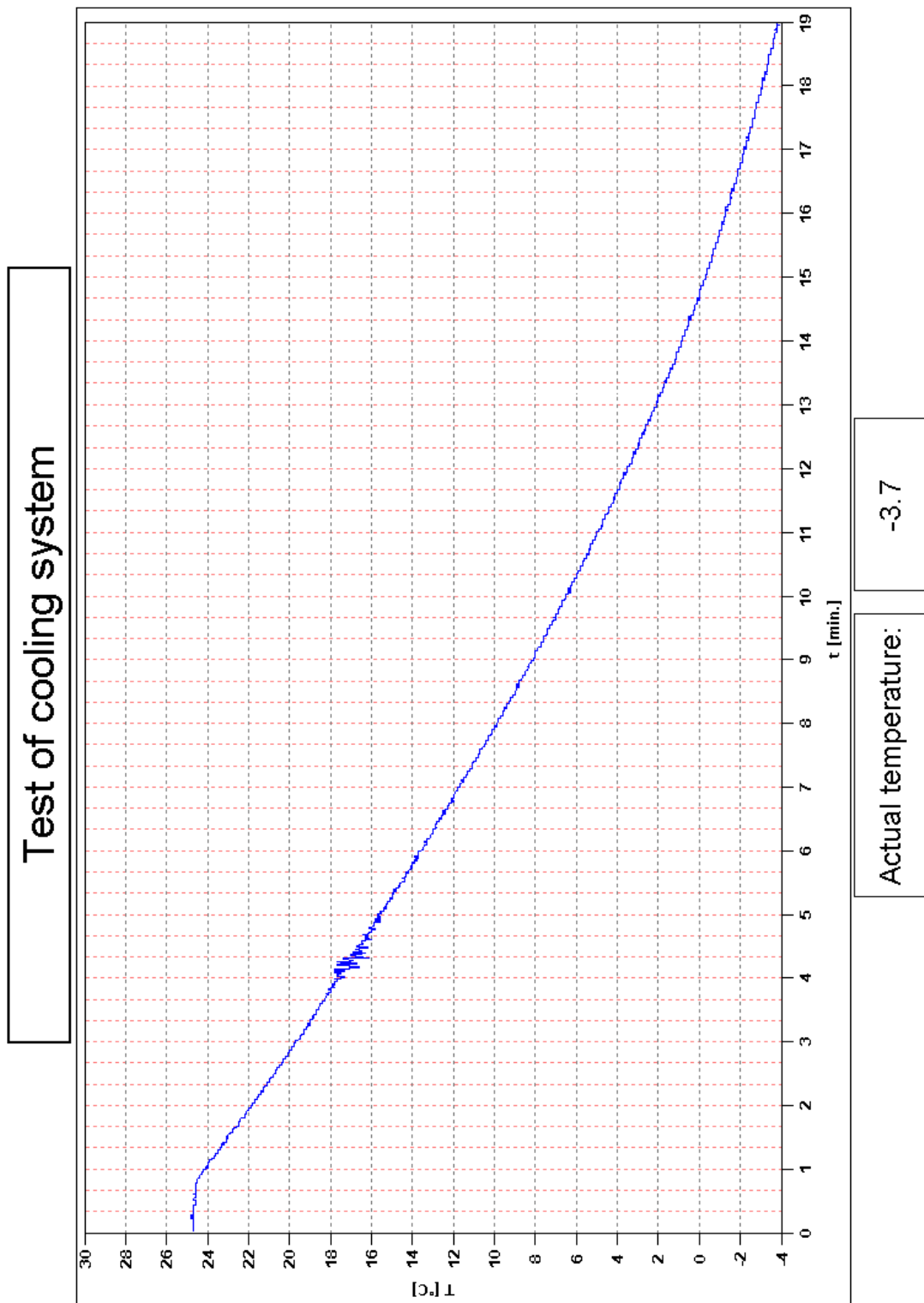
A GRAFY ZÍSKANÉ PŘI TESTOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

A.1 Pokus #5 - Výroba páry ve vyvíječi



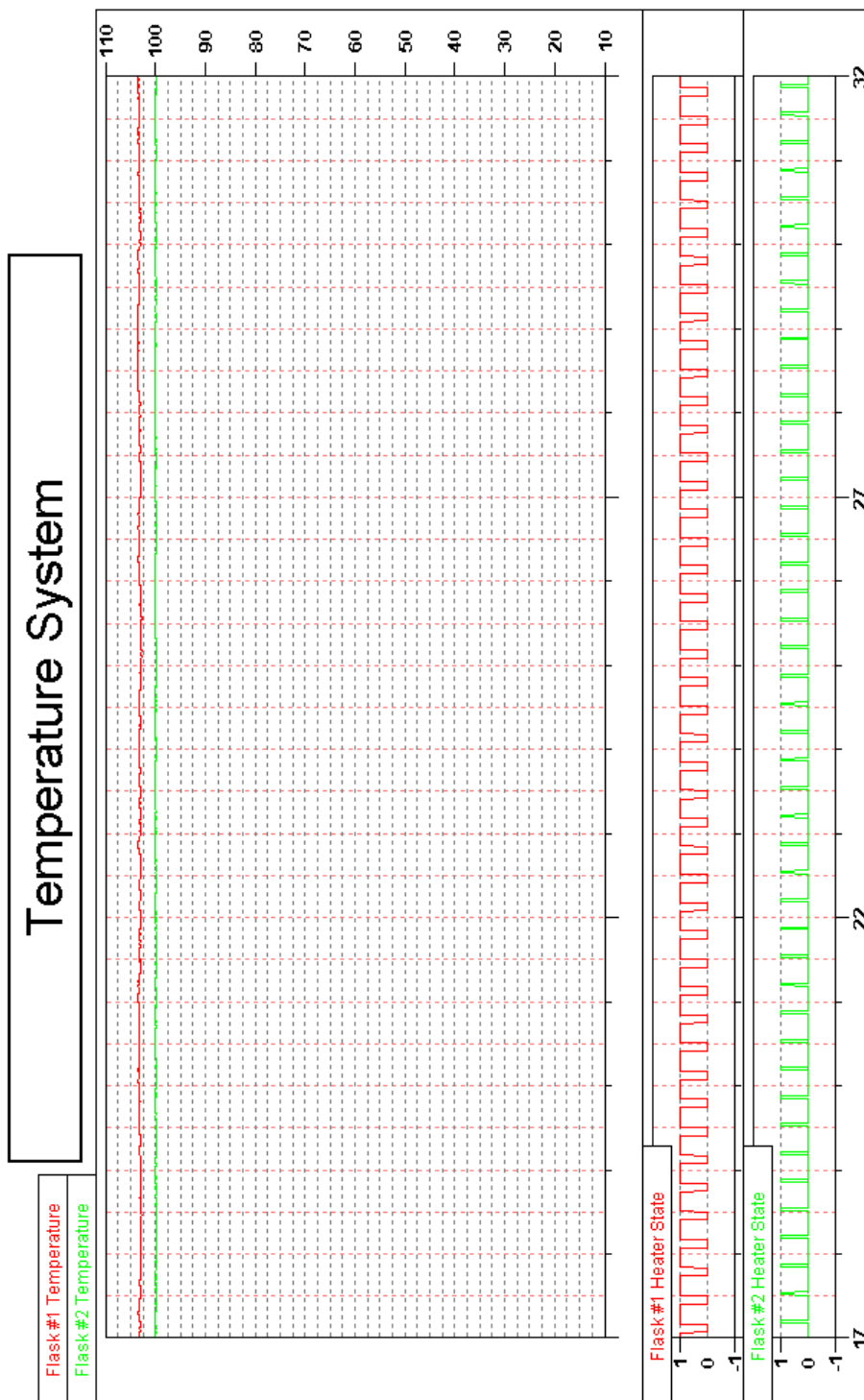
Obr. A.1: Průběh teplot v obou baňkách, PWM spouštění topných hnízd

A.2 Pokus #6 - Funkce chladicího okruhu

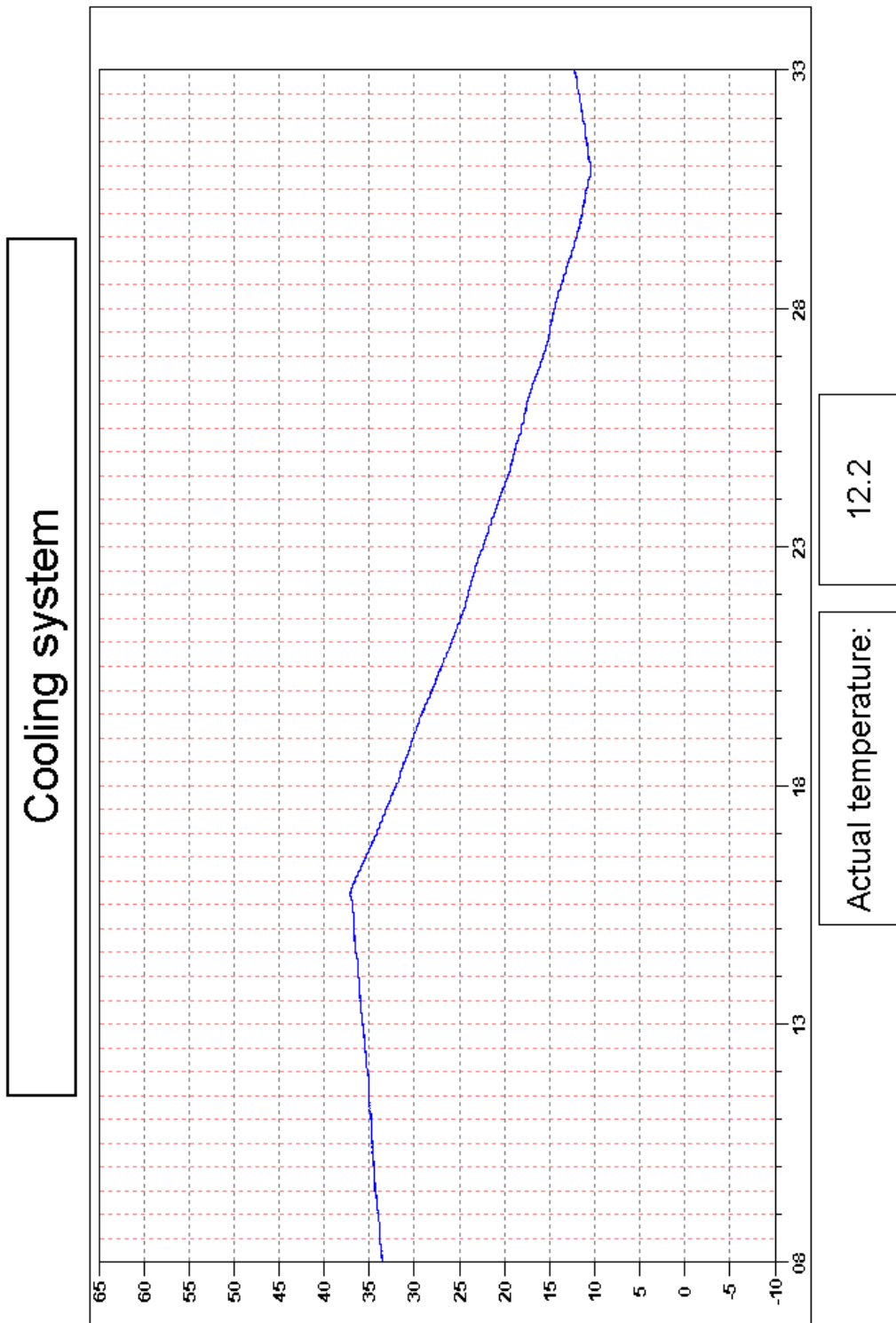


Obr. A.2: Průběh teploty v chladicím okruhu

A.3 Pokus #1 - Testování kompletního procesu destilace

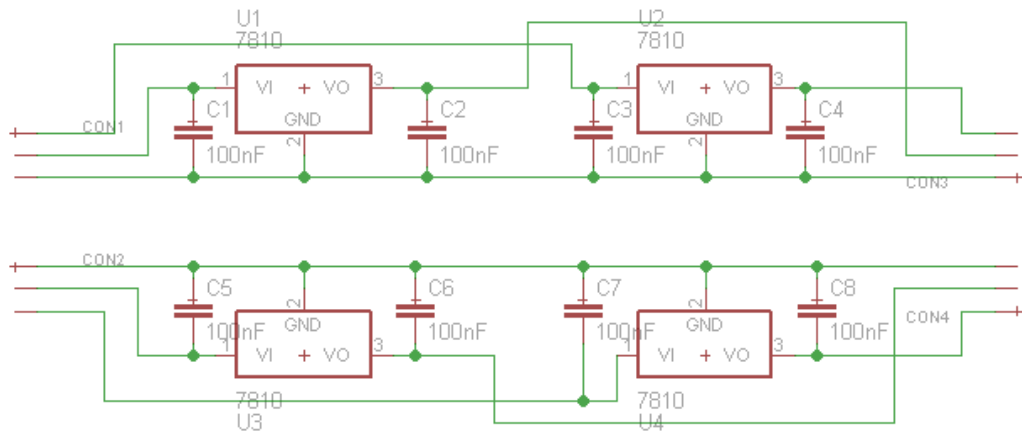


Obr. A.3: Rozdíl potřebného výkonu na udržování stabilní teploty

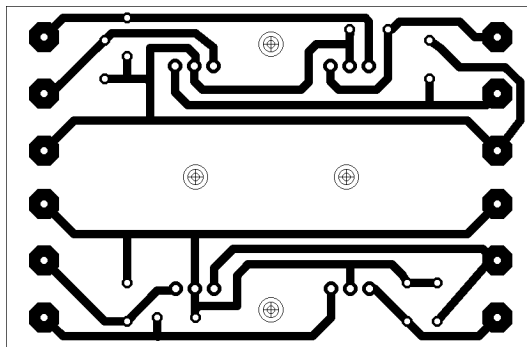


Obr. A.4: Kolísání teploty při regulaci teploty v chladičím okruhu

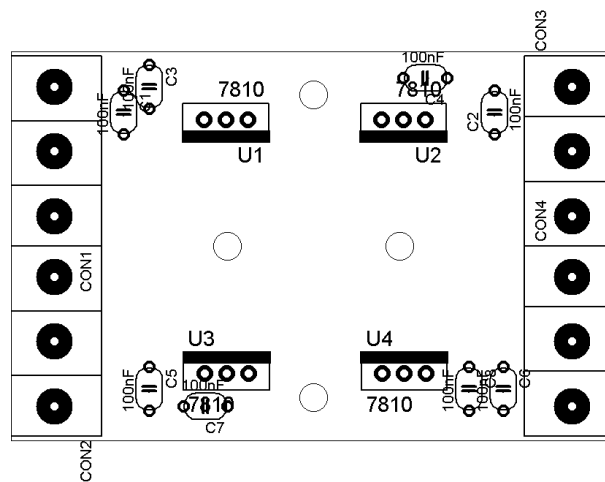
B DPS SE STABILIZÁTORY



Obr. B.1: Schema zapojení



Obr. B.2: Předloha DPS



Obr. B.3: Osazovací plán

C OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Na přiloženém CD jsou následující soubory:

1. DP_Chlad_Petr.pdf
2. DP_priloha.zip
 - (a) Client_program.zip – testovací program pro stanici klienta v IPC vytvořený v programu TwinCAT
 - (b) Client_program_report-TwinCAT.pdf – report klient programu z TwinCAT
 - (c) Server_program.zip – hlavní program pro PLC v CoDeSys s kompletním software pro destilační kolonu včetně vizualizace
 - (d) Server_program_report-CoDeSys.pdf – report programu z CoDeSys
 - (e) Zapojeni.pdf – výkres zapojení rozváděče z programu Eplan