

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, Katedra řídicí techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řízení modelu technologického procesu

2004

Tomáš Dvořák

ČVUT FEL Praha

Prohlášení

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

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc.Ing. Janu Bílkovi, CSc.. Konzultantovi v oblasti chemie Ing. Petru Fulínovi. A lidem ze společností, které moji diplomovou práci podpořily (SIEMENS, s.r.o. a POLY-ANALYSER, s.r.o.).

Abstrakt

Tato práce popisuje řešení řízení technologického procesu. Pro řízení byl vybrán model rektifikační kolony a řídicí systém SIMATIC PCS7. Model je určen pro výstavní účely, a tak je celý proces uzavřen v cyklu. Do modelu vstupuje surovina o dané koncentraci lihu a vody a na výstupu je destilát se zvýšenou koncentrací lihu a destilační zbytek se sníženou koncentrací lihu. V práci je popsána entalpická a hmotnostní bilance modelu. Fyzikální procesy probíhající v dané technologii. Provedení identifikace podsystémů a navržení konstant PID regulátoru. Pro celý systém řízení byla vytvořena vizualizace. Ověření správného chodu destilace bylo řešeno laboratorní analýzou suroviny, destilátu a destilačního zbytku.

Abstract

In this document there is written control of technological process. For control there was selected model of rectification column and control system SIMATIC PCS7. Model is determinated for purposes exhibition, whole process is closed in the cycle. The product is coming in to the column with some concentration of ethanol. The output is distillate with increased value of ethanol concentration and distillate rest with decreased value of ethanol concentration. In this document there is written bilance of enthalpic and masses. Identification of subsystems and project of PID controller. For whole system was made visualisation. Verification was done by laboratory product analyses, distillate and distillate rest analyses.

Obsah

Úvod	III
1 Technologický popis modelu	1
1.1 Fyzikální základy rektifikace	1
1.2 Bilance rektifikační kolony	2
2 Model kolony	7
2.1 Provedení modelu kolony	7
2.1.1 Vlastní rektifikační kolona	7
2.1.2 Topné hnízdo	9
2.1.3 Čerpadlo	9
2.1.4 Chladič kolony	9
2.1.5 Zpětný nástřik	10
2.1.6 Nádoba se surovinou	10
2.2 Popis destilace na modelu	11
2.3 Dekompozice modelu kolony na podsystémy	12
2.4 Identifikace systémů kolony	14
2.5 Použité měřící přístroje a akční členy	17
2.5.1 Měřící členy	17
2.5.2 Akční členy	18
2.6 Konfigurace použitého řídicího systému	20
3 Řídicí systém SIMATIC PCS7	23
3.1 Popis hardware konfigurace SIMATIC PCS7	23
3.1.1 Typická konfigurace systému	23
3.1.2 ES inženýrská stanice, OS klient, OS server	24
3.1.3 AS automatizační systém	24
3.1.4 Periférie systému	25
3.1.5 Software SIMATIC PCS7	28
3.1.6 OS server	29
3.1.7 OS klient	29
3.2 Tvorba projektu na SIMATIC PCS7	29
3.2.1 Simatic manager	30
3.2.2 Hardwarová konfigurace (Hardware configuration)	31

3.2.3	Plan hierarchy	31
3.2.4	Programování pomocí CFC	32
3.2.5	Programování v SFC	32
3.2.6	Mapping	33
3.2.7	Tvorba vizualizace ve WinCCExplorer	33
3.3	Porovnání systémů SIMATIC PCS 7 vs. SIMATIC S7 + WinCC	34
4	Popis řízení kolony	37
4.1	Rozdělení řízení provozu	37
4.1.1	Náběh	38
4.1.2	Vlastní destilace	38
4.1.3	Odstavení z provozu	39
4.1.4	Detekce závad v technologii	39
4.2	Rozdělení řízení	40
4.2.1	Popis řízení jednotlivých částí	41
4.2.2	Automatický chod	46
4.2.3	Vizualizace	47
5	Porovnání se skutečnou rektifikační kolonou	53
6	Výsledky řízení a regulace	55
6.1	Výsledky regulace okruhu	55
6.1.1	Teplota v patě kolony	55
6.1.2	Teplota v chladiči	56
6.1.3	Průběh ostatních měřených veličin	57
6.1.4	Teplota v hlavě kolony	58
6.2	Výsledek koncentrací	58
Závěr		65
Literatura		67

PŘÍLOHY

- I Výkresová dokumentace modelu rektifikační kolony
- II CD s programem

Úvod

Úkolem diplomové práce je řízení technologického procesu. Jedná se o řízení a regulace odparky se zpětnou vazbou toku destilátu. Pro toto řešení jsem se rozhodl použít laboratorní rektifikační kolonu, která je postavena jako model rektifikační kolony pro prezentační účely. Model je řízen procestním řídicím systémem SIMATIC PCS7, který je určen pro presentace. Stavba a návrh rektifikační destilační kolony byl součástí diplomového semináře.

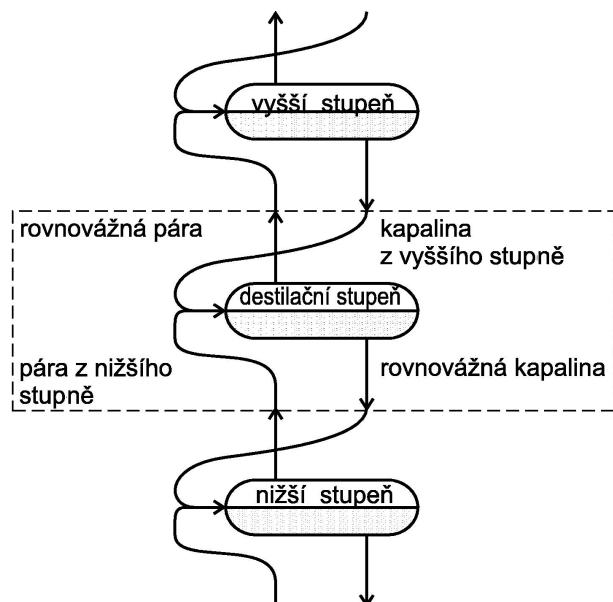
Rektifikační kolona je zařízení, které se v průmyslu i laboratořích používá k destilaci (separaci) látek obsažených v jedné směsi. Rektifikační procesy patří k nejdůležitějším dělícím procesům jak v laboratorním, tak v průmyslovém měřítku. K dělení se využívá rozdílné těkavosti a tedy bodů varu jednotlivých látek (složek ve směsi). Látky s nižším bodem varu mají vyšší tenzi par a jsou tedy těkavější, než látky s vyšším bodem varu. Zároveň se zde uplatňuje přestup hmoty mezi jednotlivými fázemi, v případě destilace mezi kapalinou a parou. Destilační kolony pracují za atmosferického tlaku, či za sníženého nebo zvýšeného. Pro model je vhodné, aby rektifikační kolona pracovala za atmosferického tlaku a tím předejít možným problémům s netěsností při sestavení kolony.

Destilovanou surovinou v modelu je směs technického ethanolu (lihu) a vody. Směs je naředěna v přibližném poměru 30% lihu a zbytku vody. V závěru byla provedena analýza destilované směsi, destilátu jako produktu a destilačního zbytku pro zjištění správné funkce modelu.

Kapitola 1

Technologický popis modelu

1.1 Fyzikální základy rektifikace



Obrázek 1.1: Schematické znázornění typické destilace

Rektifikace je v podstatě vícenásobná (opakována) destilace v jednom k tomuto účelu speciálně konstruovaném zařízení. V praxi představuje takovéto zařízení destilační kolona vybavená buď skutečnými patry, a nebo tzv. kolony s výplní, kde se používá pojem teoretického patra. Skutečná patra kolony jsou speciálně stavěné výplně kolon, kde na každém patře dochází k rovnovážnému stavu kapaliny a par. Jedná se o jeden destilační stupeň kolony. U teoretického patra kolony mluvíme také v podstatě o jednom destilačním stupni, kde složení kapaliny v daném patře je v rovnováze se složením páry nad touto kapalinou. Jedná se o obdobný případ jako u skutečných patrech kolony. Při tomto stavu je pára bohatší na těkavější složky než příslušná kapalina, která je s ní v rovnováze. Kapalina, která

stéká z vyššího patra, má stejné složení jako pára na patře o jeden stupeň¹ nižším (obr.1.1). Tímto opakováným dějem, v každém stupni destilační kolony, dochází k tomu, že v koloně se směrem vzhůru stále odpařují látky s nižším bodem varu a naopak směrem dolů kondenzují látky s vyšším bodem varu. Takto se za daných podmínek dosáhne, že páry odcházející z hlavy kolony obsahují pouze výše vroucí látky, nazývané destilát a kapaliny odebírané ze spodku kolony neobsahují téměř žádné výše vroucí složky. Kapalina, která stéká do paty destilační kolony se nazývá destilační zbytek. Aby byl zajištěn zpětný tok kapaliny kolonou shora dolů, musí se část zkondenzovaného destilátu vracet zpět do kolony, označovaný jako tak zvaný zpětný tok, jinak nazývaný reflux.

1.2 Bilance rektifikační kolony

V ustáleném stacionárním stavu, kdy v systému nedochází k akumulaci energie a hmoty, je celková bilance kolony popsána hmotovou bilancí a entalpickou bilancí. Hmotová bilance popisuje separaci destilované směsi na destilát a destilační zbytek. Entalpická bilance popisuje energetickou rovnováhu uvnitř destilační kolony.

Celková hmotová bilance kolony

$$\dot{m}_s = \dot{m}_d + \dot{m}_z \quad [kg \cdot s^{-1}], \quad (1.1)$$

kde \dot{m}_s je hmotnostní tok směsi určené k destilaci, \dot{m}_d hmotnostní tok destilačního zbytku a \dot{m}_z značí hmotnostní tok destilačního zbytku. Pro složkovou bilanci jakékoliv složky destilované směsi platí vztah

$$x_s \dot{m}_s = x_z \dot{m}_d + x_d \dot{m}_z \quad [-, kg \cdot s^{-1}], \quad (1.2)$$

x_s, x_z, x_d jsou hmotové zlomky jedné ze složek (např.: nejtěkavější). Vztah 1.2 udává množstevní podíl dané složky v jednotlivých částech destilačního procesu. Tímto způsobem je možné popsat i ostatní podíly složek ve směsi, destilátu a destilačního zbytku. Poslední velmi důležitou bilancí je entalpická udávající potřebné energetické hodnoty

$$\dot{m}_s H_s + R \dot{m}_d h_d + \dot{Q} = \dot{Q}_{kond} + \dot{m}_z h_z + \dot{m}_d h_d + \dot{Q}_{ztr}, \text{kde} \quad (1.3)$$

\dot{m}_s - hmotnostní tok množství suroviny do kolony $[kg \cdot s^{-1}]$

\dot{m}_d - hmotnostní tok množství destilátu z kolony $[kg \cdot s^{-1}]$

\dot{m}_z - hmotnostní tok množství zbytku z paty kolony $[kg \cdot s^{-1}]$

h_s - měrná entalpie suroviny $[J \cdot kg^{-1}]$

h_d - měrná entalpie destilátu $[J \cdot kg^{-1}]$

h_z - měrná entalpie zbytku $[J \cdot kg^{-1}]$

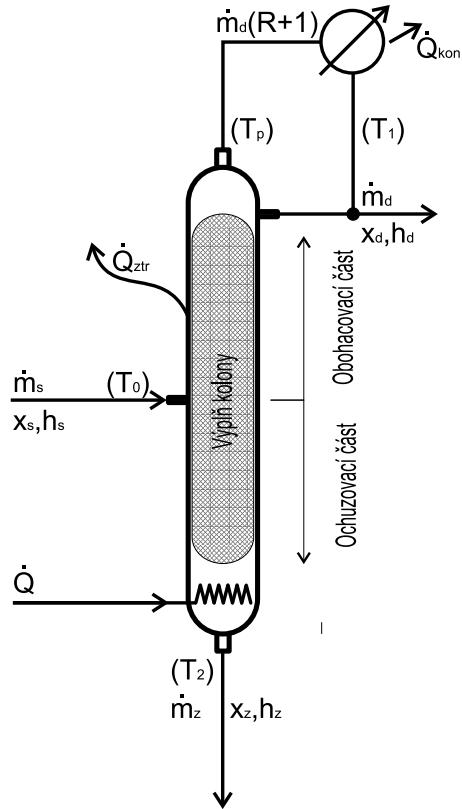
R - poměrová konstanta refluxu $[-]$

¹myšlen destilační stupeň, nižší patro

\dot{Q} - tok energie dodávaný do systému [$J..s^{-1}$]

\dot{Q}_{kond} - tok energie potřebný ke zkapalnění destilátu [$J.s^{-1}$]

\dot{Q}_{ztr} - tok energie vyzářený do okolí (ztrátový tok energie) [$J.s^{-1}$]



Obrázek 1.2: Schematické znázornění hmotnostních a entalpických bilancí

Na obr.1.2 je schematické znázornění probíhajícího dělení směsi. Při vstupu směsi, popsané parametry m_s , x_s , h_s , do kolony se odpařují výše vroucí složky a v plynné formě stoupají přes teoretická patra do hlavy kolony. Páry pak přecházejí z hlavy kolony do chladiče. Jejich množství je dáno $\dot{m}_d(R + 1)$. V chladiči jsou zkapalněny a část R (reflux) je zpět odvedena do hlavy kolony. Jako kapalina prochází přes jednotlivá teoretická patra kolony v nichž se odpařuje a stoupá zpět do hlavy kolony ve formě par. Místo mezi vstupem směsi určené k destilaci a vstupem refluxu se nazývá obohacovací část. Níže vroucí složky sesupují v kapalné formě do paty kolony. Zde jsou ohřívány a jejich páry stoupají kolonou skrz jednotlivá patra kolony, v nichž zkapalňují a stékají zpět do paty kolony. Tímto procesem je zajištěno vyhřívání kolony v jednotlivých patrech. Část kolony, která se nachází pod vstupem směsi, se nazývá ochuzovací část, neboť je chudší o těkavější složky. Energie dodávaná do systému modelu kolony je přímou přeměnou elektrické energie na energii tepelnou. Při použití střídavého zdroje elektrické energie lze na základě definice o efektivní hodnotě elektrického proudu či napětí odvodit energii dodávanou do systému.

$$Q = U \cdot I \cdot t \quad [J; V, A, s], \quad (1.4)$$

pak tok dodávané elektrické energie je derivací v čase výrazu 1.4 a je dán

$$\dot{Q} = U \cdot I \quad [J \cdot s^{-1}; V, A, s], \text{ kde} \quad (1.5)$$

U a I jsou efektivní hodnoty střídavého napětí a proudu,

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad [V; s, V], \quad (1.6)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad [A; s, A], \quad (1.7)$$

při vyjádření hodnoty napětí a proudu v čase $u(t) = U_{max} \sin(2\pi t + \varphi) [V; s, s]$, $i(t) = I_{max} \sin(2\pi t + \varphi)$, pro převod elektrické energie na tepelnou je použit odporový drát a tudíž zde nedochází k posuvu periody elektrického proudu či napětí, z čehož plyne $\varphi = 0$. Po integraci efektivních hodnot přes celou periodu 2π jsou pak hodnoty efektivního napětí a proudu rovny

$$U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} [V; V, -], \quad (1.8)$$

$$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} [A; A, -], \quad (1.9)$$

za předpokladu, že odporový drát použitý pro převod elektrické energie na tepelnou, má konstantní odpor při různé teplotě či alespoň v pracovním bodu lze odvodit množství energie dodaného do systému modelu kolony jako závislost na elektrickém napětí,

$$Q = \frac{U^2}{R} t \quad [J; V, \Omega, s]. \quad (1.10)$$

Z hlavy kolony přechází dané množství par do chladiče. Pro model je nejvhodnějším způsobem chlazení využití moderních metod pomocí peltiérova článku. Množství energie, které je potřeba odebrat plynnému destilátu pro přeměnu na kapalnou fázi a ochlazení na dannou teplotu, je úměrné teplotě a množství par

$$Q_{kond} = m_d(R+1)c_{pd}(T_3-T_0) - l_v * m_d(R+1) \quad [J; kg, J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}, ^\circ C, J \cdot kg^{-1}, kg], \quad (1.11)$$

Energie odvedená pomocí peltiérova článku je přímoúměrná elektrické energii dodané do článku.

$$Q_{pc} = K \cdot U_{ss} I_{ss} t \quad [J; -, V, A, s], \quad (1.12)$$

kde U_{ss}, I_{ss} reprezentují stejnosměrné napětí a proud. K je konstanta peltiérova článku vyjadřující lineární závislost mezi dodanou energií do peltiérova článku a energií odvedenou z ochlazované strany vlastního článku.

Kapitola 2

Model kolony

2.1 Provedení modelu kolony

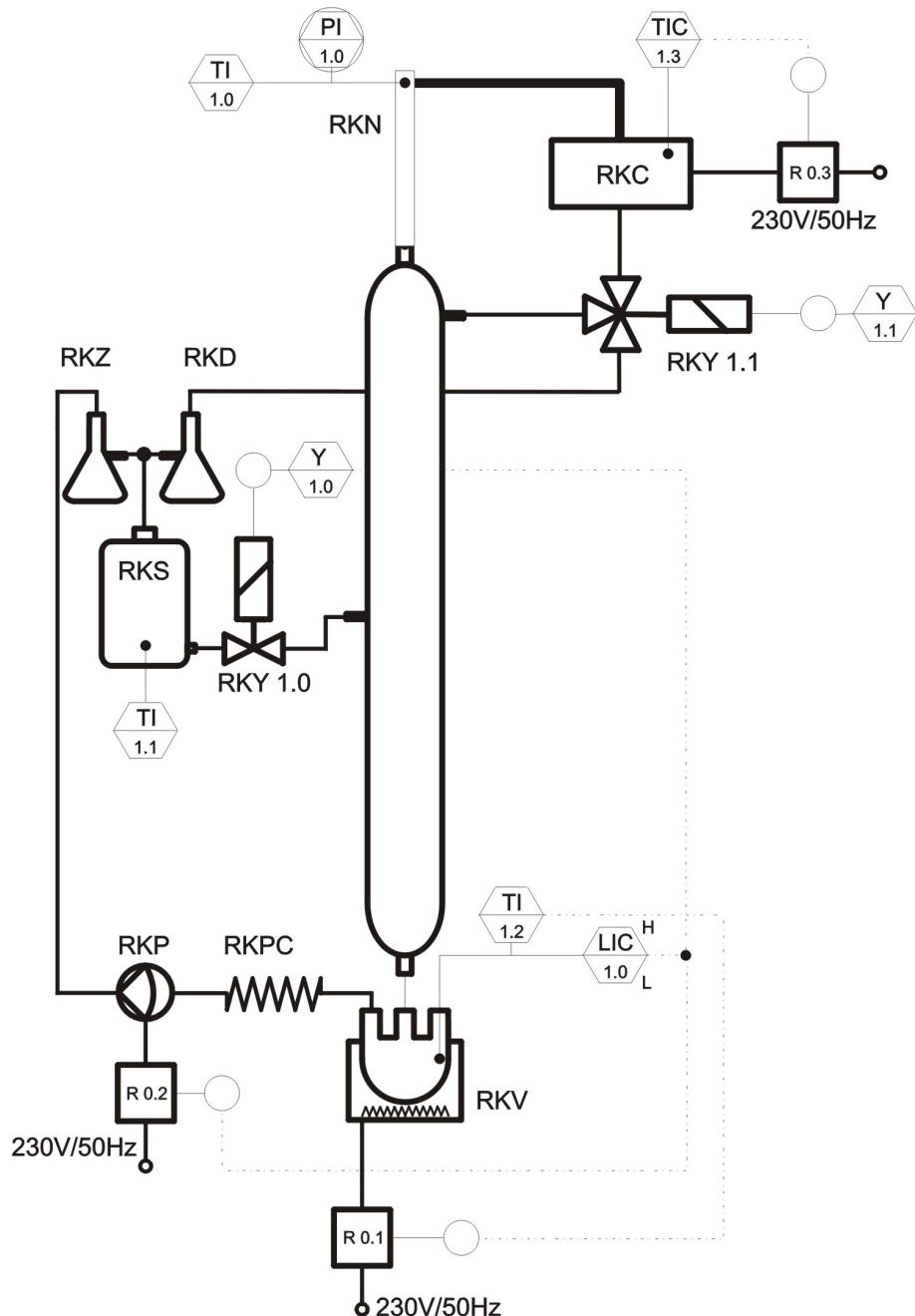
Model kolony, na kterém probíhá rektifikace, je z důvodů co nejmenší nutnosti obsluhy konstruován tak, aby při provozu nebylo nutné zasahovat do technologie. Proto je celý systém uzavřený a vlastní destilace je cyklická. Tímto opatřením je zajištěna minimální nutnost zásahu do modelu v době vlastní destilace. Vlastní model se skládá ze sedmi hlavních částí. Zjednodušené schéma technologie je na obr.2.1

- Vlastní rektifikační kolona
- Topné hnízdo
- Čerpadlo
- Chladič kolony
- Zpětný nástřik
- Nádoba se surovinou

2.1.1 Vlastní rektifikační kolona

První částí modelu je vlastní rektifikační kolona označená "RK". Tato kolona je vlastní zařízení, ve kterém dochází k separaci složek směsi. Jedná se o laboratorní skleněnou kolonu z varného skla s úpravou přidáním vstupů refluxu a směsi. Reflux kolony je umístěn v horní části kolony. Vstup směsi je umístěn ve středu kolony. Kolona je vyplněná skelnou drtí za účelem jemnějšího rozložení teplot v těle kolony. Výplní kolony se zvýší množství teoretických pater a tím je dosaženo zvýšení účinnosti celé kolony.

Teoreticky lze rozdělit vlastní kolonu na tři díly. Horní část kolony, tam kde dochází ke zpětnému nástřiku, se nazývá hlava kolony. V hlavě kolony je nejdůležitějším vodítkem teplota a tlak. V případě modelu jde o tlak vůči atmosferickému. Zde se udržuje teplota bodu varu nejtěkavější složky. Tato teplota je závislá na teplotě zpětného nástřiku a jeho množství a na teplotě par přicházejících do hlavy kolony. Dolní část modelu rektifikační kolony se značí



Obrázek 2.1: Zjednodušené technologické schéma

pata kolony. V patě kolony zůstává složka s nejvyšším bodem varu nejméně těkavé složky. Část kolony mezi hlavou a patou je označována tělem kolony. Přibližně v polovině těla kolony je umístěn vstup směsi. Směs se rozdělí na těkavější a méně těkavou složku, a ty pak stoupají v podobě par do hlavy kolony či tečou v kapalné fázi do paty kolony (obr.1.2).

2.1.2 Topné hnízdo

Topné hnízdo je část kolony, pomocí které se do kolony vkládá tepelná energie potřebná pro separaci směsi. Topné hnízdo a pata kolony u modelu tvoří jeden celek. Pata kolony je tvořena varnou baňkou, v níž se ohřívá destilační zbytek. Množství energie přivedené do kolony je rovno celkové energetické bilanci kolony-viz. rovnice 1.3. Destilační zbytek se ohřívá na teplotu bodu varu. Abychom ohřáli kapalinu na danou teplotu musíme do ní dodat energii, pro kterou v ustáleném stavu běhu kolony platí

$$\dot{Q} = \dot{m}_z c_{pz}(T_2 - T_1) + \dot{m}_d R c_{pd}(T_0 - T_3) + \dot{m}_d c_{pd}(T_0 - T_3) + \dot{m}_d(R + 1)l_v + \dot{Q}_{ztr}, \quad (2.1)$$

kde

$$\dot{Q} \quad [J \cdot s^{-1}]$$

T_0 - teplota par destilátu $[^{\circ}C]$,

T_1 - teplota směsi vtékající do kolony $[^{\circ}C]$,

T_2 - teplota ve varné baňce $[^{\circ}C]$,

T_3 - teplota ochlazeného destilátu $[^{\circ}C]$,

\dot{m}_d - tok množství destilátu $[kg \cdot s^{-1}]$,

\dot{m}_z - tok množství destilačního zbytku $[kg \cdot s^{-1}]$,

R - je poměrová konstanta refluxu $[-]$,

l_v - množství energie nutné k odpaření destilátu $[J \cdot kg^{-1}]$,

c_{pd} - měrná tepelná kapacita destilátu $[J \cdot kg^{-1} \cdot ^{\circ}C]$ a

Q_{ztr} - je teplo vzniklé vlivem ztrát $[J \cdot s^{-1}]$.

Za účelem zajištění stálého množství destilačního zbytku v patě kolony je ve varné baňce umístěno limitní měření výšky hladiny.

2.1.3 Čerpadlo

Pro odtah přebytku destilačního zbytku je na modelu umístěno čerpadlo. Při stékání kapalné fáze složek s vyšším bodem varu do paty kolony dochází k hromadění těchto složek v patě kolony. Výška je měřená limitním měřením výšky hladiny a na základě údaje z čidla výšky hladiny je odčerpáváno přebytečné množství destilačního zbytku pryč. Množství, které je odčerpáváno, je rovno množství přitékajícímu při měření v kvantovém měřítku.

2.1.4 Chladič kolony

Chladič v modelu odebírá plynnému destilátu přicházejícího do chladiče z hlavy kolony také energie, aby došlo k přeměně skupenství z plynného na kapalné a destilát se ochladil na námi definovanou konstantní teplotu. Energie, kterou musíme plynnému destilátu odebrat, abychom jej ochladili na danou teplotu a přeměnily z plynného skupenství na kapalné je

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}_d(R + 1)c_{pd}(T_3 - T_0) - \dot{m}_d(R + 1)l_v \quad [J], \quad (2.2)$$

kde T_3 je teplota, na kterou chceme destilát ochladit a teplota T_0 je teplota destilačních par.

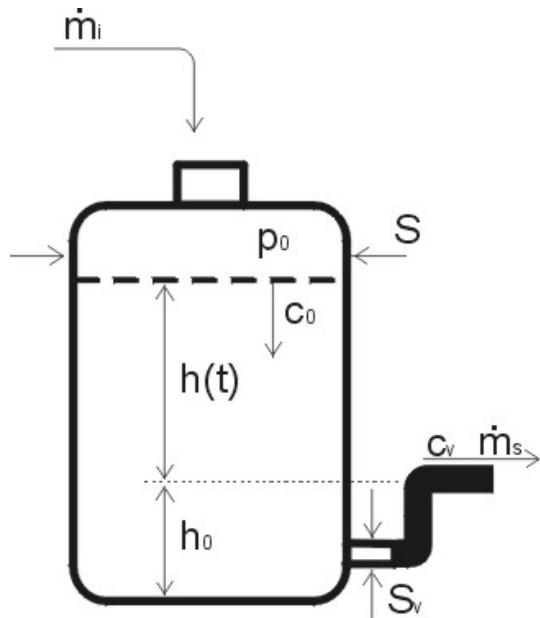
2.1.5 Zpětný nástřik

Destilát, který je zkapalněn a ochlazen v chladiči, je rozdělen na dvě části. Jedna část jde zpět do rektifikační kolony pro zajištění chodu a druhá část je odvedena jako produkt. Způsob dělení je prováděn dvoucestným ventilem a určitou dobou je ventil otevřen pro zpětný nástřik a zbytek je přepnut na odtah výsledného produktu. Hmotnostní rovnice popisující dělení destilátu na reflux a produkt je

$$\dot{m}_{reflux} = R\dot{m}_d \quad [kg \cdot s^{-1}], \quad (2.3)$$

kde R je bezrozměrná poměrová konstanta refluxu.

2.1.6 Nádoba se surovinou



Obrázek 2.2: Nádoba se surovinou

Množství \dot{m}_s směsi přivedené na nástříkové místo do kolony (obr.1.2) je dáno objemovým množstvím směsi vytékané z nádoby na surovinu (obr.2.1), při plně otevřeném ventilu výstupu z nádoby. Objemová výtoková rychlosť z nádoby je závislá na výšce hladiny $h(t)$ v nádobě vstažené k úrovni výtoku a tlaku u výtoku (obr.2.2)

Rychlosť vtékající kapaliny do nádoby je rovna rychlosti vytékající, toto vyplývá z celkového systému rektifikační kolony. Směs přivedená do kolony je rozdělena a zpět ve formě destilačního zbytku a destilátu přivedena do nádoby se surovinou. Tedy množství přivedené do nádoby \dot{m}_i je rovno součtu jednotlivých hmotnostních toků zbytku \dot{m}_d a destilátu \dot{m}_z ,

$$\dot{m}_i = \dot{m}_d + \dot{m}_z \quad [kg \cdot s^{-1}]. \quad (2.4)$$

Výška hladiny $h(t)$ je integrál rozdílu objemových toků vstupního a výstupního. Vstupní objemový tok je dán

$$\dot{V}_i = \frac{\dot{m}_d}{\rho_d} + \frac{\dot{m}_z}{\rho_z} = \frac{\dot{m}_i}{\rho_i} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; kg \cdot s^{-1}, kg \cdot m^{-3}] \quad (2.5)$$

kde ρ jsou hustoty jednotlivých množství. Výstupní objemový tok je popsán

$$\dot{V}_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s}, \dot{V}_s = \dot{c}_s S_v, \quad (2.6)$$

$c_s [m^3 \cdot s^{-1}]$ je rychlosť proudění kapaliny z nádoby ven průřezem $S_v [m^2]$. Teoretická rychlosť proudění c_s , při zanedbání viskózního tření kapaliny, je závislá na výšce hladiny a je dána vztahem

$$\dot{c}_s = \sqrt{2gh(t)} \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m \cdot s^{-2}, m]. \quad (2.7)$$

Skutečná výtoková rychlosť je nižší, což je způsobeno třením kapaliny a odporem ve výtokovém potrubí (hadičce)

$$\dot{c}_{sskut.} = \dot{c}_s \cdot \varphi, \quad (2.8)$$

kde φ je empirický opravný rychlostní součinitel.

Protože předpokládáme chod destilační kolony za atmosferického tlaku, lze zanedbat malé výchylky tlaku a uvažovat tlak konstantní v koloně i nad hladinou směsi v nádobě na surovinu.

Rovnice výšky hladiny v nádobě je

$$h(t) = \frac{1}{S} \int_{t_0}^t \dot{V}_i - \dot{V}_s d\tau, \quad (2.9)$$

kde S je průřez nádoby.

Derivací výrazu (2.9) podle času a dosazením z rovnic (2.5), (2.6), (2.7) bude výsledný výraz pro rychlosť změny výšky hladiny

$$\dot{h}(t) = \frac{1}{S} \left(\frac{\dot{m}_i}{\rho_i} - \sqrt{2gh(t)} S_v \right), \quad (2.10)$$

hmotnostní tok vytékající z nádoby je pak roven

$$\dot{m}_s = \sqrt{2gh(t)} S_v \rho_s. \quad (2.11)$$

2.2 Popis destilace na modelu

Celý model je koncipován jako nepřetržitý cyklický děj. Směs určená k destilaci je umístěná v nádobě označované na technologickém schématu obr. 2.1 RKS. Rychlosť směsi vytékající z nádoby je dána výškou hladiny v nádobě a vnitřním odporem hadičky a ventilu RKY 1.0 přivádějící směs na vstup do rektifikační kolony.

Je-li kolona vyhřátá na provozní teplotu, dochází v tomto místě k dělení směsi na destilát a destilační zbytek. Destilační zbytek stéká po stěnách rektifikační kolony do paty kolony tvořené varnou baňkou usazené v topném hnizdě RKV. Zde je destilační zbytek ohříván na bod varu a stoupající páry ohřívají destilační kolonu. Jak stoupají páry skrz kolonu, dochází ke kondenzaci výše vroucích složek a jejich stékání zpět do paty kolony. Tímto způsobem je surovina rozdělena na destilační zbytek a destilát. V hlavě kolony je teplota bodu varu složky, kterou chceme odvádět jako destilát. V celé koloně pak dochází k rozložení teplot od nejvyšší v patě kolony k nejnižší v hlavě kolony.

Páry destilátu jsou odvedené do chladiče RKC, ve kterém dojde k přeměně skupenství z plynného na kapalné a ochlazení destilátu na námi definovanou teplotu. Kapalný destilát je přiveden na přepínací ventil RKY 1.1, pomocí kterého je část navrácena do rektifikační kolony ve formě refluxu. Zbytek je odveden do sběrné nádoby RKD výsledného produktu, odkud přepadem přetéká zpět do nádoby se surovinou RKS.

Destilační zbytek zůstávající v patě kolony je odčerpáván čerpadlem RKP přes pasivní chladič RKPC do sběrné nádobky destilačního zbytku RKZ.

2.3 Dekompozice modelu kolony na podsystémy

Dekompozice modelu na podsystémy vychází z vlastního provedení kolony. Při pohledu na technologické schéma obr.2.1 lze rozdělit model na následující části

- **Chladič kolony**

Chladič je částí, která má vlastní měření teploty tělesa chladiče a řídící energetickou veličinu, přívod elektrické energie do chladiče. Podrobný popis funkce chladiče je popsán v kapitole 2.1. Teplota chladiče potažmo teplota destilátu vytékajícího z chladiče přímo ovlivňuje teplotu a tlak v hlavě kolony.

Vstupní veličiny:

\dot{Q}_{kond} - dodaná energie ovládaná přes $R0.2$

\dot{m}_p - množství destilačních par, které není sledováno

Výstupní veličiny:

$T1.3$ - teplota v chladiči

\dot{m}_d - množství kapalného destilátu

- **Topné hnizdo - teplota destilačního zbytku**

Tento podsystém má vlastní měření a energetickou řídící veličinou, kterou je přívod elektrické energie do topného hnizda. Systém obsahuje dvě vstupní veličiny. Množství kapalného destilačního zbytku stékajícího do paty kolony a měřitelná teplota destilačního zbytku ve varné baňce. Na základě znalosti souvislostí mezi teplotou,

dodané množství energie a odpařeným množstvím par popsané v kapitole 2.1, lze určit nutnou teplotu v patě kolony destilačního zbytku. Tato teplota je rovna teplotě bodu varu destilačního zbytku. Jde o teplotu, při které dochází k uvolňování par z destilačního zbytku. Množstvím par a jejich teplotou procházející skrz rektifikační kolonu je přímo ovlivňován tlak a teplotu v hlavě kolony. Další výstupní veličinou je odtah destilačního zbytku, který je řízen odděleně.

Vstupní veličiny:

\dot{Q} - tepelná energie dodaná do systému ovládaná přes $R0.1$

\dot{m}_z - množství destilačního zbytku, které není sledováno

Výstupní veličiny:

$T1.2$ - teplota destilačního zbytku

- **Topné hnízdo - výška hladiny**

Pro zajištění daného množství destilačního zbytku v patě kolony je zde umístěno limitní měření výšky hladiny. Vystoupá-li hladina na horní mez, je pomocí čerpadla destilační zbytek odčerpáván, dokud se hladina nedostane na dolní mez.

Vstupní veličiny:

\dot{m}_z - množství destilačního zbytku, které není sledováno

$R0.2$ - spouštění čerpadla pro odtah destilačního zbytku

Výstupní veličiny:

$LIC1.0$ - indikace výšky hladiny v patě kolony

Tyto podsystémy jsou na modelu kolony přímo ovlivnitelné. Nastavením teplot na těchto podsystémech jsou přímo závislé ostatní podsystémy kolony. Další části kolony jsou statické nebo nepřímo ovlivnitelné přes výše vyjmenované podsystémy.

- **Hlava kolony**

v této části kolony je nutné udržovat teplotu na bodu varu námi destilovaných par. Teplota je závislá na množství a teplotě refluxu a množství, teplotě a složení par získaných dělením směsi vtékající do kolony.

- **Reflux**

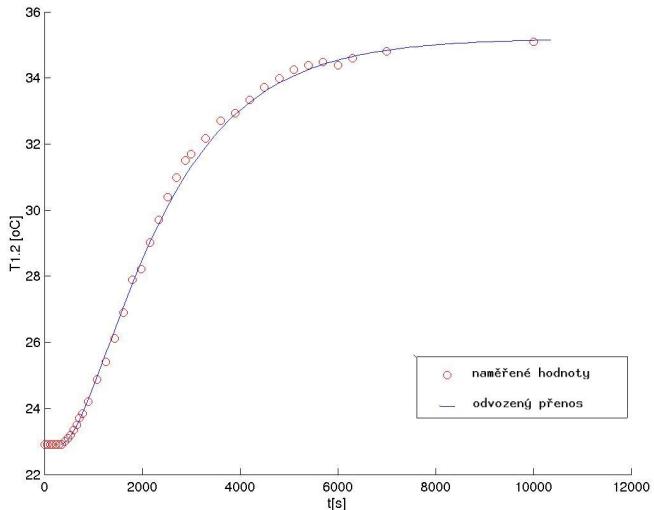
zpětný nástřik kapalného destilátu pro zajištění rozložení teploty v celé rektifikační koloně je nastaven staticky a řízen pomocí přepínacího ventilu.

2.4 Identifikace systémů kolony

Identifikace jednotlivých podsystémů, jedná se o podsystém chladiče a vařáku, je provedena experimentálně pomocí přechodové charakteristiky. Identifikace je závislá na složení suroviny. V modelu dochází k destilaci technického ethanolu od vody. Technický ethanol je znehodnocený líh, jehož bod varu je $78,3^{\circ}\text{C}$. Líh je naředěn vodu, která má bod varu 100°C .

Identifikace podsystému vařáku

Chování vařáku lze popsat dvěma přenosy. Jeden přenos popisuje systém vařáku pod bodem varu destilačního zbytku a druhý v bodě varu destilačního zbytku. Identifikace byla provedena několikrát, aby se vyloučily náhodné jevy. Všechny naměřené přechodové charakteristiky byly shodné.



Obrázek 2.3: Přechodová charakteristika topného hnízda pod bodem varu

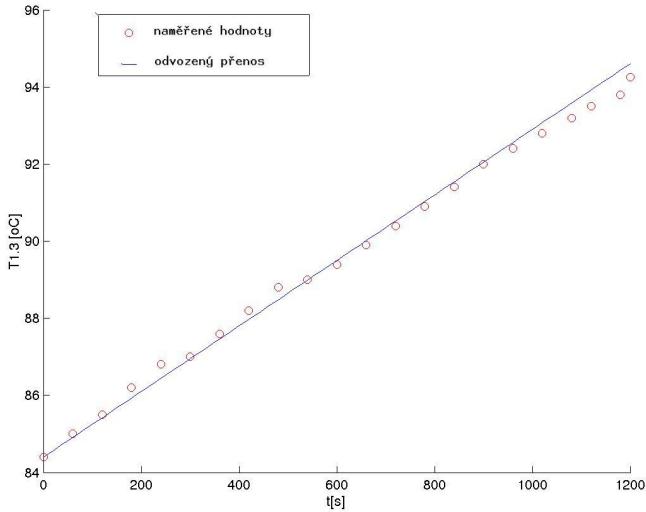
V prvním bodě se jedná o akumulaci a ohřívání kapaliny v nádobě varné baňky. Jde o systém druhého řádu s přechodovou charakteristikou na obr.2.3 vyznačená kolečky. Přechodová charakteristika byla naměřena přívodem 5% energie do systému vařáku, tedy skok o velikosti 5, při periodě pulsně šírkové modulace $T = 5\text{s}$. Z přechodové charakteristiky lze odvodit přenosu systému v Laplaceově transformaci

$$G_{v1} = \frac{K_{1v1}}{(T_{1v1}s + 1)(T_{2v1}s + 1)} \cdot e^{-T_{dv1}s} + K_{2v1}. \quad (2.12)$$

druhý stupeň přenosu je dán tepelným přenosem energie z topné spirály přes sklo varné baňky do vlastní ohřívané kapaliny. Po dosazení hodnot za časové konstanty získané z přechodové charakteristiky 2.3 podle [11] dostaneme

$$G_{v1} = \frac{2,46}{(1660s + 1)(680s + 1)} \cdot e^{-354s} + 22.9. \quad (2.13)$$

Výsledná přechodová charakteristika, na skok o velikosti 5, tohoto přenosu je na (obr.2.3) vykreslena modrou čárou.



Obrázek 2.4: Přechodová charakteristika topného hnízda při bodu varu.

Po ohřátí kapaliny ve vařáku na bod varu dojde ke změně parametrů systému. Systém vařáku se změní na systém popsaný v časovém měřítku přímkou s konstantním nárůstem teploty za čas (obr.2.4). Tento jev je dán bodem varu směsi kapaliny ve varné baňce. Postupným odpařováním níže vroucích složek dochází k nárůstu teploty bodu varu. Přechodová charakteristika na obr.2.4 byla naměřena při 50% dodávané energie do vařáku, tedy skok o velikosti 50, při periodě pulsně šírkové modulace $T = 5s$. Přestože není na přechodové charakteristice dopravní spoždění naměřené je i zde při změně popisu soustavy o stejné časové konstantě jako v předešlém případě. Vyplývá to z předešlého měření a spoždění dodávky energie do systému vlivem izolace mezi kapalinou a topným tělesem. Výsledný přenos tohoto systému je v Laplaceově transformaci

$$G_{v2} = \frac{K_{1v2}}{s} e^{-T_{dv2}s} + K_{2v2}, \quad (2.14)$$

po dosazení konstant

$$G_{v2} = \frac{1.7 \cdot 10^{-4}}{s} e^{-354s} + 84.4, \quad (2.15)$$

Pro řízení teploty v patě kolony je použit P regulátor s konstantou $P = 70$, navržený pomocí normalizovaného (s počátkem v nule) přenosu popisující systém pod bodem varu (2.13). Při návrhu regulátoru bylo dopravní zpoždění zanedbáno.

Aby bylo možné posoudit robustnost navrženého regulátoru pro systém vařáku, byl vytvořen na základě znalosti předchozích dvou popisů systému popis jeden tvořený z intervalových polynomů. Při kontrole robustnosti je zanedbáno dopravní zpoždění. Tímto vznikne množina systémů popisující systém vařáku a regulátoru uzavřený v záporné zpětné vazbě

$$G_v = \frac{[172, 2.38 \cdot 10^{-3}]}{[1.129 \cdot 10^6; 0]s^2 + [2340; 1]s + [173, 2.38 \cdot 10^{-3}]}, \quad (2.16)$$

Jmenovatel přenosu je intervalový charakteristický polynom p . Za účelem otestování robustnosti se rozepíše charakteristický polynom $p(s, q) = \sum_{i=0}^n [q_i^-, q_i^+] s^i$,

$$pm = s + 2.38 \cdot 10^{-3} \quad (2.17)$$

$$pp = 1.129 \cdot 10^6 s^2 + 2340s + 173 \quad (2.18)$$

kde pm je polynom tvořený dolními mezemi intervalu a pp je tvořen horními mezemi polynomu. Z výsledných polynomů se získají Charitonovy polynomy,

$$k1 = 2.38 \cdot 10^{-3} + s + 1.1 \cdot 10^6 s^2 \quad (2.19)$$

$$k2 = 173 + 2.3 \cdot 10^3 s \quad (2.20)$$

$$k3 = 173 + s \quad (2.21)$$

$$k4 = 2.38 \cdot 10^{-3} + 2.3 \cdot 10^3 s + 1.1 \cdot 10^6 s^2 \quad (2.22)$$

jsou-li všechny Charitonovy polynomy stabilní je regulátor navržený pro tento systém robustně stabilní. Stabilitu polynomu je možné testovat pomocí funkce `issstable` v matlabu.

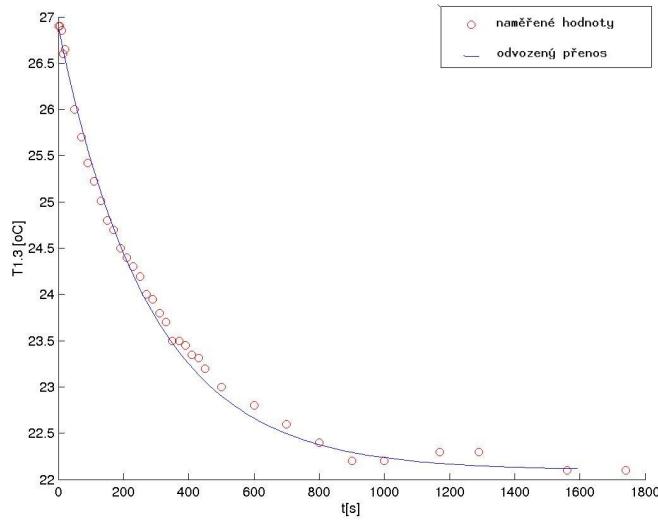
```
issstable(k1)&issstable(k2)&issstable(k3)&issstable(k4)
ans = 1
```

Výsledek testu ukazuje, že výsledný systém popsaný intervalovými polynomy je robustně stabilní a tudíž je i navržený regulátor robustní.

Identifikace podsystému chladiče

U chladiče dochází k ochlazování destilátu na námi stanovenou teplotu v systému. Chladič je tvořen peltiérovým článkem, který má tu výhodu, že téměř okamžitě odvádí energii pryč ze systému a tudíž systém chladiče z naměřené přechodové charakteristiky, při skoku o velikosti 1% a periodě PWM modulace 2s, lze approximovat přenosem prvního rádu, jak je zřejmé z obr.2.5.

$$G_{ch} = \frac{K_{1ch}}{(T_{1ch}s + 1)} + K_{2ch}, \quad (2.23)$$



Obrázek 2.5: Přechodová charakteristika chladiče

po dosazení konstant odečtených z přechodové charakteristiky

$$G_{ch} = \frac{4}{(280s + 1)} + 27, \quad (2.24)$$

u tohoto systému byl navrhnut regulátor PI, kde $P = 180$, $T_i = 1$.

2.5 Použité měřící přístroje a akční členy

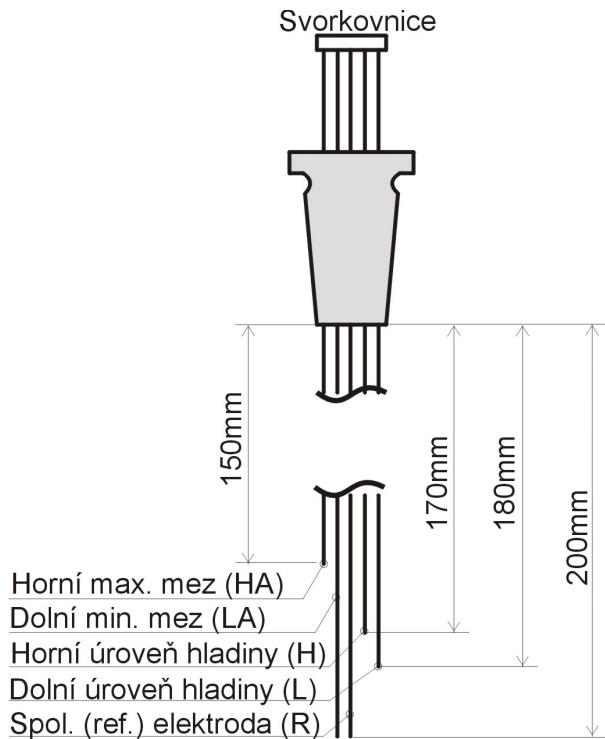
2.5.1 Měřící členy

Na modelu je několik měřících míst. Následující tabulka 6.1 popisuje měřící místa použité pro řízení modelu.

Pro měření výšky hladiny destilačního zbytku v patě kolony je využita vodivost kapaliny a je použito limitní měření výšky hladiny.

Limitní měření výšky hladiny je provedeno pěti elektrodami (obr.2.6). Nejdelsí elektroda je referenční (R). Elektrody jsou z nerezové oceli, aby nedocházelo k jejich opotřebení korozními a chemickými vlivy. Horní elektroda (HA) signalizuje překročení meze výšky hladiny v nádobě. Jedná se o alarmovou hlášku, která v případě plného automatického provozu odstavuje systém z chodu. Elektroda (H) signalizuje horní mez výšky hladiny a elektroda (L) dolní mez výšky hladiny. Spodní elektroda (LA) udává informaci o velmi nízkém stavu hladiny ve varné baňce.

U použitého převodníku tlaku na signál 4-20mA, byla nula převodníku byla posunuta tak, aby signál 12mA odpovídal hodnotě atmosférického tlaku. Tím bylo dosaženo možnost měřit diferenčním manometrem jak vznikající podtlak tak přetlak v hlavě kolony, rozsah měřicího



Obrázek 2.6: Schema měřícího členu výšky hladiny

Měřená veličina; Měřící člen	Rozsah	Chyba měření	Signál (připojení)
Pata kolony			
T1.2;PT100, SITRANS T3K PA L1.0;Limitní měření	0 – 150°C určené meze	≤ 0.05%/10°C ±5mm	PROFIBUS PA DI 24V
Hlava kolony			
T1.0;PT100, SITRANS T3K PA P1.0;SITRANS P	0 – 150°C -30 ÷ + 30mbar	≤ 0.05%/10°C ≤ 0.25%	PROFIBUS PA 4-20mA
Chladič			
T1.3;PT100, SITRANS T3K PA	0 – 150°C	≤ 0.05%/10°C	PROFIBUS PA
Nádoba se surovinou			
T1.1;PT100, SITRANS T3K PA	0 – 150°C	≤ 0.05%/10°C	PROFIBUS PA

Tabulka 2.1: Měřící členy

přístroje pak byl -30mbar až 30mbar. Protože se atmosférický tlak mění, je potřeba nastavení nuly před každým měřením zkontolovat a kontrolu opakovat přibližně po 4 hodinách.

2.5.2 Akční členy

- Topné hnízdo

- Chladič
- Čerpadlo
- Přívod suroviny
- Ventil refluxu

Topné hnízdo

V topném hnízdě dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou. Výkon topného hnízda je 250W a je napájeno ze sítě 230V. Pro řízení přívodu energie do topného hnízda je použito relé *R0.1*. Relé je přímo ovládané z řídicího systému digitálním signálem 24V. Vlastní hnízdo obsahuje regulační člen, který je tvořen bimetalovým spínačem. Tento vlastní regulační člen je používán jako pojistka, aby nedošlo ke spálení topné spirály. Je tedy nastaven na maximální možnou hodnotu.

Chladič

Ochlazování destilátu je prováděno pomocí chladiče, který je tvořen dvěma peltiérovými články zapojené do série. Maximální chladící výkon je 130W. Chladič je chráněn bimetalovým spínačem na ohřívané straně. Při překročení maximální teploty se spínač rozepne, aby vlivem procházejícího proudu nedošlo k poškození článků. Druhou ochranou je filtr. Tento filtr zabrání proudovým nárazům a přepěťovým špičkám vznikajícím při sepnutí obvodu napájecího peltiérové články. Chladič je napájen 24V/5.5A. Je napájen z vlastního zdroje a přívod elektrické energie do chladiče je řízen pomocí relé *R0.3*.

Čerpadlo

Čerpadlo destilačního zbytku o výkonu 2l/h je napájeno ze sítě 230V a ovládáno přes relé *R0.2*. Relé je pak řízeno přímo z řídicího systému digitálním signálem 24V. Peristaltické čerpadlo je odolné vysokým teplotám až do teploty 150°C. Pro snížení teploty destilačního zbytku je použit pasivní chladič, který sníží teplotu z 94°C na 74°C, tedy při provozní teplotě o 20°C.

Přívod suroviny

Přívod suroviny je ovládán 2/2 cestným ventilem *RKY1.0*. Tento ventil je přímo ovládán digitálním signálem z řídicího systému 24V. Příkon ventilu je 8W, světlost ventilu je 2,8mm.

Ventil refluxu

Reflux, zpětný nástřik destilátu je řešen pomocí 3/2 cestného ventilu *RKY1.1*. Ventil je přímo ovládán z řídicího systému digitálním signálem 24V. Příkon ventilu je 8W, světlost 2,8mm.

2.6 Konfigurace použitého řídicího systému

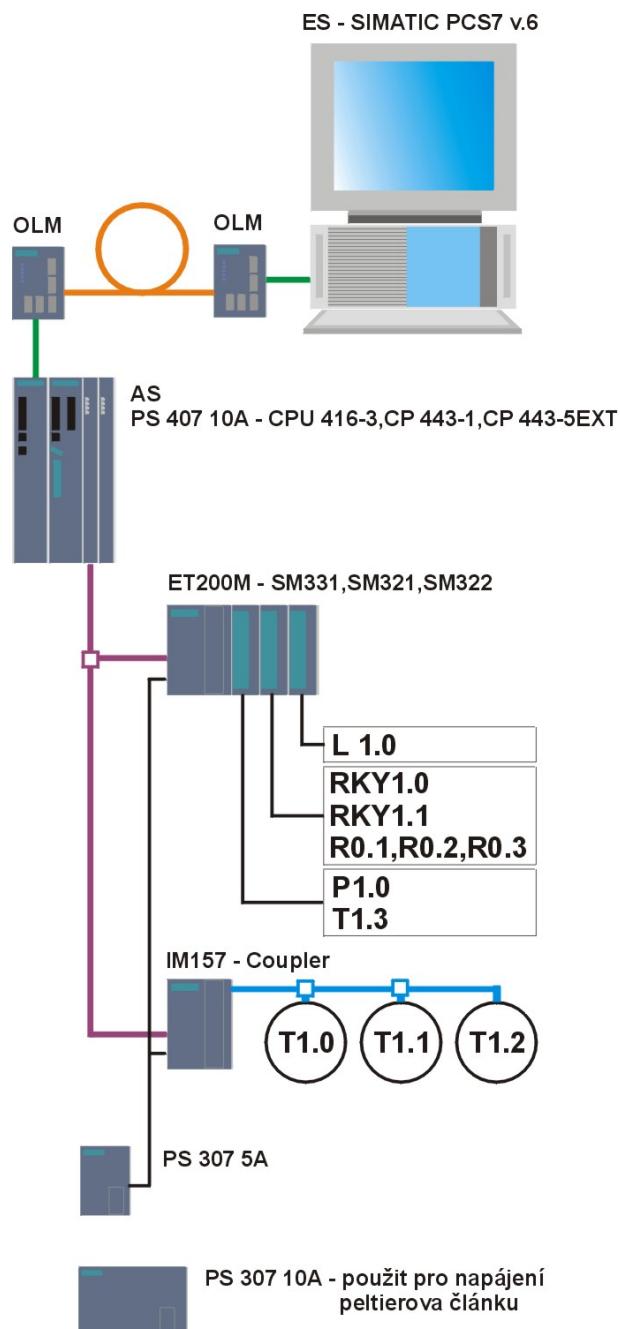
Řídicí systém použitý pro řízení technologického procesu destilační kolony se označuje SIMATIC PCS7. Protože se jedná o výstavní systém, na kterém je umístěno více rozšiřujících modulů, jsou zde uvedeny jen použité moduly, pro řízení modelu kolony. Rozpis jednotlivých komponentů a software je uveden v následující tabulce 2.2.

Název	Označení	Produktové číslo
ES - Inženýrská stanice		
PC - Pentium III 450MHz/256MB RAM	ES	-
ES - software SIMATIC PCS7 v.6.0		-
Monitor SIEMENS 19"		-
AS - Automatizační stanice		
Zdroj	PS 407 10A	407-0KA01-0AA0
Centrální procesorová jednotka	CPU 416-3	416-3XL00-0AB0
Komunikační jednotka Ethernet	CP 443-1	443-1EX10-0XE0
Komunikační jednotka ProfiBus-DP	CP 443-5EXT	443-5DX02-0XE0
Rack	Rack UR1 (18)	6ES7400-1TA01-0AA0
Decentrální jednotka ET200M		
Decentrální jednotka	IM 153-1	153-1AA02-0XB0
Analogové vstupy AI 8x12bit	SM 331	331-7KF01-0AB0
Digitální vstupy DI 16xDC24V	SM 321	321-7BH00-0AB0
Digitální výstupy DO 8xDC24V/0,5A	SM 322	322-8BF00-0AB0
Decentrální jednotka DP/PA Link		
Decentrální jednotka	IM 157	157-0AA81-0XA0
COUPLER	-	157-0AC80-0XA0
Zdroje		
10A 24V stejnosměrný zdroj	PS 307 10A	307-1KA00-0AA0
5A 24V stejnosměrný zdroj	PS 307 5A	307-1EA00-0AA0
Převodníky		
3x převodník teploty na Profibus PA	SITRANS T3K PA	7NG3213-1NN0
Převodník tlaku 4-20mA 0-60mBar	SITRANS P	7NF4032-1BA00-1AB1-Z

Tabulka 2.2: Rozpis použitého řídicího systému

Na obr.2.7 je znázorněno propojení řídicího systému s periferními zařízeními. Základem procesního řídicího systému je automatizační stanice, decentrální jednotka ET200M a převodník PROFIBUS-DP na PA. K automatizační jednotce je přes industrial ethernet připojena inženýrská stanice. Decentrální periferie jsou připojeny k automatizační jednotce přes PROFIBUS-DP. K decentrální jednotce ET200M jsou připojeny rozšiřující moduly vstupů a výstupů jak analogových tak digitálních (tab.2.2).

Okruhy měření teplot $T1.0, T1.1, T1.2$ (obr.2.1) jsou připojeny přes sběrnici PROFIBUS-PA. Teplota $T1.3$ je připojena třívodičově na odporovou smyčku pro PT100 vstupní analogové kartě AI 8x12bit. Měření tlaku $P1.0$ je spojené se systémem proudovou smyčkou 4-



Obrázek 2.7: Schématické zapojení řídicího systému

20mA také na analogovou kartu AI 8x12bit. Uvedená analogová karta má 8 vstupů konfigurovatelných po dvojicích, v případě nastavení měření odporu se používají dva vstupy, aby bylo možné připojit měřenou odporovou smyčku třívodičově či čtyřvodičově. Pro měření výšky hladiny jsou použité digitální vstupy na kartě DI 16xDC24V. Dva vstupy signalizují kritické stavy hladiny, kdy by mohlo dojít k přetečení nádoby s destilačním zbytkem a

naopak nízká hladina by mohla zapříčinit poškození varné baňky vysokou teplotou topného hnázda. Druhé dva vstupy jsou informativní pro spouštění čerpadla.

Akční členy jsou připojeny na výstupní kartu DO 8xDC24V/0,5A. Jedná se o připojení ventilů RKY1.0 24V a RKY1.1 24V, které jsou přímo připojeny na výstupní kartu. Protože je čerpadlo připojeno na 230V, je ovládání čerpadla řešeno přes spínací relé R1.2. Taktéž je řešeno ovládání spínání topného hnázda přes relé R1.1 a chladič, který má příkon vyšší než 0,5A, je ovládán pomocí relé R1.3.

Kapitola 3

Řídicí systém SIMATIC PCS7

V této kapitole je stručný popis procesního řídicího systému SIMATIC PCS7 použitého při řízení procesu rektifikační kolony.

SIMATIC PCS 7 je obchodní označení pro procesní řídicí systém založený na základě automatizačního systému SIMATIC S7. Základem SIMATIC PCS7 jsou standardní komponenty SIMATIC S7 a jeho koncepce "Totally Integrated Automation". Kombinuje přednosti automatizačních řešení na bázi automatů určených pro průmyslovou výrobu. Díky modularitě a odstupňovatelnosti lze systém přizpůsobit provozovanému procesu a později jej libovolně rozšiřovat a zdokonalovat. Komponenty SIMATIC jsou vybaveny pro nasazení v řídicích systémech procesů a pomocí různých systémově technických doplňků rozšířeny na systém pro řízení procesů.

V oblasti periférií následuje systémový trend směřující k decentralizaci. Za tímto účelem se nasazuje standardizovaná sběrnice PROFIBUS a decentrální přístroje pro periférie ET 200M.

3.1 Popis hardware konfigurace SIMATIC PCS7

3.1.1 Typická konfigurace systému

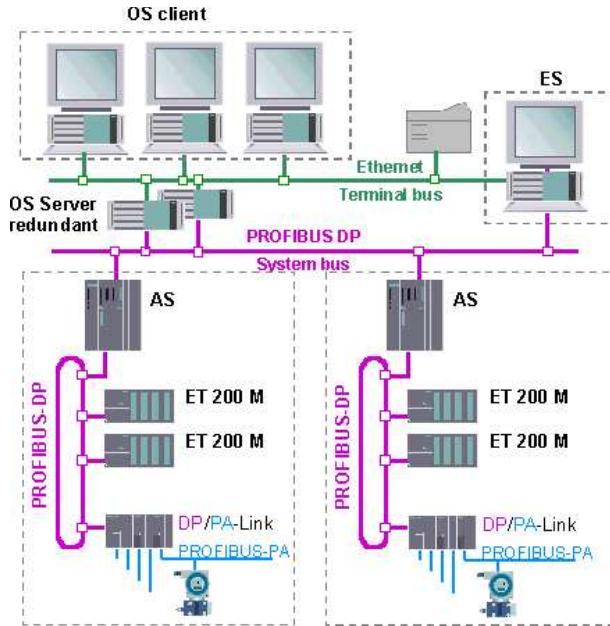
Základ PCS 7 systému je na obr. 3.1. Zde jsou pro ilustraci umístěny tři OS klient (operační stanice klientů), dva redundantní OS¹ servery, ES² inženýrská stanice a dvě AS³ automatizační stanice. OS klient, OS server a ES jsou tvořeny osobními počítači s operačním systémem Windows 2000. AS je programovatelný automat řady SIMATIC S7 - 400.

Hardware potřebný pro OS, ES je dán programovým vybavením. Pro AS je situace závislá na aplikaci podle rychlosti potřeby vyhodnocování signálů, a tak nejnižší doporučenou stanicí AS je 414-3 pro menší aplikace.

¹Operation Station - Operační stanice

²Engineering Station - inženýrská stanice

³Automatisation Station - automatizační stanice



Obrázek 3.1: Konfigurace systému SIMATIC PCS7

3.1.2 ES inženýrská stanice, OS klient, OS server

Pro softwareové vybavení stanic SIMATIC PCS7 v.6 je doporučená konfigurace počítače s procesorem z řady Pentium 4 (2GHz a výš) a pamětí o velikosti alespoň 512MB. Místo potřebné na harddisku záleží na velikosti spravovaného projektu a konkrétní aplikace. Pro OS server je doporučená konfigurace s větší kapacitou harddisku od 80GB a pamětí 1GB.

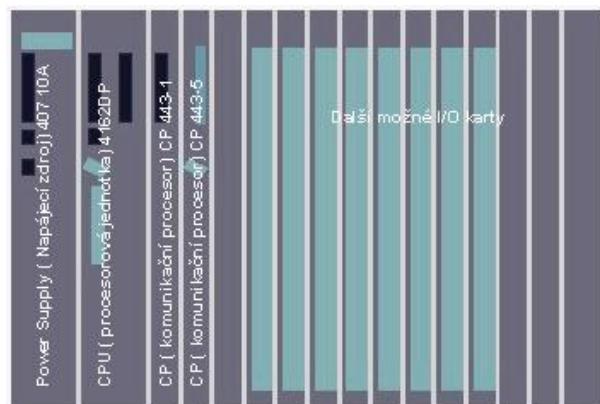
ES může být zároveň spojená s OS klient a OS server. Celý inženýrský systém zahrnuje programové vybavení pro zpracování projektů. Lze jej využít od nejmenších projektů až po ty největší. Základ všech potřebných produktů je již na ES nainstalován a jednotlivé části lze aktivovat koupením licencí k jednotlivým produktům. Software je dodáván ve třech jazykových provedení, a to Německy, Anglicky, a Francouzsky.

Inženýrský systém ES může být rozdělen do dvou oblastí. Vývojové programové prostředí pro AS tzv. AS inženýring a pro OS tzv. OS inženýring. AS inženýring zahrnuje plánovací hierarchii, funkční bloky, CFC, SFC, a konfigurace hardware a komunikační komponenty. Po vytvoření programů pro AS je možné data transferovat do OS inženýringu.

3.1.3 AS automatizační systém

AS stanice je založena na SIMATIC S7 řady 400. Základní sestava této automatizační stanice pro systém SIMATIC PCS 7 je napájecí zdroj, CPU (Central Processing Unit), CP (Communication Processor), komunikační interface (např. MPI - multi-point-interface, PROFIBUS DP a industrial ethernet) a další vstupní a výstupní moduly.

Výkon CPU resp. typ záleží na aplikaci, kde má být použita. Tato karta komunikuje přes komunikační procesor a rozhraní (MPI, PROFIBUS DP a industrial ethernet) s ES a/ nebo



Obrázek 3.2: Automatizační stanice

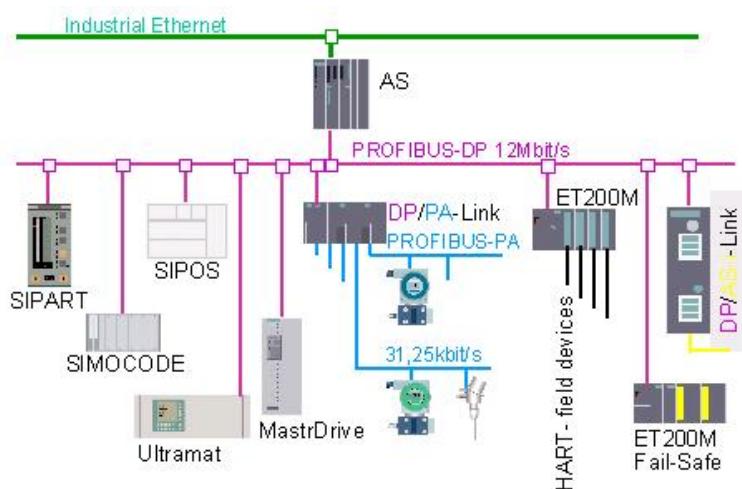
OS .

Popsaný případ složení AS je vidět na obr. 3.2. V modulu CPU je operační systém, podporující SFC (System Function Call) a SFB (System Function Block). Mezi operačním systémem a uživatelským programem jsou organizační bloky (OB).

3.1.4 Periférie systému

Důležitou součástí řídicího systému jsou jeho periférie umožňující připojení k technologii.

- *Polní instrumentace*



Obrázek 3.3: Polní instrumentace

SIEMENS dodává k PCS 7 velké množství variant polních zařízení a instrumentace integrovaných do řídicího systému a komunikace přes bus technologií. Součástí většiny

polní instrumentace jsou komunikační moduly potřebné pro připojení k profibus, tím je usnadněn vývoj vlastního řídicího systému. Profibus obsahuje vlastní instrumentaci a má také rozhraní pro komunikaci na HART , AS-i, DI , DO aj.. Příklad připojení polní instrumentace k řídicímu systému je na obr.3.3.

- *Industrial Ethernet*

Industrial Ethernet je založen na IEEE Standard 802.3 (max. rychlosť je 10Mbps) a může jím být připojeno až několik stovek stanic. Média pro přenos na Industrial Ethernetu mohou být:

- Triaxial kabel
- ITP (Průmyslový Twisted Pair)
- FOC (Fiber-optic cable)

Síť používá OLM (Optical Link Module). Jeden OLM má tři průmyslové ITP porty a dva optické porty. Použitím optického kabelu je možné vytvořit redundantní kruhovou síť, na níž může být použito max. 11 OLM. Optické kabely lze rozdělit na plastové a skleněné. Použití plastových optických kabelů je cenově levnější, je-li však prostředí agresivnější či u optických kabelů se mluví také o rušení, je doporučeno použití skleněných optických vláken (kabelů), které jsou proti rušení odolnější.

- *Fast Industrial Ethernet*

Pro velmi rozsáhlý systém s požadavky rychlých odezv je možné použít jako systémovou sběrnici Fast Industrial Ethernet (někdy označovaný jako Fast Ethernet). Fast Ethernet je založen na standardu ethernetu, základní rysy jsou podobné Ethernet Standardu s komunikační rychlostí deklarovanou výrobci je od 10 do 100 Mbps. Formát dat, CSMA/CD1 přístupové procedury jsou pro optický kabel a twisted pair kabel stejné. Na Fast Ethernet lze připojit neomezené množství pracovních stanic.

Konfigurace sítě Fast Ethernet struktury je hlavně založena na optickém přenosu dat. Průmyslové OSM (Optical Switch Module) umožňuje propojení Industrial Ethernetu založeného na metalickém propojení twisted pair s rychlosťí 10Mbps a Fast Ethernetu s páteří optického propojení s rychlosťí 100Mbps.

Průmyslový switch OSM má šest twisted pair (ITP portů) rozhraní a dvě optická rozhraní. Na tento modul je pak možné připojit šest ITP terminalů nebo je možné dále síť rozvést do šesti dalších podsítí.

Industrial Ethernet sběrnice je možné zapojit také jako redundantní síť. Koncepce redundancy použitá s PCS7 je následující:

- Redundantní optický kruh
- Media redundancy s REDCONNECT

Kruhová redundancy zajišťuje chyby způsobené přerušením či rozpojením jednoho z redundantních kabelů. Media redundancy znamená, že ES či OS má dva kably připojené na systém. Media redundancy s REDCONNECT je vytvoření dvou sítí a to tak, že jsou redundantní jak jejich prvky, tak jsou redundantní i kably.

- *Profibus DP a Profibus PA*

Profibus DP je založen na paralelní komunikaci s 24V. Podporuje deterministickou komunikaci s polními přístroji v automatizační výrobní technice a také přenosu signálů s 4-20mA nebo Hart komunikace. Profibus PA se odlišuje od DP sníženou rychlosťí komunikace a také modulací informačního signálu na napájecí složku což znamená, že přístroje připojené na profibus PA jsou napájeny přes tuto sběrnici. Díky tomu lze Profibus PA použít v prostředí explozivním.

Maximální komunikační rychlosť DP varianty je 12Mbit/s , PA 31,25kbit/s.

- *AS-i*

Sběrnice AS-i je určena pro komunikaci s ovládacími prvky a signalizací. Přes tuto sběrnici jsou napájeny prvky napětím 60V.

- *ET 200M*

Jsou decentrální periférie připojené k Profibus DP, ke kterým se připojují vstupně / výstupní jednotky a to jak centrálně v prostorách pro elektroniku, tak i decentralně v elektrických rozvodnách. Zde se využívají jen I/O⁴ jednotky typové řady S7 - 300 následujících typů:

- Standardní signálové jednotky SM
- Rozvaděčové I/O jednotky s rozšířenými možnostmi diagnostiky
- Vstupně I/O jednotky Ex2
- Regulátorové jednotky FM 355C a FM 355 S

Pokud je v zařízení z důvodů vyšší využitelnosti nutno vyměňovat jednotky za provozu, nasazuje se I/O subsystém, který umožňuje demontáž a montáž jednotek, aniž by bylo nutno daný substituční ET 200M odpojit.

⁴Input/Output vstupně/výstupní

3.1.5 Software SIMATIC PCS7

OS inženýring

OS inženýring je součástí ES či OS serveru. PCS 7 ES obsahuje tyto softwarové produkty:

SIMATIC Manager - v tomto produkту se vytváří základ projektu, jeho vedení a správa případně diagnostika

PH : (Plan Hierarchy) - používá se pro vytváření hierarchie úrovní plánů.

HW Config - programové vybavení pro hardwarovou konfiguraci celého systému od typu CPU, komunikačních procesorech, periférií až polní instrumentaci.

STEP 7 - je nutnou součástí programového vybavení jakožto základní programovací jazyk SIMATIC S7.

CFC : (Continuous Function) - Chart grafické programování základních automatačních funkcí. Toto programové vybavení je vytvořeno tak aby programátorům automatů usnadnilo práci. Spolu s CFC je dodávaná knihovna komponent.

SFC : (Sequential Function Chart) - grafické prostředí k vytváření sekvenčních programů.

SCL : (Structured Control Language) prostředí pro vytváření programových algoritmů a tvorbu funkčních bloků.

IEA : (Import Export Assistant) je prostředí pro výměnu dat s ostatními systémy CAE.

WinCC - grafické vizualizační prostředí pro PCS 7.

Graphics Designer - vytváření obrázků, grafických objektů a animace.

Mapping - transformační program projektů z AS inženýringu do OS inženýringu.

NCM : (Network Communication Manager) - konfigurace a diagnostika systémové sběrnice.

PG/PC Interface - pro nastavení a instalaci CP (Communication Procesor) na zařízení ES a OS serverech.

DOCPRO - pro dokumentaci projektování a zařízení.

Na stanici ES či OS serveru jsou soustředěny funkce:

- Archivace dat
- Tiskový výstup
- Uživatelská administrace. Lokace a řízení přístupů autorizací uživatelů pro odlišné operátorské role.

- Redundance. Konfigurace druhého OS serveru, který je zdvojen s primárním serverem. Jestliže dojde k chybě jednoho serveru, druhý přebere řízení nad systémem a po návratu špatného serveru z opravy proběhne kopírování dat a jejich synchronizace.
- Časová synchronizace. Jedna OS může být určena jako master a řídí synchronizaci všech ostatních automatizačních systémů (AS) připojených na systémovou sběrnici.
- Lifebeat Monitoring. Lifebeat Monitoring je používán ke konstantnímu monitorování individuálních systémů a vytváření výstupů o činnosti na displeji
- Spojení s jinými aplikacemi.

Single-user systémový projekt nesdílí databáze s ostatními počítači. Je umístěn na OS a/nebo ES. Paralelní single-user systémy mohou operovat paralelně na systémové sběrnici a každý projekt běží individuálně na jednotlivých OS.

Multi-user systémový projekt sdílí databáze s možností přístupu společně s OS terminály přes terminálovou sběrnici.

3.1.6 OS server

Tento systém obsahuje balík programů označovaný OS Software Server V6. Tento server komunikuje s AS stanicemi a OS klienty. Na jeden server může být pověšeno až 16 klientů. Tento server může přistupovat maximálně k 150 000 hodnotám, generované a získávané AS. Operátoři a OS klienti mohou vytvářet příkazy a vstupy pro AS.

Redundantní server je funkčně identický se serverem běžící paralelně v čase. Během běžného chodu jsou procesní data zpracovávaná na obou serverech souběžně. Každý server má přístup do procesu a archivuje data. Při výpadku jednoho serveru se klienti automaticky přepnou na funkční server. Po opravě chybného serveru a navrácení zpět do procesu jsou data na serverech automaticky synchronizována od výpadku serveru.

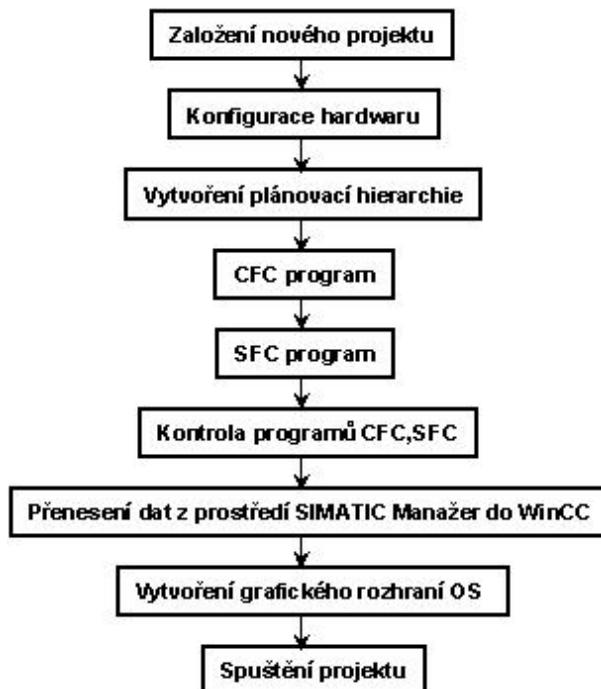
Redundantní synchronizace může být nastavena na zprávový archív, procesních hodnot archív a uživatelský archív.

3.1.7 OS klient

OS klienti mají síťový přístup na OS servery založené na Windows 2000 klient / server technologie. Klienti nemají přímý přístup na systémovou sběrnici. Data získávají přes OS servery.

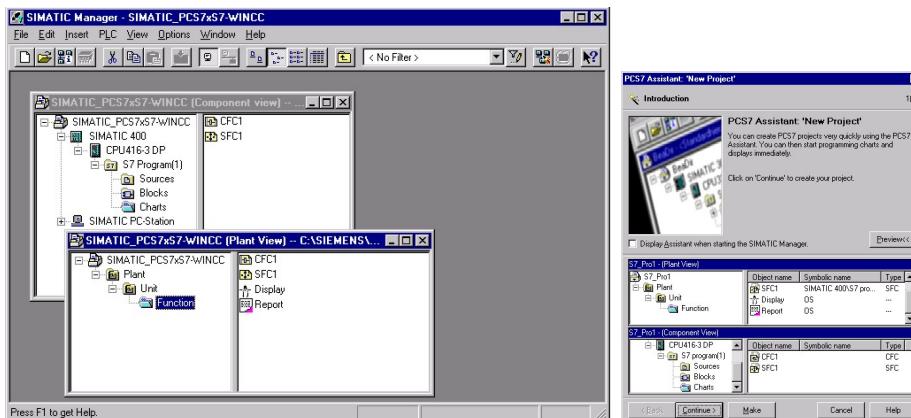
3.2 Tvorba projektu na SIMATIC PCS7

Tvorba projektu na SIMATIC PCS 7 je rozložena do několika kroků (obr.3.4). Prvním krokem je založení projektu, vytvoření hardware konfigurace. Po vložení všech ovladačů zařízení následuje rozplánování projektu do hierarchie podle dané technologie. Následuje vlastní psaní úloh a programů, tvorba vizualizace. Posledním krokem je kontrola funkčnosti software jako celku v technologii a vlastní spuštění technologie.



Obrázek 3.4: Schema tvorby projektu

3.2.1 Simatic manager



Obrázek 3.5: Schema tvorby projektu

Simatic manager je správní program celého projektu sloužící k vedení projektu. V prostředí manager-u je možnost změnit jazyk, ve kterém bude prostředí komunikovat a místo kam se budou ukládat soubory projektu. Z manager-u je možné celý projekt přeložit a downloadovat do daného zařízení v provozu.

Pro vytvoření nového projektu lze použít wizard⁵ "New project wizard" (obr. 3.5). Tento program pomáhá založení nového projektu. Postup lze samozřejmě provádět i ručně, avšak je doporučeno wizardu použít. Po jeho spuštění se objeví úvodní obrazovka a po stisku tlačítka "Continou" vyzve pro výběr základní CPU, na které bude projekt postaven, počet úrovní pro PH, využívání CFC, SFC, WINCC (obrázků, zpráv), objektů. Nakonec wizard vygeneruje základ projektu.

Při zadávání počtu úrovní pro PH je doporučeno nedávat více jak 3 úrovně. Jedná se hlavně o zlepšení přehlednosti. Tuto hierarchii je možné rozdělit podle vlastní topologie provozu. Zde je možné i dodržení značení jak provozního, tak i elektrického.

Projekt lze zobrazit ve dvou strukturách. První, ve které je organizace projektu podle topologie technologie Plant View a struktury dat Component View. V části Plant View je projekt rozdělen do několika úrovní. V tomto okně se vytváří jednotlivé bloky ovládání technologie. Component View, je místo kde najdeme všechny bloky umístěné v Plant View, ale rozdělené podle umístění v AS stanicích a dál rozčleněné na CFC, SFC, OS.

3.2.2 Hardwarová konfigurace (Hardware configuration)

Po vytvoření základní struktury projektu je nutné provést konfiguraci hardware. Sestavením topologie decentralizovaného řídicího systému, vložením objektů danných komponent a zadáním do projektu ovladačů jednotlivých zařízení, dojde k přiřazení adres každému zařízení. Pro lepší přehlednost se k jednotlivým vstupním a výstupním proměnným přiřazují symbolické názvy. Symbolické názvy je možné volit libovolně a jednotlivá označení vstupních proměnných je dobré nastavit podle provozního označení. K daným adresám je možné napsat případně poznámku pro lepší orientaci.

Po vytvoření celé konfigurace se hardware konfigurace přeloží a downloaduje do AS-ka. Při první konfiguraci systému je nutné konfiguraci nahrát přes rozhraní MPI.

Součástí HW - config je i rozsáhlá knihovna různých zařízení a nejen zařízení SIEMENS, ale i jiných konkurenčních společností. Tím se stává celý systém přizpůsobivější požadavkům dané aplikace.

3.2.3 Plan hierarchy

Je prostředí, které je součástí SIMATIC Manageru (obr.3.5). Zde se provádí rozplánování projektu na úrovni pro jednodušší programové zpracování. Rozplánování projektu do úrovní usnadňuje sledování souvislostí při odhadování. Jednotlivé související vizualizační a programové bloky jsou umístěny pod společnou adresářovou strukturu. Maximální počet úrovní je 5, doporučené je použití max. 3 úrovní s ohledem na přehlednost projektu. Počet úrovní se definuje při zakládání projektu, ale není vyloučená možnost počet úrovní změnit.

Na základě Plan hierarchy je v pozdější době generovaná struktura vizualizačního prostředí, tvorba dokumentace aj. Dobré rozplánování úlohy do hierarchie je jedním z prvních požadavků.

⁵Podpůrný program SIMATIC Manager-u automatizující danou úlohu (průvodce)

3.2.4 Programování pomocí CFC

CFC editor slouží k vytváření kombinačních úloh. Program vytvořený v CFC je potom při překládání převeden do jazyka STEP 7 a ten downloadován do PLC⁶. Pro zjednodušení a urychlení programování připravili vývojáři SIEMENS sadu předprogramovatelných bloků, které obsahují všechny signály, které můžeme ze zařízení získávat či je zapisovat (jedná se o alarmové, stavové, signálové aj. hodnoty).

Např. bloky určené ke zpracování analogových hodnot signálů 4-20mA obsahují také převodní funkce a alarmy. Pak takový signál, který je například výstupem z manometru, je v bloku převeden na 0-60mbar a dále se zpracovává již skutečná hodnota. Případně je-li pracovní hodnota zařízení 20-50mbar je možné nastavit min. a max. hodnotu alarmu.

Rozlišovací schopnost čtení signálových dat je dána typem použité karty. Programování v CFC editoru lze charakterizovat následujícími body:

- Zkopírování potřebného modulu do projektu
- Pojmenování bloku
- Vytvoření presentovaných hodnot (převodu signálu na hodnoty)
- Vytvoření funkčních závislostí
- Překlad programu v CFC
- Downloadování programu do PLC
- Testování programu

3.2.5 Programování v SFC

SFC editor slouží k vytváření sekvenčních úloh na programovacích automatech. Vytvoření sekvenční dávky je nutné například při náběhu či odstavení provozu, změny pracovního bodu nebo změny stavu při změnách druhu provozu. Jednotlivé kroky se v grafickém editoru umisťují v plánu SFC, topologie ovládání průběhu procesu se pak vytváří pomocí sekvencí, paralelního větvení, podmínek a smyček. Díky tomuto programovému vybavení lze také automatizovat i šaržové procesy pomocí balíků BATCH flexible. Samostatný systém podporuje pomocí nástroje sestavení a vypracování stále stejných ovládacích pochodů, to znamená permanentních ovladačů průběhu a parametrů.

BATCH flexible se vyznačuje:

- Grafickým sestavováním receptur ve formátu SFC
- Ovládáním a sledováním zpracování procedury se provádí ve stejném grafickém formátu jako při sestavování receptury

⁶Programovatelný logický automat jinak označován AS

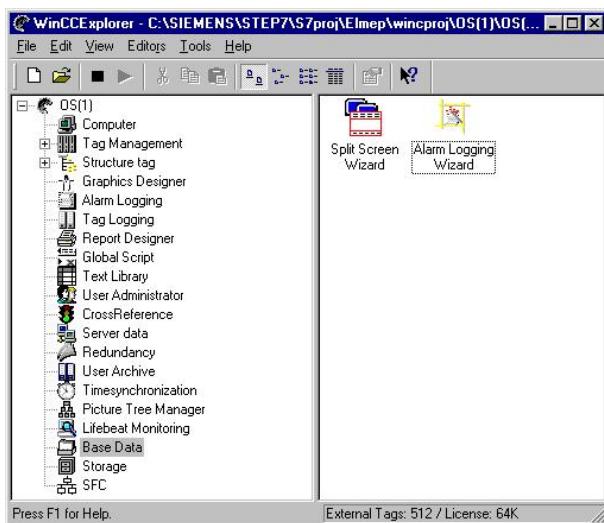
- Je zde možnost změnit online recepturu během jejího provádění
- Integrovanou správou uživatelů s možností odstupňování oprávnění k zásahům
- Průběžným protokolováním všech událostí
- Kompletním sledováním údajů šarží s funkcí exportu a protokolování
- Jednoduchým přehledným plánováním šarží. Možné na vyžádání s napojením na nadřazené systémy plánování a řízení výroby

3.2.6 Mapping

Mapping, jinak označované (Transfer dat) převedení dat. Jedná se o zjednodušení práce programátorovy a proměnné, které vytvořil v CFC či SFC a přiřadil jim symbolické hodnoty, lze tímto způsobem jednoduše převést do vizualizačního prostředí WINCC. Nejdá se jen o přenos dat, ale na základě vytvořené plánovací hierarchie založení základního vzhledu vizualizace.

Při transferu dat je použit Wizard: Transfer PLC Data to OS, vybírájí se data jenž budou přenesena a mód přenosu (pouze změny, vše, případně je možné vycistit program OS) mezi vybíraná data patří, která skupina S7 programů bude využívána, na které operátorské stanici vizualizace poběží, přes jaké rozhraní bude PLC s OS spojeno. V neposlední řadě je na výběru rozlišení na kterém vizualizace poběží. Tento krok obsluhuje Split Screen Wizard, tento wizard vytvoří na základě PH základní prostředí vizualizace.

3.2.7 Tvorba vizualizace ve WinCCExplorer



Obrázek 3.6: Schema tvorby projektu

Tzv. OS inženýring. Tvorba vizualizačního prostředí se provádí v programovém prostředí WINCC. Po otevření OS části v Program manageru se nám objeví obrazovka WinCCEexplorer. Toto je prostředí vzhledu obrázků a operátorských funkcí jako trendy, archivace a reporty. Na obr. 3.6 je v levé části seznam OS editorů např.: Graphic Designer editor, Tag Loggin editor atd. V pravé části je seznam obrázků, které jsou vytvořeny pro projekt. Systémové obrázky začínají symbolem @, a jsou vytvořeny Split Wizard-em2. Hodnoty použité v CFC a SFC programů jsou také převedeny do OS editoru pro monitorování a změny. Tyto proměnné jsou uloženy v rozhraní určeném ke komunikaci pod Tag Management.

Po vytvoření základní struktury vizualizace a přenesení dat je možné v části Projekt properties (je pod OS při stisku pravého tlačítka myši) vybrat, zda projekt bude Single User Systém, Mutli- user systém či Multi Client. Komunikační parametry se nastavují v menu části "Setting the PG/PC interface" Program manageru. U WinCCEexplorera je adresa AS stanice v části Tag Management / SIMATIC S7 PROTOCOL SUITE.

V části Base data jsou uloženy standardy PCS 7 OS systému, např.: vygenerované systémové obrázky již výše zmínovanými wizardy.

Pro tvorbu procesní vizualizace je určen nástroj Graphics Design, zde je připravena knihovna grafických symbolů.

3.3 Porovnání systémů

SIMATIC PCS 7 vs. SIMATIC S7 + WinCC

Porovnání SIMATIC PCS7 a SIMATIC S7 + WINCC (dále jako kombinační technika) se z prvního pohledu zdá jako nemožné. V prvé řadě je nutno podotknout, že SIMATIC PCS 7 je založen na základě struktury kombinační techniky. SIMATIC PCS7 vychází z koncepce "Totally integrated automation", a tak porovnání těchto dvou časově koncepcně různých systémů by mohl být na obecné hospodárnosti.

Zásadní rozdíl obou systémů je patrný již z jejich názvů. Kombinovaná technika řízení je složena ze samostatných komponentů, které jsou projekčně a montážně uspořádány tak, aby tvořily jeden celek, který však vyžaduje dodatečné sladění za účelem funkce, kterou má tento řídicí celek plnit.

Uspořádání řídicího systému s názvem SIMATIC PCS 7 je ve skutečnosti integrací (sčlení) všech řídicích komponentů a to tak, aby tento celek mohl být dodán bez dodatečného ladění jeho komponentů, a tudíž bez doplňkové simulace signálů u jednotlivých komponentů a centrální části systému.

- Software

SIMATIC PCS7 software se dodává jako kombinace několika různých balíků. U těchto balíků je pak zaručená spolupráce. Celý systém bývá často předinstalován a programové balíky, na které je zakoupená licence, se aktivují pomocí tzv. licenční diskety. U kombinační techniky jsou jednotlivé programové balíky nabízeny jakožto různé produkty. Cena programového vybavení v obecném pohledu je u PCS7 systému vyšší

neboť systém zahrnuje i knihovny u kterých je zaručená spolupráce. Jedná se například o bloky v CFC a moduly ve WINCC.

- Inženýring

Tato část systému je hospodárně nejvíce odlišná. V obecném pohledu psaní programů pro kombinační techniku zabere více času, a tím se i zvyšují náklady. Při tvorbě většího projektu je nutné práci rozdělit na několik pracovních míst, a to například programování automatů, vytváření vizualizace, technologie, hardwaráři (lidé, kteří se starají o naprogramování přístrojů a jejich oživení) a koordinování projektu. Na PCS7 je možné, aby "jedna pracovní síla" dala dohromady menší projekt, např. řízení malé úpravny pitné vody (samozřejmě má-li dostatečné znalosti v daném řízeném provozu). Rozdelením i takovýchto projektů na několik lidí (či skupin) dosáhneme časového urychlení projektu, a tím snížení nákladů. Aplikace, kdy jde o programování PLC pro řízení jednoho stroje, je však pro PCS7 příliš nákladná. Zde bychom mohly říci, že hranice, kdy bude vývoj inženýringu levnější, záleží na objemnosti řízeného provozu.

- Údržba systému

Po vytvoření celého projektu a uvedení do provozu je možné, aby systém pak spravoval pouze jeden člověk, který bude dělat drobné úpravy v řízení. U kombinační techniky je nutné dobré znalosti spojení jednotlivých komponentů, jakožto AS s OS. A tak u středních a velkých aplikací jde u PCS7 o úsporu.

- Rozšiřování systému

Tento bod hovoří pro PCS7. Při rozšiřování aplikace řídicího systému je díky homogennímu projektovému vybavení rychlejší. Tvůrci systému také počítali i s možným připojením jiného celku řídicího systému, a tak vše programově připravili. Na rozšiřování kombinační techniky je nutné více času, neboť vzájemné propojení přidaných zařízení případně systémů je vlastní úlohou. Jestliže programátoři již předem u kombinační techniky nepočítali s možným rozšiřováním, znamená to i silný zásah do původního řídicího systému.

- Programový pohled

Kombinační technika: Při tvorbě programů pro AS stanice musí programátor s pomocí technologa určit, která alarmová hlášení jsou potřebná pro chod systému, a která z nich musí obsluha vidět. Při vyčlenění signálů je programátor musí programově obsloužit, zajistit jejich kvitování a předat tyto informace svým kolegům, kteří se podílejí na tvorbě projektu. Jeho kolegové pak informace zpracovávají, vytváří generování zpráv o těchto stavech, vizualizační prostředí.

SIMATIC PCS7: Zde jde o centrální inženýrský systém, kde programátor AS stanic při výběru obslužného bloku určitého zařízení jen na bloku označí, které alarmové hlášky, případně i jiné stavy budou dále v systému zpracovávat. Při přechodu do vizualizačního prostředí (transferu dat) se na základě dat obsažených v Plan View vygeneruje seznam proměnných. Programátor ve WINCC si pak jen určuje, kdy resp. na které obrazovce

se budou zobrazovat. Data, jenž jsou do projektu vkládána, jsou zde obsažená jen jedenkrát, toto vychází z centrálního držení dat. Na základě centrálního inženýrského systému je v celém projektu sjednocená komunikace, názvy proměnných (symbolické názvy), a tím se zvyšuje efektivita spolupráce mezi jednotlivými vývojovými skupinami (AS programátoři, OS, Batch, Polní instrumentace, I/O, Net). Ve všech úrovních řídicího systému je pak počítáno s: Alarmy / Hlášení, Diagnostikou, Redundancí, Dokumentací, Zpráv o zásahu, Zákaznické podpory.

- Dokumentace

Tvorba dokumentace u kombinační techniky je specialitou každé vývojové skupiny. Např. programátoři SIMATIC S7 vytvářejí dokumentaci k jednotlivým vstupům a výstupům automatům a vývojáři vizualizačního prostředí vytvářejí dokumentaci k vizualizačnímu prostředí.

U SIMATIC PCS7 se o vše stará centrální inženýrský systém. A při požadavku generuje dokumentaci. Tato dokumentace je dokumentací funkčního a programového propojení systému. Není to dokumentace k obsluze systému. Tuto část jako u kombinační techniky musí vývojový tým napsat.

- Garance

SIEMENS dává garanci na kompletní systém SIMATIC PCS7. Délka záruky je dána cenovou relací systému a za určitý poplatek je možné záruku prodloužit.

Kapitola 4

Popis řízení kolony

4.1 Rozdělení řízení provozu

Chod celé kolony je silně vázán na směsi určené k destilaci. V případě modelu se jedná o směs vody a lihu. Tato směs je obarvena skalicí modrou, aby bylo možno snadněji sledovat funkci celého modelu. Směs, která byla připravena k destilaci obsahovala 31,8% lihu a zbytek byla převážne voda. Podrobnější informace složení destilované směsi jsou uvedeny v kapitole 6.

Uvedená směs má bod varu $84^{\circ}C$, líh má bod varu $78,3^{\circ}C$ a destilační zbytek v patě rektifikační kolony byl udržován na teplotě $94^{\circ}C$. Protože teplota v hlavě kolony nebyla přímo řízena, bylo nutné určit množství a teplotu zpětně navráceného zkapalněného destilátu. Teplota destilátu byla přibližně výpočtem stanovena na $42^{\circ}C$, později experimentálně upravena a doba zpětného nástřiku (refluxu) na 40% z 2.5s periody řízení refluxu. Tento stav popisuje pracovní bod kolony, kdy získávaný destilát obsahuje maximální koncentraci lihu.

Chod celé rektifikační kolony lze rozdělit do tří stavů.

- Náběh
- Destilace
- Odstavení

Než se kolona dostane do pracovního bodu (jedná se o tzv. náběh kdy dochází k ustálení sledovaných teplot a tlaku kolony) dochází k ustálení koncentrací v patě kolony a hlavě kolony. Jde o stav, který nastává při startu celého modelu rektifikační kolony.

Část označovaná destilace, lze označit také jako pracovní bod kolony. V tomto stavu jsou všechny sledované veličiny v předepsaných mezích a dochází k destilaci. Výsledný destilát je pak sbírá ve sběrné baňce, odkud se přepadem dostává zpět do nádoby se surovinou.

V případě, že dojde k poruše nebo je potřeba z jiného důvodu destilaci zastavit, je tento stav nazýván odstavení. Jde o odstavení celé destilace z provozu podle předepsaných kroků.

4.1.1 Náběh

Při náběhu kolony se jedná o tzv. vytemperování celého systému a ustálení sledovaných hodnot. V manuálním chodu je celé řízení zanecháno na operátorovi. Ten řídí celý běh kolony.

V případě automatického řízení kolony je potřeba dodržet postup spouštění jednotlivých okruhů. Předpokladem při spouštění kolony je nižší okolní teplota od teploty žádané v hlavě kolony.

Při zapnutí řízení a přepnutí do automatického chodu se přepne regulace teplot T1.2 a T1.3 do automatického módu (řízení pomocí PID regulátoru). Současně se zapne okruh hlídání výšky hladiny na základě limitních mezí L1.0 odčerpávané pomocí čerpadla RKP a otevře se ventil RKY 1.0 přívodu suroviny do nástřikového místa v koloně.

Systém topného hnázda je popsán dvěma přenosy (kapitola 2.4). Jakmile se teplota ve varné baňce dostane na teplotu bodu varu destilačního zbytku, začne se kapalina odpařovat a těmito párami se vytemperuje destilační kolona. Teplota v hlavě kolony začne narůstat a páry odvedené do chladiče se zkapalní a část se jich přivede nazpět do kolony, čímž dojde ke zpětnému ochlazování teploty v koloně. Postupně dojde k ustálení teplot v patě kolony, kde je teplota udržována na 94°C . Teplota zpětného nástřiku je udržována na 42°C . Po ustálení těchto hodnot přechází řízení kolony do stavu destilace.

Přechod je podmíněn časovou konstantou a hysterezí pro jednotlivé teploty T1.0, T1.2, T1.3 zadané ve vizualizaci. Ustálení je požadováno za definitivní až po uplynutí doby, po které může dojít ke změně hodnoty mimo dovolenou mez. Dojde-li ke změně hodnoty některé z teplot mimo stanovenou mez udávanou hysterezí, je čas vynulován a znova spuštěn až se hodnota dostane zpět na stanovenou mez.

V případě dojde-li při náběhu k překročení meze některé z teplot nad povolenou hodnotou horní meze, je celý systém přepnut do stavu odstavení. Hlídání spodních mezí teplot T1.0, T1.2, T1.3 je při náběhu blokováno, kromě hlídání tlaku v hlavě kolony P1.0.

Při náběhu kolony je nutná kontrola operátora zda dochází v systému k ustálení teplot na žádaných hodnotách. V případě, že nedochází k nárůstu teplot, musí operátor identifikovat možnou závadu.

4.1.2 Vlastní destilace

Po přechodu ze stavu náběhu do stavu destilace je systém stabilizován na pracovním bodu a teplota v hlavě kolony je maximálně $78,3^{\circ}\text{C}$. Tato teplota je teplota bodu varu čistého lihu obsaženého ve směsi určené k destilaci.

Teplota ve varné baňce je udržována na hodnotě 94°C , a teplota zkapalněného a ochlazeného destilátu je udržována na hodnotě 42°C . V průběhu destilace by měl být tlak v hlavě kolony na úrovni atmosférického tlaku. Protože ale dochází k diskontinuálnímu řízení výšky hladiny destilačního zbytku v patě kolony, budou všechny veličiny tímto zásahem ovlivněny a jejich hodnoty kolísat. Přesto by neměli překročit určité meze a v případě překročení těchto mezí by mělo dojít k informování obsluhy a při překročení hazardních úrovní k odstavení systému celé kolony, nedojde-li k zásahu ze strany obsluhy.

Stav destilace na koloně je v manuálním režimu a automatickém shodný jen s tím

rozdílem, že v automatickém režimu dochází k hlídání kritických mezí pro děj destilace a v případě jejich překročení k odstavení celého systému. V manuálním režimu je obsluha pouze upozorněna na překročení mezí (kapitola 4.1.4).

4.1.3 Odstavení z provozu

Odstavení destilační kolony je nutné dodržet opačný postup spouštění. Nyní je systém vytemperován a je třeba počkat až systém vychladne. Prvním krokem je vypnutí přívodu tepelné energie do systému vařáku a uzavření ventilu nástřiku suroviny do kolony. Varná baňka je velkou tepelnou kapacitou, a tak se při přerušení tepelné energie do systému kolony okamžitě proces nezastaví. Do doby než klesne teplota ve varné baňce je nutné nechat běžet chladič destilátu, aby docházelo ke zkopalňování destilačních par. Zpětný nástřikový ventil refluxu zajistí rychlejší ochlazování systému kolony.

Systém je definitivně odstaven až po klesnutí teploty ve vařáku T1.2 pod definovanou mez, tato mez je zadávána z vizualizace. Po klesnutí teploty pod definovanou hodnotu je možné odpojit chladič, hlídání hladiny ve varné baňce, ventil zpětného nástřiku.

4.1.4 Detekce závad v technologii

Detekce závad na technologii modelu rektifikační kolony je postavena na detekci překročení přípustných mezí měřených hodnot. Tabulka 4.1 udává povolené meze při destilaci. Meze byly odvozeny z několika měření na modelu rektifikační kolony, aby respektovaly i počáteční překmity při stabilizaci celého systému kolony.

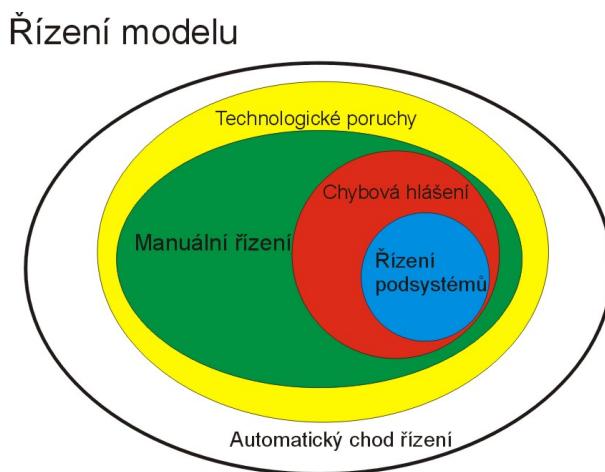
Informace o maximální a minimální výšce hladiny je dána nastavením limitního čidla výšky hladiny popsané v kapitole 6.1. Čidlo výšky hladiny nemá varovný signál, ale pouze hlášení alarmu velmi nízké či příliš vysoké hladiny. Dostane li se hladina pod minimální mez je automaticky jak v manuálním, tak v automatickém módu řízení zablokován přívod elektrické energie do topného hnázda. V opačném případě dosáhne li výška hladiny maximální hodnoty, je uzavřen ventil přívodu suroviny do kolony.

Měřená veličina	Žádaná hodnota	Varování		Alarm	
		min.	max.	min.	max.
T1.0	78, 3°C	75°C	82°C	73°C	85°C
T1.1	20 – 40°C	15°C	45°C	10°C	50°C
T1.2	94°C	91°C	96°C	89°C	98°C
T1.3	42°C	40°C	44°C	38°C	45°C
P1.0	0mbar	-20mbar	20mbar	-25mbar	25mbar

Tabulka 4.1: Limity sledovaných veličin

4.2 Rozdělení řízení

Řízení technologického procesu se dělí na několik vrstev (obr.4.1). Abychom zajistili chod systému plně pod kontrolou s hlídáním alarmových a systémových hlášení. Na nejnižší úrovni se jedná o vlastní řízení jednotlivých částí systému modelu. Jde zde o ovládání topení topného hnázda, spouštění čerpadla pro odtah destilačního zbytku, ventilu přísunu suroviny, ventilu zpětného nástríku, sledování teploty a tlaku v hlavě kolony, ochlazování destilátu na danou teplotu.



Obrázek 4.1: Úrovňové rozdělení řízení systému

Nad touto úrovni je úzce spjaté hlídání kvality hodnot, překročení nastavených mezí, hlídání poruchových a systémových hlášení. Při řízení je nutná a nezbytná kvalita měřených hodnot. Jedná se vlastně o určení důvěryhodnosti měřené veličiny, která není důvěryhodná při výskytu nějaké poruchy na měřícím zařízení. Pro kvalitu regulace je nutná znalost mezí pro danou veličinu. Při překročení horní či dolní meze dochází ke snížení kvality výsledného produktu v technologii a zároveň je to ukazatel poruchy v dané technologii.

Na základě předchozích dvou vrstev je možné vytvořit manuální či poloautomatické ovládání technologie. Poloautomatickým ovládáním se myslí řešení automatického chodu jednotlivých částí provozu, tak aby mohla obsluha kontrolovat pouze výsledné veličiny a nezabývala se např. množstvím energie přivedené do systému. Tuto úlohu vytvářejí vlastní regulátory daných veličin. Obsluha tak může v manuálním provozu sledovat potřebné veličiny a upravovat je nastavením žádaných hodnot na regulátoru.

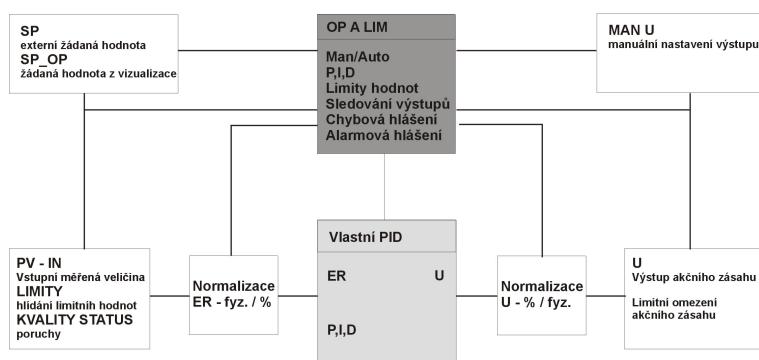
Před plným automatickým chodem celého technologického provozu je nutné stanovit technologické meze, které nesmějí být překročeny. Mohlo by dojít k hazardnímu stavu. V případě hazardního stavu je pak nutné celý systém odstavit a nalézt příčinu daného stavu.

Na poslední vrstvě je vlastní plně automatický chod zajišťující náběh kolony do pracovního bodu, hlídání vlastní destilace a případně odstavení z provozu.

4.2.1 Popis řízení jednotlivých částí

Pro řízení jednotlivých podsystémů kolony byly použity standardní knihovní funkce určené pro řídicí systém SIMATIC PCS7. Hlavními použitými bloky pro řízení jsou blok PID regulátor a blok PWM¹. Řízení kolony je rozděleno podle kap.2.3 na jednotlivé okruhy řízení, spouštění destilace, výšky hladiny v patě kolony, množství refluxu, teploty destilačního zbytku a teploty v chladiči.

Použité bloky pro řízení



Obrázek 4.2: Blokové schéma PID regulátoru

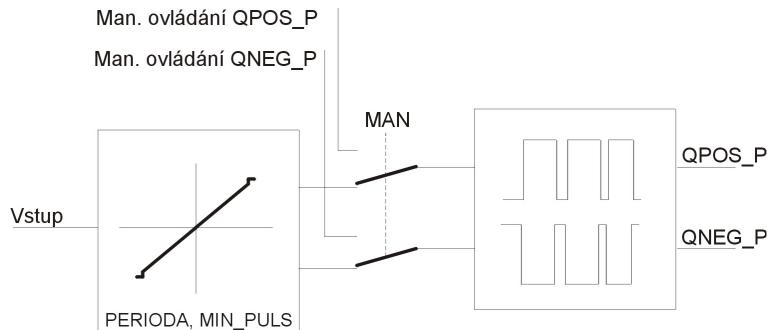
Na obr.4.2 je blokové schéma použitého bloku PID regulátoru. Tento modul v sobě zahrnuje blok pro komunikaci přes operátorskou stanici (ve vizualizaci), normalizaci výstupního signálu a odchylky od žádané hodnoty na 0 až 100%. Výstup lze potom také převést zpět na fyzikální hodnotu. U modelu se využívá výstup procentuální, protože pak dochází pomocí PWM k modulaci signálu a ovládání akční veličiny přes spínací relé. Regulátor má dva stavy automatický a manuální.

V automatickém stavu je výstup řízen pomocí PID regulátoru na základě měřené veličiny a žádané hodnoty. V manuálním provozu lze nastavit výstup z regulátoru na určitou hodnotu, a tím zajistit konstantní výstup z regulátoru. Manuální režim je vhodný pro případné naměření přechodové charakteristiky nebo přímé ovládání akčního členu. Blok obsahuje také hlídání mezních hodnot měřených veličin, nastavení žádané hodnoty a výstupní hodnoty v manuálním stavu.

PWM blok převádí akční výstupní signál ze vstupní hodnoty pomocí pulsně šířkové modulace na relé daného akčního členu. Pulsně šířkový modulátor pracuje ve dvou možných režimech: třípolohový v rozmezí od -100% do +100% či jako dvoupolohový od 0% do 100%. Pro řízení dodávky energie do chladiče a topného hnízda se použilo převodu z 0% – 100%. Tento blok pracuje v periodě, která je mu zadána a ošetřuje také nejkratší interval možného sepnutí výstupního prvku.

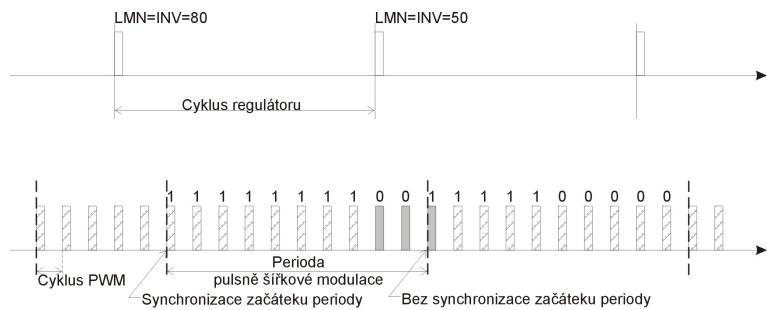
Způsob popisu práce PWM bloku je naznačen na obr.4.4. V každé periodě vlastní PWM modulace si blok odečte vstupní hodnotu signálu. Na základě získané hodnoty vypočítá dobu

¹Pulse wide modulator - pulsně šířkový modulátor



Obrázek 4.3: Blokové schéma PWM

trvání pulsu. Programový modulátor šířkové modulace je spouštěn v AS každých 100ms. Při každém zavolení procedury PWM bloku je vyhodnocena výstupní hodnota nastavení ovládacího členu. Výstupní signál lze synchronizovat na změnu vstupní hodnoty. Je-li perioda PWM delší než je změna vstupní hodnoty, lze tuto skutečnost kompenzovat synchronizací na vstup. U modelu kolony je modulátor nastaven s pevnou šírkou periody bez synchronizace na vstup. Aby bylo možné ovládat parametry modulátoru přes vizualizaci, jsou na jeho vstupy připojeny vstupní moduly propojující programovou část v AS stanici a vizualizaci.



Obrázek 4.4: Znázornění funkce PWM

Protože parametr délky periody a minimální délky pulzu modulátoru se musí zadávat ve tvaru odpovídající typu proměnné času, která není obsažená ve vizualizačním prostředí, bylo potřeba napsat vlastní funkční blok pro převod typu proměnných s možností nastavení násobné konstanty.

Blok pro převod proměnné typu real na typ time je

```
FUNCTION_BLOCK FB1020 // Označení funkčního bloku
```

```
VAR_INPUT // Definice vstupních parametrů bloku
Cas_Real: REAL;
Nasobek: REAL;
END_VAR
```

```
VAR_IN_OUT // Definice vstupních/výstupních parametrů bloku
END_VAR

VAR_OUTPUT // Definice výstupních parametrů
T: TIME;
END_VAR

VAR_TEMP // Definice pomocných proměnných
END_VAR

VAR // Definice parametrů
END_VAR

BEGIN

T:=DINT_TO_TIME (REAL_TO_DINT (Cas_Real * Nasobek));

END_FUNCTION_BLOCK
```

Okruh spouštění destilace

Tento okruh je řešen v samostatném CFC bloku označeném “START-STOP”. V okruhu spouštění destilace je vstupní hodnotou signál z vizualizace k povolení řízení jednotlivých okruhů. Druhým vstupním signálem je přechod z manuálního řízení do plně automatického. Signál přepnutí do plného automatického stavu je závislý na signálu spuštění. Nelze tedy provést přechod z manuálního řízení do plně automatického, dokud je celé řízení vypnuto.

Některé následné obvody jsou aktivní pouze při automatickém chodu, nebo se jejich stav mění s přepnutím z manuálního stavu do automatického a naopak. Proto výstupní signály z bloku “START-STOP” jsou tři. Jeden udává, že systém je zapnut a v manuálním provozu (log. 1)², druhý že je zapnut a v automatickém provozu (log. 1) a poslední udává, že se systém nachází v jednom z těchto dvou stavů (log. 1). Pokud systém není z některých stavů je výstupní hodnota daného stavu (log. 0).

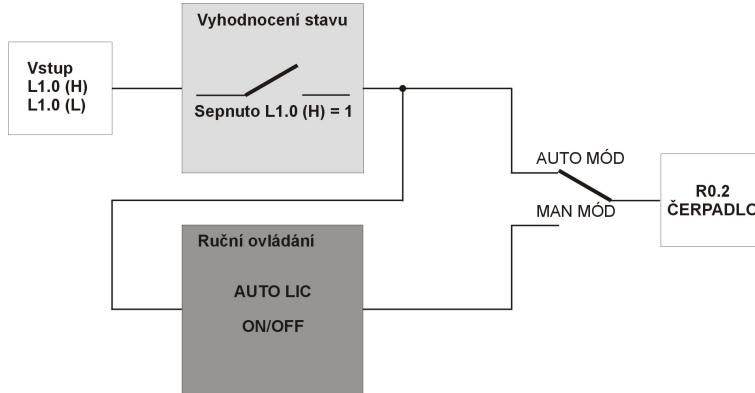
Blok “START-STOP” obsahuje ještě signalizaci stavu plně automatického chodu v které části se právě nachází. Jde o indikaci do vizualizace, zda jde o náběh, destilaci či odstavení rektifikační kolony.

Okruh řízení výšky hladiny

Výška hladiny je řízena na základě signalizace dosažení daných úrovní. Vstupní hodnotou jsou čtyři binární signály označující jednotlivé stavy hladiny.

Hladina je pod velmi nízkou úrovní, v tomto stavu musí být chod kolony zastaven, aby nedošlo k poškození zařízení. Úroveň hladiny je v dolní mezi, zde dochází k vypnutí

²poznámka autora: označuje výstupní logickou hodnotu

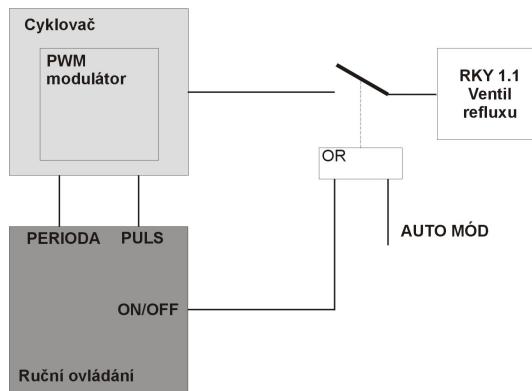


Obrázek 4.5: Řízení výšky hladiny

odčerpávání destilačního zbytku. Hladina dosáhla horní úrovně, signalizuje spuštění čerpadla destilačního zbytku. Pokud hladina překročí velmi vysokou úroveň, dojde k uzavření ventilu přívodu suroviny, aby nedošlo k přetečení varné baňky.

Výstupní hodnotou je signál pro spuštění čerpadla. Čerpadlo destilačního zbytku je ovládáno přes relé R 0.2.

Okruh odčerpávání destilačního zbytku je rozdělen na dva stavy. V jednom, kdy je systém v manuálním provozu, lze ovládat čerpadlo přímo spuštěním z vizualizace. Tento stav je určen pro případné odčerpání zbytku ve varné baňce při odstavení a následném rozebrání kolony. Druhý stav je určen pro spuštění čerpadla podle výšky hladiny a lze označit jako poloautomatický režim v manuálním provozu kolony. Při plně automatickém chodu kolony je tento stav aktivován.



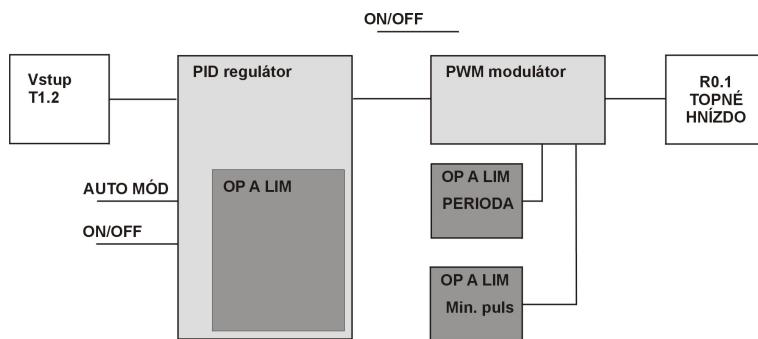
Obrázek 4.6: Řízení refluxu

Součástí okruhu řízení výšky hladiny je také otvírání a zavírání ventilu přívodu suroviny do kolony. Tento ventil je ovládán manuálně či v automatickém provozu při spuštění hlídání hladiny za podmínky, že hladina nedosáhla velmi vysoké úrovně jak při manuálním stavu, tak automatickém.

Okruh řízení refluxu

Reflux je řízen pulsne šířkovou modulací s pevně stanovenou dobou trvání pulsu. Výsledná teplota v hlavě kolony je pak dána nastavením teplot v patě kolony a teplotou zkapalněného destilátu v chladiči a množství odpařených par. Spouštění refluxu je přímo z vizualizace. Nastavení periody modulace, zadávané v sekundách a délky pulsu určené v % z doby periody, je řešeno z vizualizace.

Okruh řízení topného hnázda

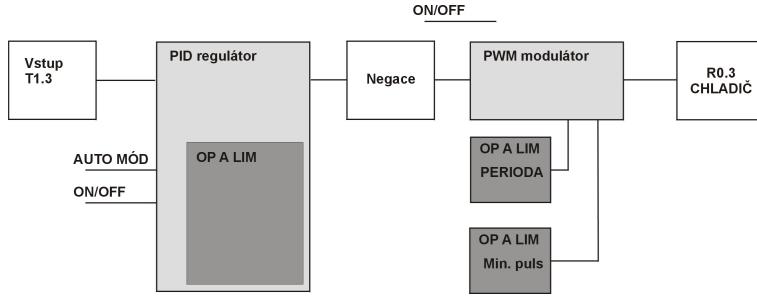


Obrázek 4.7: Řízení teploty topného hnázda

Výstupní hodnotou z topného hnázda je teplota destilačního zbytku ve varné baňce. Vstupní akční veličina je přívod elektrické energie ovládané přes relé R 0.1. Množství elektrické energie převedené na teplo je popsáno v kap. 1.2. Na obr.4.7 je blokové znázornění řešení regulace teploty v patě kolony. Vstupní signál je přiveden pomocí bloku pro přístup k hodnotám v AS stanici. Tento blok zajišťuje hlídání kvality snímané veličiny. Odtud jsou vyvedeny signály do PID regulátoru. Akční zásah z PID regulátoru nabývá hodnot 0 až 100% a je přiveden do bloku pulsne šířkové modulace PWM. Výstup z bloku PWM je blokován signálem spuštění a signálem o stavu velmi nízké hladiny. Tudiž nedojde k vyhřívání destilačního zbytku, pokud je hladina pod touto mezí. Nastavení parametrů PID regulátoru a PWM se provádí z vizualizace. Pro zadávání hodnot periody a minimálního pulsu z vizualizace je vložen blok, mezi blok přístupu z vizualizace a PWM, pro převod z proměné REAL na proměnou TIME. Perioda PWM se zadává v sekundách a minimální délka pulsu je v milisekundách.

Okruh řízení chladiče

Řízení okruhu chladiče je obdobné jako u topného hnázda. Výstupní veličinou chladiče je teplota a vstupní akční veličina je přivedená elektrická energie. Tak jako u topného hnázda je měřená veličina snímána pomocí bloku přístupu do AS a odtud přivedena na vstup PID regulátoru. Protože u chladiče dochází naopak od topného hnázda k ochlazování, je výstupní hodnota z PID regulátoru od 0 do -100%. Chladič je postaven z peltiérového článku, u kterého je nepřímá úměra mezi přivedenou energií a výslednou teplotou. Čím více



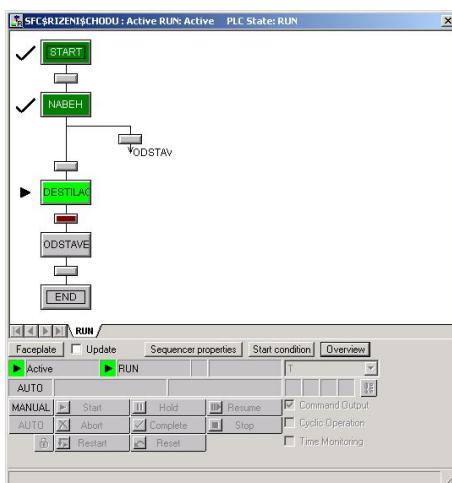
Obrázek 4.8: Řízení teploty v chladiči

energie je přivedeno do peltiérového článku, tím nižší teplota bude v chladiči. Proto je nutné výstup z PID regulátoru negovat (otočit znaménko) a pak teprve přivést do PWM bloku.

Současně při získávání hodnot z AS stanice je kontrolována jejich kvalita, tedy nenastala-li nějaká závada na zařízení. Jednotlivá zařízení sama kontrolují stav měřené hodnoty a nastane-li např. prudká změna, je o tom vygenerována chybová hláška. Také se kontroluje povolená mez měřených veličin. Každá měřená veličina je hlídána na překročení meze, při které se generuje varovné hlášení, ale ještě nedochází k hazardnímu stavu. Druhá hlídaná mez je hazardní stav dané veličiny a v automatickém chodu celé destilace dojde na základě tohoto signálu k odstavení celého modelu. Nastavení mezí jednotlivých veličin je závislé na technologii a surovině určené k destilaci.

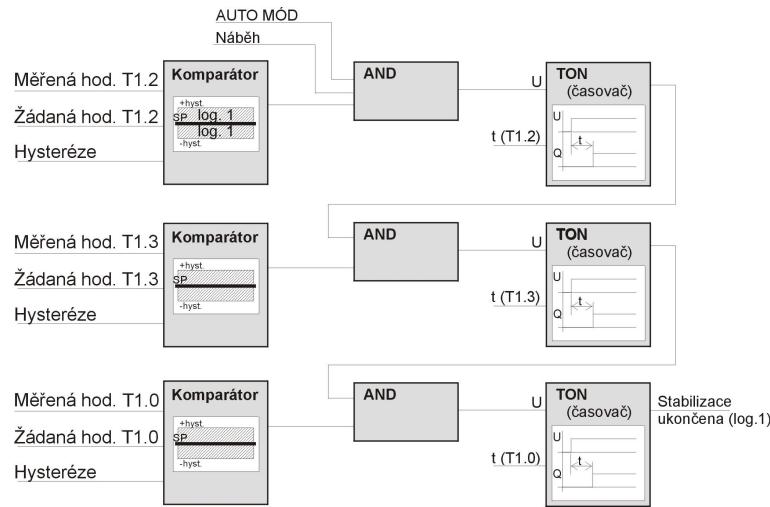
4.2.2 Automatický chod

Celý automatický chod je řešen pomocí SFC kapitola 3.2.5. Automatický chod je rozdělen na jednotlivé kroky (kapitola 4.1). Podle toho v jakém stavu se kolona nachází, jsou aktivovány akční členy. Schéma SFC bloku je na obr.4.9.



Obrázek 4.9: Automatický chod naprogramován pomocí SFC

Automatický chod je aktivován až po zapnutí přepínače na vizualizaci označující přepínání mezi automatickým chodem a manuálním řízením.



Obrázek 4.10: Sledování ustálení veličin

V době náběhu jsou veličiny převážně mimo dovolené rozsahy, a tak je jejich sledování jako technologické poruchy blokováno dokud nedojde k ustálení. Sledování ustálení celého systému je na základě zadaných žádaných hodnot. Dostane-li se veličina na hodnotu žádanou, je spuštěn časovač a zůstane-li veličina na žádané hodnotě v mezi dané nastavenou hysterezí, je pak označena za ustálenou. V modelu se jedná o ustálení teplot T1.2, T1.0, T1.3. Blokové schéma na obr.4.10 popisuje kaskádní závislost na ustalování teplot v modelu. Ustálení hodnot je sledováno kaskádně. První hodnotou je teplota T1.2 v patě kolony. Pokud je vyhodnocena jako ustálená, je sledována teplota T1.3 a poslední, která je závislá na obou předešlých, je teplota T1.0.

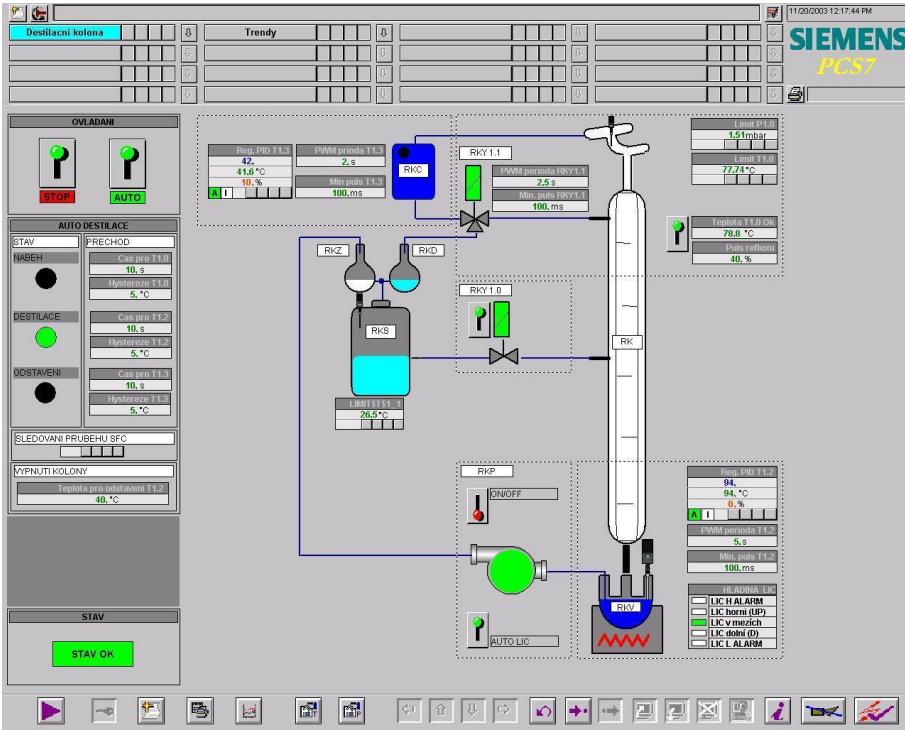
V ustáleném bodě je přepnuto do bodu destilace. V této části jsou uvolněny signály oznamující sledování, mezí a v případě hazardního překročení této meze, je celá destilační kolona odstavena.

Při vzniku hazardního stavu nebo signálem z vizualizace přejde automatický chod do bodu odstavení kolony.

V případě znovuspouštění destilace je nutné z vizualizace provést znovu spuštění SFC bloku.

4.2.3 Vizualizace

Nad celým řízením modelu je postavena vizualizace, ze které může obsluha zasahovat do děje. Vizualizace je vytvořena pomocí programového vybavení WINCC, které je součástí software SIMATIC PCS 7. Vlastní vizualizace byla rozdělena na tři hlavní okna: okno modelu kolony, okno trendů měřených veličin a okno chybových hlášení. Další okna, která jsou součástí vizualizace, nejsou potřebná pro vlastní chod destilace. Jedná se o archivaci hlášení a operátorských zásahů.



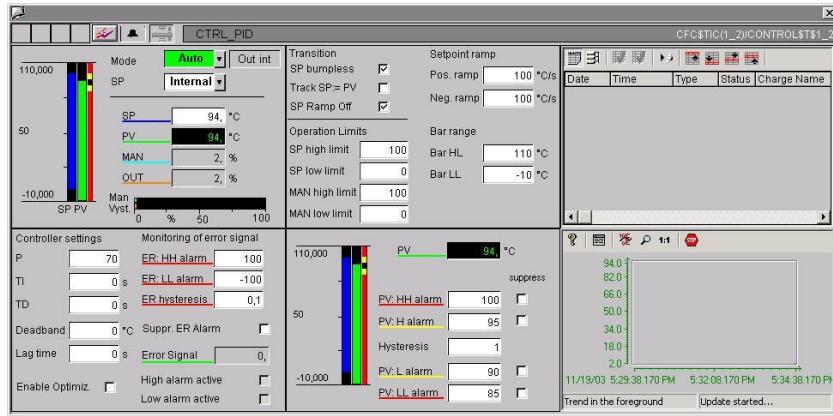
Obrázek 4.11: Vizualizace modelu kolony

Na obr.4.11 je vizualizace vlastní rektifikační kolony obrazovka, označená *Destilacni kolona*. Tato část vizualizace je rozdělena na část ovládající zapnutí a vypnutí kolony a přepínání mezi automatickým a manuálním provozem kolony (na obr. 4.11 vpravo nahoře). Pod ní se nachází část pro ovládání automatického chodu kolony. Po levé straně jsou signalažní prvky, ve kterém stavu se kolona nachází a vpravo jsou vstupní informace pro přechod do ustáleného stavu. Jedná se o doby jednotlivých teplot, po kterých je možné říci, že došlo k ustálení, v rámci hysterezí, sledovaných teplot. Ve spodní části je nastavení teploty určující ukončení odstavování kolony. Jedná se o teplotu v patě kolony, pro kterou je bezpečně úplné odstavení kolony. Nad políčkem pro nastavení bezpečné teploty pro vypnutí kolony je pole, u kterého se při poklepání otevře blok sledování schodu SFC. Úplně dole pod ovládáním automatického chodu je signalizace při případném havarijním stavu celého modelu.

V pravé části celé vizualizace je znázorněn model kolony a rozdělen na jednotlivé regulační obvody.

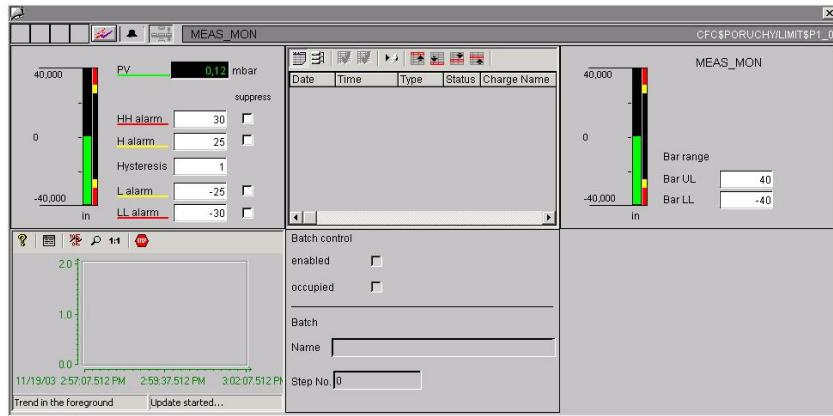
Obvod ovládání řízení chladiče obsahuje blok pro ovládání PID regulátoru a s ním spojené sledování limitních mezí teploty T1.3. Pro názornost je rozevřený ovládací blok regulátoru na obr.4.12. Je tam pole pro nastavení periody pulsně šířkové modulace a minimální délky pulsu.

Blok pro ovládání PID regulátoru (obr.4.12) je rozdělen do šesti částí. První část obsahuje přepínání mezi automatickou regulací a manuálním nastavením výstupu (Mode), vstupní pole pro nastavení žádané hodnoty (SP) a v případě manuálního nastavení hodnoty výstupu (MAN). Druhá část má vstupní pole pro nastavení limitních mezí operátora



Obrázek 4.12: Vizualizace nastavení regulátoru

(Operation Limits) jak žádané hodnoty tak manuálního výstupu. Nastavení rozmezí sloupcového grafu (Bar range). V případě potřeby nárůstu žádané hodnoty podle rampy je možné využít nastavení počtu stupňů za vteřinu jak pro rostoucí rampu tak pro klesající (Setpoint ramp). V oblasti Translation lze zajistit beznárazovou změnu žádané hodnoty, sledování žádané hodnoty měřené veličiny a zapínání a vypínání rampy. Třetí část je tabulka chybových hlášení. Odtud lze chybová hlášení odkvitovat. Čtvrtá část obsahuje pole pro nastavení vlastních parametrů regulátoru jako je zesílení, integrační konstanta, derivační konstanta, omezení zisku derivační složky. Pátá část obsahuje nastavení povolených limitů měřené veličiny. Poslední, šestá část, je graf průběhu žádané hodnoty, akční veličiny, měřené veličiny. Hodnoty v grafu nejsou brány z archívů ale jedná se o okamžité vykreslování, tedy dojde-li k zavření okna, dojde ke smazání trendu tohoto grafu.



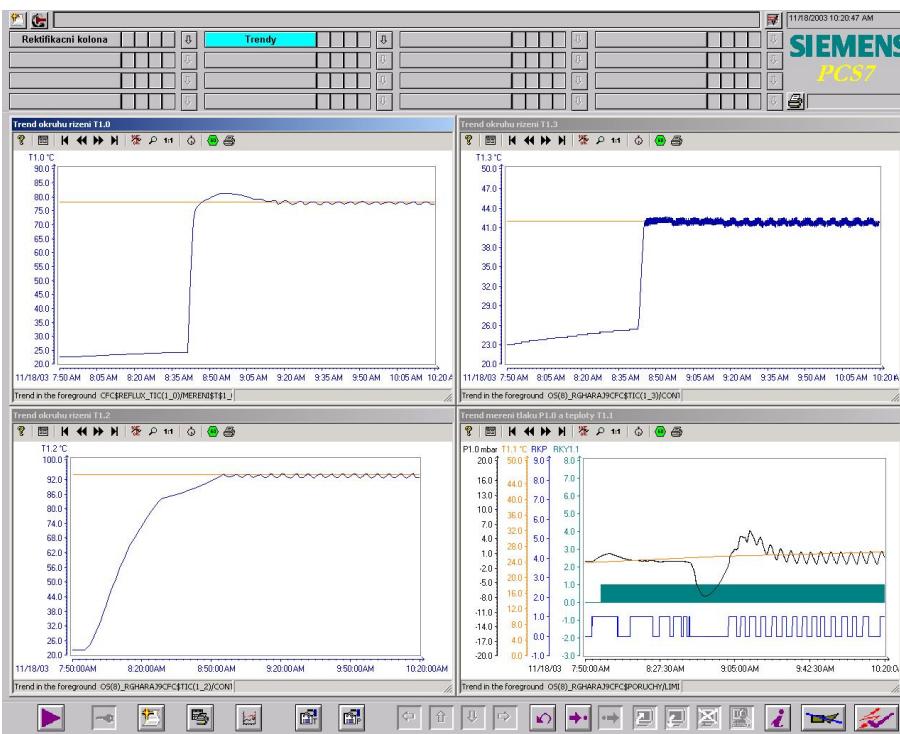
Obrázek 4.13: Vizualizace nastavení limitů

Pro nastavování limitních mezí některých veličin T1.0,P1.0,T1.1 je použit standardní blok (obr.4.13). Tento blok obsahuje, tak jako blok PID regulátoru, chybová hlášení, okamžité trendy hodnoty, nastavení sloupcového grafu a nastavení vlastních limitních mezí.

Obvod pro ovládání řízení zpětného nástřiku obsahuje pole pro nastavení předpokládané hodnoty teploty T1.0 (z důvodu přepnutí do ustáleného stavu v automatickém chodu a referenční hodnoty v trendech) v hlavě kolony, blok pro nastavení limitních mezí T1.0, P1.0 a pole pro nastavení periody ventilu zpětného nástřiku, pole nastavení minimální délky pulsu otevření refluxního ventilu a pole pro délku otevření ventilu doby nástřiku zpět do kolony v % z periody.

Oblast pro ovládání a sledování řízení teploty v patě kolony obsahuje blok pro ovládání PID regulátoru a s ním spojené sledování limitních mezí teploty T1.2, pole pro nastavení doby periody pulsně šířkové modulace a minimální délky pulsu.

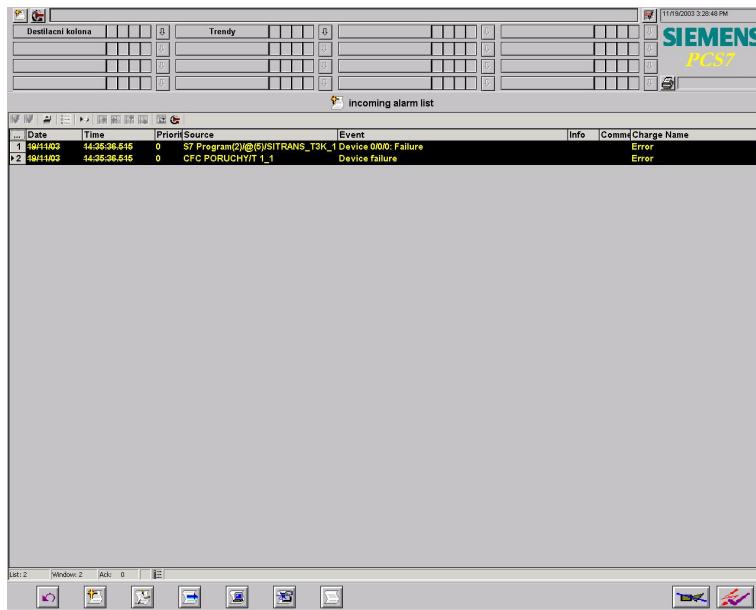
Obvod pro řízení čerpadla pro odčerpávání destilačního zbytku obsahuje přepínač pro spuštění čerpadla nezávisle na výšce hladiny (ON/OFF) a přepínač pro spuštění sledování výšky hladiny a udržování na základě signálu z čidla měření výšky hladiny (AUTO LIC). Operátor si tak může spustit v manuálním režimu odčerpávání destilačního zbytku na základě výšky hladiny či, v případě nutnosti, vyčistění varné baňky pustit odčerpávání destilačního zbytku nezávisle na výšce hladiny a odčerpat všechn destilační zbytek.



Obrázek 4.14: Trendy měřených veličin

Ve vizualizaci je možné sledovat průběh hodnot měřených veličin. To je možné na obrazovce *Trendy* obr.4.14. Pro zobrazení trendů byl pro každý regulační okruh T1.2,T1.3,T1.0 vytvořen zvláštní graf. Teplota T1.1, tlak P1.0, spouštění čerpadla RKP a otvírání refluxního ventilu RKY1.1 jsou umístěny do jednoho grafu, jedná se pouze o sledované veličiny.

Pro sledování a ohlašování poruch je ve vizualizaci vytvořena obrazovka (obr.4.15) poruch. Tato obrazovka je automaticky vygenerována s prostředím vizualizace při přechodu



Obrázek 4.15: Poruchové hlášení

z Program Manageru do WinCC prostředí. Na této obrazovce je pak možné odkvitovávat příšlé poruchy. V souvislosti s touto obrazovkou je pak také obrazovka historie hlášení, která již byla odkvitována.

Date	Time	Priorit Source	Operation	Charge Name
54	27/06/03	00:37:47.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 50 % old = 0
55	27/06/03	00:38:17.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Auto new = 1 old = 0
56	27/06/03	00:38:22.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	SP new = 27 °C old = 30.5 °C
57	27/06/03	00:38:47.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 50 % old = 0
58	27/06/03	00:39:02.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Auto new = 0 old = 0
59	27/06/03	00:39:23.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	SP new = 27 °C old = 30.5 °C
60	27/06/03	00:39:48.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Manual new = 0 old = 1
61	27/06/03	00:39:57.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 31.4 % old = 0 %
62	27/06/03	00:40:27.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Min_T1_3	U new = 3000 old = 10000
63	27/06/03	00:40:41.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 0 % old = 31.4 %
64	27/06/03	00:42:45.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 0 % old = 3000
65	27/06/03	00:42:45.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Min_T1_3	U new = 30 % old = 3000
66	27/06/03	00:42:43.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 0 % old = 0 %
67	27/06/03	00:42:45.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 0 % old = 0 %
68	27/06/03	00:42:49.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 0 % old = 0 %
69	27/06/03	00:42:56.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	SP new = 30 °C old = 27 °C
70	27/06/03	00:43:01.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Auto new = 1 old = 0
71	27/06/03	00:43:01.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	SP new = 30 °C old = 27 °C
72	27/06/03	00:43:25.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN low limit new = -100 old = 0
73	27/06/03	00:43:28.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN high limit new = 0 old = 100
74	27/06/03	00:43:46.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Manual new = 0 old = 1
75	27/06/03	00:43:59.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = -100 % old = -100 %
76	27/06/03	00:44:03.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = -50 % old = -100 %
77	27/06/03	00:45:56.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 0 % old = 0
78	27/06/03	00:46:05.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Min_T1_3	U new = 0 % old = 5
79	27/06/03	00:46:44.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 6000 old = 3000
80	27/06/03	00:47:10.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = -100 % old = -50 %
81	27/06/03	00:49:29.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = -50 % old = -100 %
82	27/06/03	00:49:29.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Min_T1_3	U new = 50 % old = 0
83	27/06/03	00:49:30.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 10000 old = 6000
84	27/06/03	00:50:18.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Auto new = 0 old = 0
85	27/06/03	00:51:01.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	ER_HH_alarm new = 100 old = 100
86	27/06/03	01:01:46.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	Manual new = 0 old = 1
87	27/06/03	01:02:02.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = -50 % old = -100 %
88	27/06/03	01:02:02.000	CFCSTIC(1_3)PWM_Per_T1_3	U new = 10000 old = 1000
89	27/06/03	01:33:37.000	CFCSTIC(1_3)CONTROLST1\$1_3	MAN new = 0 % old = -50 %

Obrázek 4.16: Poruchová hlášení

Součástí vizualizace je také možné sledovat operátorské zásahy. Všechny operátorské zásahy jsou archivovány a je možné je zpětně prohlížet na obrazovce obr.4.16.

Kapitola 5

Porovnání se skutečnou rektifikační kolonou

V této kapitole jsou popsány rozdíly mezi laboratorním modelem rektifikační destilační kolony a skutečnou rektifikační kolonou používanou v průmyslu.

Model rektifikační kolony je odvozen z rektifikační kolony používané pro destilaci látek v laboratořích. Pata kolony a vařák je u modelu sloučen v jeden blok. Protože u modelu by bylo problematické řešit ochlazování destilátu jinou kapalinou cirkulující přes chladící zařízení, byl chladič modelu vytvořen z chladiče s použitím peltierova článku. Za chladičem je pak přímo umístěn ventil zpětného nástríku a jeho vnitřní objem nahrazuje zásobník zpětného toku, který se u modelu nedal z důvodů rozměrových umístit za chladič. Model je postaven jako kolona s výplní. Výplň v koloně zvyšuje počet teoretických pater, a tím také účinnost celé kolony.

Skutečná rektifikační kolona, používaná v průmyslu, má část nazývanou pata kolony oddělenou od nástríku ohřátého destilačního zbytku. Část destilačního zbytku je z paty kolony odebírána, ohřívána ve vařáku na bod varu a zpět nastříkávána do kolony, či se ohříváním destilačního zbytku přímo řídí teplota v některém z destilačních pater. Páry destilačního zbytku pak postupují vzhůru skrze destilační kolonu, kde zkapalňují a v podobě kapaliny stékají zpět do paty kolony. Hladina destilačního zbytku v patě kolony je udržována jako u modelu na konstantní hodnotě. Nástrík u skutečné rektifikační kolony může být předehřívaný na předem definovanou teplotu a je také stabilizováno množství nastříkávané do kolony. Vlastní kolona bývá zpravidla vyplňena skutečnými patry. Patra u průmyslové kolony jsou tzv. orientovaná patra, která svojí geometrií zajišťuje rovnoměrné rozložení kapaliny a par v jednotlivém patře. Tím se pak dosáhne vyšší účinnosti jednoho patra. Patra, kde je umístěn nástrík suroviny a refluxu jsou speciálně vytvořené patra tak, aby docházelo k rovnoměrnému rozložení nástríku v koloně. Destilát odebíraný z hlavy kolony je ochlazován v kondenzátoru, ve kterém cirkuluje chladící kapalina. Touto kapalinou bývá chladící voda. Zkapalněný destilát pak stéká do zásobníku zpětného toku. V tomto zásobníku je udržována konstantní hladina. Zpětný nástrík destilátu do kolony je řízen např. na množství suroviny nastříkávané do kolony, nebo na základě tlakové diference měřené na koloně.

Z pohledu řízení, porovnáme-li skutečnou rektifikační kolonu s řízeným modelem, je na první pohled jasné, že je model oproti skutečné koloně menší. Menší velikost kolony snižuje

i její tepelnou kapacitu. U průmyslových kolon je lépe vytvořená izolace kolony a svými rozměry má vyšší tepelnou kapacitu. Díky tomu jsou skutečné kolony méně ovlivňované náhlou změnou okolní teploty. U modelu je tato změna znatelnější, protože je izolace na modelu méně účinná a energie vyzářená do okolí větší. U modelu je také znatelná, jak je vidět na výsledcích, změna výšky hladiny v patě kolony. Tato změna výšky hladiny zapříčiní při odčerpání přebytečného destilačního zbytku v patě kolony snížení objemu. Při konstantním nástřiku suroviny pak dojde ke změně koncentrace destilačního zbytku, a tím se také změní bod varu. U velké rektifikační kolony je větší objem destilačního zbytku v patě kolony a malá změna výšky hladiny neovlivní natolik složení destilačního zbytku v patě. U modelu oproti skutečné koloně jsou kratší časové konstanty, např. náběhu.

Jak model, tak i skutečná kolona má své výhody a nevýhody. Prakticky se dá říci, že se zmenšováním kolony, jak k tomu došlo u řízeného modelu, se zvyšuje vliv okolních poruchových vlivů.

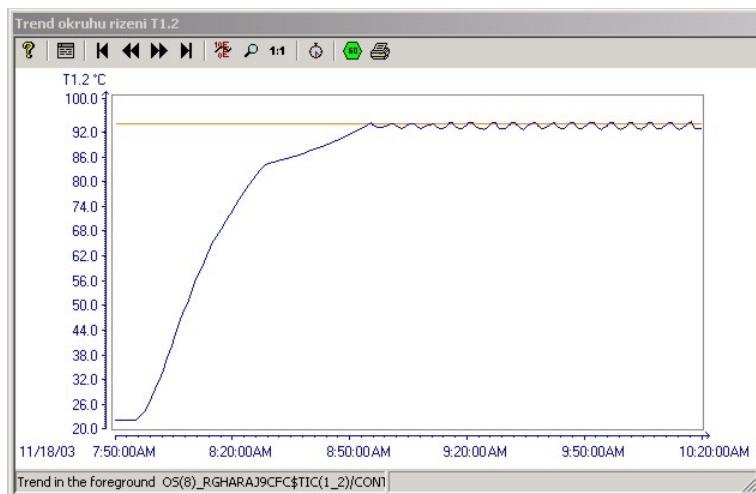
Kapitola 6

Výsledky řízení a regulace

Výsledky řešení řízení technologického procesu se dají rozdělit na dvě oblasti. První ukazuje výsledek regulace jednotlivých okruhů a funkci celého zařízení a druhá popisuje výsledek procesu destilace provedené na koloně. Návrh regulačních konstant jednotlivých regulátorů byl proveden tak, aby co možná v nejkratším čase a nejmenším překmitem teploty T1.0 došlo k ustálení systému v pracovním bodě.

6.1 Výsledky regulace okruhů

6.1.1 Teplota v patě kolony



Obrázek 6.1: Průběh teploty v patě kolony T1.2

Řízení teploty v patě kolony je na obr.6.1. Systém měl na počátku teplotu okolí. Po spuštění náběhu rektifikační kolony se systém ohřeje na žádanou hodnotu, v tomto případě na teplotu 94°C . Na průběhu je zřetelná změna popisu soustavy při dosažení bodu varu ve varné baňce. Do doby, než se systém ohřeje na teplotu bodu varu destilačního zbytku, jde

o systém druhého řádu se znatelným dopravním spožděním. V době ohřátí systému na bod varu destilačního zbytku se změní parametry systému a tento systém lze popsat jako systém prvního řádu (viz. kapitola 2.4). Do doby, než se začne kapalina ve varné baňce vařit je odpařování kapaliny nepatrné. Po dosažení bodu varu se začnou uvolňovat z kapaliny páry.

Nadále se pak systém udržuje na hodnotě bodu varu destilačního zbytku ve varné baňce. Přičinou vzniklých obloučků (zubů) po dosažení bodu varu je nekontinuální udržování výšky hladiny v patě kolony, kde dochází k měření teploty destilačního zbytku. Při sepnutí čerpadla dojde k odčerpání části destilačního zbytku, a tím ke zmenšení jeho objemu ve varné baňce. Při konstantním nástřiku suroviny do kolony se změní v patě kolony koncentrace, která má jiný bod varu než původní koncentrace destilačního zbytku v patě kolony. Dochází znova k ohřevu destilačního zbytku na žádanou hodnotu.

Teplota je v patě kolony udržována v rozmezí $92^{\circ}\text{C} \div 94^{\circ}\text{C}$, tedy hodnota teploty v patě kolony se pohybuje okolo žádané hodnoty s chybou -2% . Je důležité, aby teplota nepřesahovala žádanou hodnotu, tím by se dostávala teplota v hlavě kolony nad žádanou a při destilaci by se do destilátu dostávalo více složek s vyším bodem varu než $78,3^{\circ}\text{C}$.

6.1.2 Teplota v chladiči

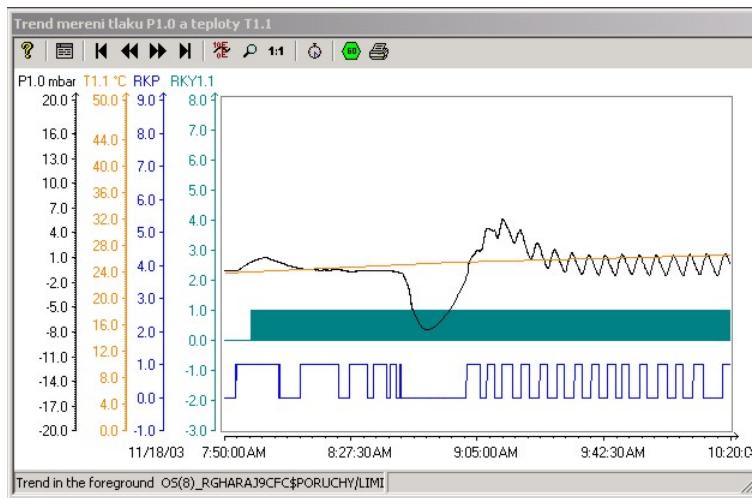


Obrázek 6.2: Průběh teploty v chladiči T1.3

Průběh řízení teploty v chladiči je na obr. 6.2. Protože je teplota okolí nižší než žádaná teplota v chladiči, dostane se do okolí žádané hodnoty až po vzniku destilačních par, které okolí chladiče vyhřejí. Pak je teplota udržována na žádané hodnotě. Celé měření je zašuměno vlivem refluxního ventilu, který přepíná odvod z chladiče zpět do kolony nebo do sběrné baňky na destilát. Při otevření ventilu odvodu zkapalněného destilátu do sběrné baňky je hadičkou odvedenou z tohoto ventilu úmyslně vytvořeno předpadové místo, díky tomu zůstává část množství zkapalněného destilátu ve ventilu a je možné jej použít pro nástřik zpět do kolony. Toto však ovlivňuje tepelnou kapacitu chladiče a vzniká tím mírné zašumění

změny teploty v chladiči. Na celé křivce jsou patrné také obloučky vznikající poklesem teploty ve varné baňce.

6.1.3 Průběh ostatních měřených veličin



Obrázek 6.3: Průběh teploty T1.1, tlaku P1.0, čerpadla a spínání ventilu refluxu

Na obr.6.3 je průběh hodnot sledované teploty T1.1 v nádobě na surovinu, tlaku v hlavě kolony P1.0, spínání čerpadla a přepínání refluxního ventilu. Teplota T1.1 je teplota sledovaná za účelem kontroly teploty suroviny nastříkávané do kolony. Protože mezi čerpadlem a odtahem destilačního zbytku je vložen pasivní chladič, který sníží teplotu odtahovaného destilačního zbytku přibližně o 20°C a destilační zbytek je nejprve odveden do sběrné nádobky a odtud přepadem zpět do nádoby se surovinou, kde se stačí se jeho teplota snížit na teplotu v blízkosti okolní. Teplota v nádobě na surovinu se mírně zvyšuje a to je dáno ohříváním okolí kolony, a tím ohřívání okolí v oblasti nádoby se surovinou.

Průběh tlaku je závislý na množství par v hlavě kolony. Protože je destilace v koloně prováděna za atmosférického tlaku a měří se přetlak v hlavě kolony vůči atmosféře pohybuje se tlak v hlavě kolony kolem nulové hodnoty. Při náběhu dochází k podtlaku, protože ještě v hlavě kolony se ještě nenachází páry destilátu. Ochlazováním par, které se v prvopočátku v hlavě nacházejí, dochází k odčerpávání těchto par a vzniká v hlavě kolony vůči atmosféře podtlak. V následující fázi se začínají odpařovat látky z destilačního zbytku, které procházejí kolonou a než se dostane teplota v patě kolony na žádanou hodnotu, vytvoří množství par odpařené z paty kolony v hlavě kolony přetlak. Po ustálení teploty v patě kolony se přebytečné páry zkapalní a tlak v hlavě kolony klesne k hodnotě atmosférického tlaku. Na tlaku je pak také patrná změna množství par při změně teploty v patě kolony. Když dojde ke snížení teploty v patě kolony, dojde ke snížení množství par v hlavě kolony, a tím snížení tlaku. Naopak při zvýšení teploty v patě kolony dojde ke zvýšení množství par v hlavě kolony a zvýšení tlaku.

6.1.4 Teplota v hlavě kolony



Obrázek 6.4: Průběh teploty v hlavě kolony T1.0

Výsledkem správného nastavení a udržení teplot v chladiči a patě kolony je žádaná teplota v hlavě kolony T1.0. Její průběh je na obr.6.4. Při náběhu dochází k překmitu přes žádanou hodnotu. Překmit je < 5% ze žádané hodnoty. Výsledný průběh teploty T1.0 splňuje požadavek nejmenšího možného překmitu s rychlým náběhem na žádanou veličinu.

Průběh teplot je z hlediska regulace v mezích pro správnou funkci celé kolony.

6.2 Výsledek koncentrací

Koncentrace je závislá na počtu teoretických pater kolony. Protože se jedná o kolonu s výplní, je těžké přesně určit počet teoretických pater námi použité kolony. Počet pater lze získat pomocí experimentu, kdy máme přesně definovanou směs, o které víme jaký má bod varu a tu v koloně rozdestilujeme. Protože při experimentu se používají čisté chemikálie, které jsou špatně dostupné a nevhodné pro použití v prostorách, kde je model umístěn, nebylo ani touto cestou možné určit počet pater kolony.

Refluxní poměr ovlivňuje složení destilátu. Když je refluxní poměr roven 1, je výsledek nejlepší. U modelu byl při refluxním poměru roven 1 problém se zaznějemi teploty v hlavě kolony T1.0, a tak byl snížen na hodnotu 0,66. Refluxní poměr je dán vztahem

$$R = \frac{n_z}{n_{od}}, \quad (6.1)$$

kde n_z je množství zpětně natříknutého destilátu do kolony a n_{od} je množství odtaženého destilátu.

Následující tabulka udává hodnoty pracovního bodu kolony.

Pro ověření správné funkce modelu byla provedena analýza složení směsi destilátu, destilačního zbytku a destilované suroviny. Pro získání informace obsahu lihu byla provedena

Veličina	T1.0	T1.2	T1.3	P1.0	R (reflux. poměr)
Hodnota	78,3 °C	94 °C	42 °C	0 mbar (protiatm.)	0,66

Tabulka 6.1: Tabulka pracovního bodu kolony

analýza metodou určení množství lihu ve vodě na základě hustoty. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.5.

Název	hustota [kg/m ³]	% hm. ethanolu	% obj. ethanolu
Destilát	0,820 C	89,20	92,70
Surovina	0,960 C	26,20	31,80
Destilát	0,993 C	2,30	3,0

Tabulka 6.2: Tabulka obsahu lihu v destilátu, surovině a destilačního zbytku

Destilovaná směs nebyla čistě dvousložková, jak bylo předpokladem. Jednalo se o naředěný technický ethanol, který je znehodnocen různými příměsemi, aby jej nešlo použít jako potravinářský líh. Za účelem získání informace o nečistotách v destilované surovině, destilátu a destilačního zbytku byla provedena chromatografická analýza. Zvolenou metodou na určení nečistot v lihu, který byl určen pomocí hustoty, nelze určit množství obsažené vody.

Chromatografické metody lze z hlediska určení koncentrací rozdělit na tři druhy:

vnitřního standardu – k analýze se převažuje složka příbuzná, ke které se vše přepočítává na 100%;

rozpočítání na 100% – při analýze jsou známy všechny obsažené složky a provede se jejich rozpočítání do 100%;

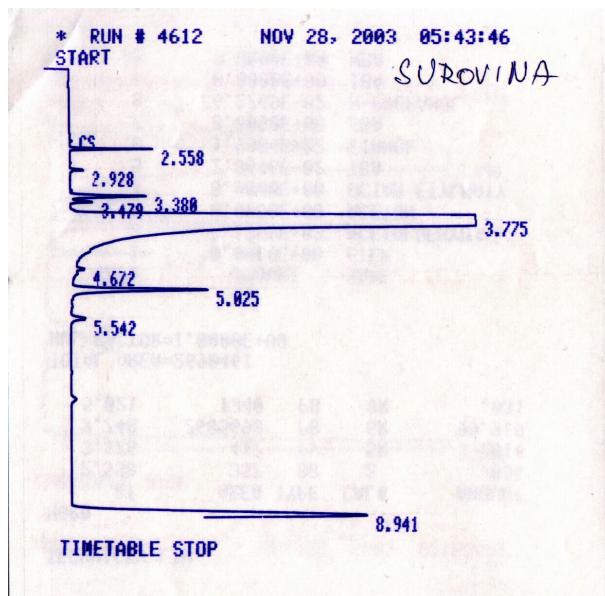
vnějšího standartu – chromatograf je okalibrován pro určitý typ vzorku podobnému analyzovanému, a pak se analýza s tímto vzorkem porovnává.

K určení nečistot byla použita metoda vnějšího standardu. Složky byly detekovány na FIT¹ detektoru.

¹označení pro plameno-ionizační detektor

Analýza suroviny

V následující tabulce je uveden výsledek obsahu suroviny ostatních složek. Výsledky byly převzaté přímo z výstupu chromatografu 6.5.



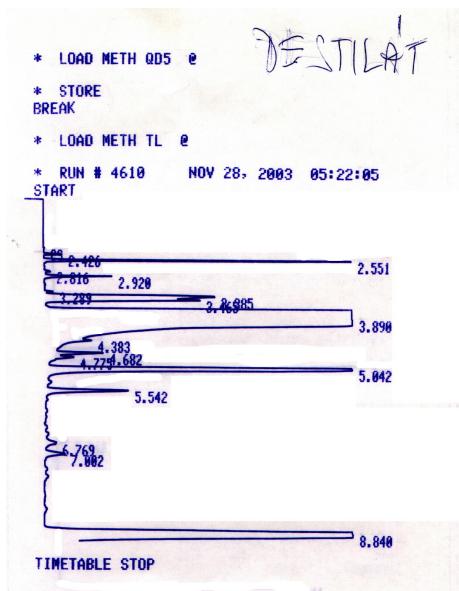
Obrázek 6.5: Chromatogram suroviny

RT	AREA	TYPE	CAL	AMOUNT*	AMOUNT	NAME
-	-	-	-	-	0.0000E+00	ETHER
2,558	2265	PB	2	0,087	1,7338E-01	ACETALDEHYD
2,928	339	PB	3R	0,004	8,2622E-03	ACETON
-	-	-	-	-	0,0000E+00	OCTAN ETHYLNATY
3,380	3691	PV	5R	0,049	9,7101E-02	TBA
3,775	6979597	PB	6R	99,443	1,9889E+02	ETHANOL
4,672	529	BV	7R	0,005	1,0125E-01	SBA
5,025	10222	PB	8R	0,092	1,8337E-01	N-PROPANOL
-	-	-	-	-	0,0000E+00	IBA
8,941	34087	I BH	10R	0,321	6,4128E-01	NBA
TOTAL AREA = 7032842						

Tabulka 6.3: Přepočet hodnot z chromatogramu suroviny

Analýza destilátu

V následující tabulce je uveden výsledek obsahu destilátu ostatních složek. Výsledky byly převzaté přímo z výstupu chromatogramu na obr.6.6.



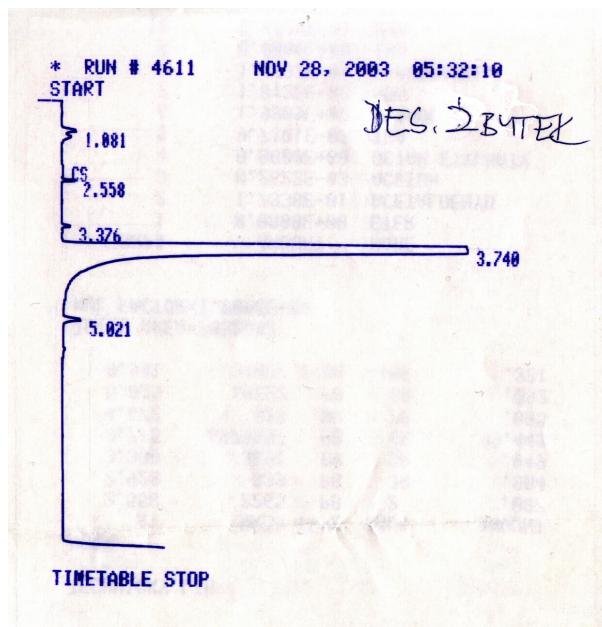
Obrázek 6.6: Chromatogram destilátu

RT	AREA	TYPE	CAL	AMOUNT*	AMOUNT	NAME
-	-	-	-	-	0,0000E+00	ETHER
2,551	12216	PB	2	0,085	1,6854E-01	ACETALDEHYD
2,920	3225	BB	3R	0,007	1,4166E-02	ACETON
-	-	-	-	-	0,0000E+00	OCTAN ETHYLNATY
3,385	21584	VV	5R	0,052	1,0234E-01	TBA
3,890	38699072	PB	6R	99,375	1,9875E+02	ETHANOL
4,682	3830	PV	7R	0,007	1,3212E-02	SBA
5,042	67995	PB	8R	0,110	2,1984E-01	N-PROPANOL
-	-	-	-	-	0,0000E+00	IBA
8,840	213261	I PH	10R	0,365	7,2311E-01	NBA
TOTAL AREA = 3,90212E+07						

Tabulka 6.4: Přepočet hodnot z chromatogramu destilátu.

Analýza destilačního zbytku

V následující tabulce je uveden výsledek obsahu destilačního zbytku ostatních složek. Výsledky byly převzaté přímo z výstupu chromatogramu na obr.6.7.



Obrázek 6.7: Chromatogram destilačního zbytku

RT	AREA	TYPE	CAL	AMOUNT*	AMOUNT	NAME
-	-	-	-	-	0,0000E+00	ETHER
2,558	357	BB	2	0,036	7,1359E-02	ACETALDEHYD
-	-	-	-	-	0,0000E+00	ACETON
-	-	-	-	-	0,0000E+00	OCTAN ETHYLNATY
3,376	417	PV	5R	0,014	2,8646E-02	TBA
3,740	2685698	PB	6R	99,919	1,9984E+02	ETHANOL
-	-	-	-	-	0,0000E+00	SBA
5,021	1340	PB	8R	0,031	6,2769E-02	N-PROPANOL
-	-	-	-	-	0,0000E+00	IBA
-	-	-	-	-	0,0000E+00	NBA
TOTAL AREA = 2690461						

Tabulka 6.5: Přepočet hodnot z chromatogramu destilačního zbytku.

Význam jednotlivých označených sloupců přepočtu chromatogramu je:

RT – retenční čas (eluční), doba od vpichu vzorku do maxima daného piku;

AREA – plocha piku, tato plocha udavá obsah dané složky v analyzovaném vzorku;

TYPE – určuje typ piku a jeho approximaci při výpočtu;

CAL – určuje složku podle kalibračního vzorku;

AMOUNT* – rozpočítání obsahu z ploch do 100%;

AMOUNT – přepočet podle vnějšího standardu;

NAME – název analyzované složky.

Množství nečistot obsažené v destilačním zbytku, destilátu, a suroviny vzhledem k množství vody a lihu je zanedbatelné. Přesto i takto malé znečištění zajistí nemožnost použití tohoto lihu v potravinářství. Dále bylo zjištěno, že i při této destilaci se nečistoty dostaly do výsledného destilátu. TO je dáno nižším bodem varu těchto nečistot než bod varu lihu.

Množství lihu v destilátu je přibližně třikrát vyšší než v surovině a v destilačním zbytku přibližně desetkrát nižší, z čehož lze usoudit správnost funkce řízení technologického procesu.

Závěr

V diplomové práci bylo zadáno řízení technologického procesu. Jednalo se o chemický provoz odparky nahrazené vícestupňovou destilací nazývanou rektifikací. Zařízení, na kterém celý chemický proces probíhá, se nazývá rektifikační kolona. Pro úspěšné řízení tohoto technologického procesu jsem prostudoval vlastní proces dělení směsi při destilaci a funkci rektifikační kolony.

Na základě znalosti procesu jsem navrhl měřící místa a rozdělil provoz modelu na několik regulačních okruhů, nejdůležitějšími jsou systém topného hnázda a chladiče. Model byl postaven a navržen jako nepřetržitá destilace a destilační zbytek a destilát se po rozdestilování navrací zpět do nádoby na surovinu. Množství nastříkávané do kolony je na základě výšky hladiny v nádobě na surovinu. Na modelu byla provedena identifikace jednotlivých systémů. Tato identifikace byla nezbytná pro správné navržení konstant PID regulátoru. Při identifikaci byl zjištěno, že dochází ke změně popisu u systému topného hnázda s destilačním zbytkem při dosažení teploty bodu varu destilačního zbytku ve varné baňce. Do bodu varu se systém chová jako systém druhého rádu a po dosažení bodu varu jako integrátor. Pro navržení konstant regulátoru byl použit program MATLAB 6.0 a jeho funkce rltool. V systému topného hnázda je velmi znatelné dopravní zpoždění. Při návrhu regulačních konstant bylo dopravní zpoždění zanedbáno. Výsledné navržené konstanty byly potom odzkoušeny přímo na systému vařáku. Jako vhodným regulátorem vyšel regulátor P. Chladič byl identifikován jako systém druhého rádu a k němu navržen regulátor PI.

Při řízení docházelo ke změně množství destilačního zbytku v patě kolony, což bylo projevem diskontinuálního řízení výšky hladiny. Na základě této změny se měnila, při konstantním nastříku suroviny do kolony, teplota v patě kolony. Na výsledných grafech tento jev vytvořil obloučky změny teplot. Protože na bodě varu v patě kolony je závislé odpařené množství par v koloně je tento jev sledovatelný i v hlavě kolony a chladiči.

Celé řízení bylo provedeno na řídicím procesním systému SIMATIC PCS7. Tento systém byl vybrán z důvodů výstavních a postavený model by měl sloužit jako model na kterém je demonstrována funkce tohoto řídicího systému. Řídicí systém je navržen tak, aby se programátor již nemusel starat o rutinní programy komunikace či zobrazování chybových hlášení, ale přímo se zabýval tvorbou programu pro vlastní řízení technologie.

Výsledkem řízení byl ze suroviny s obsahem 31,8% objemového množství lihu získán destilát o 92,7% objemového množství lihu. Destilační zbytek obsahoval 3% objemového množství lihu. Z těchto výsledků je zřetelná správná funkce celého modelu a tudíž i řídicího systému.

Jev změny množství destilačního zbytku v patě kolony by se dal odstranit kontinuálním

měřením výšky hladiny a její kontinuální regulací. Tedy vyměnit limitní čidlo hladiny za čidlo kontinuální. Protože se však jedná o model a vše je provedeno v malé velikosti, je velmi obtížné najít měření výšky hladiny v tak malém rozsahu. Je nevhodné měřit ji nepřímo přes tlak, protože se během náběhu kolony mění složení a tedy hustota v patě kolony. Také je nevhodné, ze stejného důvodu, použít kapacitního či odporového měření výšky hladiny. Pro přesné dávkování suroviny do kolony je možné předřadit před nástříkové místo dávkovací čerpadlo, které zajistí kontinuální dávkování suroviny konstantního množství, do kolony a tím se odstraní vliv výšky hladiny v nádobě na surovinu. Dopravní zpoždění u systému topného hnázda se dá snížit přímotopným vařičem. Toto řešení je nevhodné z důvodů bezpečnosti.

Provedené řešení dokazuje možnosti automatického řízení laboratorních destilačních kolon a zvýšit tak jejich možnou účinnost přesnějším udržováním teplot patě kolony, hlavě kolony a ochlazeného zkapalněného destilátu s konstantním nástříkem zpět do kolony.

Literatura

- [1] Hengstebeck, R.J.: *Destilace*, Vydalo SNTL, 1966.
- [2] Míka, V.: *Základy chemického inženýrství*, Vydalo SNTL, 1981.
- [3] John, J.: *Systémy a řízení*, Skripta FEL ČVUT, 1996.
- [4] Jirků, S.: *Mechanika a termodynamika - cvičení*, Skripta FEL ČVUT, 1992.
- [5] Nožička, J.: *Mechanika a termodynamika*, Skripta FEL, 1991.
- [6] Ditl, P.: *Difúzně separační pochody*, Skripta FSI, 1999.
- [7] Tým SIEMENS SIMATIC PCS 7: *Řídicí systém procesů SIMATIC PCS 7, Krátký popis*, 2001.
- [8] SIEMENS: *Dokumentace k SIMATIC PCS 7*, 2001.
- [9] SIEMENS: *SIMATIC Proces Control System PCS 7, Manual*, 2003.
- [10] Šebek, M., *35ROR - Robustní řízení* [online].
Poslední revize 2002-10-14[cit.2003-12-2].
[<http://www.polyx.com/_robust/slides/ROR02-interval.pdf >](http://www.polyx.com/_robust/slides/ROR02-interval.pdf)
- [11] *35SAM Systémy a modely* [online].
Poslední revize 2000 [cit.2003-11-24].
[http://dce.felk.cvut.cz/sam/ident/ >](http://dce.felk.cvut.cz/sam/ident/)

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA I

Výkresová dokumentace modelu.

Na CDROM

/Diplomova_prace/Priloha_Ia.pdf
/Diplomova_prace/Priloha_Ib.pdf

PŘÍLOHA II

CDROM

Umístění	Obsah
/Diplomova_prace	Umístění písemné části diplomové práce
DP_riz_tech_proces.pdf	Hlavní soubor s písemnou částí diplomové práce Řízení technologického procesu
priloha_la_.pdf	PŘÍLOHA I část první Výkresová dokumentace modelu
priloha_lb_.pdf	PŘÍLOHA I část druhá Výkresová dokumentace modelu
zadani.pdf	Zadání diplomové práce
/Film	Umístění předváděcího filmu
DP_film.avi	Film - záznam funkce modelu
/Prezentace	Umístění prezentace diplomové práce
DP_prezentace.sxi	Prezentace diplomové práce ve formátu OpenOffice
DP_prezentace.ppt	Prezentace diplomové práce ve formátu MS-Office
/Program	Projekt v prostředí SIMATIC Manager PCS7
SM_projekt.zip	Zabalený celý projekt ze SIMATIC Manageru PCS7
/Program/pdf	Výpis programu v pdf formátu
CFC_LIC(1_0).pdf	CFC Blok řízení výšky hladiny
CFC_PORUCHY.pdf	CFC Blok hlídání tech. poruch
CFC_REFFLUX-TIC(1_0).pdf	CFC Blok řízení refluxu
CFC_START-STOP.pdf	CFC Blok ovládání spouštění a vypínání kolony
CFC_TIC(1_2).pdf	CFC Blok řízení teploty ve vařáku
CFC_TIC(1_3).pdf	CFC Blok řízení teploty v chladiči
SFC_RIZENI_CHODU.pdf	CFC Blok řízení automatického chodu destilace
/Foto	Fotodokumentace modelu