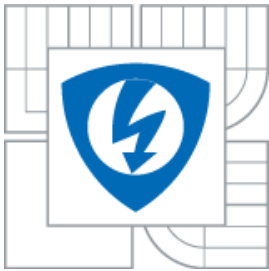




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# ŘÍDICÍ SYSTÉM TECHNOLOGICKÉHO ÚSEKU VARNA

CONTROL SYSTEM OF BREWHOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN ŠULC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. FRANTIŠEK ZEZULKA, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** Martin Šulc  
**Ročník:** 3

**ID:** 125665  
**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

**Řídicí systém technologického úseku varna**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem je navrhnout řídicí systém úseku varny v pivovaru. Použijte výsledky své semestrální práce, popište technologický proces a na výkresu prezentujte vlastní návrh procesní instrumentace a implementaci zadaného řídicího systému. Proveďte algoritmizaci procesu a vypracujte řídicí a vizualizační program. Vypracujte úplnou průvodní zprávu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Basařová G. a kol.: Pivovarství - Teorie a praxe výroby piva, interní materiál

Kosař K., Procházka S.: Technologie výroby sladu a piva, interní publikace

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 28.5.2012

**Vedoucí práce:** prof. Ing. František Zezulka, CSc.

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## ABSTRAKT

Prostudování potřebné teorie z oblasti pivovarnictví. Na základě zjištěných informací navrhnoutí optimálních akčních a měřicích prvků, jako jsou snímače teploty, tlaku, pneumatické ventily, frekvenční měniče a jiné. Následná charakterizace všech prvků z pohledu řídicího systému a rozšíření technologického schématu o měřicí a regulační značky.

Pro úsek pivovaru varna sepsání technologického postupu se specifikováním jednotlivých kroků. Na základě tohoto popisu vytvoření řídicího programu pro automat SIMATIC S7-300 od firmy Siemens. Program je napsaný v jazyce STL, který má podobu strukturovaného textu.

Vizualizace a řízení procesu je zajištěno SCADA systémem TomPack od firmy ProjectSoft. Systém komunikuje s PLC pomocí DDE serveru.

## KLÍČOVÁ SLOVA:

pivovarnictví, návrh řídicího systému, SIMATIC, DDE server, jazyk STL, TomPack, SCADA, řízení procesu, Bakalářská práce, VUT Brno

## ABSTRACT

Investigation of the necessary theory of the brewing industry. Based on the findings to propose the optimal action and measuring elements such as temperature, pressure, pneumatic valves, drives and others. Subsequent characterization of all elements from the perspective of the control system and extension of technological scheme of measuring and regulating signs.

For the section of the brewery brewhouse writing technological sequence with specifying the steps. Based on this description, create a control program for Simatic S7-300 from Siemens. The program is written in STL which takes the form of structured text.

Visualization and process control is provided by SCADA system TomPack from the company ProjectSoft. The system communicates with the PLC via DDE server.

## KEY WORDS:

brewing industry, creating of control system, SIMATIC, DDE server, STL language, TomPack, SCADA, controlling process, Bachelor's thesis, BUT

Bibliografická citace práce:

ŠULC, M. *Řídicí systém technologického úseku varna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 44s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Zezulka, CSc..

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

Zde bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Františku Zezulkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

.....

**OBSAH**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>2 TEORETICKÝ ROZBOR TECHNOLOGICKÉHO PROCESU.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 MLETÍ SLADU .....</b>	<b>10</b>
2.1.1 <b>TECHNOLOGIE MLETÍ SLADU .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 VYSTÍRÁNÍ A RMUTOVÁNÍ .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 <b>TECHNOLOGIE VYSTÍRÁNÍ .....</b>	<b>11</b>
2.2.2 <b>TECHNOLOGIE RMUTOVÁNÍ.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 SCEZOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
2.3.1 <b>JEDNOTLIVÉ KROKY SCEZOVÁNÍ: .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 PŘÍPRAVA MLADINY.....</b>	<b>13</b>
2.4.1 <b>TECHNOLOGIE CHMELOVARU.....</b>	<b>13</b>
<b>3 NÁVRH KONKRÉTNÍCH PRVKŮ .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 SNÍMAČE TEPLoty.....</b>	<b>15</b>
3.1.1 <b>ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ TEPLoty .....</b>	<b>15</b>
3.1.2 <b>SNÍMAČ POUŽITÝ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 SNÍMAČE PRŮTOKU.....</b>	<b>17</b>
3.2.1 <b>ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ PRŮTOKU .....</b>	<b>17</b>
3.2.2 <b>SNÍMAČ POUŽITÝ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 SNÍMAČE HLADINY.....</b>	<b>18</b>
3.3.1 <b>ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ HLADINY.....</b>	<b>18</b>
3.3.2 <b>SNÍMAČ POUŽITÝ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 SNÍMAČE TLAKU.....</b>	<b>20</b>
3.4.1 <b>ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ TLAKU .....</b>	<b>20</b>
3.4.2 <b>SNÍMAČ POUŽITÝ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 LINEÁRNÍ SNÍMAČE POLOHY .....</b>	<b>22</b>
3.5.1 <b>ROZDĚLENÍ SENZORŮ POLOHY .....</b>	<b>22</b>
3.5.2 <b>SNÍMAČ POLOHY POUŽITÝ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 MĚNIČE KMITOČTU .....</b>	<b>23</b>
3.6.1 <b>TEORETICKÝ ROZBOR.....</b>	<b>23</b>
3.6.2 <b>MĚNIČE FREKVENCE POUŽITÉ V TECHNOLOGICKÉM PROCESU .....</b>	<b>23</b>
<b>3.7 REGULAČNÍ VENTILY.....</b>	<b>24</b>
<b>3.8 PNEUMATICKÉ VENTILY A KLAPKY .....</b>	<b>25</b>
<b>4 TECHNOLOGICKÝ POPIS .....</b>	<b>26</b>

---

<b>4.1</b>	<b>MĚŘICÍ A REGULAČNÍ ZNAČKY .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>ROZBOR ÚSEKU VARNY URČENÉHO PRO NÁVRH SW .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>TECHNOLOGICKÝ POPIS SAMOTNÉHO PROCESU .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>ŘÍDICÍ PROGRAM .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>STRUKTURA ŘÍZENÍ.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>SIEMENS S7-S300 .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3</b>	<b>STEP 7 .....</b>	<b>31</b>
5.3.1	KONFIGURACE PROJEKTU .....	31
<b>5.4</b>	<b>ŘÍDICÍ PROGRAM .....</b>	<b>32</b>
5.4.1	PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ .....	33
5.4.2	SEKVENCE (FUNKCE RVP_SEKVENCE).....	33
5.4.3	REGULACE (FUNKCE RVP_REGULACE).....	34
<b>5.5</b>	<b>SIMULACE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>VIZUALIZACE – TOMPACK.....</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>STRUKTURA SYSTÉMU .....</b>	<b>36</b>
6.1.1	UNISERVER .....	37
6.1.2	TPSERVER .....	37
6.1.3	TPVIEW .....	38
6.1.4	TPCONFIG.....	38
<b>6.2</b>	<b>VIZUALIZACE .....</b>	<b>39</b>
6.2.1	OVLÁDACÍ PANEL .....	39
6.2.2	HORNÍ LIŠTA .....	39
6.2.3	PROCES .....	39
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>44</b>

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1- Dvourmutový postup.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2 - Princip vztlakového a tlakového snímače hladiny [4] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 3 - Měřicí a regulační značky [13] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4 - Rmuto - vystírací pánev.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 5 - Směšovač vody.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 6 - Struktura řízení.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 7 - Základní sestava PLC [15].....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 8 - Zpracování událostí programem STEP7 [16] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 9 - Vývojový diagram řídicího programu .....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 10 - PLCSim - virtuální PLC zařízení.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 11 - Struktura programu TomPack [17].....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 12 - Struktura TPServeru [17].....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 13 - Vizualizační okno.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 14 - Recepty a parametry.....</i>	<i>40</i>

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1- Technické parametry snímače PTS 180P .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 2- Technické parametry teploměru s digitálním zobrazením TDi.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 3 - Technické parametry turbínového průtokoměru TPH.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 4- Technické parametry hydrostatické vestavěné sondy LMP 331 .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 5- Technické parametry snímače tlaku.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 6 - Technické parametry snímače polohy Temposonics EL .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 7 - Modely měničů kmitočtu Commander SK.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 8 - Technické parametry regulačního ventilu BR 11.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 9 - Technické parametry pneumatického pohonu ESNU-10-25-P-A .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 10 - Technické parametry čidla SMTO-4 pro snímání polohy válce .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 11 - Ukázka písemného kódu podle ČSN ISO 3511-1 .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 12 - Seznam vstupů a výstupů.....</i>	<i>28</i>

# 1 ÚVOD

Pivovarnictví je složitý výrobní proces, ve kterém se uplatňují technické odvětví jako je automatizace, strojírenství, elektrotechnický a chemický průmysl. Technologické procesy, které zahrnuje výroba piva, jsou kontrolovány odborníky. Lidský faktor v procesu řízení je však neefektivní a mnohdy nepřesný. Přesto i v době automatizování procesů, je v pivovaru potřeba lidí, kteří dohlížejí na průběh a kvalitu výroby piva. Pro urychlení a zpřesnění postupů a procesů je zapotřebí sbírání dat z potřebných míst, následném vyhodnocení a provedení akčního zásahu v určeném místě. Tento proces se nazývá regulace. Návrh jednotlivých regulačních prvků vyžaduje rozsáhlé znalosti z elektrotechniky, elektroniky a měřicí techniky. Pro určení optimálního prvku je potřeba objektivně zhodnotit požadavky na přesnost, rychlost a cenu zařízení.

Ideálním zařízením pro řízení rozsáhlých procesů je programovací automat PLC, který zajišťuje zpracování signálů od snímačů, jejich následné vyhodnocení a odpovídající zpětný zásah do řízeného systému pomocí akčních členů. Pro snadnější ovládání řídicího programu a přehledné zobrazení stavu procesu, se používají SCADA systémy. Jejich účelem není řídit proces, ale pouze zobrazovat data získaná z PLC a umožňovat uživateli změnu veličin v reálném čase. Tyto systémy mohou zajišťovat ukládání dat a zobrazování do trendů.

## 1.1 Cíle práce

Prostudovat potřebnou teorii z oblasti pivovarnictví. Na základě zjištěných informací navrhnout optimální akční a měřicí prvky, jako jsou snímače teploty, tlaku, pneumatické ventily, frekvenční měniče a jiné. Sepsat vybrané členy a charakterizovat je z pohledu řídicího systému. Rozšířit zadané technologické schéma o měřicí a řídicí značky.

Podle zjištěných postupů sepsat technologický popis procesu a na jeho základě vytvořit řídicí program s využitím bloků používaných ve firmě ProjectSoft. Program bude vytvořený pro automat SIMATIC S7-300 a napsán v jazyce STL.

Prostudovat a zvládnout práci v softwaru TomPack od firmy ProjectSoft a navrhnout v něm vizualizační program, který bude komunikovat s řídicím programem v PLC a vhodně zobrazovat průběh daného technologického procesu.

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

V této kapitole čerpám z literárních zdrojů [1] a [2].

- a) **rozemletí sladu** - vzniká sladový šrot
- b) **vystírání** - smíchání sladového šrotu s varní vodou
- c) **rmutování** - stupňování teplot se uplatňuje na aktivitu sladových enzymů
- d) **scezování** – oddělení tekuté části sladu, předku (sladiny), od tuhých zbytků sladového šrotu, mláta
- e) **vyslazování** – vymývání mláta vodou, získané roztoky jsou výstřelky
- f) **sladina pohromadě** – smíchání předku a výstřelků.
- g) **vaření sladiny s chmelem (chmelovými přípravky)** - vzniká tzv. horká mladina
- h) **oddělení hrubých a jemných kalů z mladiny**- včetně zbytků chmelového mláta
- i) **ochlazení a provzdušnění uvařené mladiny** na teplotu potřebnou ke kvašení, vzniká studená mladina

### 2.1 Mletí sladu

#### 2.1.1 Technologie mletí sladu

Mletí sladu je mechanický proces, jehož účelem je dokonalé vymletí sladových zrn na vhodné podíly jemných a hrubých částic při zachování celistvosti pluch. Důvodem mletí zrn je zpřístupnění endospermu (vnitřní část zrna) pro fyzikálně – chemické a enzymové reakce.

Slad je uložen na půdách nebo v silech a před samotným mletím prochází fází čištění.

##### 2.1.1.1 Mletí sladu za sucha

Používají se dvouválcové až šesti válcové šrotovníky. Nejlepší podmínky k mletí sladu představují šestiválcové šrotovníky. Proces mletí se rozbíhá odzadu, nejprve se pustí systém odprašování, sběrný koš na šrot až k výstupu sladu ze zásobního sila.

##### 2.1.1.2 Mletí sladu s kondicionováním

Kondicionování spočívá v tom, že se surovina vlhčí teplou vodou (30°C). Vlhčení probíhá při pohybu ve šnekovém kondicionéru nebo v máčecí šachtě. Procesem se po jedné až dvou minutách dosáhne vyšší elasticity pluch a tím odolnost proti rozemílání.

##### 2.1.1.3 Mletí sladu za mokra

Slad se před rozemletím máčí ve vodě o teplotě 10 až 50°C po dobu 10 (v teplé vodě) až 30 minut (ve studené vodě). Vylouhováním dochází ke ztrátám extraktu do máčecí vody (3,5kg z 1 tuny namáčeného sladu), proto se tato odpadní voda používá pro stírání.

## 2.2 Vystírání a rmutování

### 2.2.1 Technologie vystírání

„Cílem vystírání je dobře smíchat sladový šrot (popř. škrobnaté náhražky sladu) s nálevem varní vody. Výběr surovin, jejich dávky, způsob vystírání a rmutování jsou prvním předpokladem docílení složení sladiny důležitého pro určitý typ piva. K zajištění potřebné kvality je třeba mechanické a fyzikální procesy při šrotování a vystírání optimálně regulovat pro chemické a biochemické reakce, které probíhají při rmutování, scezování a chmelovaru.“ [1]

Při studené i teplé vystírce je nálev rozdělen na dva díly. Nejprve se smíchá slad s vodou o teplotě podle dané metody a pak se provede tzv. zapárka, kdy je přimíchán druhý podíl horké vody. Tomuto objemu vody se říká hlavní nálev. Následný nálev je voda používaná pro vyslazování mláta při scezování.

Nejběžněji se používá teplé vystírání s teplotou vody 35 až 38°C. Je to postup vhodný pro dobře rozluštěné slady. Teplota vystírky se zvýší na teplotu 50°C po provedení zapárky (80°C)

### 2.2.2 Technologie rmutování

Cílem rmutování je při přesně definovaných teplotách pomocí enzymových reakcí přeměnit škrob na cukr, který je potřeba v dalších technologických procesech.

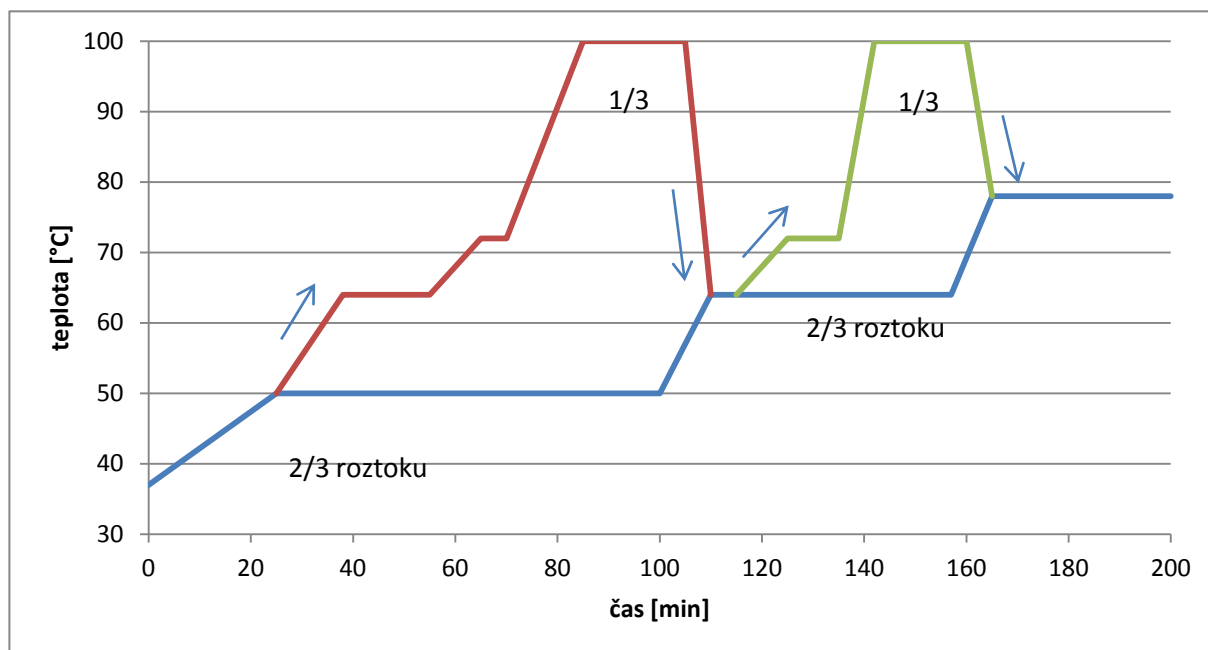
Důležité teploty pro rmutování:

- a) **Kyselinotvorná teplota 35 až 38°C** – v dnešní době má význam především v tom, že podporuje rozpouštění látek v extraktu, který je pak lépe připraven na další teploty rmutování.
- b) **Peptonizační teplota mezi 45 až 50°C** – podporuje amylolyzu (rozklad na jednodušší cukry) škrobu.
- c) **Nižší cukrotvorná teplota 60 až 65°C** – tato teplota zajišťuje optimální podmínky pro aktivitu  $\beta$  – amylasy (enzym).
- d) **Vyšší cukrotvorná teplota 70 až 75°C** – tato teplota je optimální pro působení teplotně stabilnějšího enzymu  $\alpha$  – amylasy. Při této teplotě by mělo dojít k dokonalému zcukření roztoku. Testování probíhá pomocí reakce vzorku roztoku s jódem, který se vyznačuje barevnou reakcí se škrobem.

#### 2.2.2.1 Postupy rmutování:

**Dekokční postupy** - ohřívání na cukrotvorné teploty probíhá pouze u části rmutu, dělí se na dva až čtyři díly.

**Infuzní postupy** – rozpouštění a štěpení extraktu sladu dlouhodobým účinkem sladových enzymů bez mechanického a tepelného působení. Dekokční postupy jsou časově náročnější a používají se u kvalitnějších piv. Infuzním způsobem se vaří pivo převážně v zahraničí (Rusko, Bulharsko, USA atd.), u nás se tento způsob používá jen u levných druhů piva.



Obrázek 1- Dvourmutový postup

modrá – teplota ve vstírací kádi, červená – teplota 1. části rmutu, zelená – teplota 2. části rmutu

## 2.3 Scezování

Cílem scezování je oddělit pevné části rmutu (mláto) od tekutých (sladina). Za tímto účelem se používají scezovací nádoby. Nádoba obsahuje dvojité dno, kde v horním jsou vyfrézované malé otvory, skrz které protéká scezená sladina do scezovacích trubek. Na dně nádoby se utvoří vrstva mláta, která slouží jako filtrační vrstva. Důležitým prvkem je kypřicí a kopací zařízení. V případě malého průtoku sladiny filtrační vrstvou dojde k rozmíchání mláta kypřidlem. Vyfiltrovaná tekutina se vrací zpět do scezovací nádoby, dokud není výsledek čirá sladina.

### 2.3.1 Jednotlivé kroky scezování:

**Přečerpání rmutu** – aby se vytlačil ze scezovací nádrže vzduch, který způsobuje nežádoucí reakce v pivu, napustí se před přečerpáním rmutu do prostoru mezi dno a perforované dno voda o teplotě 78°C. Ke snížení provzdušnění se také používá plnění od spodní části nebo z boku ve středu nádoby. Během přečerpávání je v chodu kypřidlo, které zajišťuje rovnoměrné rozložení mláta.

**Odpočinek díla** – před samotným scezováním se nechá rmut 20 až 30 minut odstát, aby tuhé částice klesly na dno a vytvořily tak filtrační vrstvu. Tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí od 30 do 60 cm podle typu sladu.

**Scezování sladiny** – v první fázi scezování kalová sladina cirkuluje zpět do scezovací nádrže. Toto se provádí tak dlouho, dokud nevytéká čirá sladina. Pokud je průtok nižší než požadovaný, spustí se kypřidlo, které rozmíchá usazené mláto.

**Vyslazování mláta a scezování výstřelků** – mláto zbylé v scezovací nádrži se znovu vymývá vodou, kterou dodává kropidlo umístěné na vrchu nádoby. Na zbylém mlátě se musí udržovat vrstva vody, aby nedošlo k oxidaci. Takto získaný produkt se nazývá výstřelek. Je-li

stékání výstřelku pomalé, musí se znovu nakypřit usazené mláto. Vyslazování se ukončí, jakmile výstřelek dosáhne minimální hodnoty hustoty. Tekutina, která zůstala v mlátě se nazývá patok.

## 2.4 Příprava mladiny

*„Při vaření sladiny s chmelem probíhá řada fyzikálních, chemických a biochemických reakcí za spolupůsobení vlivu mechanického pohybu, jejichž výsledek se promítá ve složení mladiny a ovlivňuje další průběh technologie a vlastnosti piva. Proces je velmi variabilní vzhledem k používané široké škále surovin, technologického postupu, jejichž cílem je zajistit kvalitní pivo včetně specifických vlastností určité značky.“ [1]*

### 2.4.1 Technologie chmelovaru

#### 2.4.1.1 Materiál varních nádob a způsoby jejich vyhřívání

Varní nádoby jsou a byly vyráběny z měděných plechů a korozivzdorné oceli. Dnes u výrobců varních nádob převažuje využívání korozivzdorné oceli.

V dřívější době byly varné nádoby vyhřívány přímým otopem tuhými palivy. V dnešní době je tato metoda nahrazena efektivnějším nepřímým otopem, zejména horkou vodní párou. Pára je centrálně vyráběna a rozváděna po celém pivovaru a slouží k výhřevu rmutovací a mladinové pánve a nádoby na horkou vodu.

#### 2.4.1.2 Chmelení

Aby pivo dostalo své charakteristické vlastnosti, obohacuje se mladina o chmelové látky. V dnešní době se velmi omezilo dávkování lisovaného chmele a nahradilo se chmelovými granulovanými přípravky, které umožňují automatické dávkování a jednodušší manipulaci.

Znalost jednotlivých druhů odrůd chmele je nezbytná pro přípravu mladiny, protože každá odrůda vyžaduje odlišnou dobu varu.

#### 2.4.1.3 Vaření mladiny

Proces vaření mladiny začíná v okamžiku kompletního zaplavení výhřevné plochy varní pánve. Přívod páry, a tudíž teplota mladiny, se reguluje tak, aby došlo k varu v momentě, kdy je dílo pohromadě, tzn. po ukončení vyslazování.

Při atmosférickém tlaku, teplota varu 100°C, se mladina vaří 90 až 100 minut. Během tohoto varu dochází k odparu 8 až 10%, což má za následek zhuštění extraktu o 2,5 až 3% a to je dostačující.

Pro zkrácení doby varu se aplikuje vaření mladiny při zvýšeném tlaku. Mladina se nejprve krátce povaří za atmosférického tlaku, následuje navýšení tlaku v pánvi a tím se zvýší i teplota varu a nakonec se mladina krátkodobě povaří za atmosférického tlaku. Při vysokotlakém vaření se teploty pohybují až okolo 140°C a při nízkotlakém vaření okolo 110°C. Celková doba varu se zkrátí na 55 až 60 minut.

#### 2.4.1.4 Chlazení mladiny

Po odstranění tuhých zbytků mladiny, tzv. mláta, ve vířivé kádi, mladina protéká chladičem. Úkolem chladiče je ochladit mladinu o přibližně 90°C na zákvasnou teplotu 8°C. V první fázi je

mladina chlazená studniční vodou, která má teplotu asi 15°C, na teplotu 20°C a ve druhé fázi je mladina chlazená ledovou vodou na teplotu 8°C.

Po ochlazení dochází k provzdušňování mladiny, kdy je přesně měřen průtok a množství vzduchu vpouštěného do mladiny. Následně jsou dávkovány kvasnice, kde je zase potřeba přesně měřit průtok mladiny a množství dávkovaných kvasnic.

## 3 NÁVRH KONKRÉTNÍCH PRVKŮ

### 3.1 Snímače teploty

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [3], [4].

Způsobů měření se nám nabízí hned několik. Důležité je zhodnotit vlastnosti jednotlivých způsobů a vybrat ten optimální.

#### 3.1.1 Rozdělení snímačů teploty

Senzory pro dotykové měření:

- elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové)
- dilatační (kapalinové, plynné, parní a bimetalové)
- speciální (akustické, šumové, magnetické, tekuté krystaly, teploměrné barvy aj.)

Senzory pro bezdotykové měření teploty:

- tepelné
- kvantové
- akustické (ultrazvukové)

Pro nás mají význam především elektrické.

##### 3.1.1.1 Odporové kovové snímače teploty – elektrické (RTD – resistive temperature detectors)

Tyto snímače využívají změny elektrického odporu vlivem teploty. Ve většině případů odpor s teplotou roste, protože teplotně závislým parametrem kovů je relaxační doba elektronů  $\tau \sim 1/T$ .

Pro provozní kovové teploměry lze v rozsahu od 0 do 100°C použít vztah

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

kde  $\alpha$  [K<sup>-1</sup>] je teplotní součinitel odporu,

$R_0$  [Ω] je odpor kovu při teplotě 0°C.

Z tohoto vztahu vyplývá, že je v rozsahu od 0 do 100°C je závislost odporu na teplotě lineární.

Nejpoužívanější kov pro kovové snímače teploty je platina, která se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání. Standardní hodnotou Pt snímače je  $R_0 = 100\Omega$ . Podle mezinárodního doporučení IEC se platinové snímače dělí na dvě třídy přesnosti. Třída A (chyba při 0°C  $\pm 0,125^\circ\text{C} = \pm 0,06\Omega$ ) a třída B (chyba při 0°C  $\pm 0,25^\circ\text{C} = \pm 0,12\Omega$ ).

##### 3.1.1.2 Termistory

Základní rozdělení je na NTC (záporný teplotní součinitel odporu) a PTC (kladný součinitel odporu). Častěji používanými jsou NTC. Jejich běžný teplotní rozsah je -50 až 150°C a jejich závislost na teplotě je dána vztahem:  $R = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$

kde  $R [\Omega]$  je odpor při teplotě  $T$

$R_0 [\Omega]$  je odpor při referenční teplotě  $T_0$ , obvykle  $25^\circ\text{C}$

$B [\text{K}]$  je teplotní konstanta materiálu

Jejich nevýhoda je silná nelineární závislost odporu na teplotě.

Další možností měření teploty je termočlánek, který pracuje na principu termoelektrického jevu. Při spojení dvou různých kovů do série a následném přivedení rozdílných teplot na spoje kovů, dochází ke vzniku elektrického napětí. Nevýhoda je, že musíme znát teplotu na jednom spoji pro určení teploty na druhém.

### 3.1.2 Snímač použitý v technologickém procesu

Nejoptimálnější parametry nám nabízejí platinové odporové snímače. Jejich výhodou je lineární závislost na teplotě, relativně vysoká přesnost měření a možná snadná výměna za nový snímač v provozu, protože mají standardizované parametry. Plusem je i relativně nízká cena.

Z řady nabízených snímačů jsem zvolil snímač teploty s nerezovou hlavicí od firmy Sensit. Označení použitého snímače je PTS 180P, ve kterém je umístěné čidlo PT 100.

*Tabulka 1- Technické parametry snímače PTS 180P*

Typ snímače	PTS 180P
Typ čidla	PT 100/3850
Výrobce:	Sensit s.r.o.
Měřicí rozsah	-30 až $200^\circ\text{C}$ (teplota v okolí hlavice $-30$ až $100^\circ\text{C}$ )
Max. ss měřicí proud	3 mA
Výstupní signál	4 až 20 mA
Napájecí napětí (UNAP)	12 až 30 V <sub>ss</sub>
Maximální zvlnění UNAP	0,5 %
Zatěžovací odpor $R_z$	50 $\Omega$
Třída přesnosti	tř. B dle IEC 751, $t = (0,3 + 0,005 t )$ ve $^\circ\text{C}$
Chyba měření	< 0,6 % z rozsahu, minimálně $0,5^\circ\text{C}$
Standardní délka stonku L1	70, 120, 180, 240 mm
Hmotnost	cca 0,25 kg
Cena:	950 – 980 Kč (podle délky stonku)

Snímač se pomocí jímky umístí do místa, kde se bude měřit teplota. Výstupní data v rozsahu 4 až 20 mA jsou pomocí stíněného kabelu odváděny do řídicí jednotky technologického procesu.

Protože tento snímač splňuje požadavky kladené na optimální snímání teploty v námi řešeném technologickém procesu, použijeme ho ve všech místech měření teploty, kromě rozvaděče páry, kde je potřeba číselníkový teploměr s dálkovým přenosem.

Pro rozvaděč páry jsem vybral teploměr s digitálním zobrazením řady TDi s proudovým výstupem od firmy Sensit.

*Tabulka 2- Technické parametry teploměru s digitálním zobrazením TDi*

Typ snímače:	TDi
Typ čidla:	PT100
Výrobce:	Sensit s.r.o.
Měřicí teplotní rozsah:	-50 až 400 °C
Výstup:	4 – 20 mA
Chyba čidla:	třída A: $\pm 0,125^{\circ}\text{C}$ , třída B: $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
Chyba převodníku:	základní 0,15 %, opakovatelnost 0,05 %, hystereze 0,03 %, linearita 0,25 %
Krytí:	IP 65
Materiál stonku:	nerez 17240
Cena:	3 680 – 3 725 Kč (podle délky stonku)

## 3.2 Snímače průtoku

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [4] a [5].

### 3.2.1 Rozdělení snímačů průtoku

**Indukční průtokoměry** – měřidlo použitelné pro měření kapalin s elektrickou měrnou vodivostí větší než  $5\mu\text{S}/\text{cm}$ . Měrná vodivost vody se pohybuje od jednotek  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do jednotek  $\text{mS}/\text{cm}$ .

Princip indukčního průtokoměru je založen na Faradayově zákoně. Kde se na protékající kapalině indukuje elektrické napětí, které je snímáno dvojicí elektrod.

**Ultrazvukové průtokoměry** – tento princip se hodí pro měření průtoku v uzavřených, nezaplňených a otevřených potrubích.

Princip spočívá v tom, že na dvou místech v potrubí je umístěn vysílač a přijímač ultrazvukových vln. Vlna se nejprve vyše ve směru průtoku a pak v protisměru. Rychlost průtoku se spočítá jako časový rozdíl průchodu měřících paprsků.

**Turbínové průtokoměry** – tento typ snímače nachází uplatnění v měření průtoku paliva. Princip je založen na mechanickém roztáčení turbíny umístěné v potrubí v závislosti na průchodu kapaliny.

**Hmotnostní průtokoměry** – slouží k měření objemu a hmotnosti protékající kapaliny. Nezávisí na vodivosti kapaliny, mají velký teplotní a viskozitní rozsah.

Snímače pracují na základě Coriolisovy síly. Proudí-li tekutina rychlostí  $v$  v potrubí rotujícím rychlostí  $\omega$ , pak na každý element tekutiny o hmotnosti  $\Delta m$  působí Coriolisova síla.

$$\Delta F_C = \Delta m 2(v * \omega)$$

### 3.2.2 Snímač použitý v technologickém procesu

Varna, pro kterou navrhují řízení, má objem 50hl. Uvažujeme-li, že vystírání trvá 20 min a na vystírku je použito přibližně 25hl vody, je potřeba měřit průtok 75hl/hod. Průtok při scezování je nižší, než u směšovače. Hmotnostní průtokoměr MMC2 má při světlosti DN25 maximální měřený průtok 160kg/min. Když uvažujeme, že jeden litr vody váží 1kg, tak maximální měřený průtok pro MMC2 je 96 hektolitrů vody za hodinu. Tento snímač má vynikající parametry (přesnost až 1g/l, odchylka 0,1%, teplota měřeného média -50 až 200°C), jeho nevýhoda je vysoká cena, která začíná na 100 000 Kč.

Turbínové průtokoměry jsou mechanické snímače, jejichž výhodou je relativně nízká cena. Procházející kapalina roztáčí turbínu, což má za následek pokles tlaku v systému. Výstup ze snímače je v podobě pulsů a není kalibrován, jejichž frekvence je úměrná aktuálnímu průtoku. Tento výstup je potřeba převést pomocí vhodného převodníku na proudový výstup.

*Tabulka 3 - Technické parametry turbínového průtokoměru TPH*

Název snímače:	Turbínový průtokoměr TPH (potravinářství)
Výrobce	Badger Meter Czech Republic s.r.o.
Světlost:	DN24
Přípojení:	Závit 1"
Tlaková ztráta:	0,25bar
Měřicí rozsah:	15 – 150hl/h
Linearita:	±0,5% hodnoty
Provozní teplota:	-100°C až 300°C
Cena:	řádově tisíce

## 3.3 Snímače hladiny

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [4] a [6].

### 3.3.1 Rozdělení snímačů hladiny

Základní rozdělení snímačů hladiny je na spojitý a nespojitý.

#### Nespojitý:

**Plovákové** – na hladině je umístěn plovák, který přenáší pohyb zpravidla mimo nádobu, kde je umístěn snímač polohy (spojitý nebo dvouhodnotový)

**Vibrační** – elektromechanický rezonátor, kontaktem s hladinou dojde k vysazení kmitů. Zejména pro pevné látky.

**Vodivostní** – dvoustavové snímače, při kontaktu elektrod s hladinou dojde ke změně vodivosti

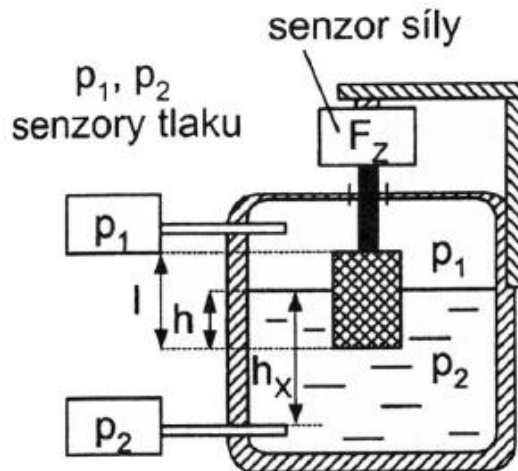
**Spojité:**

**Vztlakové** – při známé hmotnosti nádoby a měrné hustoty náplně lze vypočítat sílu působící na měrný váleček ponořený do kapaliny

**Tlakové** – snímání rozdílu hydrostatického tlaku  $p_2$  a tlaku nad hladinou  $p_1$

$$p_2 - p_1 = \rho_2 g h_x$$

kde  $h_x$  je výška hladiny a  $\rho_2$  je hustota kapaliny



Obrázek 2 - Princip vztlakového a tlakového snímače hladiny [4]

### 3.3.2 Snímač použitý v technologickém procesu

Do procesu potřebujeme dva snímače hladiny. V obou případech v rozsahu od 0 do 0,25 bar. V nádobě na studenou vodu se provozní teplota měřeného média pohybuje kolem 0°C a v nádobě na horkou vodu se teplota pohybuje těsně pod 100°C. Z nabídky snímačů jsem vybral takový, aby splňoval teplotní rozsah a měřicí rozsah příliš nepřesahoval 0,25 bar.

Hydrostatická vestavná sonda LMP 331. Princip měření spočívá v tom, že hydrostatický tlak měřené kapaliny působí na nerezovou oddělovací membránu, která převádí tlak na polovodičový tenzometr.

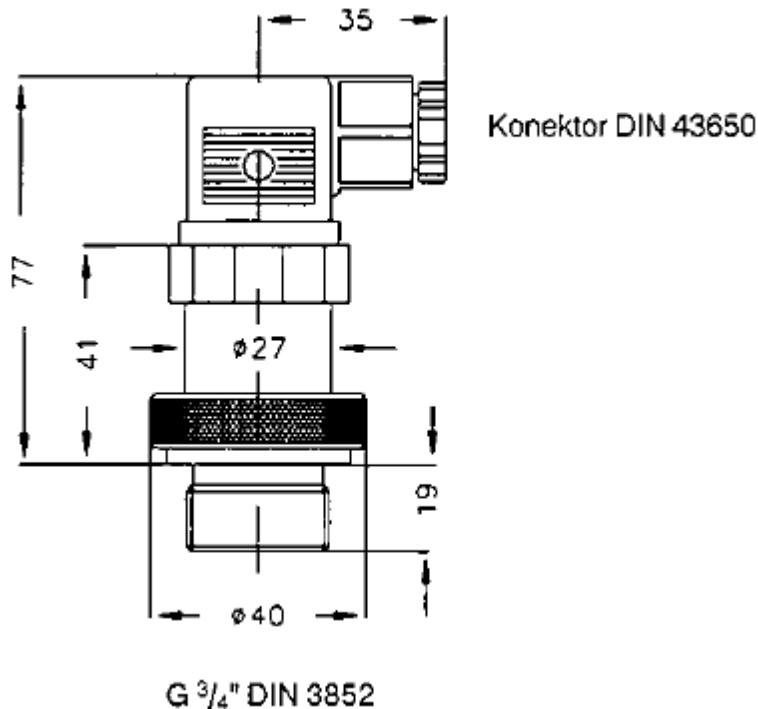
Sonda splňuje aplikační požadavky: měření v otevřených nádržích, velmi dobrá linearita, dlouhodobá stabilita, přesnost dle IEC 60770: 0,35 %.

Tabulka 4- Technické parametry hydrostatické vestavné sondy LMP 331

Název:	Hydrostatická vestavná sonda LMP 331
Jmenovitý tlak:	0,25 bar
Výstupní signál:	4 – 20 mA
Napájení:	12 – 36 V/DC
Přesnost:	$\leq \pm 0,5 \%$
Teplota měřeného média	-25 – 125°C

Cena:	5 750,00 Kč
-------	-------------

### Standartní provedení



Obrázek 3 - Hydrostatická sonda LMP 331 [4]

## 3.4 Snímače tlaku

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [4] a [7].

### 3.4.1 Rozdělení snímačů tlaku

Princip měření je podobný jako u snímačů síly s tím rozdílem, že je potřeba převést měřený tlak na sílu, která se pak projevuje deformací. Převod síly na deformaci se rozděluje na **přímý převod** a na **převod přes pružný člen** (membrána, trubka, vlnovec atd.). Jako měřitelná veličina při přímém převodu je použitelný náboj, elektrický odpor, magnetické a optické vlastnosti. Při převodu přes pružný člen se deformace projevuje jako změna mechanického napětí nebo změna polohy.

#### 3.4.1.1 Deformační senzory tlaku

**Membránové** - membrána je nejčastěji používaný pružný člen u snímačů tlaku. Na membránu se umístí foliový tenzometr se dvěma senzory na okraji pro radiální a dvěma uprostřed pro tangenciální složku napětí.

**Trubicové** – deformace je převáděna na polohu pomocí pružného členu, který je navržen tak, aby jeho deformace byla měřitelná snímači polohy. Typický příklad je Bourdonova (E. Bourdon) trubice, která existuje hned v několika formách, šroubovice, spirála, zkroucená trubka a C-trubka.

### 3.4.1.2 Kapacitní snímače tlaku

Pružným členem je kovová membrána, která představuje jednu uzemněnou elektrodu. Druhá elektroda je pevně připojena proti membráně. Pohybem membrány se mění velikost vzduchové mezery. Pro odstranění teplotní dilatace se používá diferenční zapojení, které jak je známo odstraňuje vlivy působící na obě části. Pracovní rozsah diferenčních senzorů tlaku bývá v rozsahu od 1mbar až po řádově tisíce mbarů. Přitom statický tlak může dosáhnout až 400bar.

Nejznámější provedení diferenčního senzoru tlaku, senzor měřící rozdíl dvou tlaků, je se střední membránovou elektrodou a dvěma postraními pevnými elektrodami. Krajní elektrody současně tvoří mechanickou zarážku proti přetížení. Celková chyba je menší než 0,1% a teplotní závislost 0,01K/%. Teplotní použitelnost je do 350°C.

### 3.4.1.3 Piezoelektrické snímače tlaku

Tlak je převáděn pomocí membrány na piezoelektrické disky, které generují náboj. Piezoelektrické snímače tlaku jsou prioritně určeny pro dynamická měření. Pro měření nízkých tlaků v místech s výskytem větších vibrací se používají zabudované akcelerometry, které vibrace kompenzují.

## 3.4.2 Snímač použitý v technologickém procesu

Z nabídky jsem vybral snímač tlaku od firmy Omega, která používá membránový princip měření. Tlak deformuje tenzometrické snímače přilepené na membráně a zapojené do Wheatstoneova můstku. Deformace se projeví změnou odporu. Z široké nabídky modelů jsem vybral takový, který optimálně splňuje technologické podmínky.

*Tabulka 5- Technické parametry snímače tlaku*

Typ snímače:	Absolutní (tlak je měřený od nuly)
Výrobce:	Omega International
Rozsah:	0 – 350mbar
Výstup:	4 – 20mA
Přesnost:	± 0,20%
Připojení do procesu:	1/8-27 NPT vnější závit
Elektrické ukončení:	Kabel (2m, 6ft)
Teplotní kompenzace:	-18 až 93 °C
Přesnost závislosti na teplotě:	± 0.50% posun v 0, ± 0.50% posun v rozsahu
Volitelné vlastnosti:	CE certifikace
Cena:	14 560 Kč
Číslo modelu:	MMA005C1H4A0T2A3CE

### 3.5 Lineární snímače polohy

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [11] a [12].

#### 3.5.1 Rozdělení senzorů polohy

Typů snímačů polohy je velké množství (odporové, indukčnostní, kapacitní, optické, ultrazvukové atd.). Pro měření zdvihu kopačky, však vyhovují jen některé. Požadováno je aby měl snímač proudový výstup 4 – 20mA, možnost integrace do zařízení a aby měl relativně velký měřicí rozsah.

##### 3.5.1.1 Magnetické lineární snímače polohy

Jedná se o bezkontaktní způsob snímání polohy, které využívá magnetostrikční metodu měření. Snímací hlava se pohybuje po pásce osazené magneticky snímanými proužky. Výstupem ze snímače jsou elektrické pulsy, které se dále buď přenášejí v digitální podobě, nebo se převádějí na analogový signál. Tyto snímače se vyrábějí robustní, proto se hodí k využití v nepříznivých podmínkách jako je prach, olej a jiné nečistoty.

##### 3.5.1.2 Lineární optické snímače polohy

Zdroj světla vysílá paprsek, který prochází nebo se odráží od měřítka se stupnicí, a přes masku dopadá na fotodetektory, které generují elektrický signál. Při pohybu měřítka proti masce, která obsahují fázově posunuté stupnice, vzniká dvojice sinusových signálů posunutých oproti sobě o 90°. Takto získané signály umožňují určit směr pohybu i měřit změnu polohy. Ačkoliv lze stupnici vyrobit velmi přesně, což zvyšuje přesnost snímače, s jemností dělení roste nepříznivý vliv difrakce (ohybu) světla.

#### 3.5.2 Snímač polohy použitý v technologickém procesu

Pro měření zdvihu kopačky ve scezovací nádrži jsem vybral lineární snímač polohy Temposonics EL, který nabízí firma PROFESS, spol. s r.o.. Jeho výhody jsou absolutní měření polohy, vysoká odolnost proti chvění a rázům, měřicí rozsah 50 – 2500 mm. Volitelný analogový výstup 4 – 20mA, 20 – 4mA, 0 – 10V, 10 – 0V.

*Tabulka 6 - Technické parametry snímače polohy Temposonics EL*

Název:	Temposonics EL
Měřicí rozsah:	50 – 2500mm
Výstup:	4 – 20mA
Chyba linearity:	< ± 0,02 % z rozsahu ((min. ± 60 mm)
Napájení:	24 Vss
Teplota okolí:	-40 až 75°C
Třída krytí:	IP 65

## 3.6 Měníče kmitočtu

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [8].

### 3.6.1 Teoretický rozbor

Měníče kmitočtu se používají pro řízení asynchronních motorů. Asynchronní motory jsou nejběžnější motory používané v průmyslu. Vyžadují jen malou údržbu, jsou robustní, snadno odolávají okolním vlivům a jsou jednoduché na výrobu. Asynchronní motor bez měniče kmitočtu se po připojení na síťové napětí rozběhne konstantní rychlostí. Otáčky motoru jsou dány frekvencí napájecího napětí a konstrukcí motoru.

Řízení motoru frekvenčním měničem umožňuje měnit otáčky motoru a jeho moment, prudké zrychlení a brzděné zpomalení. Měníče mohou pracovat buď v režimu otevřené smyčky, nebo v režimu uzavřené smyčky.

#### 3.6.1.1 Činnost měniče kmitočtu

Měnič kmitočtu můžeme rozdělit do čtyř funkčních bloků

- a) **Usměrňovač** – usměrňuje střídavé vstupní napětí měniče a převádí ho na stejnosměrné pulzující napětí
- b) **Meziobvod** – může převést usměrňené napětí na proud nebo napětí pouze vyhladit a stabilizovat
- c) **Střídač** – převede napětí na kmitočet požadovaný na výstupu
- d) **Řídicí mikroprocesor** – řídí jednotlivé bloky, otevírá a zavírá polovodičové spínače řídicími signály

#### 3.6.1.2 Měnič kmitočtu pracující v režimu otevřené smyčky

V režimu otevřené smyčky nemáme k dispozici zpětnou vazbu, která by nás informovala o aktuálním stavu otáček motoru, tudíž musíme vycházet z předpokladu, že rychlost motoru je dána kmitočtem napájecího napětí. Změnou frekvence napětí změníme rychlost motoru. Hlavními nevýhodami je malá přesnost a slabý točivý moment při nízkých otáčkách.

#### 3.6.1.3 Měnič kmitočtu pracující v režimu uzavřené smyčky

*„Obvod otevřené smyčky je doplněn o snímač otáček a polohy. Data ze snímače jsou přivedeny pomocí zpětné vazby do měniče. Výsledkem je stabilní a přesné řízení rychlosti a točivého momentu s vysokou dynamikou a to z klidového stavu až po maximální rychlost.“ [8]*

## 3.6.2 Měníče frekvence použité v technologickém procesu

Společností, které vyrábějí a nabízejí měniče frekvence, je nepřeberné množství. Z nabídky jsem vybral firmu EMERSON Industrial Automation, protože má širokou nabídku produktů se zárukou kvality.

I když jsou v technologickém procesu potřeba kmitočtové měniče o výkonech 1,1kW, 1,5kW a 2,2kW, vyráběné měniče Commander SK od firmy EMERSON se vyrábějí v rozsahu 0,25 – 132kW. Jednotlivé výkony jsou dány pouze modely měniče, které však mají obdobné technické parametry. Typ Commander SK je vybaven programovatelnou vnitřní logikou vč. komparátorů a jiných funkcí. Disponuje programovatelným PID regulátorem, obsahuje dostatek analogových a digitálních vstupů/výstupů pro většinu aplikací. Frekvence může být řízená buď proudovým

vstupem (0 – 20mA, 4 – 20mA, 20 – 0mA, 20 – 4mA) nebo napět'ovým vstupem (0 – 10V). Podrobné informace naleznete v technické dokumentaci k přístroji:

<http://www.pohony-menice.cz/data/files/ke-stazeni/SK-Strucny-navod.pdf>

*Tabulka 7 - Modely měničů kmitočtu Commander SK*

Frekvenční měniče s výkonem 1,1 kW:	SKB3400110
Frekvenční měniče s výkonem 1,5 kW:	SKB3400150
Frekvenční měniče s výkonem 2,2 kW:	SKC3400220

### 3.7 Regulační ventily

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [9].

Regulační ventily jsou potřeba k řízení přítoku studené a teplé vody do směšovače. Světlost ventilů je DN25 a maximální průtok ve směšovači 75hl/hod. Pohon ventilů je požadován elektrický.

Z nabídky regulačních ventilů jsem vybral základní typ jednosedlových ventilů řady BR s možností odlehčené kuželky od firmy POLNA corp s.r.o..

*Tabulka 8 - Technické parametry regulačního ventilu BR 11*

Typ ventilu:	BR 11
Výrobce:	POLNA corp s.r.o.
Světlost:	DN15 – DN250
Rozsah tlaku:	PN 10 – 40
Konstrukce:	jednosedlový ventil s možností odlehčené kuželky
Rozsah pracovních teplot:	-180°C až 400°C
Průtoková char.:	lineární, ekviprocentní nebo on/off
Koncové připojení:	přírubové
Pohon:	elektrický
Označení vybraného modelu:	ES – BR11 – 1A470L2 DN25 PN40 Kvs10*

\* Regulační ventil typ BR 11 s elektrickým servopohonem, bez ručního pohonu, standartní ucpávkou, těsněním z pleteného PTFE, těsnění uzávěru třídy IV, s neodlehčenou kuželkou lineární, materiálové provedení tělesa tvárná litina (tlak do PN40). Maximální průtok 10m<sup>3</sup>/hod, maximální tlak 40bar a světlost ventilu DN25

### 3.8 Pneumatické ventily a klapky

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [10].

V procesu je potřeba 34 kusů přímých klapek s jednočinným pneumatickým pohonem a 5 kusů pneumatických ventilů s jednočinným pohonem se šikmým sedlem na páru. U všech pohonů je vyžadováno snímání polohy. Dodavatelem je firma Festo..

Pro přímé klapky použijeme pohon se zdvihem 25mm. Typ pohonu ESNU–10–25-P-A.

*Tabulka 9 - Technické parametry pneumatického pohonu ESNU-10-25-P-A*

Výrobce:	Festo
Označení:	ESNU–10–25-P-A
Zdvih:	25mm
Průměr pístu:	10mm
Závit na pístnici:	M4
Tlumení:	pružné tlumicí kroužky/desky na obou stranách
Snímání polohy:	možnost přidání čidla
Provozní tlak:	1,5 – 10 bar
Provozní režim:	jednočinný, tlačný
Teoretická síla při 6 barech:	41,6 N

Pro snímání polohy pístu pneumatického pohonu je potřeba na válec přimontovat držák na čidlo a samotné čidlo polohy.

*Tabulka 10 - Technické parametry čidla SMTO-4 pro snímání polohy válce*

Výrobce:	Festo
Označení čidla:	SMTO-4U-NS-K-LED-24
Princip měření:	magneticky indukční
Spínaný výstup:	NPN
Max. výstupní proud:	200mA
Rozsah provozního napětí:	10 – 30 V / DC
Elektrické připojení:	kabel, 3 vodiče
Držák na čidlo typu:	SMBR-10

## 4 TECHNOLOGICKÝ POPIS

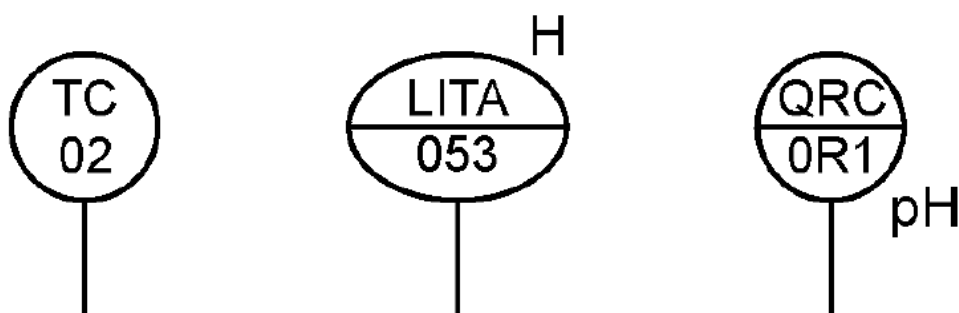
V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [13].

### 4.1 Měřicí a regulační značky

Pro snadnější orientaci jsem technologické schéma rozšířil o měřicí a regulační značky, které znázorňují funkci daných přístrojů během chodu procesu. Od roku 1994 je pro tyto značky platná norma ČSN ISO 3511-1.

Základní značkou přístroje, zařízení určené k měření, sdělování nebo řízení, je kružnice o průměru asi 10mm. Plná čára spojuje značku s umístěním přístroje ve schématu. V kružnici jsou dva druhy kódu. Písemný popisek slouží k určení měřené nebo řízené veličiny a popsání dalších funkcí přístroje. Tato část se uvádí v horní části kružnice. V případě, že je text obsáhlejší, lze kružnici nahradit elipsou. Druhý číselný kód slouží k identifikaci přístroje.

Vodorovná čára uvnitř kružnice znamená, že se jedná o přístroj umístěný na panelu. Jako doplňující informaci je možné uvést vně kružnice maximum H a minimum L měřené hodnoty. V případě měření koncentračních veličin se uvádí konkrétní měřená veličina.



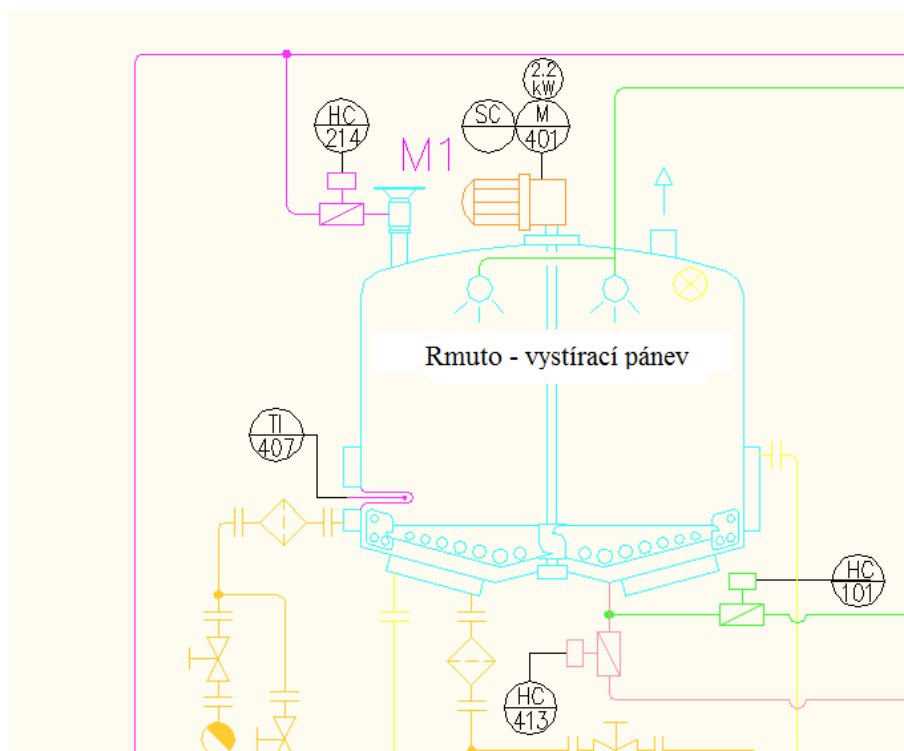
Obrázek 3 - Měřicí a regulační značky [13]

Tabulka 11 - Ukázka písemného kódu podle ČSN ISO 3511-1

Písmeno	Měřená nebo řízená veličina	Přídavné písmeno	Zobrazovací nebo výstupní funkce
C			Regulace
F	Průtok	Poměr	
H	Ruční ovládání		
I			Ukazování
L	Hladina		
P	Tlak		Zkušební přípojka
T	Teplota		Vysílání

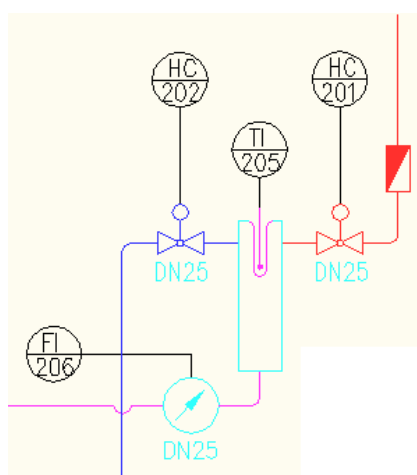
## 4.2 Rozbor úseku varny určeného pro návrh SW

Řídicí a vizualizační program jsem navrhnul pro rmutu – vystírací pánev, včetně směšovače vody. V prvním kroku jsem vytvořil technologický popis procesu, který jsem následně implementoval pomocí jazyka STL do programovacího automatu.



Obrázek 4 - Rmutu - vystírací pánev

Přívod vody rmutu- vystírací pánve (RVP) je zajišťován ventilem HC214. Odtok rmutu řídí ventil HC413 a odtok čistící vody HC101. Teplota v RVP se měří teploměrem TI407 a otáčku míchadla jsou řízeny frekvenčním měničem SC401. Dále potřeba řídit dva ventily pro přívod páry HC302 a HC303, které nejsou na obrázku 4 uvedeny.



Obrázek 5 - Směšovač vody

Přívod horké vody do směšovače pomocí elektroventily HC201 a studené vody pomocí HC202. Měření tepla teploměrem TI205 a průtoku průtokoměrem FI206.

Každý ventil zahrnuje jeden binární výstup pro řízení ventilu a jeden binární vstup pro zpětnou vazbu. Počet vstupů a výstupů, které je potřeba zpracovávat je uveden v Tabulce 12.

*Tabulka 12 - Seznam vstupů a výstupů*

	AI	AO	BI	BO
Přítok vody do RVP – HC214			1	1
Odtok rmutu z RVP – HC413			1	1
Odtok čistící vody z RVP – HC101			1	1
Přívod páry – HC302			1	1
Přívod páry – HC303			1	1
Přívod horké vody do směšovače – HC201		1		
Přívod studené vody do směšovače – HC202		1		
Pohon míchadla s měničem – SC401		1		
Teplota v RVP – TI407	1			
Teplota ve směšovači – TI205	1			
Průtok vody směšovačem – FI206	1			
<b>CELKEM</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

### 4.3 Technologický popis samotného procesu

Podrobnější přehled jednotlivých kroků naleznete v příloze B.

0. Výchozí stav
1. Start RVP3
2. Napouštění vody na základ
3. Otevírání vystíradla
4. Vystírka
5. Uzavírání vystíradla
6. Dopouštění vody po vystírce
7. Prodleva po vystírce
8. Přídavek enzymu
9. Rezerva
10. Zapáčka vodou
11. Prodleva po zapářce
12. Ohřev na NCT
13. Prodleva na NCT
14. Ohřev na VCT
15. Prodleva na VCT
16. Zkouška zcukření
17. Ohřev na odmutovací teplotu

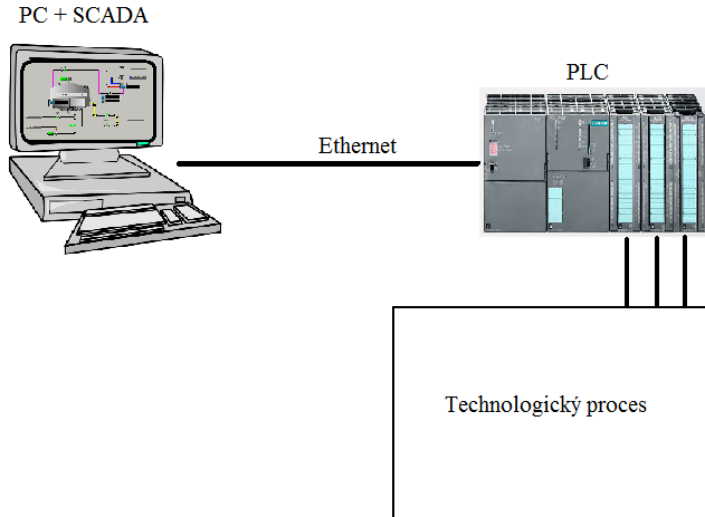
18. Promíchání rmutu
19. Povol čerpání na SK
20. Čerpání na SK s míchadlem
21. Oplach nádoby
22. Prodleva po oplachu nádoby
23. Čerpání oplachu RVP do SK
24. Konec programu

Pro nastavení jednotlivých teplot, časů, otáček a průtoků se používají receptury a parametry, které si obsluha sama nastaví na začátku každého chodu programu. Nastavování těchto veličin umožňuje vytvořená vizualizace.

## 5 ŘÍDICÍ PROGRAM

V této kapitole jsem čerpal z literárních zdrojů [14], [15] a [16].

### 5.1 Struktura řízení

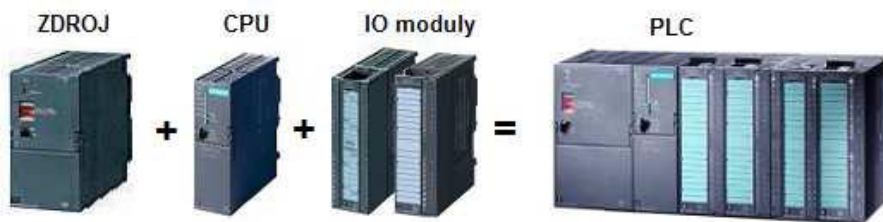


Obrázek 6 - Struktura řízení

Data určená pro technologický proces se přivádějí přes vstupní a výstupní karty do procesní jednotky PLC, kde běží hlavní řídicí program. Úprava a konfigurace tohoto programu se provádí pomocí softwaru Simatic Manager od firmy Siemens, který běží na PC. SCADA systém pomocí Ethernetu a DDE serveru komunikuje mezi PC a PLC.

### 5.2 Siemens S7-S300

Programovatelný automat zahrnuje tři základní druhy modulů. Vstupní moduly, na které jsou napojeny měřené procesní veličiny. Výstupní moduly, které provádějí akční zásah do procesu. A procesní jednotka CPU, která provádí naprogramované logické, matematické a časové funkce mezi vstupními a výstupními signály. Součástí zařízení často bývá i napájecí zdroj 24V/DC.



Obrázek 7 - Základní sestava PLC [15]

Průmyslový řídicí systém SIMATIC S7-300 je nejprodávanějším řídicím systémem z široké nabídky firmy Siemens AG. Je určen pro realizaci rozmanitých automatizačních úloh středního rozsahu. Poskytuje univerzální automatizační platformu pro systémová řešení s hlavním důrazem na výrobní technologii. [16]

### 5.3 STEP 7

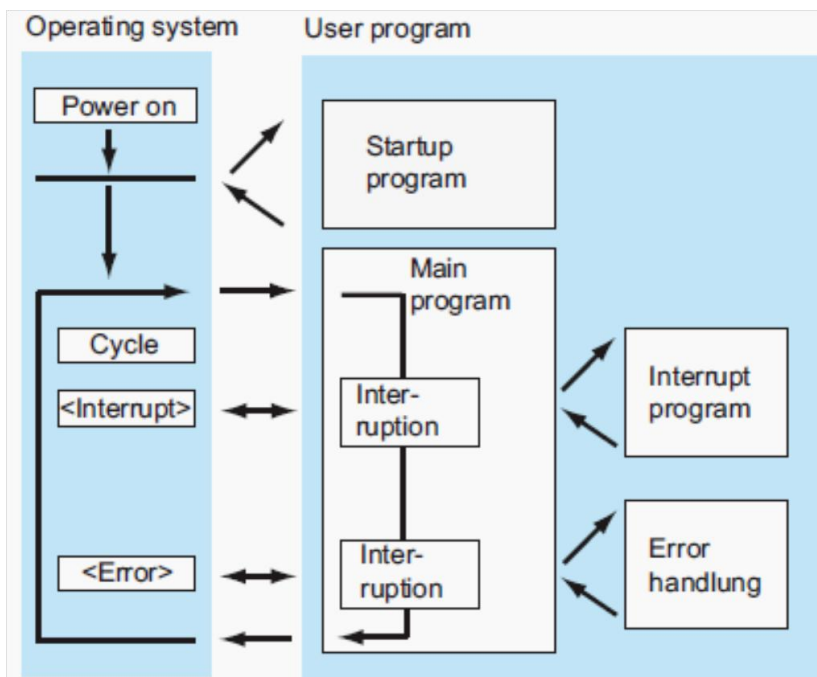
Simatic STEP 7 je vývojové prostředí od firmy Siemens, které umožňuje programovat PLC. K dispozici jsou tři programovací jazyky, LAD, FBD a STL.

LAD neboli Ladder diagram se sestavuje z jednotlivých schematických značek a vytváří se obvod s paralelními větvemi, které se vykonávají naráz. Tento jazyk zajišťuje univerzální použitelnost a snadnější pozdější úpravu kódu

FBD neboli Function Block Diagram. Jedná se o programování v jazyce funkčních bloků, které připomíná LAD. V některých směrech více připomíná schéma zapojení a tím se stává přehlednější. Jazyk FBD je určen pro jednodušší programy, zahrnující především digitální vstupy a výstupy.

STL je nízko úroňový programovací jazyk, kde je na každém řádku napsána jedna instrukce. Pro vykonávání matematických a jiných operací jsou k dispozici dva paměťové zásobníky. Tento jazyk zajišťuje rychlejší provádění programu automatem a mezinárodní použitelnost. Jeho nevýhodou je nepřehlednost při složitějších kódech.

Chod softwaru STEP 7 je znázorněn na *Obrázku 8*.



Obrázek 8 - Zpracování událostí programem STEP7 [16]

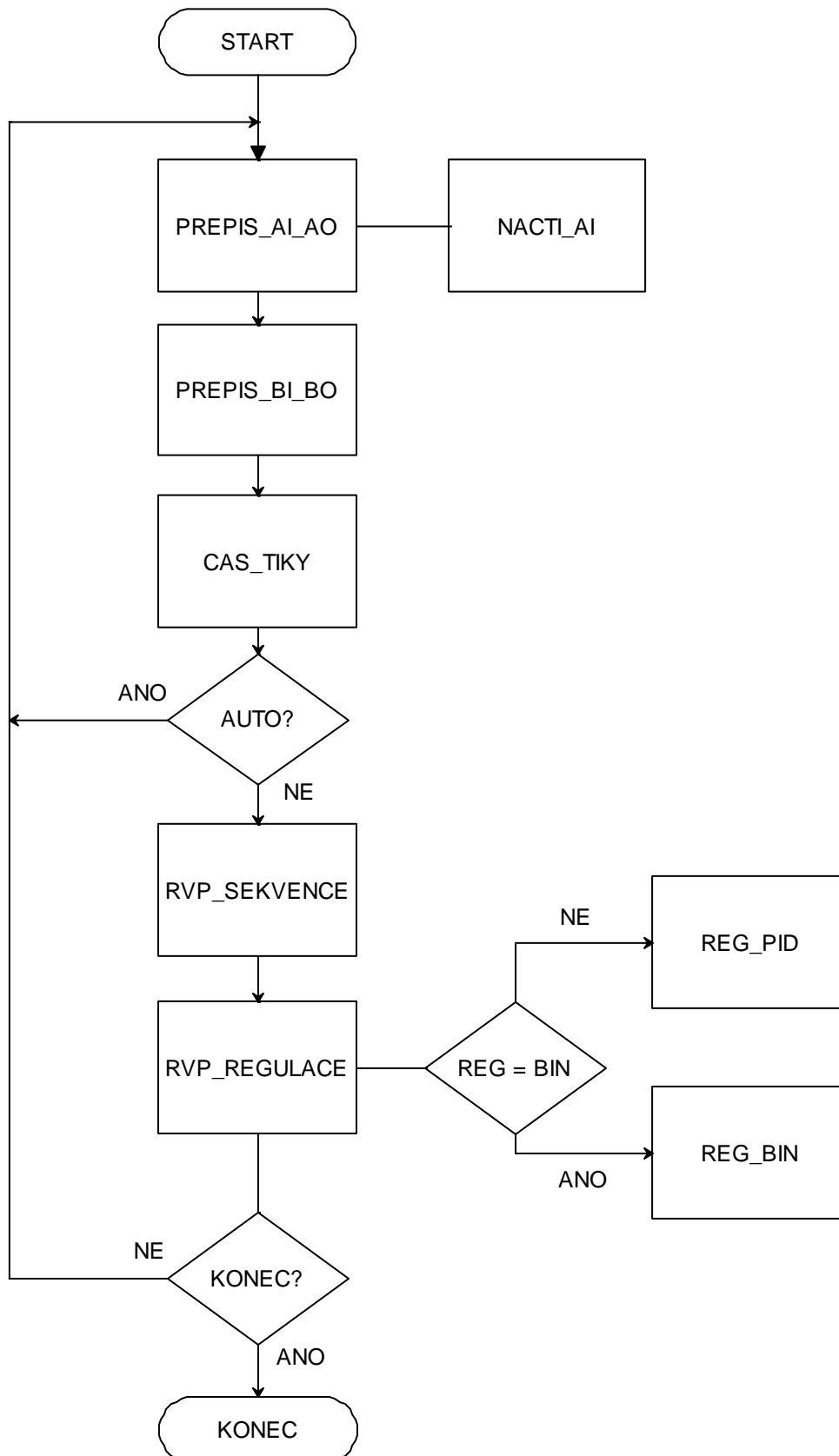
Po zapnutí napájení se provede inicializační část programu. Poté program cyklicky vykonává hlavní smyčku a čeká na přerušení od podprogramů a jiných událostí (error atd.). Vždy po vykonání přerušovacího bloku se program vrátí do hlavní smyčky.

#### 5.3.1 Konfigurace projektu

Před samotným psaním programu je potřeba popsat jak bude reálné zařízení, ke kterému se budeme připojovat, vypadat. V prvním kroku vložíme *rail* ve kterém bude zařízení uchyceno. Do railu vložíme procesorovou jednotku a všechny vstupní a výstupní moduly přesně v tom pořadí, v jakém budou ve skutečnosti.

## 5.4 Řídicí program

Stručný přehled posloupnosti jednotlivých bloků. Jejich podrobnější popis je v následující podkapitole.



Obrázek 9 - Vývojový diagram řídicího programu

### 5.4.1 Přehled jednotlivých bloků

**OB1** - hlavní blok, který se cyklicky vykonává a volá hlavní podprogramy

**PREPIS\_AI\_AO** – načítá a přepočítává analogové vstupy a výstupy na požadovaný rozsah, blok zároveň vyhodnocuje pokles proud pod 4 mA.

**PREPIS\_BI\_BO** – funkce načítá digitální vstupy a výstupy, na základě informace ze zpětné vazby se vyhodnocuje chyba.

**CAS\_TIKY** – pomocí bloku OB35, který je volán po 100ms, nastavuje pomocné proměnné pro časování.

**RVP\_SEKVENCE** – hlavní funkce programu, kde se vykonávají sekvence dané popisem procesu.

**RVP\_REGULACE** – podle aktivního kroku sekvence, se aktivuje regulace pro dané akční a řídicí prvky.

**DB\_RVP** – datový blok pro proměnné patřící do oblasti RVP.

**DB\_VODA** – datový blok pro proměnné patřící do oblasti VODA.

**DB\_CIP** – datový blok pro proměnné patřící do oblasti CIP.

**DB\_RVP\_STEP** – datový blok obsahující receptury, parametry a kroky.

**DB\_RVP\_REGULACE** – datový blok s proměnným potřebnými pro regulaci

**UDT1 – UDT6** – nově vytvořené datové typy, např. TYPE\_VENTIL zahrnující čtyři parametry typu BOOL (OP, AR, FEB, ER)

### 5.4.2 Sekvence (funkce RVP\_SEKVENCE)

Na začátku každého skenu sekvenční funkce otestují, zda není některý prvek ve stavu „error“. V případě že ano, nastaví se BIT\_FAULT na log 1 a zbytek sekvence se již neprovádí. Aby se sekvence vykonávala, musí být také nastaven BIT\_AR (automatické řízení) a BIT\_START (chod programu) na „1“. Splnění těchto podmínek signalizuje BIT\_INIC.

Sekvenční funkce je složena z jednotlivých kroků. Na začátku kroku se vždy testuje, zda-li je daný krok aktuální nebo ne a jestli se BIT\_INIC rovná „1“. Krok se vykonává do té doby, dokud není splněna podmínka pro další krok.

#### Krok 02 – Napouštění vody na základ

```
L  "DB_RVP_STEP".KROK_AKT      //testování aktuálního kroku
L  2
==I
A  "DB_RVP".BIT_INIC           //podmínky chodu
JCN K02                        //skok na K02, když není splněna podmínka pro daný krok

S  "DB_RVP".HC214.OP          //otevření klapky na vodu
```

```
////////////////////////////////////
```

```
//regulace teploty vody, reguluje se pouze poměr otevření ventilu - průtok je konstantní
```

```
L  "DB_RVP_STEP".REC_02
T  "DB_RVP_REGULACE".TI205._SP
```

```
//měření množství vody na základě průtoku//množství za 100MS
```

```

A "TIK100MS"
JCN K02
L "DB_VODA".FI206.AI
L 100
/I
L "DB_RVP".FI206_Q
+I
T "DB_RVP".FI206_Q
//PODMÍNKA PRO DALŠÍ KROK
L "DB_RVP".FI206_Q // porovnávání množství vody
L "DB_RVP_STEP".REC_01
>=D
JCN K02
L 3
T "DB_RVP_STEP".KROK_AKT
R "DB_RVP".HC214.OP //zavření klapky na vodu

```

K02: NOP 0

### 5.4.3 Regulace (funkce RVP\_REGULACE)

Funkce je volána v každém cyklu z hlavního bloku OB1. Funkce testuje aktuální krok a podle jeho hodnoty nastaví odpovídající pomocný bit (...\_ON). V další části funkce se na základě pomocného bitu aktivuje regulace potřebných veličin.

```

//testování - průtok vody ze směšovače, PID regulace
AN "DB_RVP".BIT_FAULT //chybový bit
A "DB_RVP".BIT_AR //bit automat/ruka
A( //testování aktuálního kroku
O(
L "DB_RVP_STEP".KROK_AKT
L 2
==I
)
O(
L "DB_RVP_STEP".KROK_AKT
L 6
==I
)
O(
L "DB_RVP_STEP".KROK_AKT
L 10
==I
)
)
)
= "DB_RVP_REGULACE".FI206._ON //pomocný bit signalizující zapnutí dané regulace

```

```

//////////regulace
AN "TIK100MS"
JC N01

CALL "REG_PID" //volání funkce pro regulaci, know-how ochrana
IN := "DB_VODA".FI206.AI //měřená hodnota veličiny
SP := "DB_RVP_REGULACE".FI206._SP //žádaná hodnota veličiny
AUTO := "DB_RVP_REGULACE".FI206._ON //zapnuto - vypnuto
P := "DB_RVP_REGULACE".FI206._P //zesílení regulátoru
I := "DB_RVP_REGULACE".FI206._I //integrační složka regulátoru
D := "DB_RVP_REGULACE".FI206._D //derivační složka regulátoru
PERIOD := 100 //perioda vykonávání regulace
MINOUT := "DB_RVP_REGULACE".FI206._MIN //omezení akčního zásahu

```

```

MAXOUT := "DB_RVP_REGULACE".FI206._MAX //omezení akčního zásahu
OUT := "DB_RVP_REGULACE".HC202_OP //hodnota akčního zásahu
OLD_AUTO := "DB_RVP_REGULACE".FI206._OLD_AUTO //minulá hodnota měřené veličiny
LAST_IN := "DB_RVP_REGULACE".FI206._LAST_IN
BIAS := "DB_RVP_REGULACE".FI206._BIAS //přírůstek k akčnímu zásahu

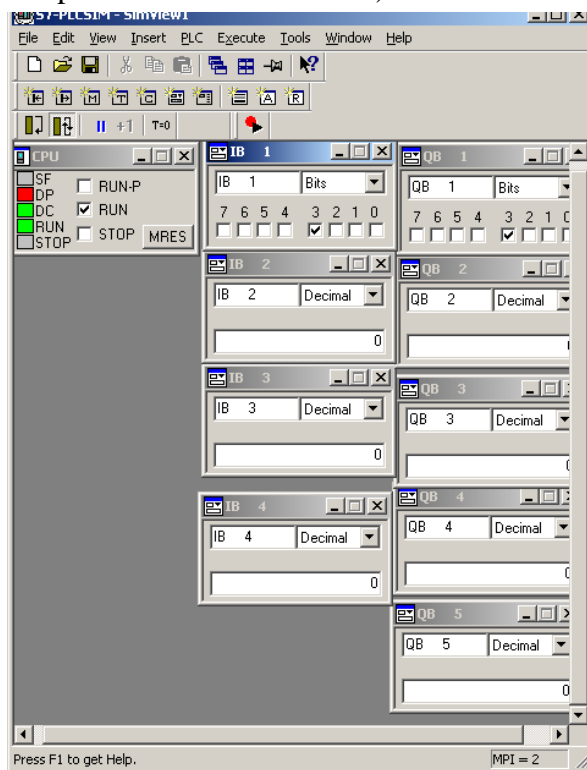
```

## 5.5 Simulace technologického procesu

Simulace technologického procesu je nezbytnou součástí každého vytváření řídicího programu. Zajišťuje snadné odzkoušení funkčnosti programu, které je časově méně náročné než v reálných podmínkách. Případná chyba v programu nezpůsobí škodu na zařízení ani případné ohrožení zdraví pracovníků. Ve skutečnosti však simulace nikdy plně neodpovídá realitě (chyba snímačů, zpoždění akčních i řídicích členů, vliv teploty a okolních podmínek atd.).

Simulovat proces se dá třemi způsoby.

1. Software lze nahrát do reálného PLC zařízení bez připojených vstupů a výstupů, jejich hodnota se pak mění v bloku VAT\_x (Variable Table).
2. Simatic Manager nabízí funkci SimPLC, kde lze vytvořit virtuální zařízení (PLC). Dále si pak programátor sestaví vstupy a výstupy odpovídající reálné podobě. Pomocí této funkce lze zadávat a odečítat hodnoty veličin. Vše probíhá, na rozdíl od prvního způsobu, pouze na softwarové úrovni.
3. Program se nahraje do virtuálního PLC pomocí SimPLC (stejně jako v druhém kroku) a proměnné se zobrazují a nastavují pomocí vizualizačního softwaru (blíže v kapitole 6 VIZUALIZACE).



Obrázek 10 - PLCSim - virtuální PLC zařízení

## 6 VIZUALIZACE – TOMPACK

V této kapitole jsem čerpal z literárního zdroje [17].

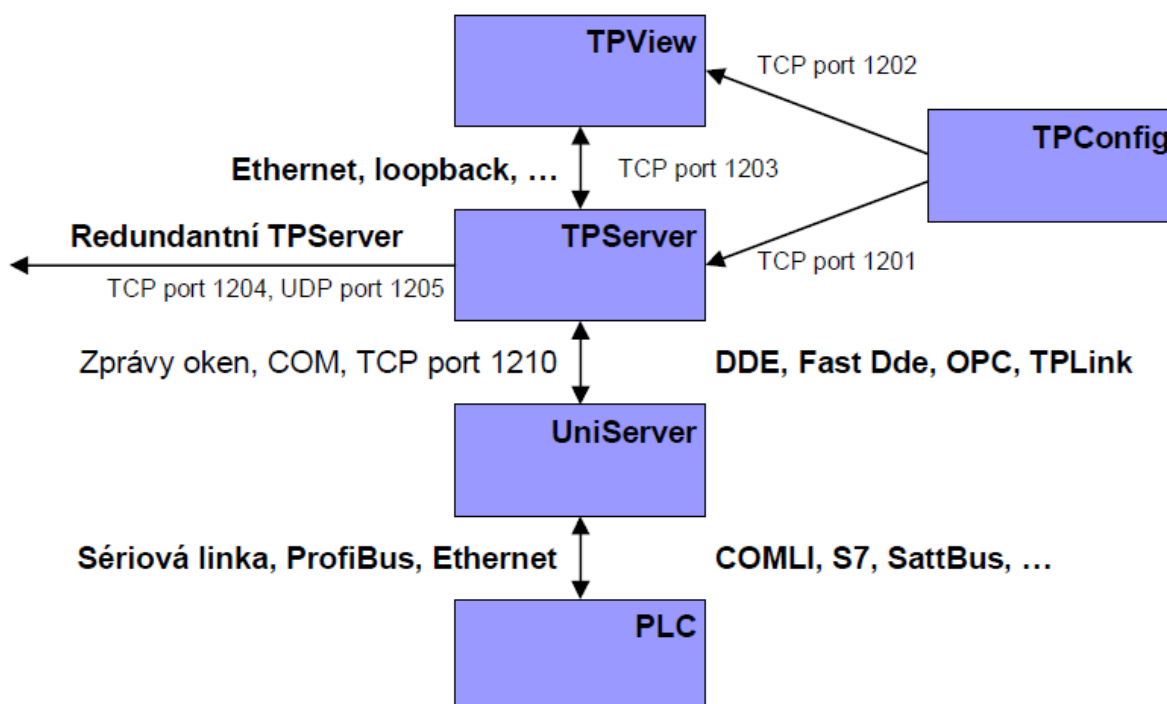
Systém TomPack, vytvořený firmou ProjectSoft, je souborem programů pro vizualizaci technologických procesů typu SCADA. Pracuje na počítačích typu PC pod operačním systémem Windows 2000 a Windows XP. Základní DDE server umožňující komunikaci s PLC, je součástí systému. Je však možné ho nahradit i DDE serverem od jiného výrobce.

Je určen jak pro malé systémy s jedním počítačem, tak pro rozsáhlé systémy mnoha počítačů propojených sítí včetně Internetu. Umožňuje redundanci jednotlivých částí, tj. při výpadku jednoho PC lze technologii řídit pomocí záložního počítače.

Architektura TomPacku je typu klient/server, jednotlivé části mohou běžet na různých počítačích, které jsou spojeny sítí.

### 6.1 Struktura systému

Samotný Systém TomPack je složen ze čtyř programů – TPConfig, TPServer, TPView a UniServer. Jedná se o několikavrstvou architekturu klient-server. Tím je umožněno mnoho různých konfigurací jak pro malé, tak i pro velké projekty.



Obrázek 11 - Struktura programu TomPack [17]

Tyto programy mají následující funkce:

**UniServer** – Shromažďuje hodnoty proměnných v PLC a případně do nich zapisuje, slouží jako převodník mezi protokolem řídicího systému a protokolem DDE, OPC apod.

**TPServer** – Hlavní výkonná část TomPacku. Stará se o vyčítání potřebných hodnot z UniServeru, kontroluje alarmy, zapisuje do trendových a alarmových souborů, vykonává skripty.

**TPView** - Vlastní vizualizační část TomPacku. Až tento program zobrazuje veškeré prvky na obrazovce a slouží k ovládání technologie.

**TPConfig** – slouží pro editaci projektu, který poté posílá programům TPServer a TPView.

Spojení mezi jednotlivými programy je pomocí TCP/IP. Pro posílání projektu do TPServeru je použit protokol TCP, port 1201. Pro posílání projektu do TPView je použit protokol TCP, port 1202. Pro komunikaci mezi TPView a TPServer slouží TCP, port 1203. A konečně pro redundantní spojení mezi TPServery slouží TCP protokol, port 1204 (synchronizace proměnných) a UDP protokol, port 1205 (informace o stavu clusteru). Pro jména počítačů je možné použít jak IP adresy, tak jména. Při použití jmen však musí

být každý počítač schopen tyto jména přeložit do správných IP adres, při použití synchronizačního ethernetu je tedy téměř vždy nutné uvést přímo IP adresy.

### 6.1.1 Uniserver

UniServer je jakýmsi převodníkem mezi protokoly řídicích systémů a protokolem vizualizací. Směrem k vyšší vrstvě, tedy k TPServeru podporuje UniServer protokol DDE (standardní i rychlý) a protokol TPLink, což je vlastní protokol TomPacku. Protokol DDE spolehlivě pracuje jen v rámci jednoho počítače, zatímco TPLink je schopen spojit UniServer a TPServer, které běží na různých počítačích. UniServer je možné použít i pro jiné vizualizace, které podporují komunikační protokol DDE.

DDE (Dynamic Data Exchange) je komunikační protokol od firmy Microsoft, určený pro prostředí Windows. Aplikace, které spolu komunikují, jsou ve vztahu klient a server.

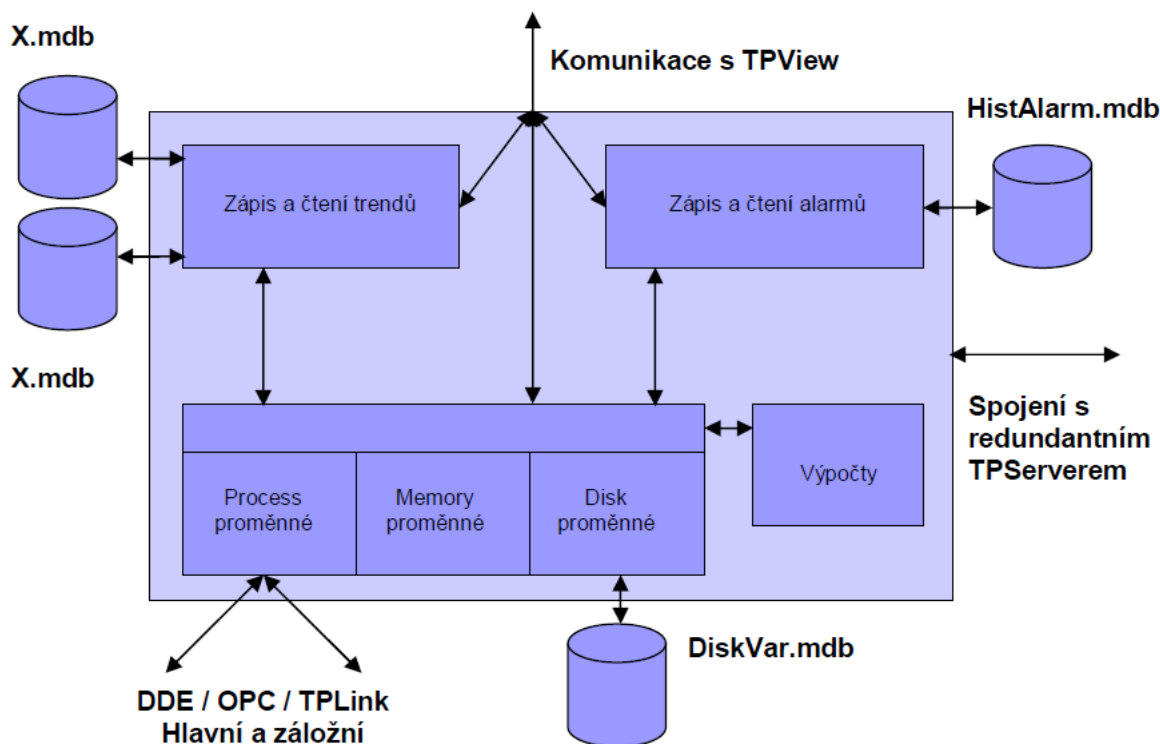
### 6.1.2 TPServer

TPServer je jádrem systému TomPack. Po startu si TPServer načte z lokální kopie projektu (soubor `~\TPS~.tp`) konfigurační informace. TPServer má dva hlavní režimy činnosti - STOP a START. Po spuštění se automaticky nastartuje a zminimalizuje se do ikony. Po dvojkliku na ikonu se zobrazí hlavní okno TPServeru. V něm jsou zobrazeny řádky, které informují o stavu jednotlivých clusterů (jednotky připojené k serveru), které patří do tohoto TPServeru. Je zobrazeno jméno clusteru a případně IP adresy redundantního partnera, a to pro hlavní komunikační linku a pro synchronizační. Dále je zobrazen stav cluster a partnera.

TPServer uchovává nebo pracuje se čtyřmi typy proměnných.

1. Process – tato proměnná existuje v automatu a TPServer uchovává pouze její kopii. Při změně proměnné se okamžitě posílá nová hodnota přes DDE Server do automatu.

2. Memory – proměnná uložená v TPServeru. Při startu nebo ukončení se tato proměnná vždy nastaví na inicializační hodnotu.
3. Disk – při startu se tyto proměnné načtou ze souboru DiskVar do TPServeru a při jejich změně se nová hodnota uloží do souboru.
4. View – obdoba Memory, ale proměnné existují pouze v TPView. To znamená, že jestliže běží více TPView, může proměnná v každém nabývat jiných hodnot.



Obrázek 12 - Struktura TPServeru [17]

### 6.1.3 TPView

Jedinou částí systému, která komunikuje s uživatelem při běhu aplikace. TPView je spojen pouze s TPServerem (příp. s více TPServery) a s ním si předává informace. TPView zobrazuje nakonfigurované obrazovky a umožňuje je ovládat. Může běžet na stejném či na jiném počítači, než je TPServer. Žádná data neukládá, takže nemusí běžet nepřetržitě.

V normálním režimu je ovládací lišta programu skrytá a TPView je navíc roztažen přes celou obrazovku. Při použití funkce LockKeyboard jsou navíc zablokovány všechny klávesy, pomocí kterých je možný přístup do operačního systému. Zobrazení lišty je možné klávesovou kombinací ALT X, ale pouze tehdy, je-li přihlášen uživatel s nejvyšší úrovní (999).

### 6.1.4 TPConfig

TPConfig je program, kterým se vytváří projekt. Celý projekt je uložen v jednom souboru s příponou tpp. TPConfig příkazem Run pošle projekt do všech programů TPServer a TPView, které si uloží jeho kopii pod jménem `~TPS~.tp` a `~TPV~.tp` a dále pracují s kopií projektu. Při posílání projektu je nutno určit jména počítačů, na které projekt poslat (tj. počítače, na kterých

běží příslušný TPServer-TPView). Při nevyplnění políčka jména se pošle projekt do lokálního počítače.

Kopie projektu jsou plnohodnotné a přesné kopie (mají i stejný čas), lze je tedy v případě nouze zkopírovat a pracovat s nimi jako s originálním projektem.

## 6.2 Vizualizace

Základním předpokladem pro funkčnost vizualizace, je správné propojení proměnných. To znamená, že procesní proměnné musí mít zadanou adresu odpovídající adrese v automatu. Například DB1DW10 – datový blok DB1 a proměnná typu *word* na pozici 10.

### 6.2.1 Ovládací panel

Tlačítko **AUTO** – při aktivaci se automaticky vykonává hlavní sekvenční program.

Tlačítko **POTVRD** – potvrzení od obsluhy, že je určitá část procesu dokončena (např. zadávání enzymu).

Tlačítko **START** – chod programu.

Pod tlačítka je vypsáno číslo aktuálního kroku a název kroku. V rámečku čas se zobrazuje aktuální doba pro momentální krok (např. prodleva po vystírce, doba oplachu atd.). Čas k maskování chyby stanovuje prodlevu od chybové události k vyhlášení alarmu.

Tlačítko **RESET** – vrátí proces do výchozího stavu (krok 0).

### 6.2.2 Horní lišta

Tlačítko **Ladění** – po aktivaci umožňuje obsluze měnit hodnoty veličin a stavy jednotlivých prvků (ventil – zapnuto/vypnuto, hodnotu průtoku atd.).

Tlačítko „**Klíč**“ – otevře okno pro přihlášení.

Tlačítko „**Recepty**“ – Symbol kádinky umístěný v pravém horním rohu odkazuje na tlačítko pro nastavení receptů a parametrů. Po jeho stisknutí se otevře nové okno (viz. *Obrázek 13*).

V případě chybové události a po uplynutí maskovací prodlevy se červeně rozsvítí ALARM.

### 6.2.3 Proces

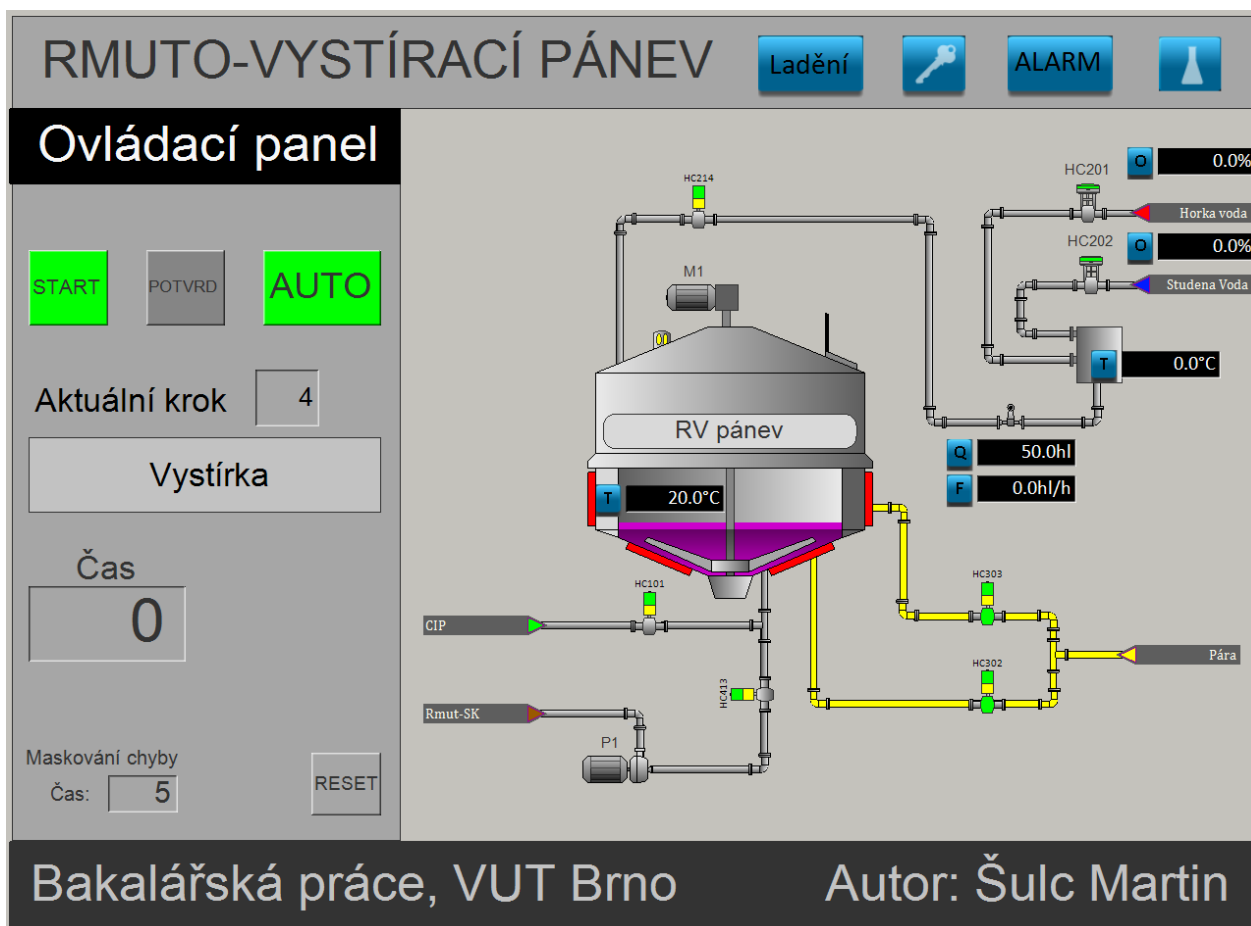
Převážná většina matematických a logických operací se provádí v automatu. V TPServeru se provádějí pouze pomocné operace. Nastavování receptů, parametrů, konstant regulátorů a zobrazovaného textu.

Dva elektroventily (HC201, HC202) regulují pomocí PID regulátoru teplotu a průtok vody směšovačem. Průtok vody se kvantuje do celkového množství vody v nádrži, které je zobrazované jako narůstající hladina.

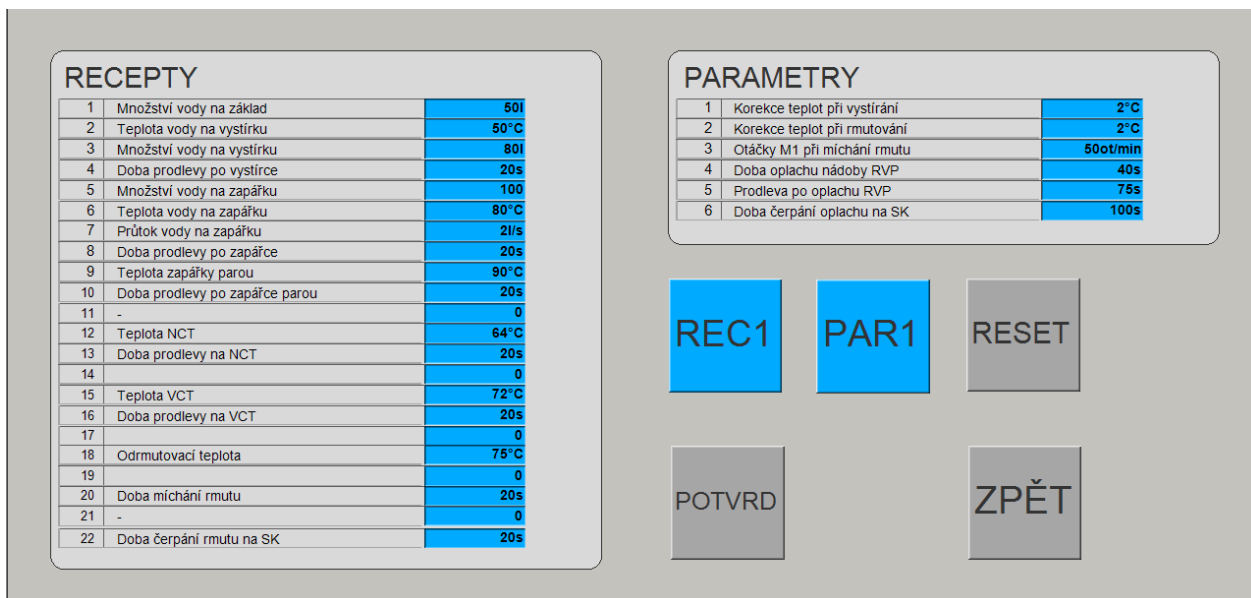
Dva ventily (HC302, HC303) regulují teplotu v RVP pomocí spodního a postranního ohřevu pánve. Jedná se o regulaci binární (dvoustavovou).

Při promíchávání rmutu běží motor M1 poháněný frekvenční měničem. Výkon dodávaný měnič uvedený v procentech ovlivňuje rychlost otáček míchací vrtule ve vizualizaci.

Čerpadlo rmutu P1 řízené pouze binárně je aktivováno je-li otevřen ventil HC413.



Obrázek 13 - Vizualizační okno



Obrázek 14 - Recepty a parametry

## 7 ZÁVĚR

Prostudoval jsem teorii a postupy vaření piva. Na základě zjištěných informací jsem navrhnul vhodné snímače a akční prvky. Pro měření teploty jsem stanovil jako vhodný odporový snímač teploty PTS 180P s nerezovou hlavicí. Turbinový průtokoměr TPH, vhodný pro potravinářství, jsem určil jako optimální pro měření průtoku kapalin v procesu. Pro měření hladiny v nádržích jsem navrhnul vestavěnou sondu LMP 331, pro měření tlaku jsem použil membránový absolutní snímač. Pro řízení motorů a čerpadel jsem zvolil sérii frekvenčních měničů Commander SK. Regulační elektroventily, které jsou použity pro řízení průtoku vody ze směšovače, jsem navrhnul typ BR11, jedná se o jednosedlový ventil s možností odlehčené kuželky. Pro ovládání klapek v systému jsem zvolil pneumaticky poháněné a elektricky řízené pohony od firmy Festo se zpětnou vazbou. Informace o návrhu a podrobnější vlastnosti přístrojů jsou uvedeny v kapitole 3 a v příloze A.

Podle normy ČSN ISO 3511-1 jsem rozšířil zadané technologické schéma o měřicí a řídicí značky, viz příloha B. Na základě poznatků z teoretického rozboru, jsem sepsal technologický popis daného úseku varny. Seznam kroků procesu rmutu-vystírací pánve je uveden v příloze C. Podle sepsaného technologického procesu jsem ve spolupráci s firmou ProjectSoft vytvořil řídicí program pro automat SIMATIC S7-300. Tento automat jsem dále pouze simuloval a díky tomu jsem nebyl omezen hardwarovým vybavením. Program je napsán v jazyce STL a je k nahlédnutí v příloze D. Jedná se o nízko úroňový programovací jazyk v podobě strukturovaného textu. V programu jsem použil již vytvořené bloky z databáze firmy ProjectSoft, které obsahují know-how ochranu a proto jsem v práci neuvedl zdrojový kód těchto bloků.

Pro vytvoření vizualizace jsem použil firemní software TomPack, který firma využívá. Program umožňuje pohodlné projektování technologických procesů. Jedná se o SCADA systém, který se skládá ze čtyř částí. UniServer, TPServer, TPConfig a TPView. TPServer komunikuje s PLC přes UniServer pomocí DDE. TPView zobrazuje rozhraní mezi uživatelem a systémem a TPConfig umožňuje konfiguraci projektu. V tomto prostředí jsem vytvořil dvě obrazovky. Jedna zobrazuje samotný proces a druhá umožňuje nastavovat recepty a parametry charakterizující jednotlivé postupy vaření piva.

Obdobným způsobem by se řešil projekt pro celý pivovar.

Během řešení bakalářské práce jsem se seznámil s teorií tykající se vaření piva. Musel jsem zvládnout orientaci v technologickém výkresu a jeho rozšíření o měřicí a regulační značky. Naučil jsem se ovládat Simatic Manager, software určený pro programování PLC, včetně jazyku STL. Zvládl jsem práci ve firemním SCADA systému TomPack.

## Použitá literatura

- [1] BASAŘOVÁ Gabriela, ŠAVEL Jan, BASAŘ Petr, LEJSEK Tomáš. *PIVOVARSTVÍ: Teorie a praxe výroby piva*. Vydavatelství VŠCHT Praha, Technická 5, 166 26 Praha 6. 2010. 112 - 224
- [2] KOSAŘ, Karel, et al. *Technologie výroby sladu a piva*. Praha : Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a. s., 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [3] *Sensit.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-11-09]. Snímače teploty s nerezovou hlavicí. Dostupné z WWW: <<http://www.sensit.cz/sortiment/sortiment.php>>.
- [4] RIPKA, Pavel, et al. *Senzory a převodníky*. Praha : ČVUT, 2005. 137 s.
- [5] *Badgermeter.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-11-09]. Průtokoměry - výroba a vývoj. Dostupné z WWW: <<http://www.badgermeter.cz/>>.
- [6] *SMARIS, měření a regulace* [online]. c2011 [cit. 2011-11-19]. Hydrostatická vestavná sonda LMP331. Dostupné z WWW: <<http://www.smaris.cz/rizeni-hladiny/hydrostaticka-vestavna-sonda-lmp-331-57.html>>.
- [7] *Omegaeng.cz* [online]. c2011 [cit. 2011-11-22]. Snímače tlaku. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/pressuretransducers.html>>.
- [8] *Control Techniques* [online]. 2009 [cit. 2011-11-23]. Střídavé měniče. Dostupné z WWW: <[http://www.controltechniques.cz/produkty/st%C5%99%C3%ADdav%C3%A9\\_m%C4%9Bni%C4%8De.aspx](http://www.controltechniques.cz/produkty/st%C5%99%C3%ADdav%C3%A9_m%C4%9Bni%C4%8De.aspx)>.
- [9] *POLNACorp.eu* [online]. c2011 [cit. 2011-11-28]. Regulační ventily. Dostupné z WWW: <<http://www.polnacorp.eu/cz/katalog/detail/BR-11/26.html>>.
- [10] *Www.festo.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-11-29]. Pneumatické pohony. Dostupné z WWW: <[http://www.festo.com/cms/cs\\_cz/9516.htm](http://www.festo.com/cms/cs_cz/9516.htm)>.
- [11] *Odborné časopisy.cz* [online]. c2011 [cit. 2011-12-17]. Lineární optické snímače polohy. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31121](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31121)>.
- [12] *Profess.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-12-17]. Snímače polohy. Dostupné z WWW: <[http://www.profess.cz/snimace\\_polohy.php](http://www.profess.cz/snimace_polohy.php)>.
- [13] KADLEC, Karel. *Označování měřicích a řídicích obvodů v technologických schématech podle ČSN ISO 3511*. Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 10 s
- [14] SIEMENS. *Simatic: Programming with STEP 7*. Germany: Siemens AG, 2006, 650 s.
- [15] PÁSEK, Jan. *Programovatelné automaty v řízení technologických procesů*. Brno, 2007.
- [16] PLC: SIMATIC S7-300. SIEMENS AG. [online]. Siemens, c2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=ee5ad951ae>
- [17] PROJECTSOFT. *TomPack: Uživatelská příručka*. 2006.

## Seznam symbolů a zkratk

B [K]	.....materiálová konstanta
g [m.s-1]	.....gravitační zrychlení
hx [m]	.....výška hladiny
p1 [Pa]	..... atmosférický tlak
p2 [Pa]	.....hydrostatický tlak
R [ $\Omega$ ]	..... odpor snímače při teplotě T
RVP	.....rmuto-vystírací pánev
R0 [ $\Omega$ ]	..... odpor snímač při teplotě 25°C
v [m.s-1]	.....rychlost kapaliny v potrubí
$\alpha$ [K-1]	.....teplotní součinitel odporu
$\Delta FC$ [N]	..... Coriolisova síla
$\Delta m$ [kg]	.....rozdíl hmotnosti
$\omega$ [rad.s-1]	.....rychlost rotace potrubí

---

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Tabulka použitých prvků s charakterizováním vstupů a výstupů

Příloha B – Zadaný technologický výkres rozšířený o měřicí a regulační značky

Příloha C – Technologický popis kroků řízeného procesu

Příloha D – Projekt ve STEP7, hlavní řídicí program

Příloha E – Projekt v TomPack, vizualizační program