

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky  
Program: Elektronika a komunikace



Senzorový systém pro řízení  
potravinářského procesu

Sensor System for Food Process  
Control

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Antonín Bláha  
Vedoucí práce: Ing. Jan Novák, Ph.D.  
Rok: 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bláha** Jméno: **Antonín** Osobní číslo: **483713**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Senzorový systém pro řízení potravinářského procesu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Sensor System for Food Process Control**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s procesem výroby ovocného destilátu. Určete vstupní a výstupní parametry procesu.
- 2) Prostudujte možnost řízení procesu pomocí senzorového systému.
- 3) Zvolte vhodné senzory a akční členy pro řízení a monitoring výrobního procesu.
- 4) Navrhněte zapojení senzorového systému s možností archivace provozních dat.
- 5) Zapojení realizujte ve formě funkčního vzorku.
- 6) Proveďte ověřovací měření.
- 6) Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte případná rozšíření.

Seznam doporučené literatury:

- 1) L. Bejček, S. Ďaďo, A. Platil: Měření průtoku a výšky hladiny, BEN 2005, ISBN 80-7300-156-X.
- 2) K. Kadlec, Snímače průtoku - princip, vlastnosti a použití (část 1-3). Automa: časopis pro automatizační techniku, č. 10-12/2006, ISSN 1210-9592.
- 3) M. Husák, Mikrosenzory a mikroaktuátory. Vyd. 1. Praha: Academia, 2008, ISBN 978-80-200-1478-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Novák, Ph.D., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

\_\_\_\_\_  
Ing. Jan Novák, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

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

V Praze dne .....

.....

Antonín Bláha

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Novákovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a čas, který mi věnoval během konzultací mé bakalářské práce.

Antonín Bláha

*Název práce:*

## **Senzorový systém pro řízení potravinářského procesu**

*Autor:* Antonín Bláha

*Studijní program:* Elektronika a komunikace

*Druh práce:* Bakalářská práce

*Vedoucí práce:* Ing. Jan Novák, Ph.D.

Katedra mikroelektroniky, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze

*Abstrakt:* Práce se zabývá návrhem zařízení řídicí destilační proces ovocného kvasu. Jádrem tohoto zařízení je programovatelný logický automat (PLC), ke kterému jsou připojeny senzory sledující proces destilace. Práce se také zabývá samotným programem, který celý proces destilace řídí. Aby bylo možné vzdálené ovládání a sledování procesu, je součástí zařízení Wifi modul. Komunikace je uskutečněna přes mobilní aplikaci nebo webovou stránku. Samotné zařízení je navrženo tak, aby bylo možné ho použít na libovolnou destilační stanici. Pro ukázkou funkčnosti je však zařízení připojeno ke konkrétní jednoduché destilační koloně.

*Klíčová slova:* Destilace, Mikrokontroler, Automatizace

*Title:*

## **Sensor System for Food Process Control**

*Author:* Antonín Bláha

*Abstract:* The work aimed on the design of equipment controlling the distillation process of fruit yeast. The core of this device is a programmable logic controller (PLC), to which sensors monitoring the distillation process are connected. The work is also about the program itself, which controls the whole distillation process. Another part of the device is a Wifi module for wireless connection for PLC to the Internet network. User communicates with the device to control it and monitor the process via a web interface or mobile app. The device itself is compatible with any other distillation station. However, to demonstrate functionality, the device is connected to a specific simple distillation column.

*Key words:* Distillation, Microcontroller, Automation

# Obsah

Úvod	8
<b>1 Proces výroby ovocného destilátu</b>	<b>9</b>
1.1 Destilace . . . . .	9
1.2 Frakční destilace . . . . .	10
1.3 Destilace ovocného kvasu . . . . .	10
1.4 Destilační zařízení . . . . .	11
1.4.1 Dvoukotlový systém . . . . .	11
1.4.2 Jednokotlový systém . . . . .	12
1.4.3 Způsoby vyhřívání kotlů . . . . .	13
1.5 Vstupní a výstupní parametry procesu . . . . .	14
1.5.1 Vstupní parametry procesu destilace . . . . .	14
1.5.2 Výstupní parametry procesu destilace . . . . .	14
<b>2 Řízení procesu destilace</b>	<b>15</b>
2.1 Sledování procesu . . . . .	15
2.1.1 Teplota . . . . .	15
2.1.2 Průtok . . . . .	16
2.1.3 Lihovitost . . . . .	16
2.2 Ovládání procesu . . . . .	16
2.2.1 Ohřev kotle . . . . .	16
2.2.2 Výměna sběrné nádoby . . . . .	16
2.2.3 Výkon chladiče . . . . .	17
2.3 Požadovaný průběh procesu . . . . .	17
2.3.1 Úkap . . . . .	19
2.3.2 Jádro . . . . .	19
2.3.3 Dokap . . . . .	19
<b>3 Senzory a akční členy</b>	<b>20</b>
3.1 Teplotní senzor . . . . .	20
3.2 Senzor průtoku . . . . .	21

3.3	Topné těleso . . . . .	22
3.4	PLC . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Zapojení sensorového systému s možností archivace provozních dat.</b>	<b>24</b>
4.1	Návrh zapojení . . . . .	24
4.2	Blokové schéma zapojení . . . . .	25
4.3	Řídicí program . . . . .	25
4.4	Web a mobilní aplikace . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Realizace funkčního vzorku</b>	<b>28</b>
5.1	Rozvaděč . . . . .	28
5.2	Senzory . . . . .	29
5.3	Destilační zařízení . . . . .	31
5.4	Modul s displejem . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Ověřovací měření</b>	<b>33</b>
6.1	PID regulace . . . . .	33
6.2	Průběh destilace . . . . .	35
	<b>Závěr</b>	<b>37</b>
	<b>Literatura</b>	<b>38</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>39</b>
	<b>A Teplotní senzor Regmet řada K</b>	<b>39</b>
	<b>B Průtokoměr B.I.O-TECH FCH-M-PP-LC</b>	<b>41</b>
	<b>C SSR Carlo Gavazzi RGC</b>	<b>43</b>
	<b>D PLC Domat IMIO105</b>	<b>45</b>

# Úvod

Slivovice, hruškovice a další ovocné destiláty jsou v České republice velmi oblíbené a hojně vyskytující se alkoholické nápoje. To v kombinaci se zručností a vynalézavostí Čechů mohlo způsobit, že Česká republika je v přepočtu na obyvatele jeden z největších producentů ovocných destilátů na světě. Značná část destilátů je vyráběna v domácích, tedy často nelegálních, palírnách. Technologie ve většině těchto palíren jsou velmi zastaralé, spočívají ve sledování teploty na rtuťovém teploměru destilační aparatury a následném odhadu správného procesu destilace. To snižuje bezpečnost samotného procesu destilace a také zvyšuje riziko závadnosti výsledného destilátu. K zajištění zaručeně nezávadného produktu je potřeba přesné sledování a regulace průběhu destilace. To lze realizovat pomocí sensorového systému a řídicího počítače, který ovládá ohřev a jiné akční členy.



# Kapitola 1

## Proces výroby ovocného destilátu

Výroba ovocných destilátu spočívá v extrakci ethylalkoholu z prokvašených ovocných kvasů. Důležité látky pro proces výroby ovocného destilátu obsažené v prokvašeném ovocném kvasu jsou voda, methylalkohol, ethylalkohol, acetaldehyd, estery, vyšší alkoholy a některé vyšší mastné kyseliny. Množství těchto látek je proměnlivé v závislosti na druhu a zralosti ovoce. Úkolem je tedy oddělení ethylalkoholu od ostatních látek. Jednoduchá a nejefektivnější metoda separace ethylalkoholu je destilace. Nejedná se však o úplné oddělení ethylalkoholu, ale pouze o výraznou změnu poměru těchto látek ve prospěch ethylalkoholu.

### 1.1 Destilace

Destilace je složitý fyzikální proces, pomocí něhož lze oddělovat látky s rozdílným bodem varu. Vstupní destilovaná směs tedy musí obsahovat látky, které se vypařují při rozdílných teplotách kapaliny. Ze zahřívání kapalné směsi se při zvyšování teploty vypařují nejdříve látky s nižším bodem varu, s rostoucí teplotou se pak začnou vypařovat i látky s vyšším bodem varu. V případě destilace ovocného kvasu se využívá převážně rozdíl teploty ethylalkoholu, který vře při 78,3 °C, a vody, jejíž bod varu je 100 °C [2]. Mohlo by se tedy zdát, že zahřátím směsi na teplotu mezi 78,3 °C a 100 °C oddělíme veškerý ethylalkohol od vody. Situaci však komplikuje fakt, že ethylalkohol a voda tvoří azeotropní směs. To způsobuje, že ethylalkohol a voda se vypařují společně při teplotě závislé na koncentraci jednotlivých složek. Prakticky tedy nelze ethylalkohol úplně oddělit od vody, ale pouze zvýšit jeho koncentraci. Stejný problém nastává při separaci methylalkoholu. Ten tvoří s ethylalkoholem a vodou také azeotropní směs.

## 1.2 Frakční destilace

Frakční destilace je zvláštním typem destilace. Jedná se o proces rozdělování složek směsi do frakcí. Obvykle se používá při rozdělování složek, jejichž teploty varu se vzájemně liší o méně než 25 °C, nebo při rozdělování složek, které spolu tvoří azeotropní směs. Liší-li se tyto teploty o více než 25 °C, je jednodušší použít obyčejnou destilaci. Frakční destilace probíhá pomocí zahřívání kapalné směsi látek, čímž se zvyšuje její teplota, a to způsobuje změnu poměru jednotlivých látek ve výparech. Zkondenzované výpary se pak při překročení daných teplot oddělují, a vznikají tak jednotlivé frakce.

## 1.3 Destilace ovocného kvasu

Destilační cyklus ovocného kvasu je rozdělen do tří frakcí. I. frakce se nazývá úkap. Z ovocného kvasu se odpařují látky s nejnižším bodem varu, jako například estery, acetaldehyd, některé aromatické látky a také část methylalkoholu. Obsah ethylalkoholu v této frakci může být až 80 % objemu. Po jakostní stránce se v podstatě jedná o nepatrnou část destilátu, která je nekonzumovatelná, má palčivou chuť a ostrou pichlavou vůni. Úkapu bývá průměrně asi 2 % z objemu destilátu. Oddělíme-li úkapu více, docílíme lepší jakosti destilátu. Pokud destilujeme ovocný kvas horší jakosti, je nutné oddělit úkapu více. Úkap nelze přidat do kvasu při další destilaci, je možné ho ale využít samostatně - například v průmyslovém lihovaru na technický líh a podobně.[3]

II. frakce pojmenovaná jádro nebo také prokap je střední část destilátu ovocného kvasu. Jádro je onen požadovaný produkt, který chceme při destilaci získat. První podíly uvedené frakce obsahují okolo 75 % ethylalkoholu, později obsah ethylalkoholu pozvolna klesá až na hodnoty kolem 40 %. Průměrná lihovitost jádra dosahuje při destilaci dobrého ovocného kvasu hodnot kolem 55 až 65 % objemu ethylalkoholu. Pro vlastní konzumaci se jedná o destilát s až příliš vysokou lihovitostí, proto se destilát ještě ředí demineralizovanou vodou. Lze počítat s tím, že ze 100 l kvasu se získá 8 až 12 l jádra. II. frakce ovocného destilátu vykazuje velmi dobrou jakost, má příjemnou, nepálivou chuť a čistou aromatickou vůni po ovoci, bez cizích zápachů.[3]

III. frakce se nazývá dokap. Získává se jen tehdy, pokračuje-li se v destilaci kvasu po ukončení II. frakce. Jakmile klesne během destilace obsah ethylalkoholu na hodnoty kolem 50 až 40 %, ukončí se odtah jádra. Prakticky se tedy vymění sběrná nádoba na jádro za nádobu na dokap. Dokapová frakce obsahuje vedle ethylalkoholu

ještě takzvané vyšší alkoholy, kterým se obecně říká přiboudlina. Jedná se převážně o butanol, izobutanol, propanol, amylalkohol a izoamylalkohol. Kromě vyšších alkoholů obsahuje přiboudlina ještě některé vyšší mastné kyseliny, estery (aromatické látky) a silice. Dokapové frakce mají nepříjemnou kyselou chuť a kalí destilát již kolem lihovitosti 40 %. Dokap má také velmi nepříjemný zápach. Dostane-li se jen nepatrná část těchto zapáchajících látek do jádra, dochází k jeho znehodnocení. [3]

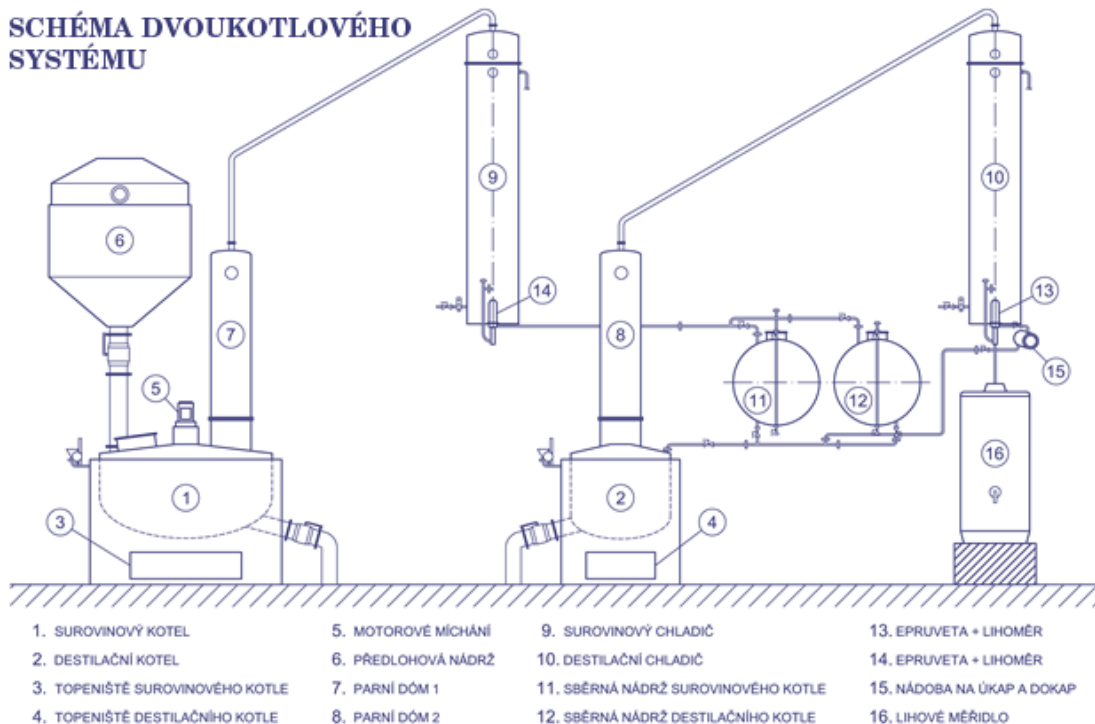
## 1.4 Destilační zařízení

Destilační zařízení, které se používají v pěstitelských nebo jiných pálenicích, slouží k vydestilování aromatického ethylalkoholu z prokvašených ovocných nebo jiných cukernatých kvasů a vína. Destilační zařízení mohou být různého typu, avšak téměř vždy pracují na shodném principu. Podle typu destilačního zařízení se zjednodušeně řečeno rozlišuje systém jednokotlový a dvoukotlový.[3] [4]

### 1.4.1 Dvoukotlový systém

Dvoukotlový systém se zpravidla skládá ze dvou různě velkých kotlů, z nichž I. je destilační a II. je rektifikační. Každý z uvedených kotlů má jinou funkci, proto má také každý z nich jiné vybavení. K příslušnému destilačnímu zařízení náleží dále různé přestupníky, chladiče, deflegmátory a lihové měřidlo. Výrobu ovocného destilátu v dvoukotlovém systému lze principiálně rozdělit na dvě základní fáze. [3]

V I. fázi jde o oddělení ethylalkoholu od ovocného kvasu. Oddělení ethylalkoholu se provádí v I. destilačním kotli, který se nazývá také surovinový. Po první destilaci ovocného kvasu se získá slabý destilát zvaný lutr, který podle jakosti kvasu obsahuje 20 až 30 % objemu ethylalkoholu. Ve II. fázi se lutr rektifikuje, provádí se tedy jeho zesilování a čištění od nežádoucích příměsí, které se vytvořily v průběhu kvašení. Čištění a zesilování lutru se provádí v II. kotli, ten se nazývá rektifikační. Při rektifikaci lutru se destilát již rozděluje na jednotlivé frakce (úkap, jádro, dokap). [3]

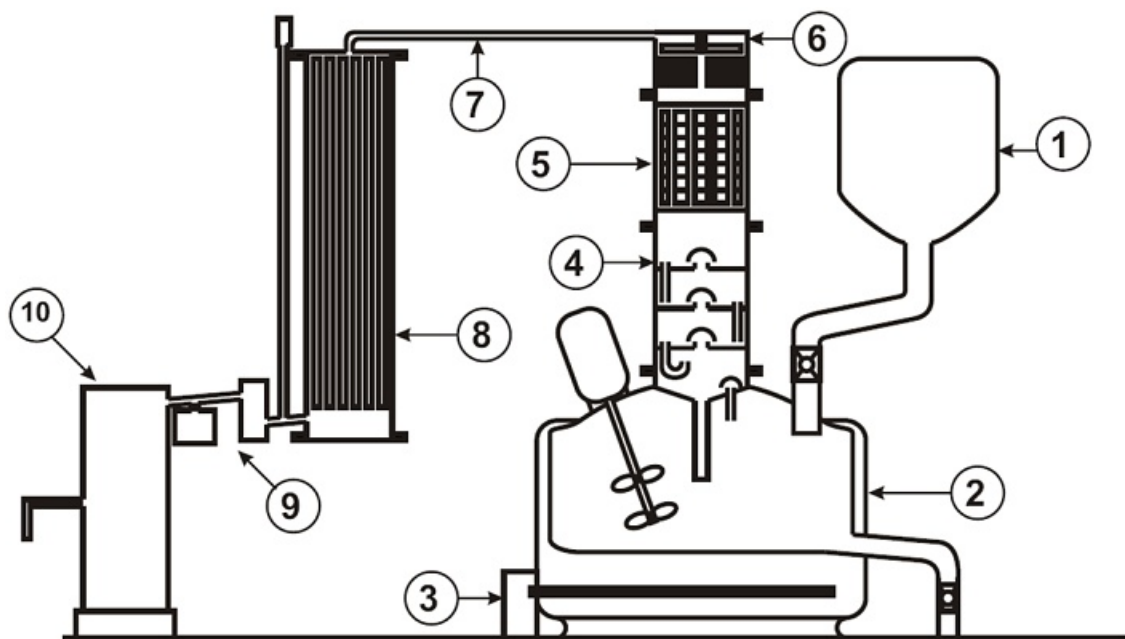


Obrázek 1.1: Příklad dvoukotlové pálenice [5]

## 1.4.2 Jednokotlový systém

Jednokotlový systém obsahuje kotel pouze jeden. V tomto kotli probíhají obě operace najednou, destilace ovocného kvasu a současně i rektifikace. U jednokotlového systému odpadá výroba surového destilátu – lutru. Jednokotlový způsob destilace je modernější ze dvou základních pohledů, za prvé je energeticky méně náročný a za druhé umožňuje získat lepší pálenku z hlediska jejich sensorických vlastností. [4]

Proces výroby destilátu v jednokotlovém systému začíná dopravením kvasu pomocí vývěvy do předlohové nádrže (1), kde je předehříván. Po předehřátí se kvas přepouští do tělesa destilačního surovinného kotle s míchadlem (2). Zde je kvas zahříván pomocí elektrických spirál (3). Zahříváním kvasu je započata destilace. Nad vlastním kotlem je krátká kolona s třemi kloboukovými patry (4), na kterých dochází k zesilování lihu. Vlastní destilace, tj. oddělování lihových par od vodních par, se děje v deflegmátoru, jehož vnitřek je celý z měděných plástů (5), a v horní části je pak katalyzátor (6), který má za úkol odstranit z procházejících par nežádoucí složky (kyanovodík a ethylkarbamát). Pomocí přestupníku (7) je pára destilátu převáděna do trubkového chladiče (8), kde je destilát ochlazen na 10 – 15 °C. Poté destilát přechází přes předlohu s lihoměrem (9), kde je možné oddělit frakce destilace, tedy úkap, jádro a dokap. Posledním místem, kudy prochází konečný destilát (jádro), je lihové měřidlo (10). [4]



Obrázek 1.2: Příklad jednokotlové pálenice [4]

### 1.4.3 Způsoby vyhřívání kotlů

Mezi způsoby vytápění kotlů v pěstitelských pálenicích převládá vytápění tuhými palivy, převážně se používá dřevo a v některých případech také uhlí. Debaty, spory a odborná pojednání o tom, který způsob vytápění destilačních a rektifikačních kotlů je nejlepší, se vedou stále. V zemích s dlouholetou tradicí výroby koňaku a whisky se trvale prosazuje názor, že nejlepší vytápění kotlů je bukovým nebo dubovým dřevem, což údajně zvyšuje jakost destilátu. Topení tuhými palivy má ale také jisté nevýhody. Je poměrně náročné a namáhavé na obsluhu a údržbu. Průběh topení se musí trvale sledovat, upravovat a tlumit. Topení pevnými palivy pod kotli přináší i jiné těžkosti jako je popel, škvára a prach kolem topeniště. Hlavní nevýhodou je však velmi nepřesná a opožděná regulace. [3]

Další možností vytápění kotlů je pomocí vodní páry. Ohříváním vody nad topeništěm vzniká vodní pára, která je hnána do dvouplášťového kotle, kde ohřívá kvas. Topení parou je přijatelně regulovatelné s rovnoměrným rozložením tepla. Obsluhování a údržba dvouplášťového kotle a zařízení na výrobu páry je však náročné. [3]

V dnešní době je stále častěji využívanou metodou topení plynem. V případě topení plynem plně odpadá prašnost, vyhrabování pecí, vynášení popela, dovoz paliva a manipulace s ním. Další výhodou je citlivá a rychlá regulace výkonu ohřevu. [3]

Poslední možnost vytápění kotlů je topení za pomoci elektrických topných těles. V případě této metody odpadají stejně jako u topení plynem veškeré nevýhody spojené s topením tuhými palivy. Použití elektrických topných těles je navíc ještě méně náročné na údržbu. Citlivost a rychlost regulace je srovnatelná s plynovým topením, ne-li ještě lepší. Nevýhodou elektrického topení jsou však o něco vyšší provozní náklady. [3]

## 1.5 Vstupní a výstupní parametry procesu

### 1.5.1 Vstupní parametry procesu destilace

Hlavní a neopomenutelný vstupní parametr procesu destilace je výkon ohřevu kotle. Jak bylo popsáno v kapitole o způsobech vyhřívání kotlů, možnosti regulace jsou závislé na použité metodě ohřevu. Dalším vstupním parametrem procesu destilace je "výkon" chladiče. Pro správný chod destilace je potřeba udržovat chladič na požadované teplotě. Obvykle se tedy jedná o regulaci průtoku studené vody chladičem.

### 1.5.2 Výstupní parametry procesu destilace

Nejdůležitějším výstupním parametrem procesu destilace je jakost vytékajícího destilátu z pálenice. To však není příliš exaktní parametr, proto je nahrazován obsahem ethylalkoholu v destilátu. Souvisejícím výstupním parametrem je průtok produkováného destilátu. Jak již bylo řečeno, nejdůležitější je jakost destilátu, kterou nelze jednoznačně určit. Je však závislá na teplotách v destilačním zařízení. Jakost aktuálně produkováného destilátu je nejvíce závislá na teplotě par před ochlazením v chladiči. Proto je teplota par dalším důležitým výstupním parametrem. Teplota par vystupujících z kotle je závislá na teplotě zahřívání směsi v kotli, kterou tedy lze považovat za další výstupní parametr.

# Kapitola 2

## Řízení procesu destilace

Jak již bylo řečeno v první kapitole, požadovaným chováním destilačního zařízení je separace ethylalkoholu z kvasu. Zároveň musí být v destilátu minimální obsah methylalkoholu, přiboudliny a jiných nežádoucích látek. Toho lze dosáhnout frakční destilací, která rozděluje destilát na tři frakce - úkap, jádro a dokapu. Právě jádro pak obsahuje vysoký obsah ethylalkoholu v poměru s ostatními nežádoucími látkami. Úkolem destilačního zařízení je tedy správné oddělení úkapu od jádra a následně jádra od dokapu.

### 2.1 Sledování procesu

#### 2.1.1 Teplota

Nejpoužívanější metodou na oddělení jednotlivých frakcí je dělení na základě teploty. Teplota par vystupujících z kotle totiž odpovídá poměru zastoupení methylalkoholu, ethylalkoholu a vody v jejich azeotropní směsi. Měřením teploty par vystupujících z kotle, pokud možno co nejbližší k chladiči, lze tedy relativně přesně určit jakost vytékajícího destilátu. Páry s nejnižší teplotou odpovídají úkapu s vyšším obsahem methylalkoholu. Zatímco páry s nejvyšší teplotou odpovídají dokapu s malým zastoupením ethylalkoholu a velkým obsahem přiboudlin a jiných nežádoucích látek.

Další teplotu, kterou je možno sledovat, je teplota v chladiči. Na základě této teploty lze regulovat výkon chladiče.

Teplotu je potřeba sledovat také v kotli s kvasem. Na základě této teploty je pak upravován výkon ohřevu kotle pro dosažení požadované teploty.

## 2.1.2 Průtok

Další možností, jak sledovat průběh destilace, je měření průtoku vytékajícího destilátu. Produkce destilátu totiž není po celou dobu destilace konstantní. Při dosažení teploty dostatečné pro vypařování methyllalkoholu se začne zvětšovat průtok, po odpaření určitého množství methyllalkoholu průtok klesá a začne opět narůstat až při odpařování převážně ethyllalkoholu. [3] Toho se dá využít k rozpoznání přechodu z úkapu na jádro. Dalším možným využitím informací o průtoku je měření objemu protékajícího destilátu potřebného k propláchnutí aparatury od destilátu z předchozí frakce.

## 2.1.3 Lihovitost

Jak již bylo řečeno dříve, jakost destilátu udává převážně jeho obsah ethyllalkoholu, tedy lihovitost. Pro sledování procesu destilace je tedy lihovitost zásadním parametrem. Automatické měření lihovitosti je však velmi komplikované a nákladné, proto je v mém případě vhodnější ruční měření odebraných vzorků například pomocí refraktometru. Je-li změřeno příliš malé množství ethyllalkoholu ve vytékajícím destilátu, přechází proces destilace z jádra na dokap.

## 2.2 Ovládání procesu

### 2.2.1 Ohřev kotle

Nepostradatelným vstupním parametrem, který ovládá proces destilace, je výkon ohřevu kotle. Nejdůležitějšími požadavky ohřevu jsou citlivost a rychlost regulace. Ze způsobů uvedených v předchozí kapitole splňuje tyto požadavky ohřev vodní párou, plynový a elektrický ohřev. Vzhledem k požadované přesnosti teploty v kotli je vhodné použít pro regulaci PID nebo alespoň PI regulátor.

### 2.2.2 Výměna sběrné nádoby

Produkováný destilát teče z chladiče do sběrné nádoby. Při změně frakce, tedy při přechodu z úkapu na jádro nebo z jádra na dokap, je třeba přesměrovat produkováný destilát do jiné sběrné nádoby. To je možné provést pouhým ručním vyměněním sběrné nádoby, nebo otočením určitého ventilu, který může být případně ovládán i automaticky.



### 2.2.3 Výkon chladiče

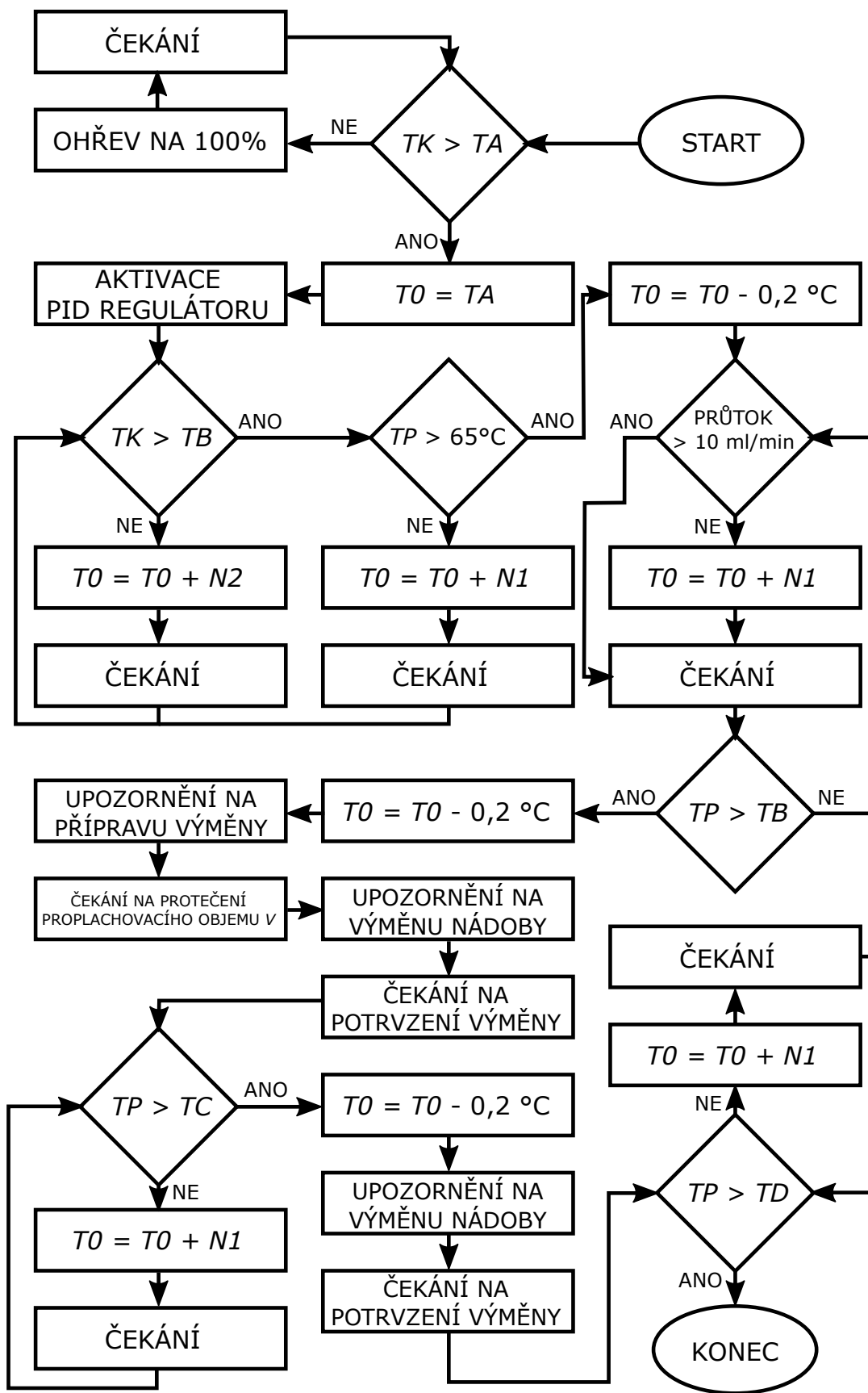
Páry vystupující z kotle kondenzují v chladiči na produkovaný destilát. Pro správný proces destilace je zapotřebí udržovat chladič na dostatečně nízké teplotě. Chladič ale během celého procesu destilace chladí velmi rozdílné množství par. Proto je vhodné řídit výkon chladiče, například pomocí změny průtoku studené vody chladičem. To výrazně snižuje množství použité vody na chlazení.

## 2.3 Požadovaný průběh procesu

Průběh destilace je řízen na základě dat dostupných z teplotního senzoru v kotli, senzoru měřícího teplotu par před chladičem a průtokoměru produkovaného destilátu. Úkolem procesu je jednak destilace, ale také rozdělení destilátu na úkap, jádro a dokap. Proto je i proces rozdělen na tyto tři části. Jednotlivé frakce primárně oděluje hraniční teplota vystupujících par. Z důvodu možnosti použití řízení procesu destilace pro různé destilační zařízení jsou hraniční teploty nastavitelné. Dalšími nastavitelnými parametry jsou dvě rychlosti růstu teploty, které ovlivňují kvalitu destilátu a celkový čas procesu destilace. Nastavit lze také objem destilátu potřebný k propláchnutí chladiče a trubek vedoucí do sběrné nádoby.

Tabulka 2.1: Parametry procesu

Parametr	Výchozí hodnota	Značení
<i>Teplota v kotli</i>	-	<i>TK</i>
<i>Teplota par</i>	-	<i>TP</i>
<i>Počáteční teplota</i>	30 °C	<i>TA</i>
<i>Teplota přechodu úkap/jádro</i>	78 °C	<i>TB</i>
<i>Teplota přechodu jádro/dokap</i>	94 °C	<i>TC</i>
<i>Konečná teplota</i>	96 °C	<i>TD</i>
<i>Požadovaná teplota pro PID</i>	30 °C	<i>T0</i>
<i>Pomalý nárůst teploty</i>	0.2 °C/min	<i>N1</i>
<i>Rychlý nárůst teploty</i>	0.5 °C/min	<i>N2</i>
<i>Proplachovací objem</i>	20 ml	<i>V</i>



Obrázek 2.1: Vývojový diagram procesu destilace

### 2.3.1 Úkap

Po spuštění procesu destilace se změří teplota v kotli, pokud je menší než  $TA$ , spustí se ohřev na 100 % výkonu a počká se na dosažení této teploty v kotli. Poté převezme řízení výkonu ohřevu PID regulátor, který zajišťuje udržování požadované teploty v kotli. Pokud byla již při spuštění procesu teplota v kotli vyšší než  $TA$ , kontrolu převezme rovnou PID regulátor. Od chvíle, kdy teplota v kotli přesáhne teplotu  $TA$ , začne se zvedat požadovaná teplota s nárůstem  $N2$ . V moment, kdy dosáhne teplota v kotli na teplotu  $TB$ , zpomalí se nárůst požadované teploty na  $N1$ . Požadovaná teplota v kotli roste, než začne prudce stoupat teplota par, tedy překročí  $65^{\circ}\text{C}$ . V tuto chvíli klesne požadovaná teplota o  $0.2^{\circ}\text{C}$ , průtokoměr začne měřit průtok produkovaného destilátu a podle toho upravovat růst požadované teploty. Jinak řečeno požadovaná teplota roste pouze v případě, že je průtok menší než 10 ml/min. Takto stoupá požadovaná teplota, dokud nedosáhne teplota par na teplotu  $TB$ , kdy se opět sníží požadovaná teplota o  $0.2^{\circ}\text{C}$  a zastaví její růst. Poté zařízení upozorní obsluhu na přípravu výměny nádoby a počká, až průtokoměrem proteče proplachovací množství destilátu  $V$ . V tento moment je obsluha požádána o výměnu nádoby a po jejím potvrzení končí fáze úkapu.

### 2.3.2 Jádro

Po potvrzení výměny nádoby za nádobu na jádro začne opět stoupat požadovaná teplota nárůstem  $N1$ . Od této chvíle se produkuje cílový produkt destilace - jádro. Požadovaná teplota stoupá, dokud teplota par nedosáhne teploty  $TC$ . V průběhu této fáze je dobré sledovat pomocí refraktometru lihovitost produkovaného destilátu pro správné nastavení teploty  $TC$ . Když dosáhne teplota par na teplotu  $TC$ , dojde ke snížení požadované teploty o  $0.2^{\circ}\text{C}$ , zastavení jejího růstu a obsluha je upozorněna na výměnu nádoby. Ve chvíli, kdy obsluha potvrdí výměnu končí fáze jádra.

### 2.3.3 Dokap

Dokap je produkován po potvrzení výměny nádoby. Požadovaná teplota začne opět stoupat s nárůstem  $N1$ , dokud nedosáhne teplota par na teplotu  $TD$ . Znovu je dobré kontrolovat obsah ethylalkoholu v produkovaném destilátu pro vyladění konečné teploty  $TD$ . Při dosažení teploty par na teplotu  $TD$  se vypne ohřev kotle a obsluha je upozorněna na konec procesu.

# Kapitola 3

## Senzory a akční členy

### 3.1 Teplotní senzor

Pro řízení destilačního procesu jsou potřebné údaje o teplotě v kotli s kvasem a o teplotě par před chladičem. Ty je možné v obou případech měřit pomocí teplotního senzoru se stejnými parametry. Tento teplotní senzor musí být uzpůsoben k měření teploty kapaliny. Minimální měřicí rozsah senzoru by měl být od 0 °C do 110 °C. Nepřesnost použitého čidla by pro dostatečně přesné řízení neměla přesahovat  $\pm 1$  °C. To splují platinové odporové senzory s přesností třídy B podle DIN norem. Teplotní senzory s požadovanými vlastnosti dodává nespočet různých výrobců. Vzhledem k mým možnostem pro mě bylo finančně dostupné použít senzor od firmy Regmet. Z jejich nabízených teplotních senzorů odpovídá požadovaným parametrům odporový teplotní senzor řady K a odporový teplotní senzor řady P13. Jejich parametry jsou popsány v následující tabulce.

Tabulka 3.1: Parametry teplotních senzorů

Rada	Měřicí rozsah	Přesnost	Stupeň krytí
K	-30 ÷ 200 °C	třída B	IP 65
P13	-30 ÷ 250 °C	třída B	IP 65

Oba tyto senzory odpovídají požadovaným parametrům. Z finančních důvodů jsem zvolil senzor z řady K s čidlem Pt1000, tento typ se označuje KPA. Senzory z této řady jsou navíc zakončeny závitem pro snadné přidělení k destilačnímu zařízení. Podrobnější popis senzoru se nachází v příloze A.



Obrázek 3.1: Teplotní senzor Regmet řada K

## 3.2 Senzor průtoku

Pro měření aktuálního průtoku produkovaného destilátu vytékajícího z chladiče je třeba průtokoměr. Ten by měl být schopný měřit průtok v řádů jednotek až desítek ml/min. Průtokoměrem bude protékat směs ethylalkoholu, methylalkoholu a dalších látek, proto by měl být vyroben z materiálu odolného vůči těmto kapalinám. Přesnost měření průtoků velmi závisí na hustotě protékající kapaliny, kterou v mém případě nelze považovat za konstantní. To ovlivní přesnost měření natolik, že nepřesnost samotného průtokoměru je zanedbatelná, tedy ani při výběru senzoru není třeba dbát na měřicí přesnost. Navíc pro řízení procesu destilace postačuje orientační údaj o průtoku.

Vzhledem k velmi malému požadovanému průtoku jsem našel pouze jeden dostupný a zároveň vhodný senzor průtoku. Jedná se o průtokoměr od firmy B.I.O-TECH s přesným označením FCH-M-PP-LC. Tento průtokoměr funguje na principu malé turbíny roztáčené proudící kapalinou, jejíž pohyb snímá Hallova sonda za pomoci magnetů umístěných na turbíně. Měřicí rozsah pro vodu je 0,015 - 0,8 l/min. Přesnost měření tohoto senzoru je  $\pm 2\%$ . Další parametry průtokoměru se nacházejí v příloze B.

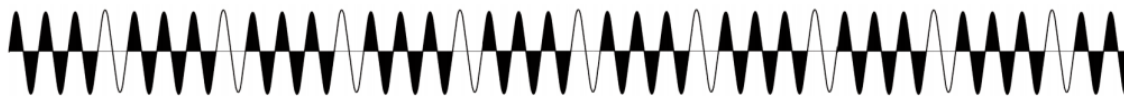


Obrázek 3.2: Senzor průtoku BIO-TECH

### 3.3 Topné těleso

Nepostradatelnou součástí destilačního zařízení je topné těleso. V mém případě se jedná o jediný akční člen zařízení, tedy o jedinou možnost řízení procesu destilace. Hlavními požadavky pro topné těleso je dostatečný výkon, citlivá regulace a rychlá odezva. Jak bylo zmíněno v kapitole o vytápění destilačního zařízení, tyto požadavky nejlépe splňuje plynový nebo elektrický ohřev. Vzhledem k finanční dostupnosti jsem zvolil ohřev pomocí elektrického topného tělesa. Přesněji řečeno pomocí třífázové topné spirály s maximálním výkonem 9 kW.

Potřebná kontinuální regulace topné spirály je zajištěna pomocí polovodičového spínacího prvku neboli SSR (solid state relé). Vzhledem k mým možnostem jsem použil SSR od firmy Carlo Gavazzi s označením RGC3P60V30C1AM. Toto SSR je určeno pro třífázové zapojení, jeho maximální výstupní výkon je 11 kW a je ovládáno pomocí napěťového vstup 0 - 10 V. Kontinuální regulace výkonu funguje na principu vypínání a zapínání celých period. Poměr zapnutých a vypnutých period je určen na základě úrovně analogového vstupu. Například při výkonu 75 % je vypnutá každá 4. perioda a zbytek je zapnutý, to je znázorněno na obrázku níže. Podrobnější popis se nachází v katalogovém listu v příloze C.



Obrázek 3.3: Ukázka regulace výkonu s SSR



Obrázek 3.4: SSR Carlo Gavazzi RGC

## 3.4 PLC

Programovatelný logický automat, dále jen PLC, slouží pro sběr dat ze senzoru, následné vyhodnocení podle předepsaného postupu a ovládání akčních členů. K většině PLC je zároveň dodáván i software pro jeho programování.

Pro řízení destilačního procesu je v mém případě potřeba PLC s alespoň dvěma analogovými vstupy pro teplotní senzory, jedním digitálním vstupem pro čítání pulsů z průtokoměru a jedním analogovým výstupem pro řízení SSR, které následně ovládá topnou spirálu. Dále je požadován Ethernet port pro připojení do internetové sítě z důvodu možnosti vzdáleně sledovat a ovládat proces destilace. PLC by také mělo mít možnost připojení zobrazovacího modulu s displejem, například přes sběrnici RS485.

Vzhledem k mým možnostem mám k dispozici PLC od firmy Domat. Nejlépe splňuje požadované parametry model IMIO105. Jedná se o volně programovatelné PLC s ARM Cortex M4 procesorem, externí 8 MB RAM a OS FreeRTOS. Disponuje jedním Ethernet portem a obsahuje 4 AI, 4 DI, 2 AO a 6 DO. IMIO105 obsahuje také rozhraní RS485 pro připojení I/O modulů. Podrobnější popis se nachází v katalogovém listu v příloze D.



Obrázek 3.5: PLC Domat IMIO105

# Kapitola 4

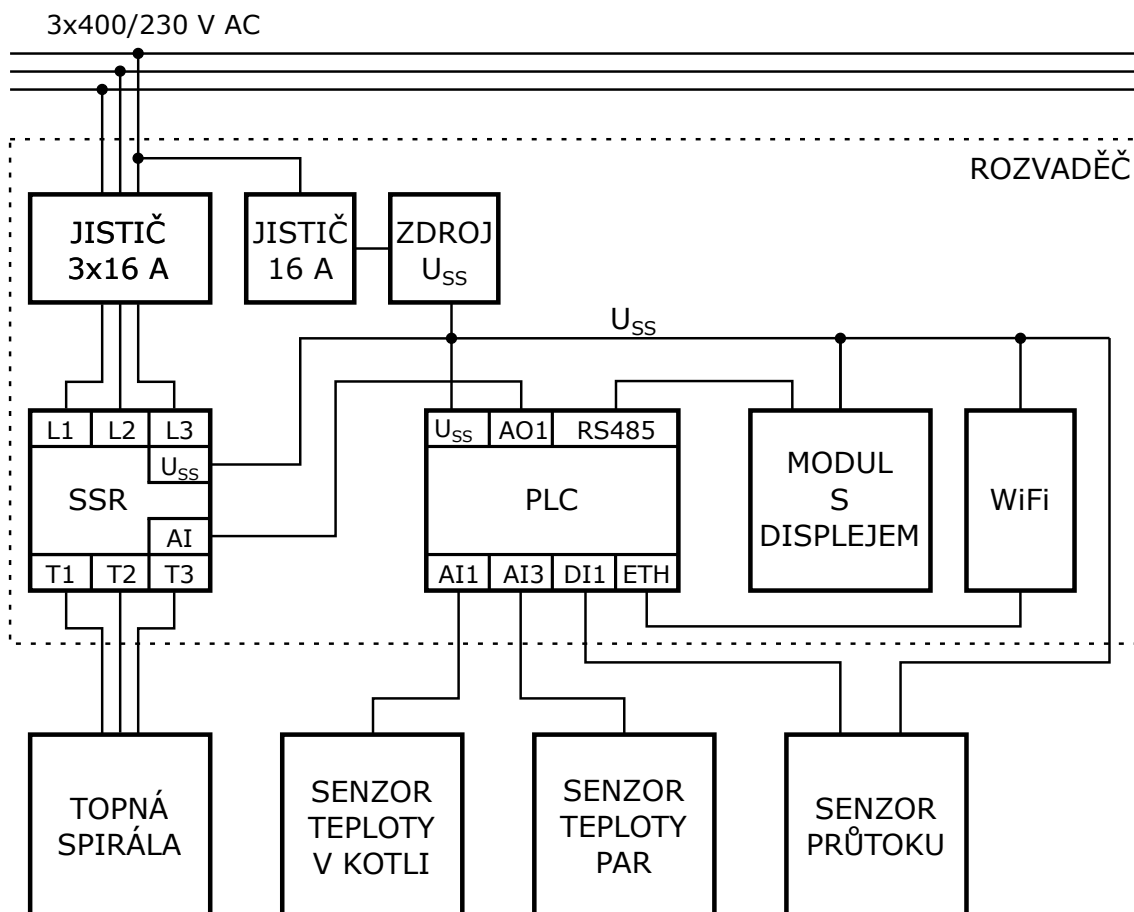
## Zapojení sensorového systému s možností archivace provozních dat.

### 4.1 Návrh zapojení

Kromě dříve popsaných komponentů, jako jsou senzory teploty a průtoku, topné těleso, SSR a PLC, jsou pro kompletní zapojení potřeba další prvky. Z bezpečnostních důvodů je třeba použít elektrické jističe. Jako hlavní jistič je zde použit třífázový jistič s označením B 16/3. Má vypínací charakteristiku B a jmenovitý proud 16 A. Druhý 4 A jistič s charakteristikou C a označením C 4/1 je připojen mezi jednu fázi a napájecí zdroj. Tyto zdroje napájí PLC, SSR, modul s displejem, senzor průtoku a wifi modul. Modul s displejem je připojen k PLC přes sběrnici RS485 a slouží k zobrazování informací o procesu destilace. Wifi modul umožňuje bezdrátové připojení k PLC pro ovládání a sledování procesu, k PLC je připojen přes ethernetový kabel s konektorem RJ45. Veškeré zapojení kromě senzorů a topné spirály je umístěno v rozvaděči na DIN lištách.



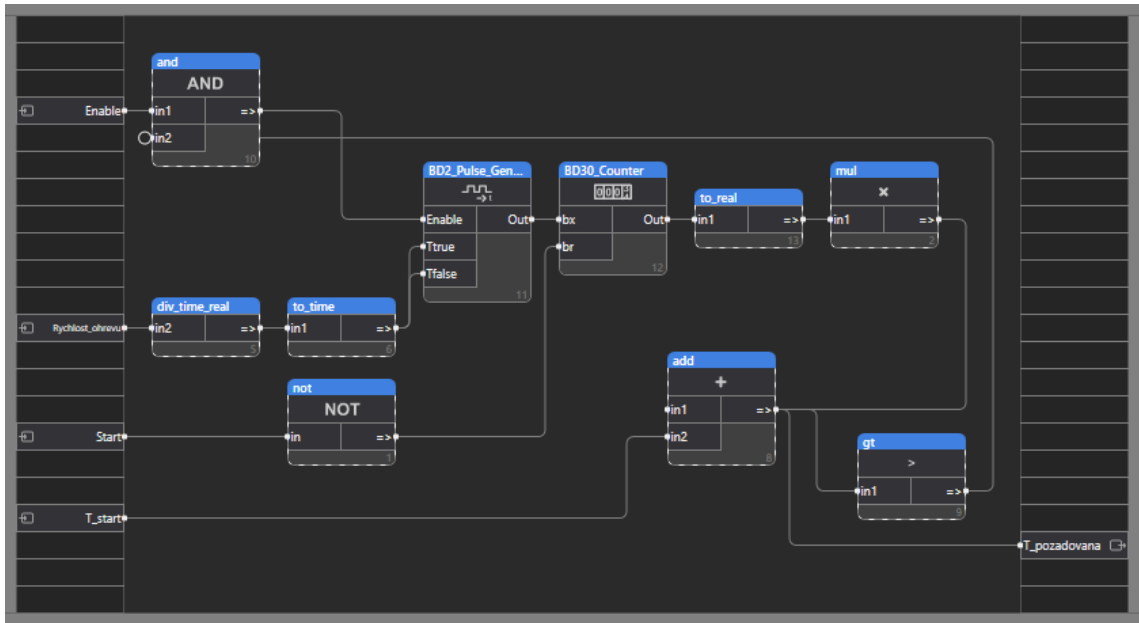
## 4.2 Blokové schéma zapojení



Obrázek 4.1: Blokové schéma zapojení destilačního zařízení

## 4.3 Řídicí program

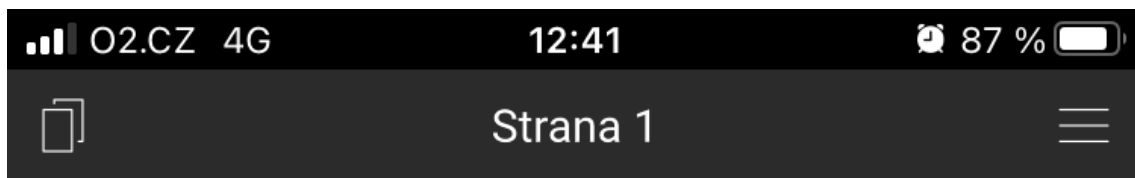
PLC, které řídí celý proces destilace, vyhodnocuje data na základě řídicího programu. Tento program je vytvořen v softwaru Merbon IDE dodávaném společně s PLC od firmy Domat. PLC lze programovat pomocí strukturovaného textu nebo graficky. Já jsem si zvolil grafické programování, jedná se o grafické propojování proměnných, různých funkčních bloků a elementárních funkcí. Následující obrázek představuje ukázkou grafického kódu. Jedná se o část kódu, která se stará o růst požadované teploty danou rychlostí.



Obrázek 4.2: Ukázka grafického prostředí - růst požadované teploty

## 4.4 Web a mobilní aplikace

Web a mobilní aplikace slouží k ovládní a sledování procesu destilace. Webová stránka a mobilní aplikace je stejně jako samotný program navržena v softwaru Merbon IDE. V mobilní aplikaci lze sledovat teplotu v kotli, teplotu par, požadovanou teplotu, průtok a výkon ohřevu. Je v ní vidět upozornění na výměnu nádoby a také je zde možné nastavit všechny konstanty určující průběh destilace, včetně parametru PID regulátoru. Webová stránka disponuje stejnými funkcemi jako mobilní aplikace, ale navíc je zde možnost tvorby časového grafu z vybraných proměnných, jako je například teplota, průtok a výkon.



Proces: OFF ON

Režim: MANUAL AUTO

Manuální teplota: 20 °C

Výměna nádoby:  
Potvrďte přípravu výměny  
Potvrďte výměnu

Teplota  
Kvasu: 21.6 °C  
Produktu: 22.7 °C

Průtok  
Aktuální: 0 ml/min  
Celkový: 1713 ml

Požadovaná teplota: 0.0 °C

Výkon ohřevu: 0 %

Proplachovací objem: 20 ml

Teplota A: 20.0 °C

Teplota B: 78.3 °C

Teplota C: 94.0 °C

Teplota D: 99.0 °C

Nárůst teploty I: 0.10 °C/Min

Nárůst teploty II: 0.05 °C/Min

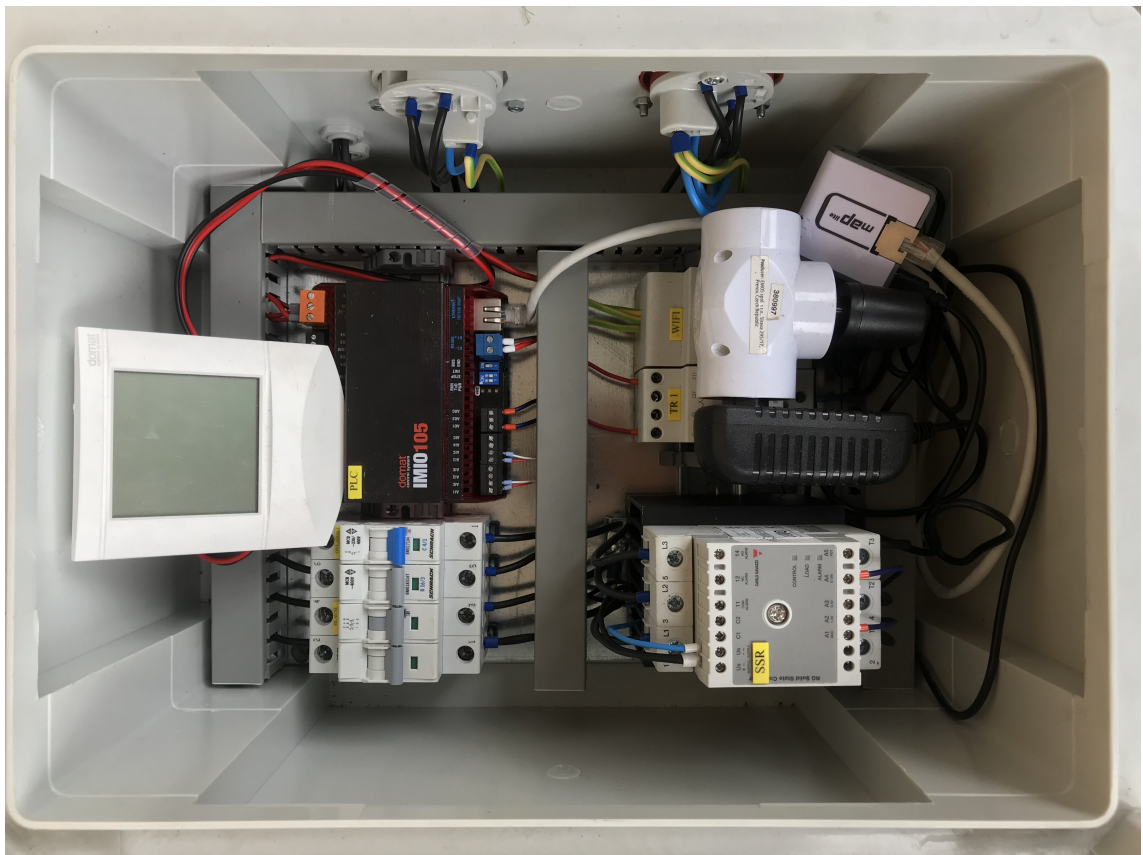
Obrázek 4.3: Webová stránka a mobilní aplikace

# Kapitola 5

## Realizace funkčního vzorku

### 5.1 Rozvaděč

Na obrázku níže se nachází rozvaděč s elektronikou palírny. Nahoře vlevo je vidět SSR regulující výkon topné spirály. V pravém dolním rohu je vidět PLC řídicí celý proces. Napravo od něj je pak položený modul s displejem.



Obrázek 5.1: Rozvaděč s elektronikou

## 5.2 Senzory

Na následujících třech fotografiích se nachází senzor teploty v kotli, senzor teploty par a průtokoměr.



Obrázek 5.2: Senzor teploty v kotli



Obrázek 5.3: Senzor teploty par



Obrázek 5.4: Senzor průtoku

### 5.3 Destilační zařízení

Na následující fotografii je zobrazeno celé destilační zařízení. V popředí je vidět rozvaděč, za ním kotel na kvas, dále nad ním deflegmátor a úplně nahoře je vidět chladič.



Obrázek 5.5: Celé destilační zařízení

## 5.4 Modul s displejem

Na následujících obrázcích je vidět modul s displejem zobrazující střídavě teplotu v kotli, teplotu par a výkon ohřevu. Dále je na displeji vidět symbol zapnutí a písmeno A nebo M vyjadřující automatický nebo manuální režim.



Obrázek 5.6: Zobrazení teploty v kotli



Obrázek 5.7: Zobrazení teploty par



Obrázek 5.8: Zobrazení výkonu ohřevu



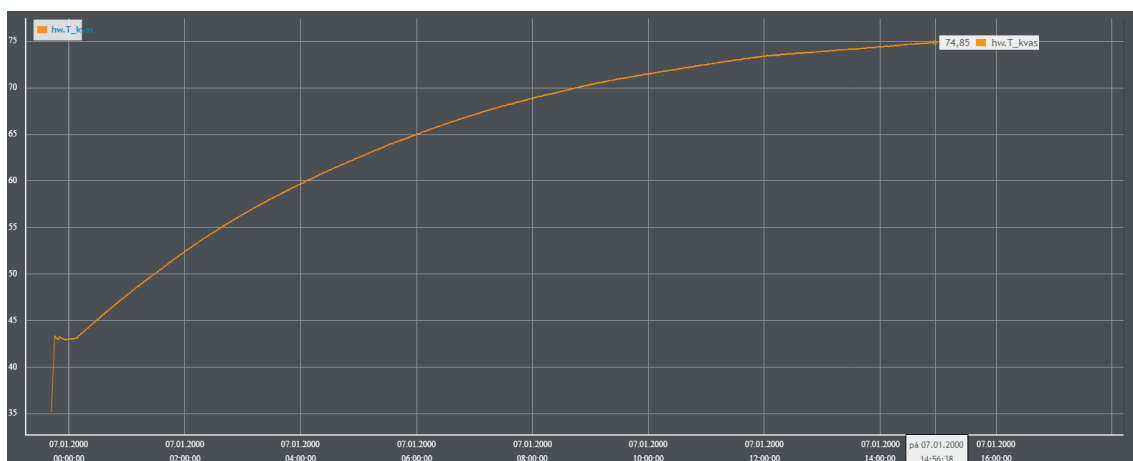
# Kapitola 6

## Ověřovací měření

### 6.1 PID regulace

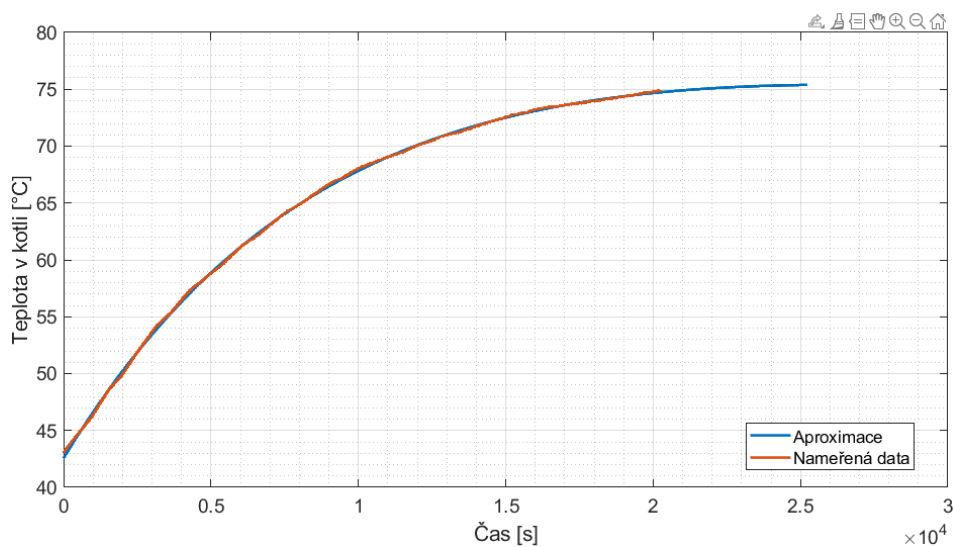
Udržování požadované teploty v kotli zajišťuje PID regulátor. V mém případě se jedná o regulaci výkonu topné spirály na základě požadované teploty. Regulace aktuálního výkonu je složena z proporcionální, integrační a derivační složky. Každá z těchto tří složek má nastavitelný parametr. Aby byla zajištěna rychlá regulace bez velkých překmitů a oscilací, je potřeba tyto tři parametry správně nastavit. Existuje mnoho metod pro výpočet těchto parametrů. Jedna z možností spočívá v zaznamenání změny výstupní veličiny v závislosti na změně vstupní veličiny v čase, a následném výpočtu parametrů z těchto dat.

Nejprve jsem tedy nechal ustálit teplotu v kotli při 1% výkonu na 43 °C, následně jsem zvýšil výkon na 9 % a opět čekal na ustálení. Tyto výkony byly zvoleny z důvodu přijatelných hodnot, na kterých se teplota v kotli ustálí. Výstupem tohoto měření byla data, která jsou znázorněna v grafu závislosti teploty na čase po skokové změně výkonu. Ten je zobrazený na následujícím obrázku.



Obrázek 6.1: Testovací měření pro PID regulátor

Poté, co teplota při výkonu 9 % po 15 hodinách stále stoupala, i když velmi pomalu, jsem se rozhodl měření zastavit a zbytek grafu získat aproximací již naměřených dat. Aproximace byla provedena v programu MATLAB pomocí funkce `fit('exp2')`, tedy aproximací pomocí dvou exponenciál. Na následujícím obrázku je vidět teplota v průběhu času proložená její aproximací.



Obrázek 6.2: Závislost teploty na čase s aproximací

Pomocí vztahů získaných z článku Moderní metody nastavení PID regulátorů od doc. Petra Klána [7] jsem z aproximovaných dat pomocí MATLABu spočítal proporcionální zesílení a integrační a derivační časovou konstantu. Kód použitý pro tento výpočet je znázorněn na následujícím obrázku.

V tabulce níže jsou vidět konkrétní vypočtené hodnoty parametrů, ty jsem následně nastavil na webové stránce, přes kterou se ovládá proces destilace.

```

%Zjištění počtu vzorků
l=length(y);
%Zadání periody vzorkování
Ts=2.63;
%Výpočet průměrné doby ustálení
Tar=Ts*sum((y(1)-y)/(y(1)-y(1)))
%Počet vzorků do průměrné doby ustálení
N=round(Tar/Ts);
%Vzorky do průměrné doby ustálení
ya=y(1:N);
%Výpočet časové konstanty T
T=Ts*exp(1)*sum((ya-y(1))/(y(1)-y(1)))
%Výpočet dopravního zpoždění L
L=Tar-T
%Výpočet normalizovaného dopravního zpoždění
Tau=L/Tar
%Výpočet zesílení
Kp=(y(1)-y(1))/8

%Výpočet proporcionálního zesílení
K=(1/Kp)*(1-(2* Tau)/(1+sqrt(1+2* Tau^2)))
%Výpočet integrační časové konstanty|
Ti=((1+sqrt(1+2* Tau^2))/2)-Tau)*Tar
%Výpočet derivační časové konstanty
Td=Ti/4

```

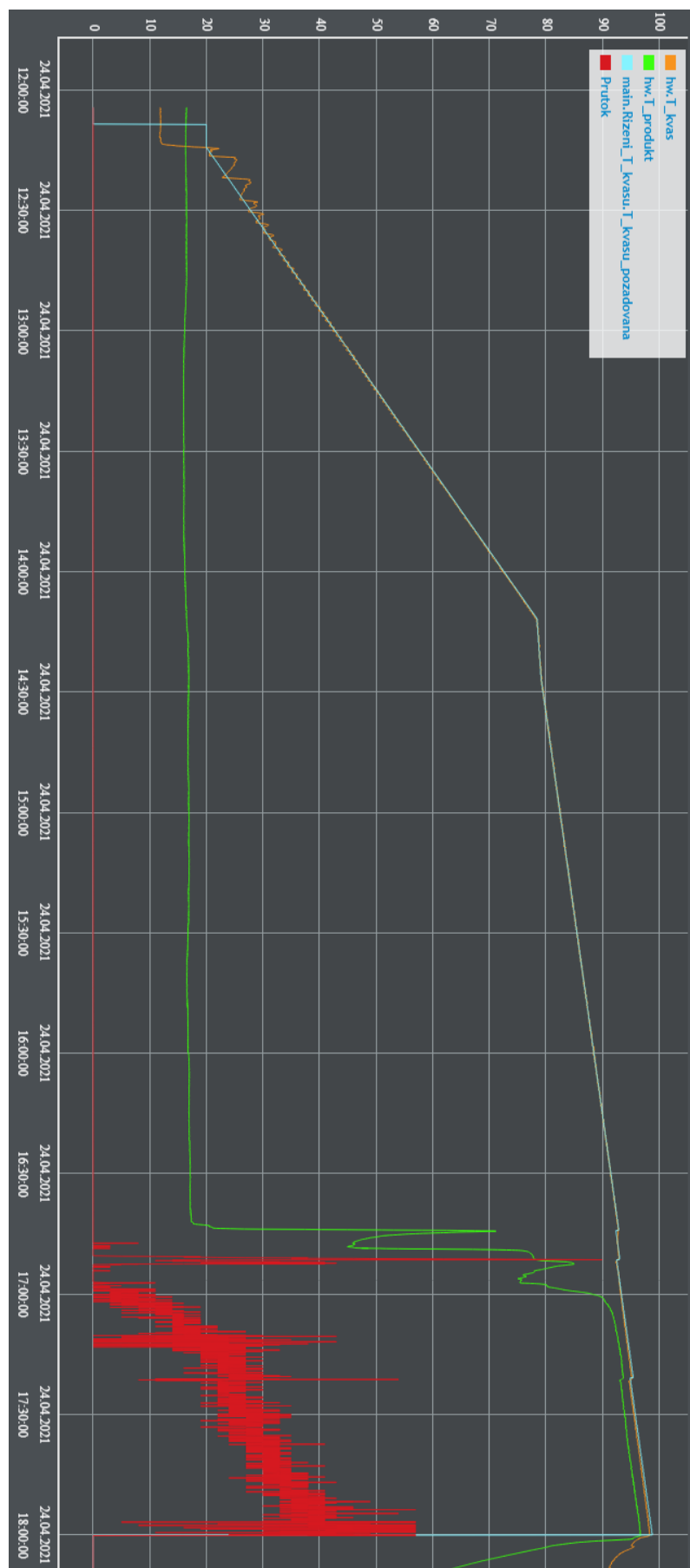
Obrázek 6.3: Výpočet PID parametrů v MATLABu

Tabulka 6.1: Parametry PID regulátoru

Parametr	Vypočtené Hodnota
Proporcionální zesílení	0,22
Integrační časová konstanta	15459 s
Derivační časová konstanta	3865 s

## 6.2 Průběh destilace

Po úspěšném nastavení parametrů PID regulátoru bylo destilační zařízení připraveno na destilaci kvasu. Do kotle jsem tedy nalil kvas a pomocí webové stránky zapnul proces destilace. Na následujícím grafu je vidět teplota v kotli, teplota par, požadovaná teplota a průtok produkovaného destilátu po dobu celého průběhu destilace.



Obrázek 6.4: Graf průběhu procesu destilace

# Závěr

Úkolem mé bakalářské práce bylo seznámení s procesem výroby ovocného destilátu, návrh způsobu řízení a zařízení ovládající tento proces. Dále bylo úkolem toto zařízení použít pro destilaci s funkční destilační stanicí.

K řízení procesu destilace ovocného lihu je použit programovatelný logický automat (PLC). K němu jsou připojeny dva teplotní senzory. Jeden měří teplotu v kotli destilační aparatury a druhý teplotu par před chladičem. Dále je k PLC připojen průtokoměr měřící průtok produkovaného destilátu. Na základě dat dostupných z těchto tří senzorů vyhodnocuje PLC průběh destilace a dělí ho na fáze. Podle fáze destilace mění výkon topné spirály v kotle a v případě přechodu na další fázi upozorní obsluhu na výměnu sběrné nádoby na destilát. Součástí zařízení je wifi modul, díky kterému je možné sledování a ovládání procesu přes webovou stránku nebo mobilní aplikaci. K PLC je pak připojen modul s displejem, který zobrazuje základní informace o stavu zařízení.

Aby mohl celý proces destilace probíhat téměř bez obsluhy, mohlo by být zařízení doplněno o automatický ventil, který by odděloval jednotlivé frakce destilátu bez nutnosti ruční výměny nádoby. Pro snížení množství vody použité pro chlazení par, by bylo možné přidat regulaci průtoku vody řízenou na základě teploty chladiče. Vytíženost chladiče se totiž v průběhu celého procesu velmi liší.

# Literatura

- [1] KISTER, Henry Z. *Distillation Design*. New York: McGraw-Hill, 1992. ISBN 0-07-034909-6.
- [2] Ethanol. *Wikipedie* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethanol>
- [3] JÍLEK, Jan a Josef Antonín ZENTRICH. *Příprava ovocných kvasů na výrobu slivovice (a ostatních pálenek): výroba slivovice a její léčivé účinky*. Olomouc, 1999. ISBN 80-861-7928-1.
- [4] Zařízení pálenice. *Samosolská pálenice* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <http://www.samosolskapalenice.cz/zarizeni-palenice/>
- [5] Technologie pálení v lihovaru Svatý Urban. *Pěstitelská palírna Svatý Urban* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.palirnasyrovice.cz/technologie-paacuteleniacute.html>
- [6] Technologie. *Pěstitelská pálenice Roseč* [online]. [cit. 2021-7-19]. Dostupné z: <https://www.palirnarosec.cz/technologie/>
- [7] KLÁN, Petr. Moderní metody nastavení PID regulátorů. *Automa* [online]. 2000(9) [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: [https://valter.byl.cz/sites/default/files/soubory/moderni\\_nastav\\_pid.pdf](https://valter.byl.cz/sites/default/files/soubory/moderni_nastav_pid.pdf)

# Příloha A

## Teplotní senzor Regmet řada K



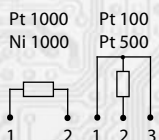
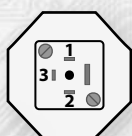
### Popis:

Snímače jsou určeny k měření teploty proudící kapaliny v potrubí, případně teploty plynného média ve vzduchotechnických kanálech. Hlavní součástí snímače je měřicí element, který je umístěn v konci nerezového stonku z nerez oceli třídy DIN 1.4301. Vývody čidla jsou zakončeny konektorem upevněným na nerezovém šroubení. Standardní provedení snímače je určeno pro maximální teplotu 150 °C, s nastavcem je možné snímač použít do teploty 200 °C.

### Technická data:

Měřicí rozsah	-30 + 200 °C - KNP, KNPB, KNPA (Pt100, Pt500, Pt1000) -30 + 150 °C - KP, KPB, KPA (Pt100, Pt500, Pt1000) -30 + 200 °C - KNS, KNL, KNJ... (Ni1000, Ni10000, Ni891) -30 + 150 °C - KS, KL, KJ... (Ni1000, Ni10000, Ni891) -30 + 150 °C (NTC 20kΩ)
Měřicí čidlo	viz.. tabulka
Zapojení	dvouvodičové (zakázkově 3-vodičové)
Přesnost	třída B, IEC 751 (Pt100, Pt1000) třída B, DIN 43760 (Ni1000, Ni10000, Ni891, Ni2226) ± 1 °C (NTC20kΩ)
Hlavice	nerez DIN 1.4301
Délka stonku snímače	L1 - 30, 60, 100, 160, 240 mm
Délka nastavce	L2 - 50 mm
Izolační odpor	> 100 MΩ při 25 °C (500 V DC)
Stupeň krytí	IP 65 (ČSN EN 60529)
Relativní vlhkost	< 95 %
Konektor	GDSN 307
Pracovní teplota konektoru	-40 + 125 °C
Závit	G1/2 (standard), zakázkově G1/4, M20x1,5

### Zapojení:



### Přehled typů:

Snímač	KP	KPA	KPB	KS	KL	KJ	KSA	KH	KN
Snímač s nastavcem	<b>KNP</b>	<b>KNPA</b>	<b>KNPB</b>	<b>KNS</b>	<b>KNL</b>	<b>KNJ</b>	<b>KNSA</b>	<b>KNH</b>	<b>KNN</b>
Typ čidla	Pt100	Pt1000	Pt500	Ni1000/6180	Ni1000/5000	Ni891	Ni10000/6180	NTC 20kΩ	Ni2226
Dop. měřicí proud	1 mA	0,5 mA	0,5 mA	0,5 mA	0,5 mA	0,5 mA	0,2 mA	*	0,5 mA
Max. měřicí proud	5 mA	3 mA	3 mA	3 mA	3 mA	3 mA	0,5 mA	*	1 mA

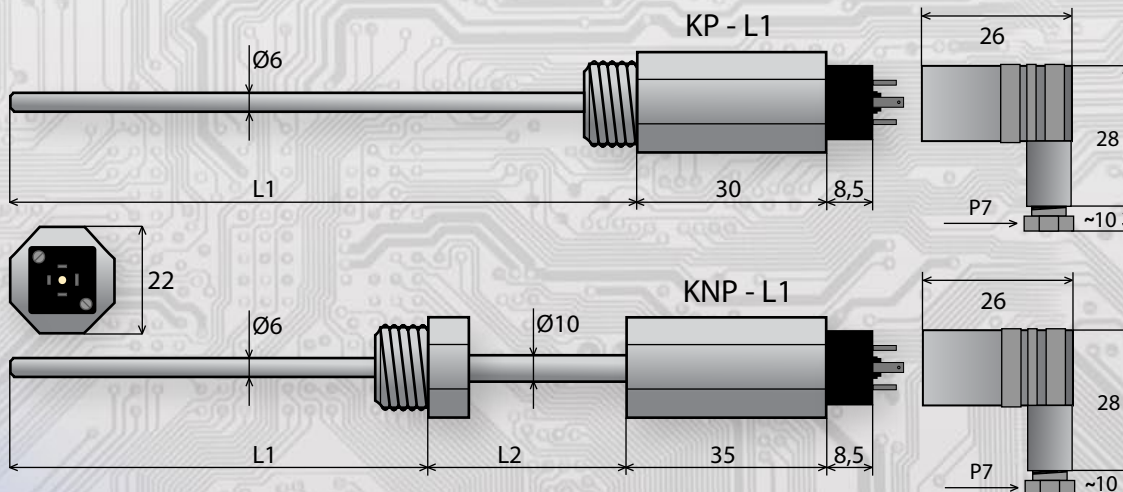
\* snímače KH, KNH mají výrazně nelineární závislost odporu na teplotě, doporučujeme max. výkonovou ztrátu 10 mW

Označení snímačů: uvádí se typ a požadovaná délka: **KP-100**

snímače v provedení do jímky (bez šroubení) mají v označení za lomítkem písmeno J (např.: **KP/J-100**)

Součástí dodávky je protikus konektoru GDSN (typ GSSNA 300)

### Rozměry:





## Příloha B

### Průtokoměr B.I.O-TECH FCH-M-PP-LC

### Mini Durchflussmesser, Miniature Flowmeter for chemically aggressive liquids

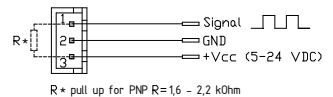
<b>Technische Daten</b> Messprinzip	Technical specification	<b>Anwendung:</b> chemisch aggressive Medien, Metall frei <b>Application:</b> Chemically aggressive liquids. Metal free!
Messprinzip	Measurement principle	Turbine
Abtastsystem	Sensing principle	Hall-Sensor/ Hall effect, non-contacting
Ausgangssignal	Output waveform	NPN open collector sinking (4 x I/U)
Durchflussrichtung	Flow direction	in Pfeilrichtung / at arrow-direction
Durchflussbereich L/min.	Flow range LPM	0,015 - 0,9 L / min (H <sub>2</sub> O bei / at 20°C)
Düse	Nozzle	D= 1,0 mm integriert/ integrated
Impulszahl/ Liter	Pulses output/ Litre	ca. 20.000 Impulse/Liter / H <sub>2</sub> O 20°C
Viskosität der Medien $\nu$	Viscosity $\nu$	0,5 - 10 mPas
Messgenauigkeit ( $\nu=1$ mPas)	Accuracy ( $\nu=1$ mPas)	+/- 2% (bei gleichen Betriebsbedingungen)
Wiederholgenauigkeit	Repeatability of frequency response	+/- 0,5 % (bei gleichen Betriebsbedingungen) +/- 0,5 % (at the same operating conditions)
Betriebsdruck Berstdruck	Operating pressure Burst pressure	-0,7- 4 bar > 10 bar (bei / at 20°C)
Betriebstemperatur	Running temperature	-10°C... + 80°C
Einbaulage	Installation position	beliebig / any
Anschluss	Port Connection	2 x 6 mm Schlauchanschluss/ Hose c.
Material / Rotor / O-Ring	Materials / Rotor / Gasket	PP- natur / PVDF / FKM
Achse / Lagerung	Axle/ Bearing	Achse/ Axle= PVDF, Lager/ Bearing= PP
Spannungsversorgung	Voltage supply	5-24 <sub>max.</sub> VDC
Strombelastung $I_{max.}$	Output current <sub>max.</sub>	25 mA <sub>max.</sub>
Gebergewicht	Weight	25 Gramm
Abmessung in mm	Dimensions in mm	s. Zeichnung / see drawing

**Serie: FCH-m-PP-LC**  
**Art.-Nr: 97478036**



Stecker mit Kontakten im Lieferumfang.  
Connector with crimp contacts included.

#### Steckerbelegung / Electrical Connection

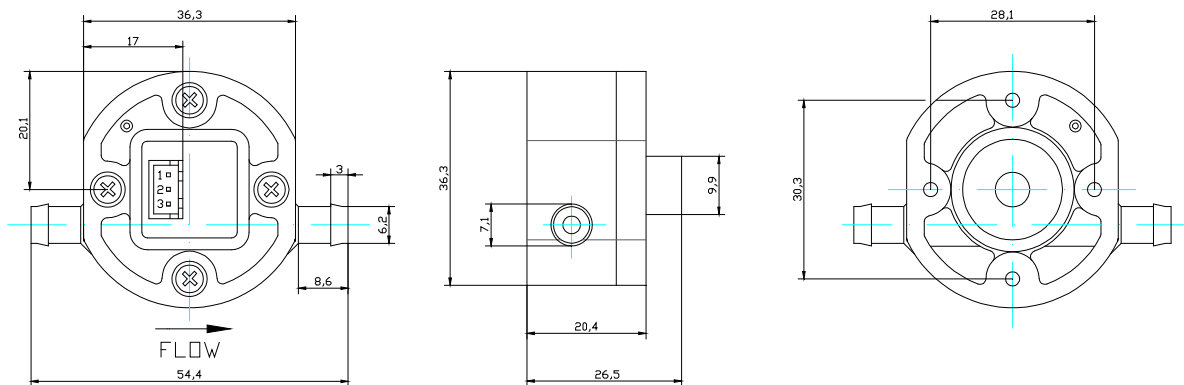


R\* = nicht integriert/ not integrated  
(für / for PNP use pull-up R\* >= 1k6)

#### ! Sicherheitshinweise !

Vor dem Einsatz des Durchflussmessers ist die Materialverträglichkeit in Verbindung mit dem zu messenden Medium unbedingt, vom Anwender zu überprüfen. Eine Verpolung führt zur Zerstörung des Geräts.

Bei Nichtbeachtung können Schäden entstehen, für diese wir keine Haftung oder Gewährleistung übernehmen.



Příloha C

SSR Carlo Gavazzi RGC

# Solid State Relays 3-Phase with Integrated Heatsink Proportional Switching Controllers Types RGC2P, RGC3P



- 2-pole and 3-pole analog switching solid state contactors
- Rated operational voltage: up to 660VAC
- Rated operational current: up to 75AAC
- Control inputs: 0-20mA, 4-20mA, 12-20mA, 0-5V, 1-5V, 0-10V
- Local setting through external potentiometer
- Switching modes: phase angle or distributed full cycles (1, 4 or 16 full cycles)
- Soft start feature with selectable ramp time up to 5 seconds
- Integrated varistor protection on output
- Monitoring for SSR and load malfunction
- EMR output for alarm indication
- 100kA short circuit current rating according to UL508
- DIN or panel mount



## Product Description

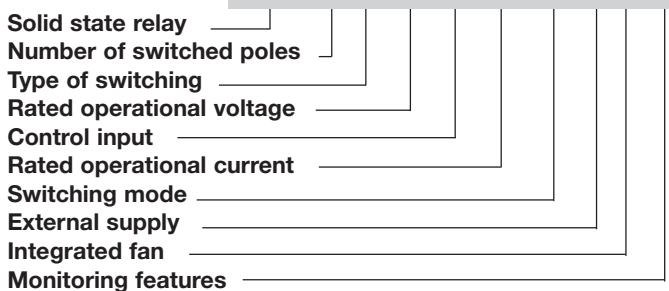
This series gives the possibility to control output power of 3-phase loads with an analog control input. The RGC2P is a 2-phase switching product whilst the RGC3P switches all 3 phases.

Input types cover a wide range of current and voltage ranges. Local setting by an external potentiometer is also possible. Switching modes cover phase angle control, distributed full

cycle control and soft start for limiting inrush current of loads having a high temperature coefficient, such as short wave infrared heaters.

Detection of mains loss, load loss, SSR short circuit and over-temperature is integrated in some models. Alarm condition is signalled through an EMR output and is visually indicated by the alarm LED. Additional LEDs indicate input and load status.

## Ordering Key **RGC 3 P 60 V 65 C1 D F M**



Specifications are at a surrounding temperature of 25°C unless otherwise specified.

## Ordering Key (Refer to page 4 for valid part numbers)

SSR with heatsink	Type of switching	Rated voltage (Ue), Blocking voltage	Control input <sup>1</sup>	Rated current/ pole @40°C <sup>2</sup>	Switching mode	External supply (Us)	Features
<b>RGC2:</b> 2-pole switching + 1-pole direct	<b>P:</b> Proportional	<b>60:</b> 180 - 660VAC, 1200Vp	<b>AA:</b> 4-20mADC  <b>I:</b> 0-20mADC 4-20mADC 12-20mADC  <b>V:</b> 0-5VDC 1-5VDC 0-10VDC	<b>15:</b> 15AAC <b>25:</b> 25AAC <b>40:</b> 40AAC <b>75:</b> 75AAC	<b>C1:</b> 1 FC ON, 1FC OFF @ 50% input  <b>C4:</b> 4 FC ON, 4FC OFF @ 50% input	<b>D:</b> 24VAC/DC  <b>A:</b> 90 - 250VAC	<b>F:</b> Integrated fan  <b>M:</b> Monitoring for Mains loss, Load loss, SSR short circuit, open circuit and OTP with EMR alarm output
<b>RGC3:</b> 3-pole switching	<b>P:</b> Proportional	<b>60:</b> 180 - 660VAC, 1200Vp	<b>AA:</b> 4-20mADC  <b>I:</b> 0-20mADC 4-20mADC 12-20mADC  <b>V:</b> 0-5VDC 1-5VDC 0-10VDC	<b>20:</b> 20AAC <b>30:</b> 30AAC <b>65:</b> 65AAC	<b>E:</b> Phase Angle  <b>C1:</b> 1 FC ON, 1FC OFF @ 50% input  <b>C4:</b> 4 FC ON, 4FC OFF @ 50% input  <b>C16:</b> 16 FC ON, 16FC OFF @ 50% input  <b>S:</b> Soft Start	<b>D:</b> 24VAC/DC  <b>A:</b> 90 - 250VAC	<b>P:</b> Integrated over temperature protection (OTP), mains loss with EMR alarm out- put  <b>F:</b> Integrated fan  <b>M:</b> Monitoring for Mains loss, Load loss, SSR short circuit, open circuit and OTP with EMR alarm output

FC = Full Cycle

OTP = Over Temperature Protection

EMR = Electromechanical Relay

1. Input types I and V require an external supply Us

2. Refer to Derating Curves

# Příloha D

## PLC Domat IMIO105

**IMIO100  
IMIO105**

**DDC regulátory**



**Shrnutí**

DDC (Direct digital control) regulátory IMIO100 a IMIO105 jsou volně programovatelné podstanice s ARM Cortex M4 procesorem a OS FreeRTOS. Disponují jedním Ethernet portem a obsahují 4 AI, 4 DI, 2 AO a 6 DO. Varianta IMIO105 obsahuje také rozhraní RS485 pro připojení I/O modulů a externí 8 MB RAM. Oproti IMIO100, které umožňuje řízení menších aplikací (cca 30 fyzických datových bodů), lze s IMIO105 řídit větší aplikace (cca 150 fyzických datových bodů).

**Použití**

- Volně programovatelné jednotky pro systémy VVK a jiné aplikace s místním webovým serverem.
- Sběr, zpracování a prezentace dat po síti.
- Při uživatelském naprogramování převodník protokolů s možností prezentace dat.

**Funkce**

Podstanice obsahuje vestavěný operační systém FreeRTOS, který spouští Merbon runtime s aplikací. Lze využít také hodiny reálného času zálohované baterií, paměť Flash s operačním systémem, aplikací, dalšími daty (časové programy, nastavené hodnoty atd.) a watchdog. Nově lze využít také NVRAM paměť pro zálohování nastavení v případě náhlého vypnutí systému.

Aplikace se tvoří a nahrává ve vývojovém prostředí Merbon IDE pomocí jazyka FUPLA (funkční bloky) nebo ST (strukturovaného textu). Limity velikosti aplikace závisí na počtu fyzických a softwarových datových bodů, počtu použitých funkčních bloků náročných na paměť (např. časové programy), úspornosti napsaného kódu a počtu spojení, které musí PLC obsloužit.

Pro komunikaci s ostatními zařízeními lze využít u IMIO100 1x Ethernet port. Dále jsou na desce pro měření a regulaci 4 AI, 4 DI, 2 AO a 6 DO. U typu IMIO105 je navíc k dispozici 1x sériové rozhraní RS485 pro rozšiřující I/O moduly.

Při volbě mezi IMIO100 a IMIO105 je třeba mít na mysli, že IMIO100 je primárně určeno pro obsluhu vstupů a výstupů, které jsou přímo na stanici. IMIO105 má dostatečný výpočetní výkon pro řízení větších aplikací s dalšími připojenými I/O a jinými definovanými komunikačními kanály (např. Modbus TCP server, SSCP klient, ...).

Podstanice obsahuje webový server pro vzdálený přístup a ovládání. Webové stránky se tvoří v Merbon HMI editoru, aplikaci, která je součástí balíku vývojových programů. Nahrání definice webu se následně provádí pomocí Merbon IDE.

Modul se montuje na standardní DIN lištu. Jeho šířka je 105 mm.

## Technické údaje

Napájení	24 V st/ss ± 20%; max 5 W
<b>Komunikace IMIO100</b>	
Ethernet	1x Ethernet 10/100BaseT RJ45, 2 LED (link, data) integrované v konektoru
<b>Komunikace IMIO105</b>	
Ethernet	1x Ethernet 10/100BaseT RJ45, 2 LED (link, data) integrované v konektoru
RS485	COM1 (K+, K-) galvanicky oddělená, izolační napětí 1 kV 300 ... 115 200 bit/s; parita a bity nastavitelné v SW maximální délka sběrnice 1200 m maximální počet modulů na sběrnici závisí na požadované době odezvy – až 255 adres, pro běžné aplikace VVK s IMIO105 se používá 150 datových bodů na sběrnici
3x LED	RUN, TxD, PWR
<b>Analogové vstupy</b>	
Počet	4
Rozsah měření odporu	0...1600 Ohm, 0...5000 Ohm, čidla Pt100, Pt500, Pt1000, Ni1000-5000, Ni1000-6180 (transformace se provádí v runtime aplikace) (nastavení vstupu viz Svorcky -> Jumpery) Měřicí proud v pasivním režimu (0...1600 Ohm): 200 µA po 100 % času.
Rozsah měření napětí	Pouze AI3, AI4: 0...10 V ss (nastavení vstupu viz Svorcky -> Jumpery)
Rozsah měření proudu	Pouze AI3, AI4: s externím odporem 125 Ohm 0..20 mA (Jumper pro daný vstup musí být vytažen)
Rozlišení	16 bit
Galvanické oddělení	Optická izolace 1kV

### **Analogové výstupy**

Počet	2
Rozsah výstupního napětí	0...10 V ss
Zatížení	min. 10 k $\Omega$ výstupy jsou zkratuvzdorné – omezení na 20 mA
Rozlišení	8 bit
Galvanické oddělení	Optická izolace 1kV

### **Digitální vstupy**

Počet	4
Napětí	24 V st/ss – musí být přivedeno externí napětí (například ze svorek G a G0)
Vstupní proud	4 mA
Maximální napětí	60 V ss, 40 V st
Galvanické oddělení	Optická izolace do 1 kV

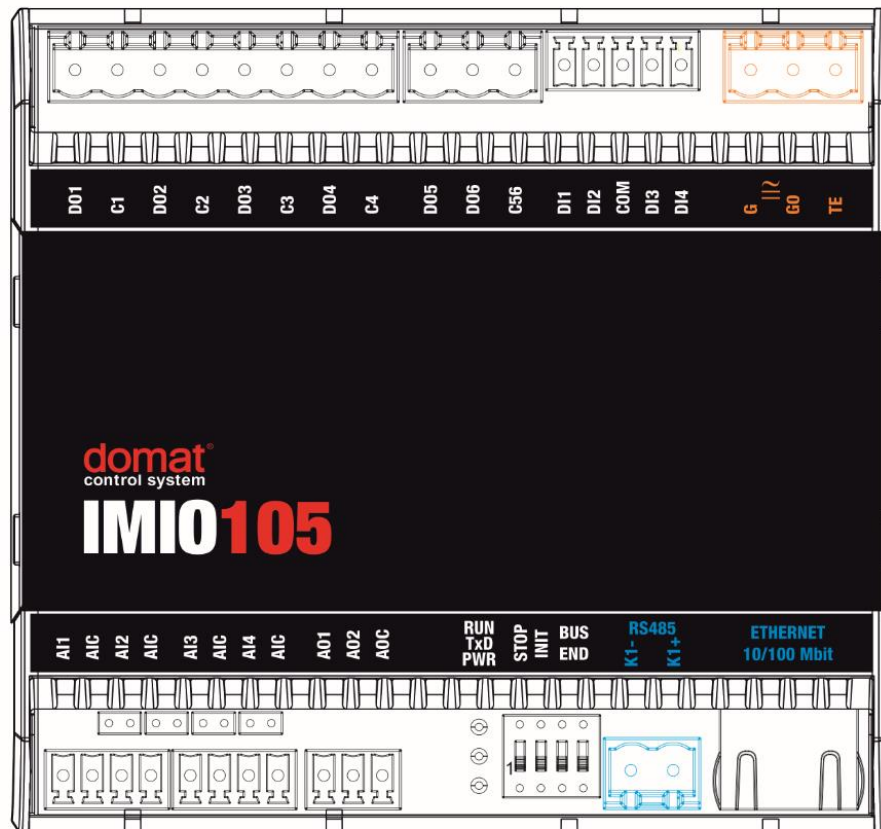
### **Digitální výstupy**

Počet	4 relé, NO (bez napětí rozepnuty) 2 solid state relé
Zatížení relé	5 A při 250 V st, 1250 VA 5 A při 30 V ss, 150 W
Zatížení solid state relé	pro střídavou a stejnosměrnou zátěž, 24 V st/ss, maximální spínaný proud 0,4 A  (Doporučené pohony termických ventilů jsou STA71 (Siemens), TWA (typy na 24V, Danfoss). Výstupy jsou opticky izolovány do max. napětí 1,5 kV)
Galvanické oddělení	Optická izolace do 1 kV
HW – IMIO100	ARM Cortex M4 168 MHz, 10 MB FLASH, 256 KB SRAM, 4 KB NVRAM
HW – IMIO105	ARM Cortex M4 168 MHz, 10 MB FLASH, 256 KB + 8 MB SRAM, 4 KB + 64 KB NVRAM
SW	Merbon IDE (podpora od ER2 2.2.0.0) Merbon HMI
Kryt	polykarbonátová krabice (certifikace UL94V0)
Rozměry	viz schéma Rozměry níže
Krytí	IP21 (ČSN EN 60529)
Svorky	Napájení, RS485, DO: šroubovací M3, průřez vodiče do 2,5 mm <sup>2</sup>



	AO/AI/DI: šroubovací M2, průřez vodiče do 1,5 mm <sup>2</sup>
Provozní podmínky	5 – 40 °C; 5 – 85 % relativní vlhkost; prostředí bez agresivních látek, kondenzujících par a mlhy (dle ČSN EN 60721-3-3 klimatická třída 3K3)
Shoda se standardy	EMC EN 61000-6-2 ed.3:2005, EN 55022 ed.3:2010 (průmyslové prostředí) elektrická bezpečnost EN 60950-1 ed.2:2006 + A11:2009 + A12:2011 + A1:2010 + A2:2014 omezování nebezpečných látek EN 50581:2012
Česká legislativa	NV č. 17/2003 Sb., technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí NV č. 616/2006 Sb., technické požadavky na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility NV č. 481/2012 Sb., o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních
EU legislativa	Council Directive 2006/95/EC, health and low voltage equipment safety Council Directive 2004/108/EC, electromagnetic compatibility Council Directive 2011/65/EC, certain hazardous substances in electrical and electronic equipment

## Svorky



<b>Svorky a konektory:</b>	
<b>DO1 ... DO4</b>	reléový výstup 1 ... 4, v klidu rozpojen proti C1 ... C4
<b>C1 ... C4</b>	reléový výstup 1 ... 4, zem
<b>DO5, DO6</b>	SSR výstup 5, 6 v klidu rozpojen proti C5/6
<b>C5, C6</b>	SSR výstup 5 a 6, společný vodič
<b>DI1 ... 4</b>	digitální vstup 1 ... 4
<b>COM</b>	společný vodič pro digitální vstupy
<b>G</b>	napájení
<b>G0</b>	napájení
<b>TE</b>	volitelné propojení na stínění
<b>AI1 ... 4</b>	analogový vstup 1 ... 4
<b>AIC</b>	<b>zem analogových vstupů (společná)</b> Poznámka: Tato země není propojena se zemí napájení, jiných vstupů nebo výstupů. Při třívodičovém zapojení (aktivní periferie, např. čidla tlaku, vlhkosti apod.) je třeba propojit zem analogových vstupů AIC s nulovým vodičem napájení periferií 24 V st. Díky vzájemnému oddělení všech typů vstupů a výstupů v modulu je možné pro napájení aktivních periferií použít stejný transformátor, jaký je určen pro napájení modulu IMIO
<b>AO1, AO2</b>	analogový výstup 1, 2
<b>AOC</b>	<b>zem analogových výstupů</b> Poznámka: Tato země není propojena se zemí napájení, jiných vstupů nebo výstupů. Při třívodičovém zapojení (aktivní periferie, např. frekvenční měniče, pohony ventilů apod.) je třeba propojit zem analogových výstupů AOC s nulovým vodičem napájení periferií 24 V st. Díky vzájemnému oddělení všech typů vstupů a výstupů v modulu je možné pro napájení aktivních periferií použít stejný transformátor, jaký je určen pro napájení modulu IMIO
<b>RS485</b>	port COM1 - sériová linka RS485, svorky K+, K- ( <b>pouze IMIO105</b> )
<b>Ethernet</b>	síťové rozhraní
<b>LED signalizace:</b>	
<b>RUN</b>	žlutá LED – systémový cyklus (OK: LED bliká v intervalu 1 s ON, 1 s OFF; CHYBA: jiný vzor blikání LED, LED trvale svítí nebo nesvítí)
<b>TxD</b>	červená LED – RS485 vysílání COM1 (bliká při vysílání; svítí trvale při zkratu nebo přetížení sběrnice)
<b>PWR</b>	zelená LED – napájení (zap: napájení je OK; vyp: napájení není zapojeno, je slabý zdroj, došlo k poruše zdroje, ...)
<b>DIP přepínače:</b>	
<b>STOP</b>	po přepnutí do polohy ON se zastaví vykonávání nahraného programu, ale runtime běží
<b>INIT</b>	pokud je při startu v poloze ON, konfigurační parametry se nastaví na výchozí hodnoty (viz Merbon IDE konfigurační

parametry; např. IP adresa, uživatel a heslo, nastavení databáze, adresa proxy...)

**BUS END**

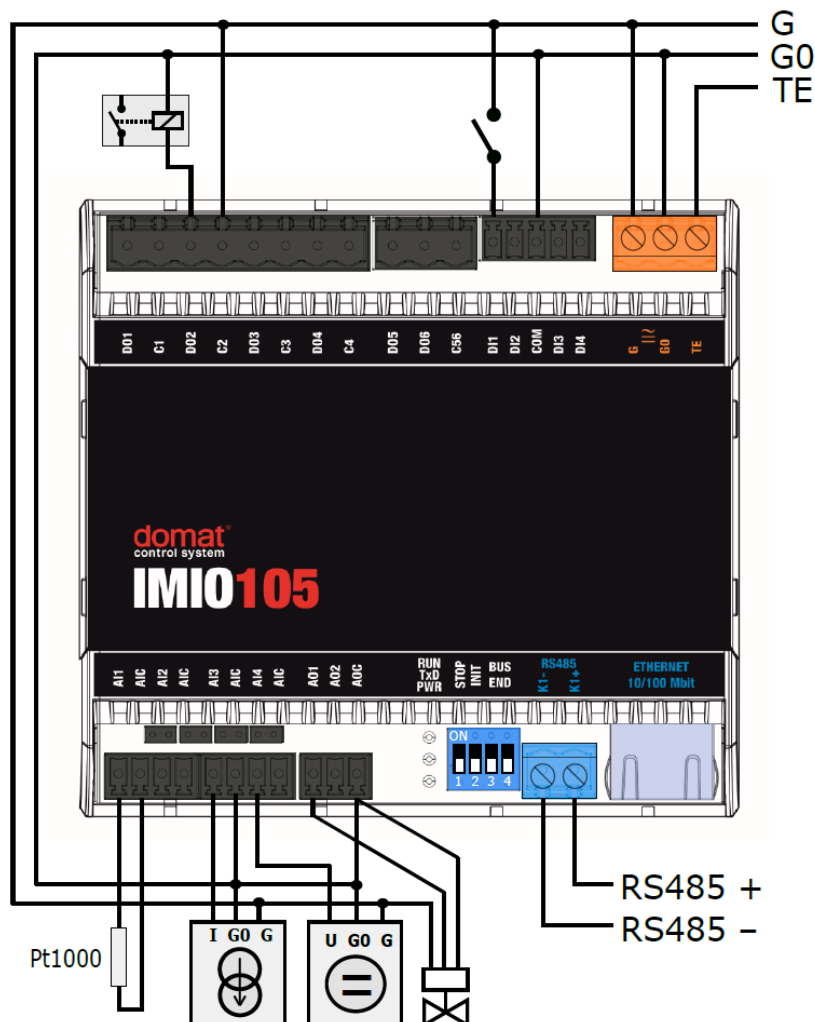
DIP3 a DIP4 oba v poloze ON = ukončení sběrnice RS485; první a poslední modul na sběrnici mají mít ukončení sběrnice zapnuto (**pouze IMIO105**)

**Jumpery:**

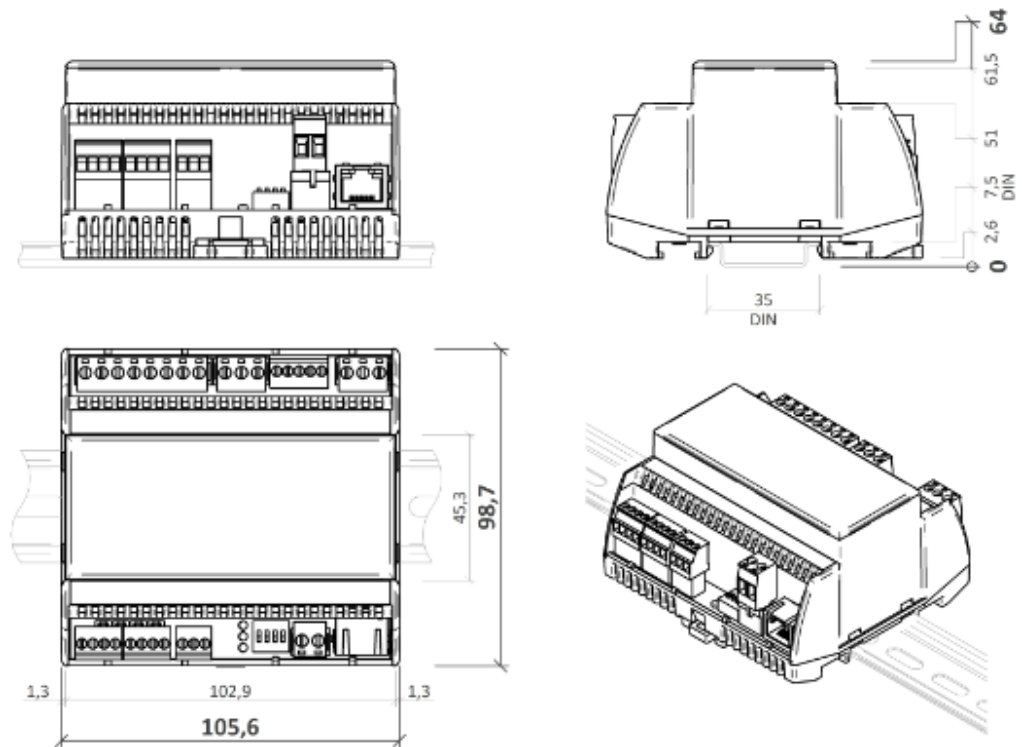
Jumpery jsou přístupné po odejmutí svorek AI. Výchozí nastavení je pro měření odporu (teploty). Pro měření napětí je třeba jumper přepojit (viz tabulka níže). Pro měření proudu v rozsahu 0...20 mA je třeba jumper vyjmout a mezi svorky AI3-AIC resp. AI4-AIC připojit externí odpor 125 Ohm. **Týká se pouze AI3 a AI4, ostatní analogové vstupy měří pouze odpor!** (Číslování jumperů zleva.)

**Zapojení**

	Odpor (teplota)	Napětí
AI3	J1=OFF, J2=ON	J1=ON, J2=OFF
AI4	J3=OFF, J4=ON	J3=ON, J4=OFF



## Rozměry



Rozměry jsou uvedené v *mm*.

## Programování Merbon IDE

Hlavní programovací nástroj je balík programů Merbon, který obsahuje I/O editor, grafický editor funkčních bloků (FBD), editor strukturovaného textu (ST) a kompilér (Merbon IDE). Dalším programem je editor webových stránek a LCD menu (Merbon HMI).

Aplikační program se skládá z funkčních bloků nebo funkcí, které jsou uloženy v knihovnách. Ty obsahují funkce analogové i digitální, matematické bloky včetně goniometrických funkcí, časové programy, alarmové bloky a bloky s funkcemi VVK (rekuperace, výpočet rosného bodu, entalpie, střídání čerpadel atd.). Program lze sestavit také ve strukturovaném textu (ST) nebo kombinaci obou jazyků.

## Komunikace Výchozí nastavení sítě jsou:

IP adresa	192.168.1.10
maska sítě	255.255.255.0
výchozí brána	192.168.1.1

SSCP uživatel: admin  
heslo: rw

Nezapomeňte si poznamenat nové přístupové údaje po jejich změně!

Poté, co tyto hodnoty byly změněny, je možné uvést stanici do výchozího nastavení pomocí DIP switchu INIT: nastavte ho do polohy ON a restartujte podstanici. Začne komunikovat na výchozí adrese a je možné ji detekovat pomocí Merbon IDE.

Původně nastavené hodnoty jsou přepsány výchozími hodnotami.

Podstanice může sdílet proměnné po síti Ethernet (například venkovní teplotu, požadavky na teplo) s ostatními podstanicemi.

Runtime obsahuje drivery pro komunikaci I/O moduly i dalším subsystémy, například Modbus TCP / RTU (server/klient), M-Bus, IEC62056-21, SSCP a SoftPLC link. Kompletní seznam driverů je v konfiguračním dialogu pro komunikační kanál v poslední verzi Merbon IDE. V helpu Merbon IDE ověřte, že implementace protokolu v driveru podporuje požadované funkce. Je též možné napsat si vlastní komunikační driver pomocí funkcí I/O knihovny ve strukturovaném textu.

**Počet komunikačních kanálů** (na sériových linkách, Ethernetu) směrem k I/O modulům a subsystémům přímo omezený není. Záleží na volné výpočetní paměti PLC.

**Počet zároveň připojených klientů protokolem SSCP je maximálně 5.** Do tohoto počtu se počítá například spojení z RcWare Vision, Merbon IDE, HT102/200, mobilní aplikace Merbon Menu Reader, spojení z ostatních stanic protokolem SSCP atd.

**Počet zároveň připojených klientů protokolem Modbus TCP na Modbus TCP server je maximálně 5.**

Ostatní klientské kanály (např. web) přímo omezené nejsou.

#### **Upozornění**

Přístroj obsahuje nedobíjitelnou baterii, která napájí systémové hodiny a zálohuje část paměti. Po skončení životnosti zařízení je vraťte výrobci nebo zlikvidujte v souladu s místními předpisy.

#### **Bezpečnostní upozornění**

Přístroj je určen pro řízení a monitoring systémů větrání, vytápění a klimatizace. Nesmí být použit pro ochranu osob před zdravotními riziky nebo smrtí, jako bezpečnostní prvek, nebo v aplikacích, kde selhání může vést ke škodám na majetku, zdraví či životním prostředí. Rizika spojená s provozováním přístroje musí být posouzena v kontextu návrhu, instalace a provozování celého řídicího systému, jehož je přístroj součástí.

**Změny ve verzích**

- 05/2016 – První verze katalogového listu.
- 07/2016 – Přidány informace o nových komunikačních protokolech a limitech komunikace. Opravena informace o funkci STOP DIP přepínače.
- 08/2016 – Opravena informace u DO5 a DO6. Tyto výstupy nespínají v nule.
- 01/2017 – Rozšířen popis rozsahu 0...20 mA v sekci Jumpery.
- 07/2017 – Přidáno schéma zapojení.
- 11/2017 – Přidáno bezpečnostní upozornění, změna tolerance napájení