

# **Řídicí a monitorovací systém pro laboratorní zařízení pro výrobu bionafty**

Controlling and monitoring system for laboratory equipment for the  
production of biodiesel

Bc. Stanislav Plšek

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav PLŠEK**  
Osobní číslo: **A09342**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řídicí a monitorovací systém pro laboratorní zařízení pro výrobu bionafty**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií výroby bionafty z odpadních tuků.
2. Seznamte se s technologickým zařízením umístěným v laboratořích FAI.
3. Navrhněte na základě technologického postupu systém pro počítačový sběr a monitorování stěžejních technologických veličin.
4. Navrhněte řídicí algoritmy pro vybrané veličiny.
5. Realizujte monitorovací a řídicí systém z dostupných technických prvků a sestavte software pro jeho běh v reálném čase.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Balátě, J.: Automatické řízení., ISBN 80-7300-020-2, BEN-technická literatura, 2003
2. Vašek, V.: Teorie automatického řízení II. Skriptum FT VUT v Brně, Zlín 1990.
3. HUSTÁK, P.: Počítačové řízení rotační odparky. Diplomová práce, Zlín, 1999.
4. MARTINÁSKOVÁ, M.: Řízení programovatelnými automaty. Skriptum ČVUT, Praha, 1998.
5. VÍTEČKOVÁ, M.: Seřízení regulátorů metodou inverze dynamiky. VŠB-technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, Ostrava, 1998.
6. SAIA-Burgess Electronics: Hardware-Řady PCD1 a PCD2. Vydání 26/737 C5, 1998.
7. SAIA-Burgess Electronics: PCD Series reference Guide. Vydání 26/733 E6, 1997.
8. Franklin G.F., Powell J.D., Emami-Naeini A.: Feedback control of dynamic systems. Pearson Education, Inc, 2006

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**25. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

V diplomové práci řeším řízení procesu výroby bionafty. V první části práce popisuji samotný proces přeměny oleje na bionaftu a zabývám se rozbohem stávajícího zařízení. V praktické části jsem realizoval řídicí systém se stanovením regulátoru a vizualizaci procesu výroby bionafty.

Klíčová slova: bionafta, transesterifikace, nenasycené mastné kyseliny, glycerín, methylester, triglyceridy, PLC, frekvenční měnič, řízení, identifikace, statická a přechodová charakteristika, regulátor, vizualizace.

## **ABSTRACT**

In my theses I solve problem with process control of biodiesel. The first part describes the process of conversion oil to biodiesel and I deal with analysis of existing device. In the practical part I realized control system with and setting controller and visualization of biodiesel production process.

Keywords: Biodiesel, transesterification, free fatty acids, glycerol, methylester, triglycerides, PLC, frequency changer, control, identification, static characteristic and step response, controller, visualization.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vladimírovi Vaškovi, CSc. za jeho pomoc při vedení během tvorby a trpělivost při konzultacích ohledně této práce.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 3. června 2011

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 VÝROBA BIONAFTY</b> .....	<b>10</b>
<b>2 TECHNICKÉ VYBAVENÍ</b> .....	<b>15</b>
2.1 AKTUÁLNÍ STAV .....	15
2.2 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ .....	15
<b>3 VLASTNOSTI POUŽITÉHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>17</b>
3.1 PLC AUTOMAT SAIA PCD2.M5540 .....	17
3.1.1 Technické parametry .....	17
3.1.2 Vstupně výstupní moduly .....	19
3.2 FREKVENČNÍ MĚNIČ OPTIDRIVE E2 – 1PH.....	22
3.3 SSR RELÉ RM1A23D25 .....	24
3.4 DOTYKOVÝ PANEL PCD7.D410 .....	25
3.5 GSM MODEM G10/CM100 .....	26
3.6 PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ PG5 1.4 A SAIA S-WEB EDITOR.....	27
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>31</b>
<b>4 ELEKTRO-MECHANICKÉ PROVEDENÍ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>32</b>
<b>5 NÁVRH STRUKTURY REGULÁTORU PRO REGULACI TEPLoty</b> .....	<b>34</b>
5.1 IDENTIFIKACE PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY OHŘEVU .....	34
5.1.1 Statická charakteristika .....	34
5.1.2 Přechodová charakteristika .....	35
5.2 STANOVENÍ REGULÁTORU .....	43
5.2.1 Dvoupolohový regulátor s penalizací .....	43
5.2.2 PID regulátor určený metodou inverze dynamiky .....	48
<b>6 ŘÍDICÍ ALGORITMUS VÝROBY BIONAFTY</b> .....	<b>51</b>
<b>7 VIZUALIZACE PROCESU VÝROBY A OVLÁDÁNÍ POMOCÍ SMS</b> .....	<b>53</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>57</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>58</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>59</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>61</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>62</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>63</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>64</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>65</b>

## ÚVOD

V současné době se čím dál více využívá biodieselu jako alternativního paliva k běžné naftě. Jedna z hlavních výhod spočívá především v jeho výrobě, neboť je využíváno obnovitelných zdrojů a při výrobě a jeho používání není zatěžováno životní prostředí v takové míře, než kdyby byla použita běžná nafta.

Biodiesel může být vyráběn buď z řepkového oleje, nebo může být s výhodou využito použitého rostlinného oleje, který je produkován jako odpad stravovacích zařízení.

Výroba biodieselu z použitého oleje je časově náročná, a je silně závislá na teplotě. Navíc na této teplotě a času závisí i kvalita vzniklého produktu. Biodiesel vzniká chemickou reakcí oleje a alkoholu, jako je třeba methanol. Navíc tato reakce vyžaduje použití katalyzátoru, obvykle se jedná o zásaditou látku, jakou je třeba hydroxid draselný nebo sodný.

Pro dosažení co nejvyšší kvality vyrobeného biodieselu je nutno, aby byla dodržena teplota oleje, množství alkoholu a katalyzátoru a samozřejmě doba reakce. Z tohoto důvodu jsem v této práci navrhnul řídicí systém, který splňuje tyto požadavky. Řídicí systém lze používat jak v manuálním, tak i automatickém režimu. Oba tyto režimy lze použít a ovládat dálkově po síti LAN, navíc při automatickém režimu může být obsluha informována pomocí zasílaných SMS zpráv, kterými lze systém i ovládat.

Tento řídicí systém lze snadno rozšířit a upravit tak, aby ho bylo možné použít i pro jiné, podobné chemické reakce a výrobní procesy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VÝROBA BIONAFTY

Bionafta jakožto alternativní palivo pro diesellové motory je vyráběna za vzniku chemické reakce rostlinného oleje nebo živočišného tuku s alkoholem, obvykle methanolem. Při této reakci musí být přítomen zásaditý katalyzátor, obvykle hydroxid sodný nebo draselný. Reakcí vznikají methyl estery, které jsou známy pod pojmem bionafta. Spalováním bionafty v motorech dochází k mnohem menšímu uvolňování emisí oxidu uhelnatému a nespálených uhlovodíků než při použití běžné nafty.

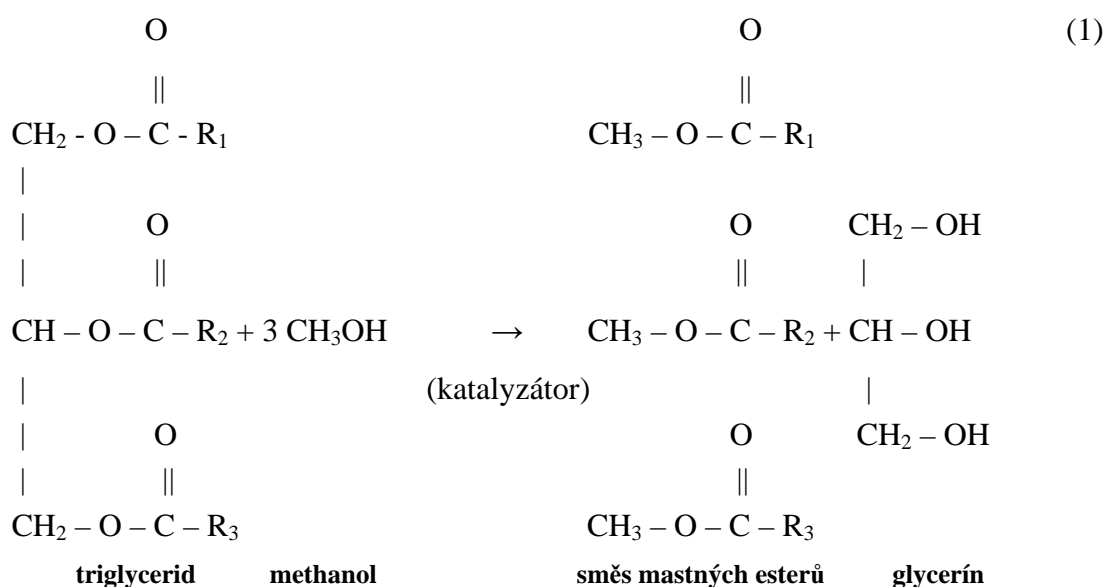
K výrobě bionafty lze s výhodou využít již nepoužitelný odpadní olej z restaurací a kuchyní. Použití biodieselu má několik výhod, i když jím kompletně nelze nahradit běžnou naftu:

1. Snížení závislosti jednotlivých zemí na importované ropě

2. Bionafta je obnovitelný zdroj a při její použití dochází ke zmenšení emisí CO<sub>2</sub> o 78% při porovnání s použitím nafty získané z ropy

3. Snížení emisí oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků. Nicméně dle testů dochází ke zvýšení emisí oxidů dusíku (Nox)

Bionafta je vyráběna díky procesu transesterifikace, která je zobrazena v následující rovnici:



kde R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> a R<sub>3</sub> jsou dlouhé uhlovodíkové řetězce.

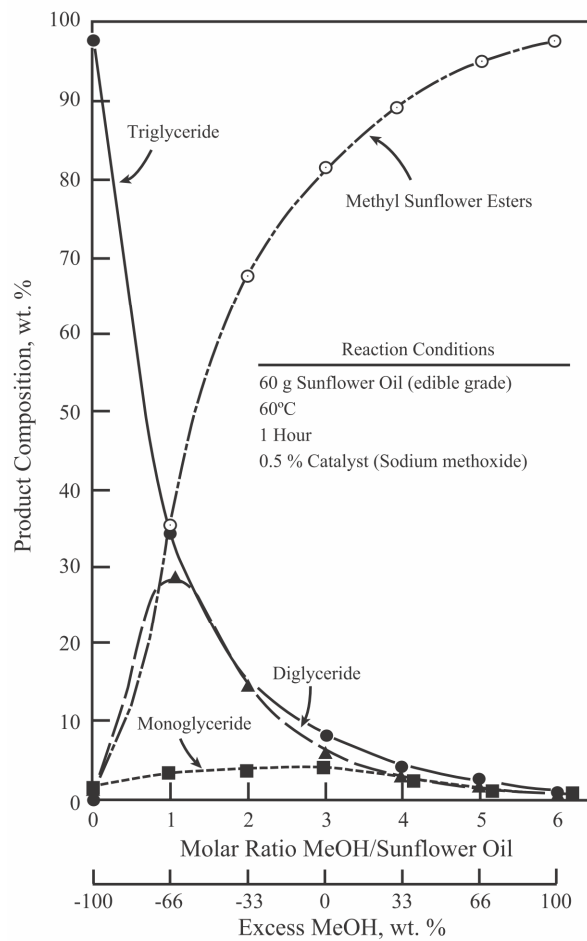
Ačkoliv výzkum nepředvídal výrobu alkyl esterů jako palivo, mnoho procesů pro výrobu bionafty bylo vyvinuto ve 40. letech 20. století. Původním záměrem bylo nalézt

jednoduchou výrobu glycerínu během výroby mýdla. Glycerín byl v dané době potřebný pro výrobu výbušnin.

Chemickou konverzí oleje a tuku na methylestery může být glycerín separován, protože je v esterech nerozpustný. Glycerín má větší hustotu, proto může být lehce odstraněn v odstředivce. Byl vynalezen patent na výrobu za použití procesu, kdy při přidání 1,6 násobku oproti teoretickým předpokladům methanolu s obsahem 0,1% až 0,5% hydroxidu draselného do oleje a byla – li tato směs zahřána na 80°C, proces umožnil 98% přeměnu na alkyl estery a vysoce kvalitní glycerín.

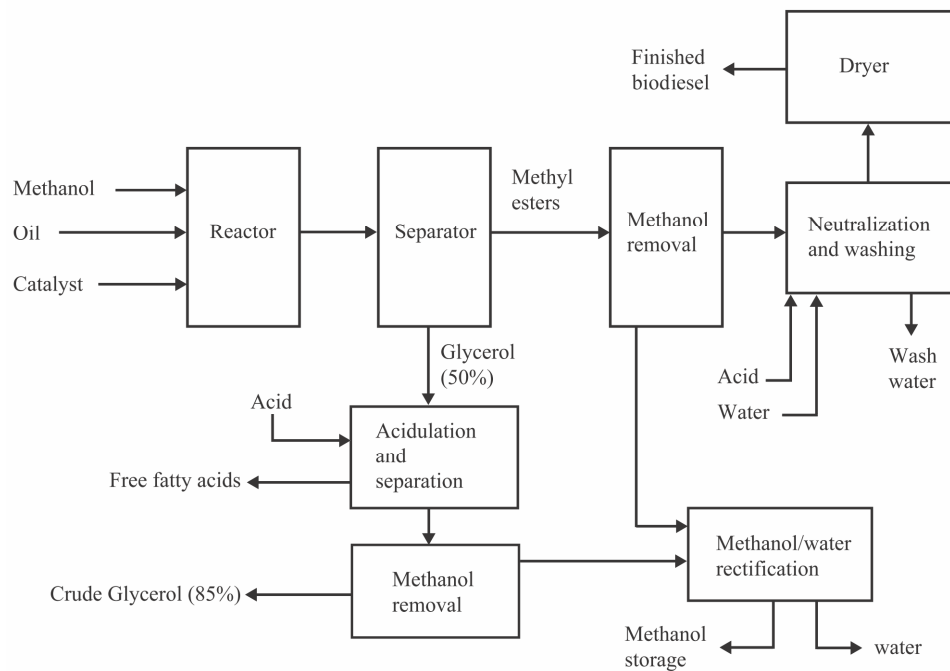
V 70-80 letech díky vysokým cenám ropy bylo navrhováno použití rostlinného oleje jako alternativního paliva, nicméně bylo zjištěno, že se tento k daným účelům nehodí díky jeho vysoké viskozitě. Přeměna oleje na alkyl estery vede ke snížení viskozity blízké běžnému palivu a možnosti použití ve standardních dieselových motorech. Byly prezentovány studie transesterifikace, kdy byly měněny různé parametry – teplota, molární poměr alkoholu k oleji, druh katalyzátoru a stupeň rafinovanosti oleje. Bylo pozorováno, že reakce k dokončení potřebuje 1h při teplotě 60°C, ale při teplotě 32°C se tato doba zvýší na 4 hodiny. Taktéž je vidět z *Graf 1*, jak závisí stupeň reakce na poměru alkoholu a oleje. Dalším vlivem na rychlost reakce je míchání reakčních složek, neboť při míchání se zvyšuje povrch reakce, protože reakční složky jsou v sobě nerozpustitelné. Reakce by tak trvala neúměrně dlouho, protože by probíhala pouze na rozhraní neslučitelných fází.

Také bylo prováděno měření stavu reakce oleje a methanolu bez použití katalyzátoru. Nicméně bylo potřeba dosáhnout teploty 300 – 350 °C a molárního poměru 42:1 methanolu ku oleji. Bylo provedeno i měření za zvýšeného tlaku a nižší teploty (90 bar, 240°C), kdy taktéž došlo k transesterifikace. Nicméně pro výrobu biodieselu je počítáno s nižšími teplotami, přibližně atmosférickým tlakem a delšími časy reakce, protože jinak by se výrobní zařízení podstatně prodražilo.



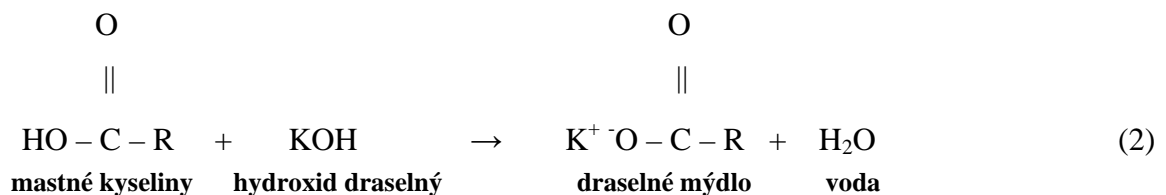
Graf 1: Efekt poměru alkoholu a oleje na výsledek transesterifikace

Na *Obr. 1* je schématické zobrazení postupu výroby biodieselu. Jak je vidět, dochází zde kromě transesterifikace také k oddělení glycerínu od methylesterů a jejich následné vyčištění. Při něm se odstraňuje toxický methanol a dochází k neutralizaci a sušení methylesterů, čímž vzniká vlastní bionafta. Odstraněný methanol lze znovu použít, je-li z něj odstraněna voda. Taktéž z glycerínu musí být odstraněn, ze kterého se navíc odstraňují nenasycené mastné kyseliny. Tento glycerín může být pomocí rektifikace vyčištěn až na 99,5% čistého glycerínu.

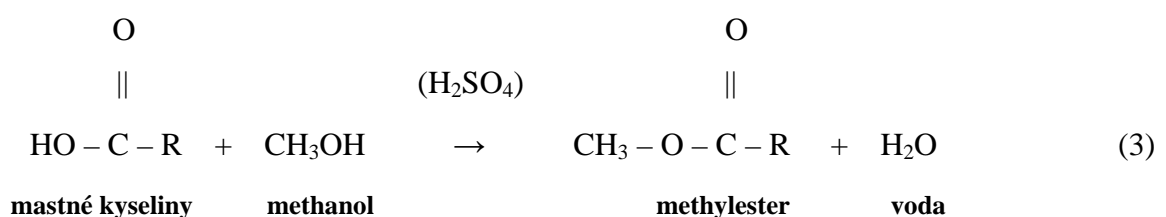


Obr. 1: Schématické znázornění procesu výroby biodieselu

Pokud použitý olej nebo tuku obsahuje nenasycené mastné kyseliny, je vyžadován speciální proces. Obvykle použitý jedlý olej obsahuje 2 – 7% nenasycených mastných kyselin, živočišný tuk 5% až 30%. Sice reakce s obsahem nad 5% nenasycených mastných kyselin může proběhnout s alkalickým katalyzátorem, nicméně jeho potřeba větší množství, především na kompenzaci vzniknutého draselného mýdla. Jeho vznik je popsán v následující rovnici:



Je-li obsah nenasycených mastných kyselin větší než 5%, draselné mýdlo omezuje oddělení methylesterů od glycerínu. Pro tyto případy je výhodnější použít na místě katalyzátoru kyselinu sírovou, jak je uvedeno v následující rovnici:



Tento proces může být použit jako předčištění a přeměně nenasycených mastných kyselin a jejich redukcí ve vstupních surovinách. Poté může být použito transesterifikace za využití zásaditého katalyzátoru k přeměně triglyceridů na methylestery. [1], [2], [3]

## 2 TECHNICKÉ VYBAVENÍ

### 2.1 Aktuální stav

Pro výrobu biodieselu je nyní používána starší vířivá pračka typ R 151. Dříve ji vyráběl státní podnik ROMO Fulnek, v současnosti firma R – FIN, spol. s r.o. vyrábí novější typ pod označením R190.1. Tato pračka byla původně určena k praní prádla, obsahuje dvoupolohový termostat pro nastavení teploty vody od 20°C do 90°C, který spíná topné těleso o výkonu 1700W. Pro pohon míchadla je využíván jednofázový asynchronní motor s příkonem 210W. Míchadlo je k tomuto motoru připojeno pomocí řemenice a převodového kola. Dále pračka obsahovala mechanický časovač, který již není funkční a taktéž nefunkční čerpadlo.

Za účelem výroby biodieselu byl zmenšen vnitřní prostor pračky na objem 10 litrů a byl přidán ventil pro vypouštění vsádky. Z důvodu potřeby použití methanolu bylo nutno pračku hermeticky utěsnit, aby nedocházelo k úniku nebezpečných par. Navíc pro zvýšení bezpečnosti je celá pračka umístěna do digestoře.

Pro řízení výroby nebyl používán žádný řídicí systém, tedy kromě funkčního termostatu. Veškeré dávkování surovin, ovládání procesu a vypouštění vsádky bylo prováděno manuálně.

### 2.2 Navrhované řešení

Pro zautomatizování a zjednodušení výroby biodieselu navrhuji, aby stávající pračka byla zachována, nicméně je potřeba ji doplnit o čerpadla pro dávkování oleje, methanolu, katalyzátoru a čerpadlem pro vypouštění vsádky po proběhnuté reakci.

Jako řídicí systém doporučuji použít modulární PLC automat, např. PCD2 od švýcarské firmy Saia nebo od českého výrobce Tecomat. K automatu by měly být připojeny dva teploměry Pt1000. Jeden bude umístěn bezprostředně u topného tělesa a bude mít ochranou funkci, kdy při překročení kritické teploty bude topení ihned vypnuto. Druhý teploměr bude umístěn uprostřed nádoby se vsádkou a dle teploty tohoto teploměru bude řízena regulace požadované teploty vsádky. Je to z důvodu oddělení topného tělesa mřížkou od zbývajících prostoru nádoby a v některých případech nemusí docházet k dokonalému promíchání ohřátého obsahu se studeným. Jako regulátor teploty navrhuji

dvoupolohový regulátor s penalizací nebo PID regulátor, jehož parametry budou vypočítány metodou inverze dynamiky.

Pro ovládání topného tělesa a čerpadel doporučuji použít SSR relé, neboť tyto lze spínat, aniž by docházelo k opotřebením kontaktů jako u mechanických relé. Těto vlastnosti bude využito při generování PWM signálu pro topné těleso.

Vzhledem k tomu, že otáčky míchadla v pračce jsou nevyhovující – příliš vysoké, doporučuji použít jednofázový frekvenční měnič pro změnu frekvence napájecího napětí motoru míchadla. Tyto měniče vyrábí firma Invertek, jež má pobočku v České republice, a tudíž jsou běžně dostupné.

Pro zobrazování stavu a ovládání řídicího zařízení doporučuji použití dotykového displeje, připojitelného přímo k PLC automatu. Tyto jednotky vyrábí i firma Saia až do velikosti displeje 10,4“. Lze je připojit pomocí LAN rozhraní, a to přímo k PLC nebo přes síťové prvky, jako jsou switche nebo routery.

Samozřejmostí je, aby bylo možno ovládat řídicí zařízení dálkově, a to přes standardní webový prohlížeč, což třeba splňuje výše uvedený PLC automat řady PCD2.

Aby bylo možno ovládat zařízení nejen při přístupu k síti, ale i z kteréhokoliv místa, bude k PLC automatu připojen GSM modem. Toto zařízení umí posílat a přijímat SMS zprávy, kdy po vyhodnocení dojde k požadované změně při výrobě biodieselu.

### 3 VLASTNOSTI POUŽITÉHO ZAŘÍZENÍ

#### 3.1 PLC automat Saia PCD2.M5540

PLC automat PCD2.M5540 je vyráběn švýcarskou firmou Saia – burgress, která vyrábí nejen PLC automaty několika řad, ale i další zařízení, jako jsou dotykové displeje, room controllers, vstupně výstupní moduly a další prvky z oblasti automatizace.



Obr. 2: PLC automat Saia PCD2.M5540

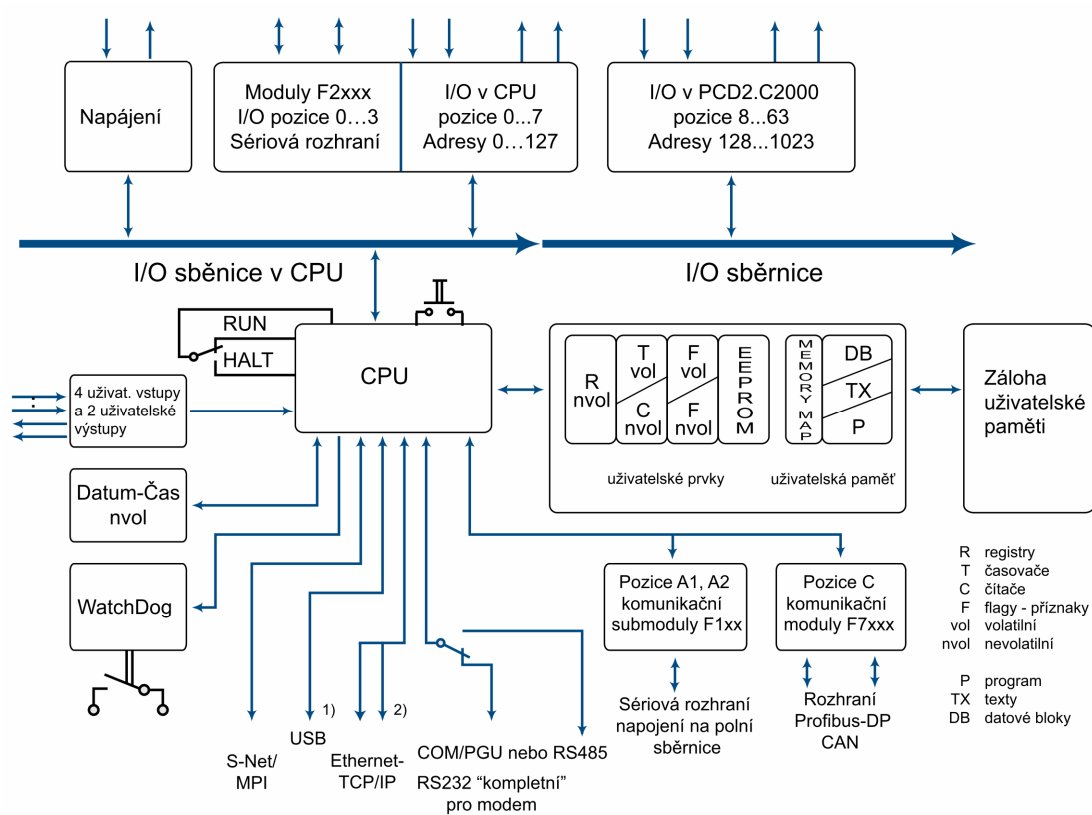
##### 3.1.1 Technické parametry

Automat PCD2.M5540 je nejvybavenější automat své série, obsahuje několik komunikačních rozhraní, 8 pozic pro vstupně výstupní moduly, 2 sloty pro rozšíření paměti a tři sloty pro další komunikační rozhraní. K automatu je možno připojit další rozšiřující základny, s pozicemi pro vstupně výstupní moduly. Celkem tedy automat může

obsluhovat 64 modulů s celkovým počtem 1023 vstupů/výstupů. Jak je vidět z *Obr. 2*, tak je automat připraven i pro připojení malého displeje s ovládacími prvky. Taktéž lze využít jeho vestavěný web server, čímž lze automat ovládat dálkově po síťovém rozhraní, zjišťovat jeho stav a archivovat potřebné parametry. [4]

Ve své základní verzi bez rozšíření automat dle [4] obsahuje:

- 4 vstupy
- 2 výstupy
- 1 MB paměti pro uživatelský program a data
- Komunikační rozhraní:
  - o USB (především pro změnu programu a firmware)
  - o 2x sériové rozhraní (volitelné z RS 232, RS 422 / 485 nebo proudová smyčka 20 mA)
  - o 2x Ethernet rozhraní se switchem pro připojení do sítě



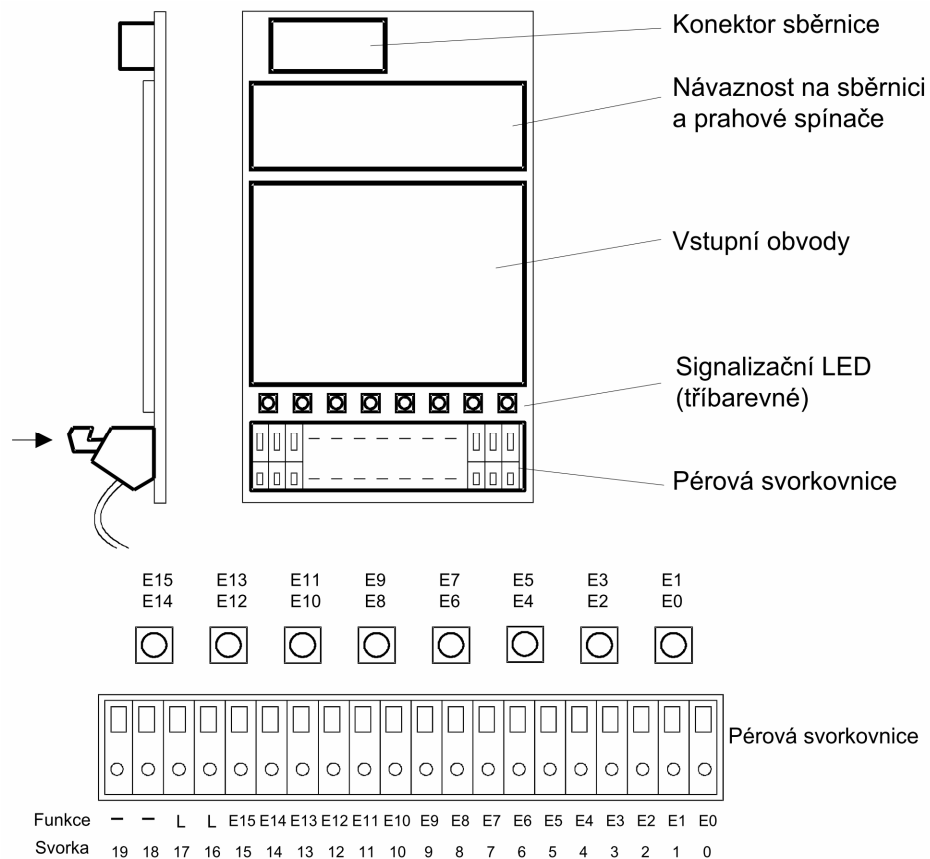
Obr. 3: Blokové schéma PCD2.M5540

### 3.1.2 Vstupně výstupní moduly

Aby bylo možno ovládat proces výroby bionafty, je nutno připojit k automatu několik modulů se vstupy a výstupy.

#### Modul vstupů PCD2.E166

Jedná se o modul se 16 vstupy, který je vhodný jak pro napájená, tak i uzemňovaná čidla. Obsahuje 16 mezi sebou galvanicky neoddělených vstupů, jež mají zpoždění do 0,2ms. Modul je určen pro vstupní napětí 24V DC, vstupní proud 4mA. [4]

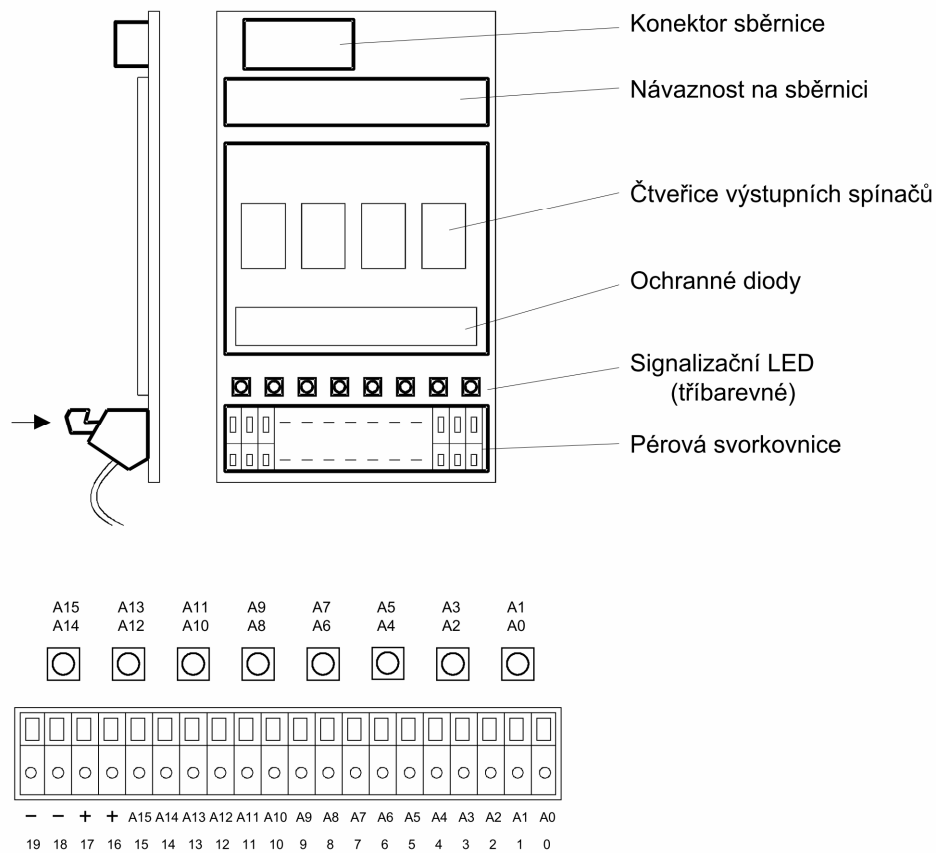


Obr. 4: Mechanické provedení vstupního modulu

#### Modul výstupů PCD2.A465

Tento modul obsahuje 16 tranzistorových výstupů pro proud do 0,5A, s ochranou proti zkratu na výstupu. Tyto vstupy nejsou galvanicky odděleny a pro rozsah napětí 10 – 24 V DC by měla mít zátěž odpor minimálně 48 Ω. Výstupy se připojují pomocí pérové

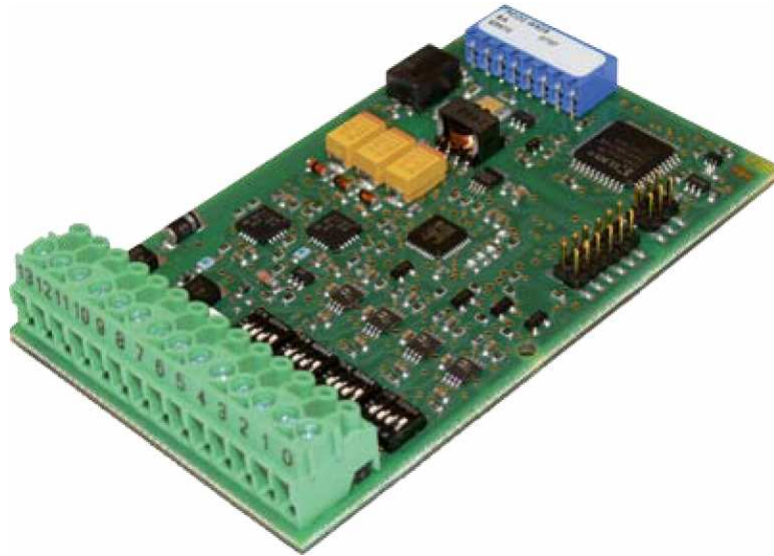
svorkovnice. Jak je vidět z *Obr. 5*, mechanické provedení je téměř shodné jako u vstupního modulu PCD2.E166. [4]



*Obr. 5: Provedení modulu PCD2.A465*

Analogový modul PCD2.W525

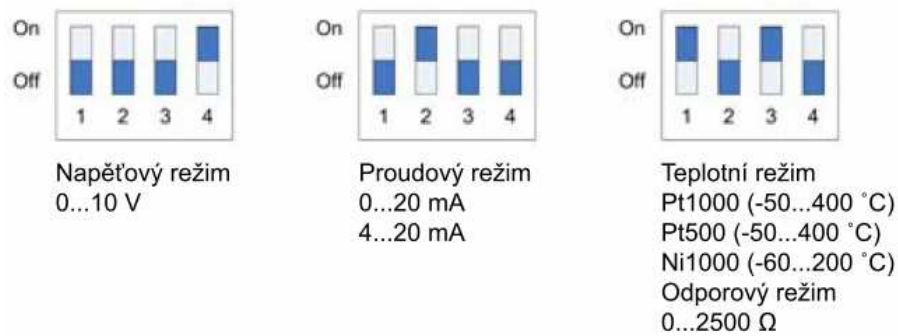
Modul PCD2.W525 je analogový modul se čtyřmi vstupy a 2 výstupy. Jednotlivé vstupy a výstupy jsou samostatně konfigurovatelné pro běžné napěťové a proudové úrovně, jako je 0...10 V, 4...20 mA nebo 0...20 mA. Ke vstupům lze navíc připojit odporové čidla teplot Pt/Ni 1000 nebo Pt 500, popř. odporové vysílače 2500 Ω. Volba vstupu probíhá pomocí DIP přepínačů umístěných na desce modulu, který je zobrazen na *Obr. 6*. [5]



*Obr. 6: Skutečné provedení analogového modulu*

#### **Vstupy (rozlišení 14 bitů)**

- diferenciální napěťové vstupy 0...10 V, rozlišení 0,61mV na LSB (14 bitů)
- diferenciální proudové vstupy:
  - 0...20 mA, rozlišení 1,2  $\mu$ A, na LSB (14 bitů)
  - 4...20 mA, rozlišení 1,2  $\mu$ A, na LSB (13,7 bitu)
- teplota:
  - Pt1000, rozsah -50°C až 400 °C, rozlišení 0,1 °C
  - Ni1000, rozsah -60°C až 200 °C, rozlišení 0,1 °C
  - Pt500, rozsah -50°C až 400 °C, rozlišení 0,2 °C
- odpor 0...2500  $\Omega$ , rozlišení 0,2  $\Omega$
- konfigurace vstupů probíhá dle *Obr. 7*



Obr. 7: Konfigurace vstupů PCD2.W525

### Výstupy (rozlišení 12 bitů)

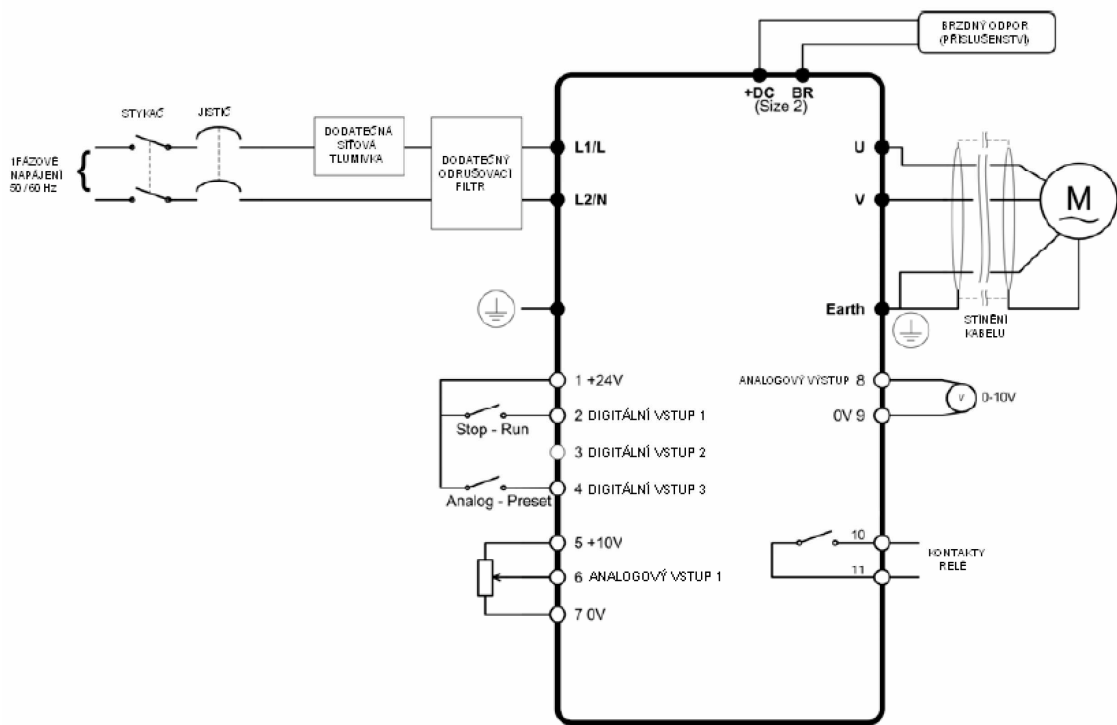
- napětí 0...10 V, rozlišení 2,44 mV, na LSB (12 bitů)
- proud
  - 0...20 mA, rozlišení 4,88 μA, na LSB (12 bitů)
  - 4...20 mA, rozlišení 4,88 μA, na LSB (11,7 bitu)
- vysoká impedance

### 3.2 Frekvenční měnič Optidrive E2 – 1Ph

Jedná se o frekvenční měnič pro jednofázové motory. Frekvenční měnič obsahuje ovládací panel s displejem, na kterém lze zobrazit otáčky motoru (nebo frekvenci napájecího napětí) nebo proud motorem. Samozřejmě je ovládání pomocí několika tlačítek, které slouží i k nastavení parametrů měniče a motoru.

Součástí měniče je již zabudovaný filtr proti rušení, které vzniká při jeho provozu a ochrany proti přetížení motoru a frekvenčního měniče.

Aby bylo možno měnič ovládat i jinak než pomocí tlačítek, obsahuje 4 programovatelné digitální vstupy a analogový vstup 0 - 10V nebo 4 - 20 mA, programovatelný digitální a analogový výstup. Frekvenční měnič je možno ovládat i pomocí rozhraní RS485 za použití protokolu Modbus RTU nebo Optibus. Základní zapojení frekvenčního měniče je zobrazeno na Obr. 8, kdy je měnič ovládán pomocí analogového vstupu. [6]



Obr. 8: Základní zapojení frekvenčního měniče

Na měniči je možno nastavit frekvenci napájecího napětí od 0 do 500 Hz dle použitého motoru a požadovaném rozsahu, rozběhovou rampu a rampu při změně otáček motoru. Tyto měniče jsou určeny pro motory, jejichž příkon nepřesahuje hodnotu 1,1 kW. Pro tyto výkony jsou vyráběny tři typy uvedené v [6], které ukazuje následující tabulka:

Tab. 1: Rozmezí vyráběných frekvenčních měničů

Model	Výkon [kW]	Jmenovitý proud [A]	Odrušovací filtr	Brzdný tranzistor
ODE-2-12037-1KB12-01	0,37	4,3	Ano	Ne
ODE-2-12075-1KB12-01	0,75	7	Ano	Ne
ODE-2-22110-1KB42-01	1,1	10,5	Ano	Ano



Obr. 9: Frekvenční měnič Optidrive E2 – 1Ph

### 3.3 SSR relé RM1A23D25

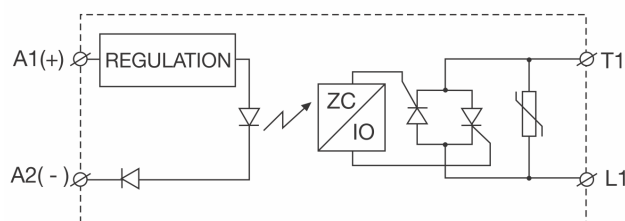


Obr. 10: SSR relé

Jedná se o polovodičové jednofázové relé s antiparalelně zapojenými tyristory. Slouží ke spínání ohmických zátěží, a vzhledem k tomu, že obsahuje i ochranný variátor, lze relé využít i pro ovládání indukčních zařízení, jako jsou motory nebo transformátory. Navíc toto relé lze využít k rychlému spínání zátěže, protože nedochází k opalování mechanických kontaktů, což lze využít pro regulaci výkonu pomocí PWM modulace. Díky faktu, že je zde absence mechanických kontaktů – nedochází k jiskření - je sníženo produkované rušení během sepnutí. Navíc toto relé zátěž spíná pouze tehdy, prochází – li sinusovka napájecího napětí nulovou hodnotu, což omezuje tepelné ztráty a další možnost vzniku rušení.

### Parametry relé [7]

- spínané napětí: 24 ... 265 V AC
- maximální spínaný proud: 25 A
- frekvence spínaného napětí: 45 ... 65 Hz
- ovládací napětí: 3...32 V DC
- maximální vstupní proud ovládacího napětí: 12 mA



Obr. 11: Blokové schéma relé RM1A23D25

### 3.4 Dotykový panel PCD7.D410

Jedná se o webový terminál s dotykovou LCD obrazovkou o velikosti 10,4“, jenž je vyobrazen na Obr. 12.



Obr. 12: Terminál PCD7.D410

LCD obrazovka má rozlišení 640 x 480 bodů a je umístěna v hliníkovém rámu. Její podsvícení je realizováno pomocí LED diod. Celý panel je možno zabudovat jak svisle, tak i vodorovně.

Pro komunikaci s panelem lze využít několik rozhraní:

- Ethernet 10/100 Mbit
- USB 12 Mbit (slouží pro změnu firmware)
- Sériové rozhraní:
  - RS232
  - RS485
  - PS/2 (připojení klávesnice nebo čtečky čárových kódů)

Pro zobrazení internetových stránek webový terminál obsahuje Saia Micro Browser. Pro navázání komunikace je využito protokolu http direct. Panel taktéž obsahuje ftp server, aby bylo možno nahrát požadované soubory do vnitřní paměti o velikosti 4MB. Tato paměť je rozšiřitelná až na velikost 1 GB pomocí SD karty. [8]

### 3.5 GSM modem G10/CM100

Tento modem vyrábí litevská firma Teltonika. Slouží pouze k posílání a příjmu SMS zpráv. [9]



Obr. 13: Modem G10/COM100

Tento modem je sice určený k použití s osobním počítačem, nicméně po výměně dodávaného sériového kabelu lze použít i s PLC Saia PCD2.M5540. Je nutno použít nekřížený propojovací kabel s 9 - pinovými konektory CANONN – Male. Komunikace využívá rozhraní RS232 a pro napájení modemu je dodáván 9V adaptér.

Modem nevyžaduje konkrétní SIM kartu od určitého telefonního operátora, nicméně je potřeba, aby nebyla chráněna kódem PIN.

Komunikace PLC a modemu je zajištěna pomocí Fboxů v programovacím prostředí PG5, kdy po nastavení parametrů komunikace a nastavení telefonního čísla SMS centra je možno běžně zasílat a přijímat textové zprávy. V obsahu zprávy může být jak text, tak i hodnoty proměnných. Samozřejmě lze nastavit hodnota proměnné při příjmu SMS zprávy.

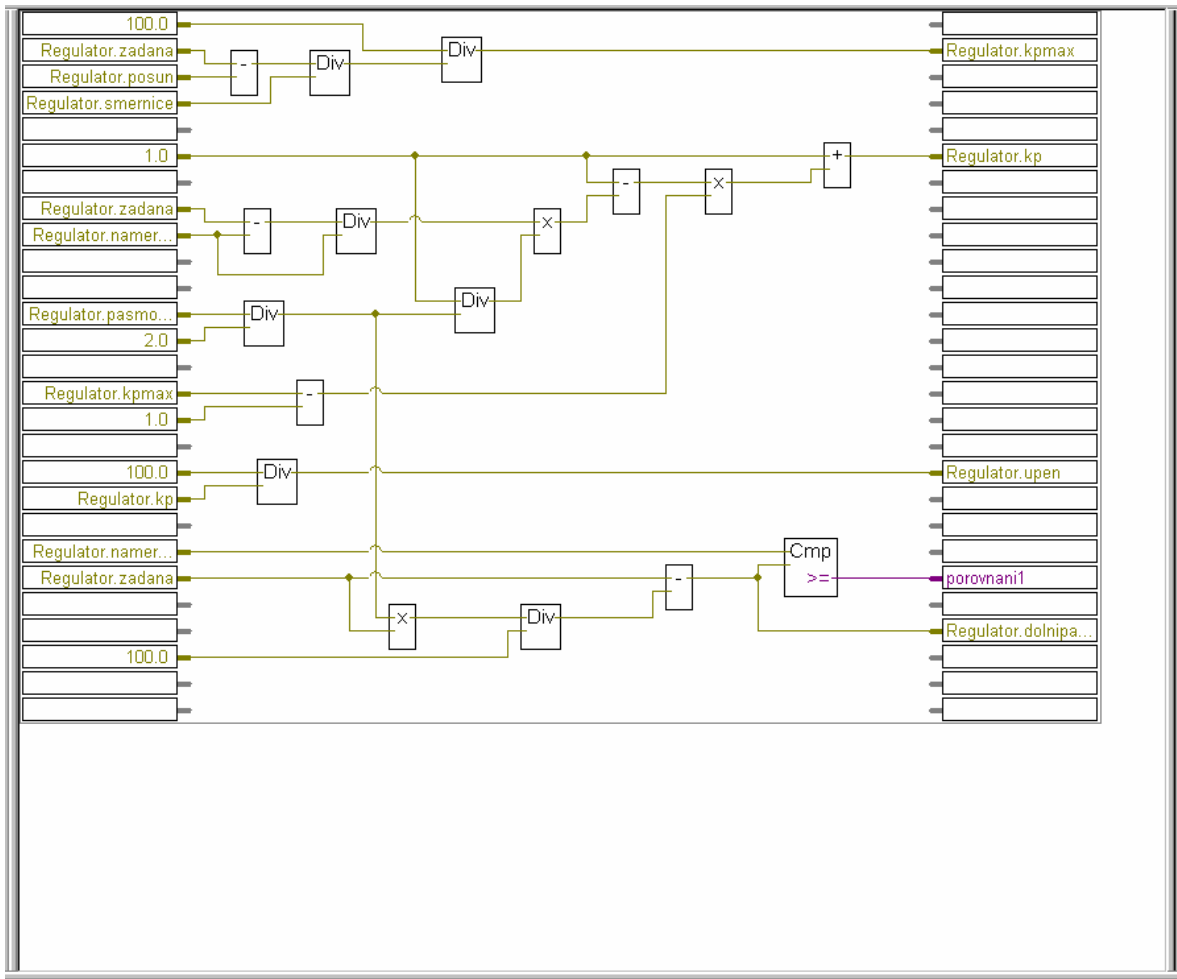
### 3.6 Programovací prostředí PG5 1.4 a Saia S-web editor

#### Programovací prostředí PG5

Programovací prostředí PG5 slouží k vytvoření programů pro většinu programovatelných automatů, které vyrábí firma Saia. Nyní je PG5 nabízen ve dvou verzích, a to 1.4, které je určeno pro systémy Windows XP a starší, a v novější verzi 2.0, která je funkční i v systémech Windows Vista a 7. Rozdíl mezi těmito verzemi není velký, spíše je patrný rozdíl v grafickém provedení.

Programovat PLC automaty je možné pomocí instrukcí (soubory \*.src) nebo v grafickém režimu (soubory \*.fup). Vlastní programování v grafickém režimu se provádí pomocí Fboxů, které zahrnují většinu potřebných operací pro práci s proměnnými, vstupy a výstupy, čítači a časovači a mnoho dalších speciálních funkcí.

Jak je vidět z *Obr. 14*, plocha pro vytvoření programu obsahuje po levé a pravé straně konektory, ke kterým se připojují fboxy ovládající proměnné v programu (na obrázku většina pro aritmetické operace). Ty mohou být lokální pro daný soubor \*.fup nebo globální pro celý program. Dle standardního nastavení se Fboxy vybírají po levé straně pracovní plochy. Pokud by nám tato nestačila, tak lze po její pravé straně přidávat další stránky, ve kterých lze pokračovat s programem.



Obr. 14: Prostor s vlastním programem

Pro programování sekvenčních úloh je k dispozici grafické rozhraní (soubory \*.sfc), v němž lze vkládat bloky pro vykonání programu (Step mode) a bloky, v kterých je program vykonáván cyklicky do té doby, pokud nebude námi definovaná podmínka splněna (Transition mode). Tyto bloky lze vidět na následujícím obrázku:



Obr. 15: Bloky Step mode (3) a Transition mode (4)

### S-Web editor

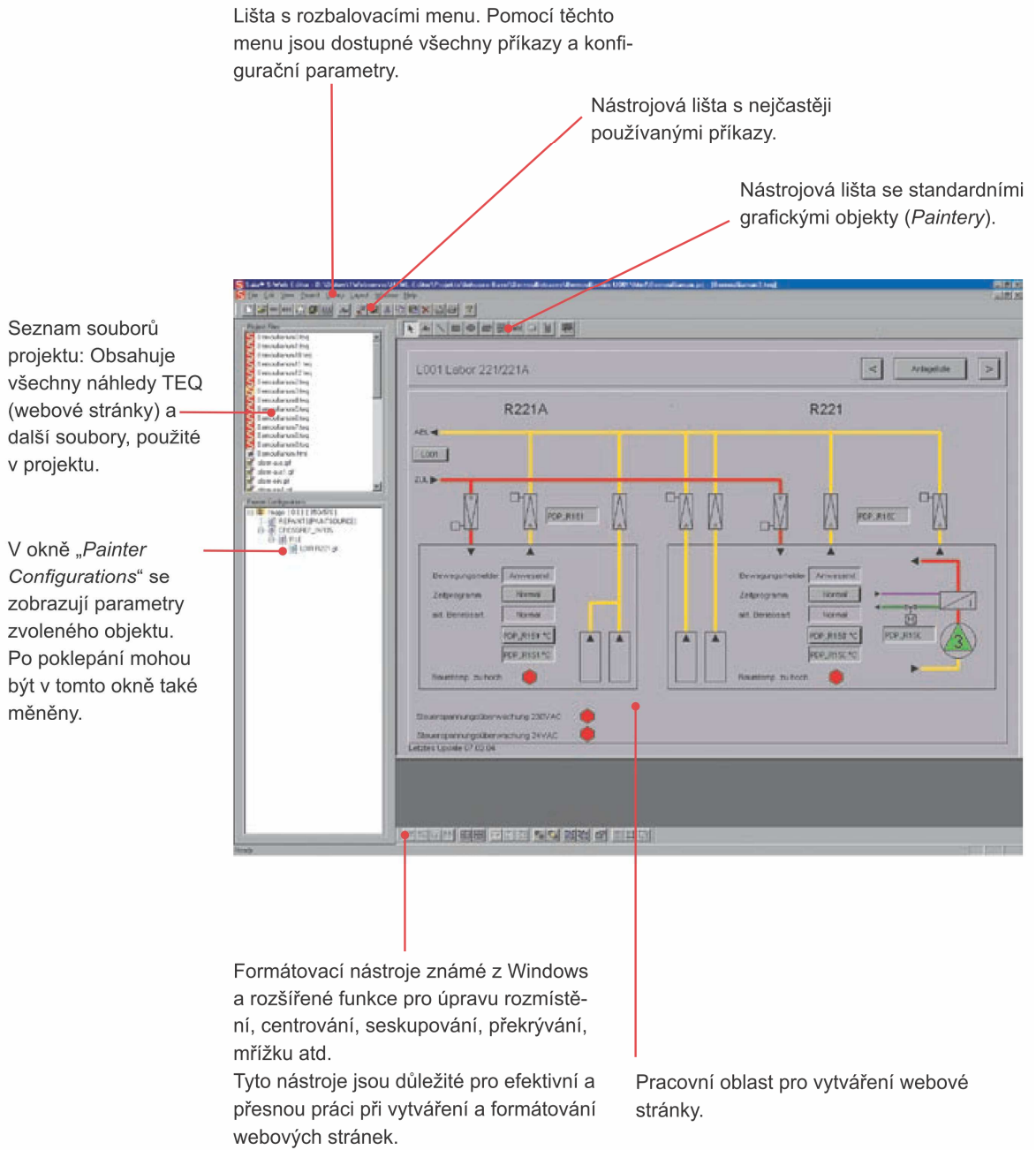
S-Web editor je nástroj sloužící především k programování webového HMI daného zařízení nebo procesu, ve kterém je použit PLC automat Saia. Tyto stránky lze zobrazit v běžném internetovém prohlížeči (Mozilla Firefox, Internet Explorer apod.) nebo na LCD displejích vyráběných právě pro tento účel (např. PCD7.D410).

Webové stránky se vytváří za pomoci souborů \*.teq, ve kterých se navrhne rozložení a vzhled jednotlivých prvků. U většiny těchto prvků lze měnit jejich vlastnosti, jako třeba vzhled, rozměry a zda využívají proměnnou použitou v programu PLC, která ovšem musí být globálního charakteru. Pomocí některých prvků lze ovlivňovat stav a hodnoty proměnných. Všechny proměnné při použití v s-web editoru musí mít definován jejich formát (bin, integer apod.). Také lze definovat jejich jednotku, která může být zobrazena za jejich číselnou hodnotou. Pro složitější funkce lze nadefinovat různé makra, nebo využít maker, která jsou obsažena v S-web editoru. Jako příklad lze využít makra pro zobrazení historie a průběhu hodnot jedné až několika proměnných, kdy lze celou historii uložit na pevný disk počítače. Běžná pracovní plocha s popisem základních ovládacích prvků je vidět na *Obr. 16*.

Aby bylo možno využívat vytvořených webových stránek v projektu, je nutno při vytváření programu přidat soubor \*.prj, v němž je uloženo celé zobrazení.

Po dokončení návrhu je nutno soubory nahrát do web serveru automatu PLC, což se děje za pomoci souboru \*.wps, v němž jsou uloženy soubory, které se mají zkompileovat a zároveň s downloadem řídicího programu nahrát do paměti programovatelného automatu.

Při větších požadavcích na paměť, především při rozsáhlých projektech, lze využít možnosti uložení některých souborů do rozšířené paměti PLC automatu nebo do paměti zobrazovacího displeje (např. PCD7.D410), která lze taktéž rozšířit až na velikost 1GB.



Obr. 16: Běžná pracovní plocha v S-Web editoru [10]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ELEKTRO-MECHANICKÉ PROVEDENÍ ZAŘÍZENÍ

Celé zařízení jsem navrhnul tak, aby ho bylo možno bez velkých problémů kdykoliv rozšířit. Proto je zde několik nevyužitých polovodičových relé, napájecí zdroje jsou také dimenzovány na větší odběr, především zdroj 12V, který je nyní využíván pouze ventilátorem pro odvod teplého vzduchu z rozvaděčové skříně nebo konektor CANONN 25F, jenž má využité 4 kontakty.

Jak je vidět ze schématu zapojení silové části (Příloha P I), tak je využito 4 jističů 10A/B. Tyto jsem rozdělil tak aby byly proudy rovnoměrně rozděleny a aby bylo možno vypnout jednotlivé skupiny – dvě skupiny po 4 SSR relé, frekvenční měnič pro motor a skupina se zdroji 12V DC a 24V DC a zásuvkovou lištou s adaptérem pro GSM modem. Pátý jistič je rezervní pro případné budoucí rozšíření.

Celé zařízení se dá vypnout dvoupólovým (rozpojuje se fázový i nulový vodič) podsvíceným vypínačem dimenzovaným na proud 16A.

Zapojení nízkonapěťové části spočívá především v rozvedení napájecího napětí 24V DC do automatu, jednotlivých modulů v PLC automatu a zapojení výstupů z automatu k jednotlivým polovodičovým relé a frekvenčního měniče, což je vidět ve schématu v příloze Příloha P II. Propojení GSM modemu a automatu PLC je provedeno pomocí nekříženého kabelu CANONN 9M. K napájení tohoto modemu je využito dodávaného adaptéru 9V, jenž je připojen do zásuvkové lišty.

Propojení dotykového LCD displeje a PLC automatu zajišťuje UTP patch kabel cat5e s konektory RJ45. Napájení tohoto displeje je běžných 24V DC.

Veškeré elektronické komponenty jsem umístil do rozvaděčové skříně Hager, typ FL167A, což je ocelový rozvaděč s prosklenými dvířky, jež má vnější rozměry 400 x 650 x 200 mm [11]. Vzhledem k tomu, že toto sklo bylo pro větší odolnost kalené a z tohoto důvodu do něj nebylo možno vyříznout otvor, muselo být vyměněno za plexisklo, do kterého byl vyříznut otvor a do něj umístěn dotykový panel PCD7.D410, který slouží k vizualizaci procesu výroby bionafty. Do horní desky a do dna byl vyřezán otvor o průměru 80 mm pro větrání. Tento byl překryt kovovou mřížkou a byl zde umístěn ventilátor, který teplý vzduch vyfukuje.

Konektor pro hlavní přívod napájení je umístěn na zadní straně rozvaděče a v jeho blízkosti je z boční strany umístěn hlavní vypínač síťového napětí 230V AC. Na této straně je taktéž umístěn konektor CANONN 25F pro připojení dvou teploměrů Pt1000.

Ve dně je taktéž umístěno 9 kusů průmyslových konektorů Switchcraft, typ EN3P3M16X, jenž slouží pro připojení topného tělesa a dalších zařízení. Tyto konektory jsou stavěny na maximální proud 13A a napětí 1000V AC.

Do rozvaděče byl na zadní stranu upevněn ocelový plech, který slouží k připevnění dalších zařízení. Tento plech byl ohnut tak do tvaru U, aby se zabránilo jeho prohnutí a byla zvýšena jeho pevnost. Na něj je přišroubován PLC automat Saia, typ PCD2.M5540 se zapojenými I/O moduly (2x PCD2.A465, 1x PCD2.E166, 1x PCD2.W525), frekvenční měnič firmy Invertek, 5 jističů 10A/B, svorkovnice a zásuvková lišta, do které se připojuje napájecí adaptér pro GSM modem.

Pro úsporu místa na panelu byly napájecí zdroje 24V DC a 12V DC umístěny na boční stranu rozvaděče, kde je taktéž umístěn GSM modem G10/COM1000. Jeho anténa je vyvedena skrz průchodku na horní stranu rozvaděče, kde je uchycena díky vestavěnému magnetu v těle antény.

Všechny polovodičové relé RM1A23D25 jsou umístěny na hliníkovém plechu tloušťky 2 mm, aby bylo zajištěno jejich chlazení. Pomocí tohoto plechu, který byl ohnut, jsou připevněna k boční stěně rozvaděčové skříňě.



*Obr. 17: Rozvaděč FL167A s průhlednými a plnými dvířky*

## 5 NÁVRH STRUKTURY REGULÁTORU PRO REGULACI TEPLoty

### 5.1 Identifikace přechodové charakteristiky ohřevu

Abych mohl správně zvolit strukturu regulátoru a vypočítat jeho parametry, musel jsem provést identifikaci. Měření jsem provedl pro výkon topení od 4% do 6% . Vyšší výkony jsem nemohl použít, protože těsnění v pračce je vyráběno pouze do teploty 85°C a při jejím překročení by hrozilo jeho poškození s následnou netěsností.

Při jednotlivých měřeních byla frekvence napájecího napětí motoru nastavena na 18 Hz. Při tomto nastavení nehrozilo jeho zastavení motoru vlivem tření v jeho ložiscích a převodech.

#### 5.1.1 Statická charakteristika

Měření statické charakteristiky jsem provedl pro tři body, a to 4%, 5% a 6% výkonu topení. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v následující tabulce a v *Graf 2* je zobrazen průběh. V tomto grafu je vidět i přímka, která je těmito body proložena a má rovnici

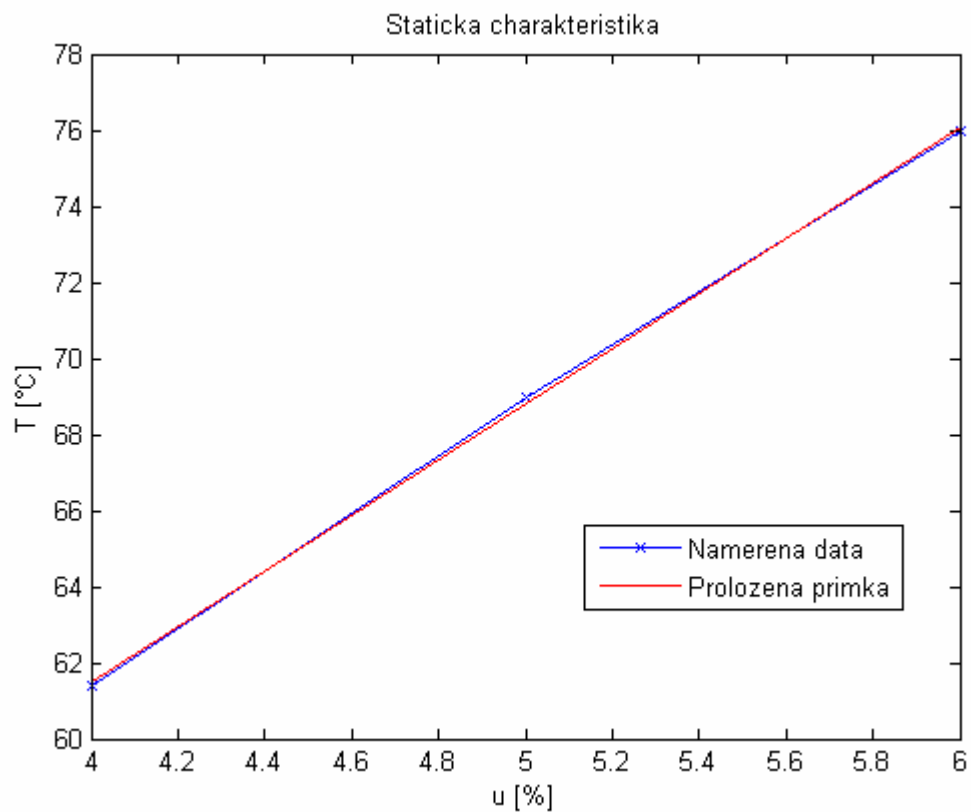
$$y = 7,3x + 32,3 \quad (4)$$

Jak je vidět z grafu, soustava se dá považovat za lineární, neboť odchylky od naměřených bodů od proložené přímky jsou minimální.

Výpočet parametrů přímky jsem provedl v programu Matlab za pomoci funkce polyfit ve vlastním skriptu, v němž provádím i výpočet parametrů přechodové charakteristiky.

*Tab. 2: Naměřené hodnoty statické charakteristiky*

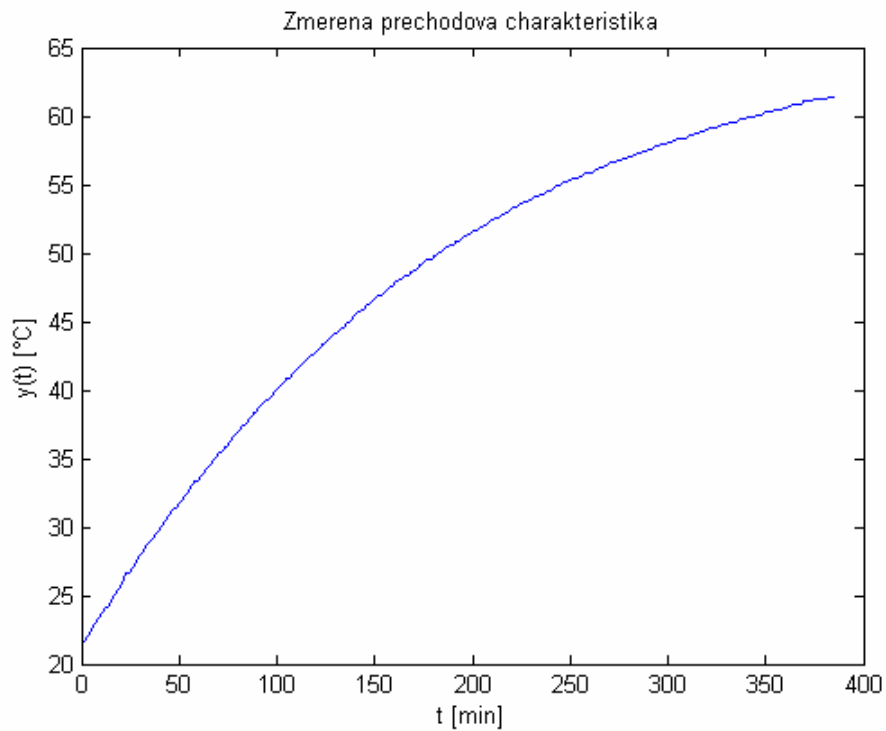
Měření č.	Výkon topení [%]	Teplota [°C]
1	4	61,4
2	5	69,0
3	6	76,0



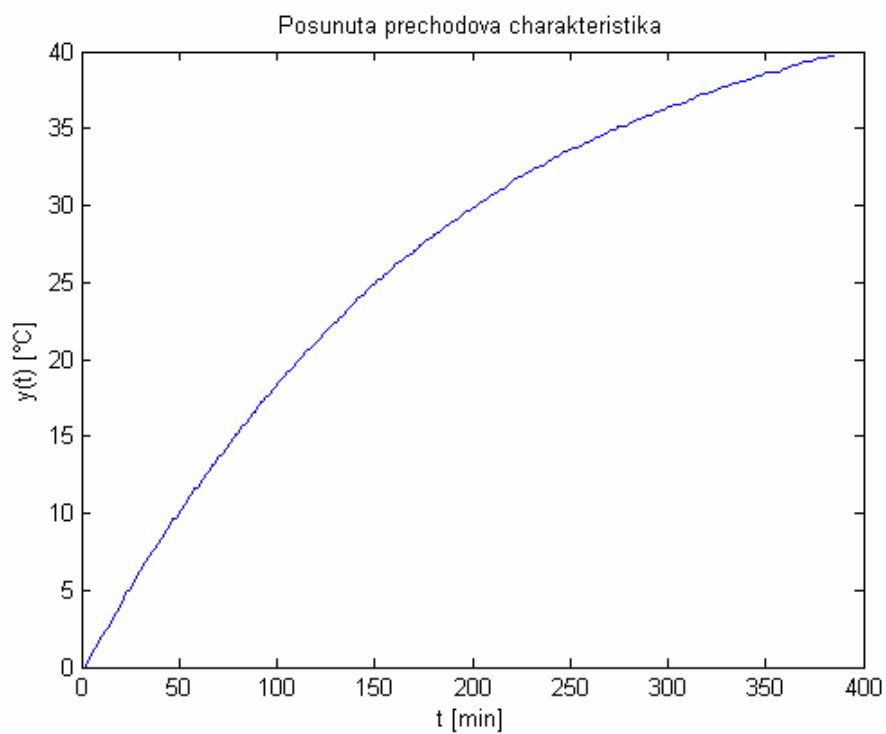
Graf 2: Statická charakteristika

### 5.1.2 Přechodová charakteristika

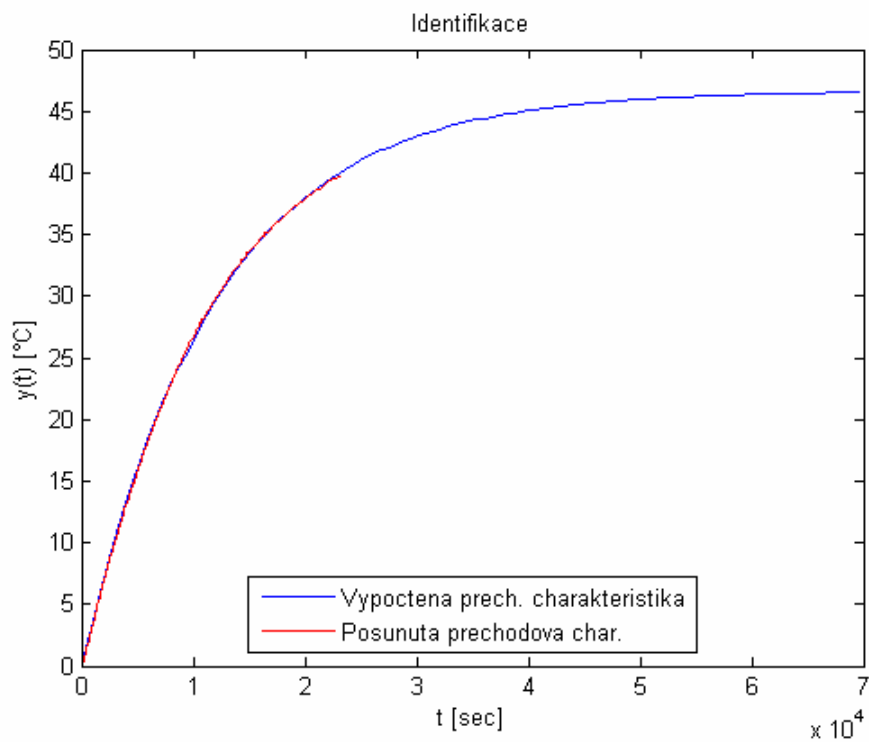
Měření jsem provedl pro tři různé změny výkonu, a to z 0% na 4%, z 0% na 5% a ze 4% na 6%. Jak je vidět z následujících grafů, jedná se o stabilní soustavy prvního řádu. Identifikaci jsem provedl v programu Matlab numerickou metodou za pomoci funkce `fminsearch`. Tato funkce se snaží minimalizovat kvadratické odchylky naměřených hodnot od hodnot vypočítaných.

Změna výkonu ohřevu z 0% na 4%

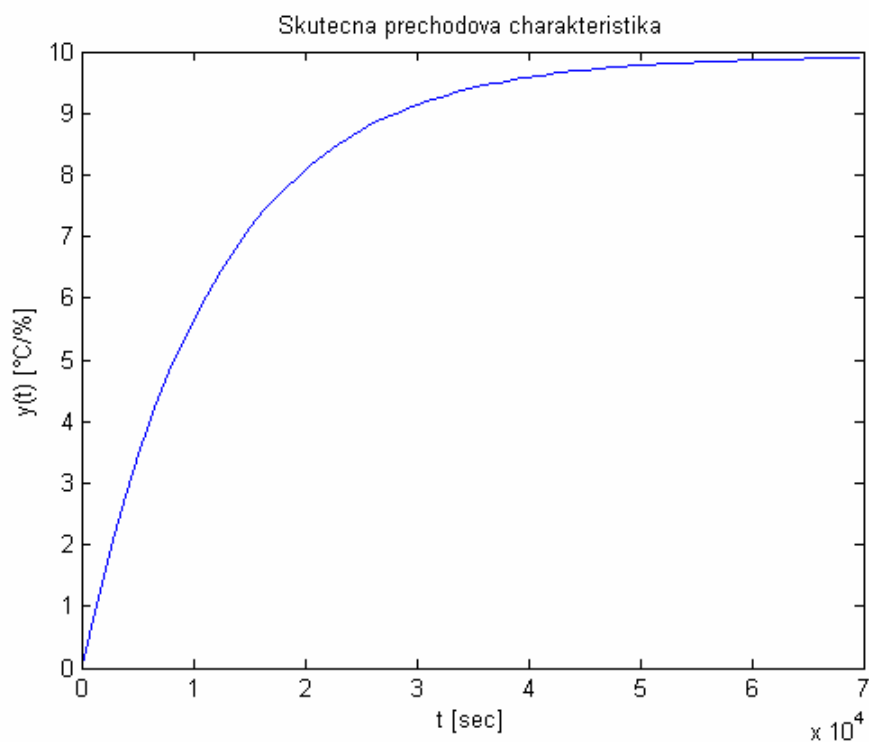
Graf 3: Změřená přechodová charakteristika pro změnu výkonu topení z 0% na 4%



Graf 4: Posunutá přechodová char. pro změnu 4%



Graf 5: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 4%

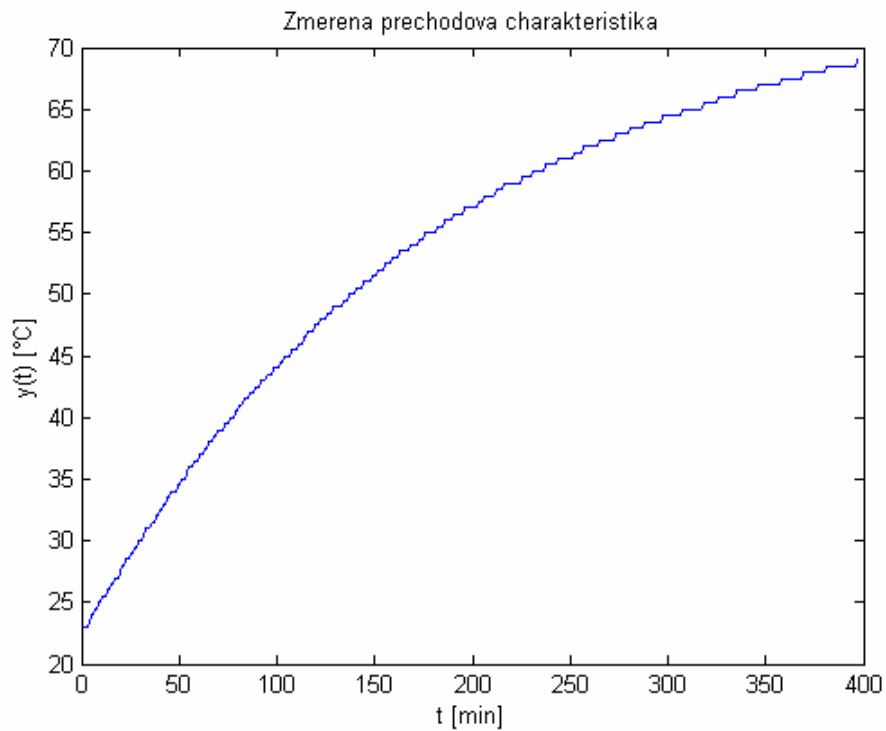


Graf 6: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 4%

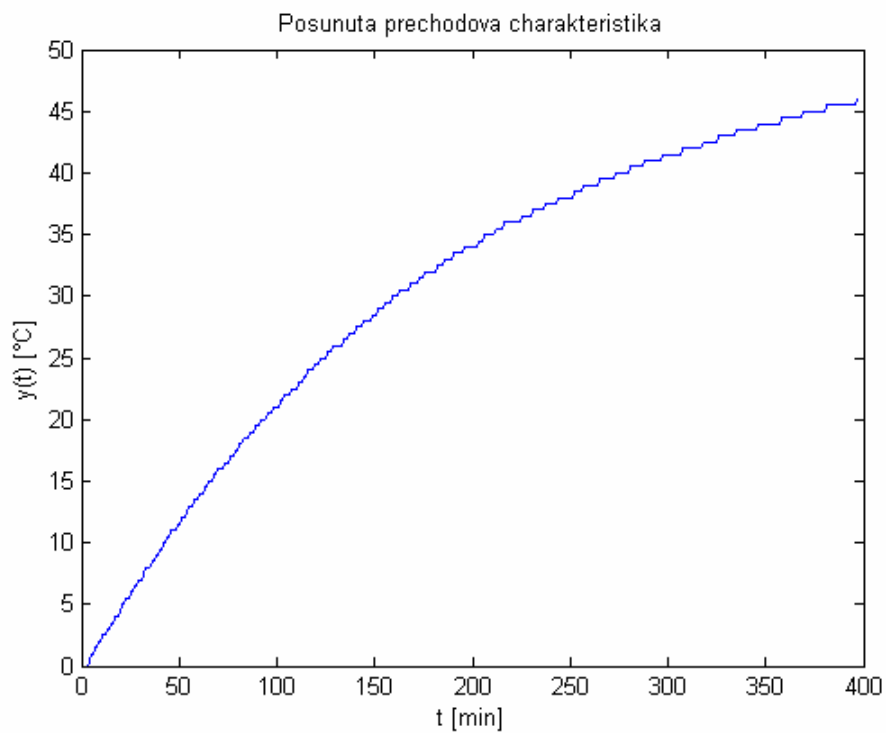
Vypočtený přenos tohoto systému  $G(s) = \frac{9,925}{11897s + 1}$  pro změnu z 0% na 4%

výkonu ohřevu.

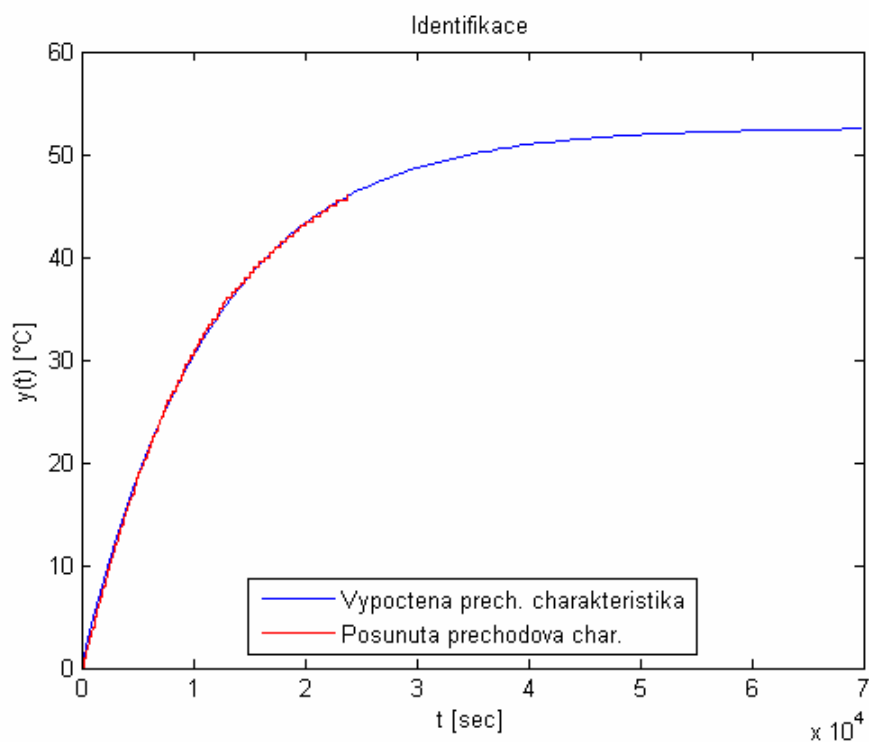
Změna výkonu ohřevu z 0% na 5%



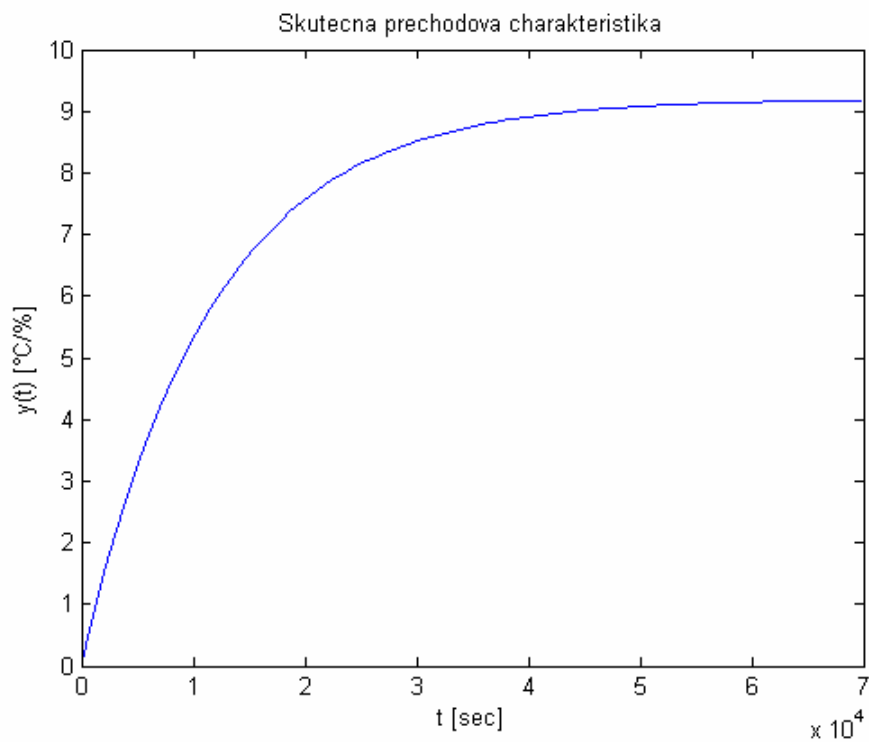
Graf 7: Změřená prechodová charakteristika pro změnu výkonu topení z 0% na 5%



Graf 8: Posunutá přechodová char. pro změnu 5%



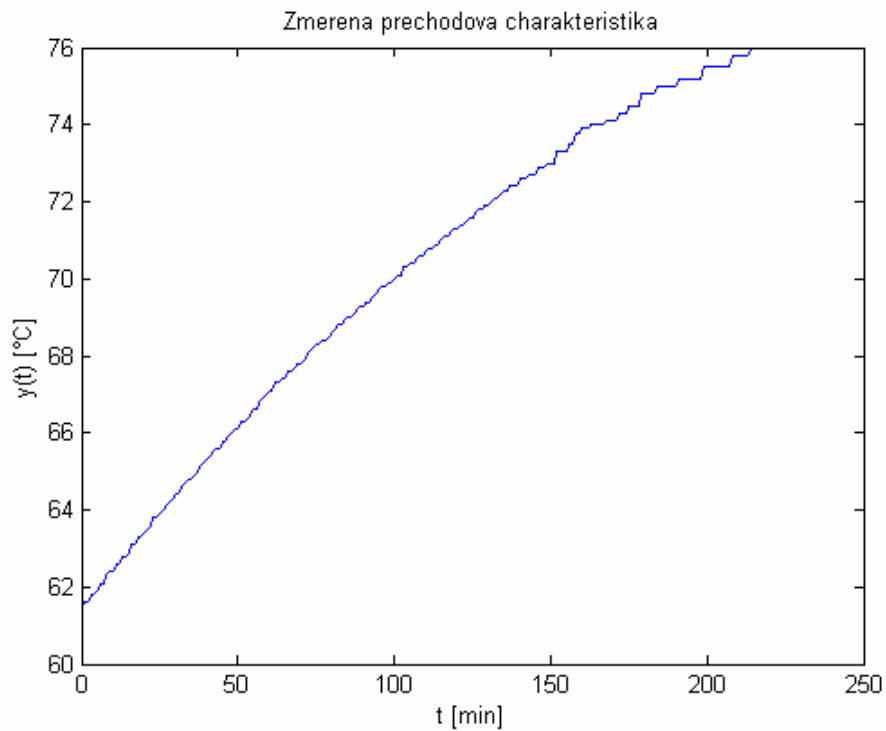
Graf 9: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 5%



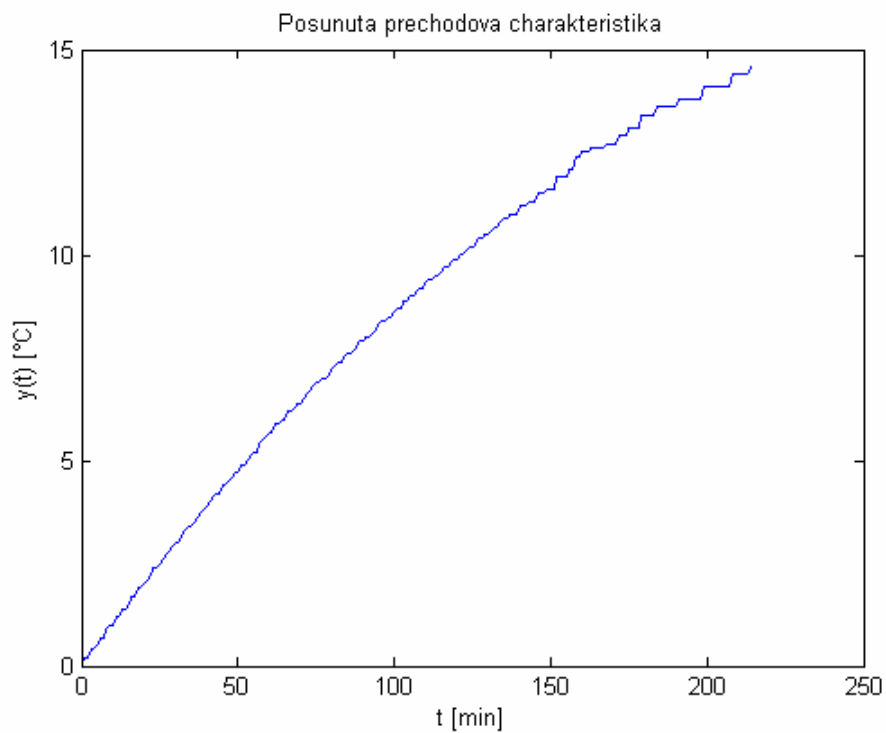
*Graf 10: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 5%*

Vypočtený přenos tohoto systému  $G(s) = \frac{9,2}{11582s + 1}$  pro změnu z 0% na 5%

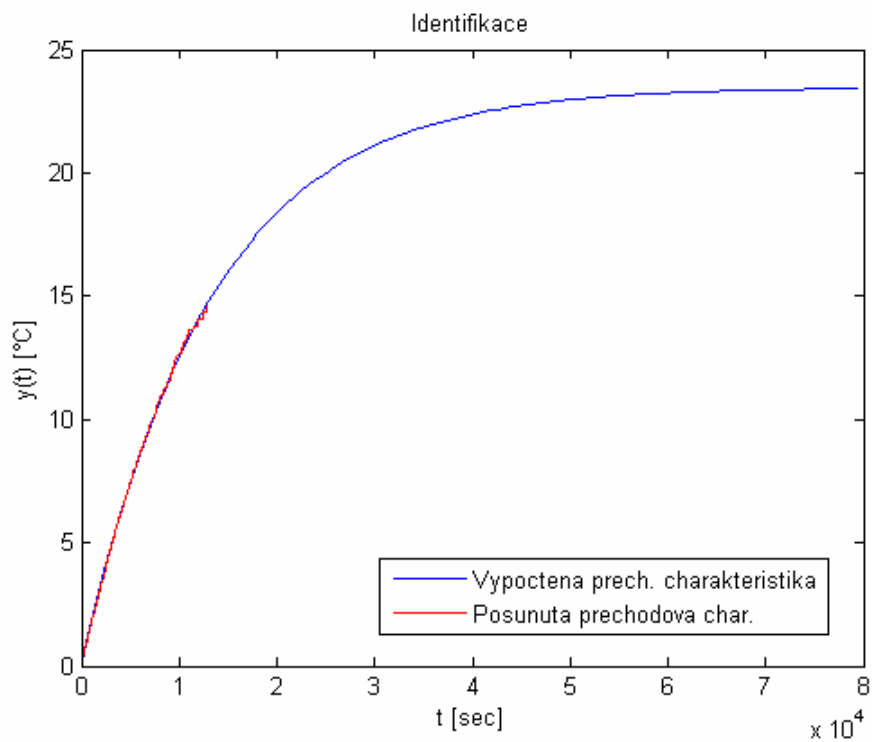
výkonu ohřevu.

Změna výkonu ohřevu ze 4% na 6%

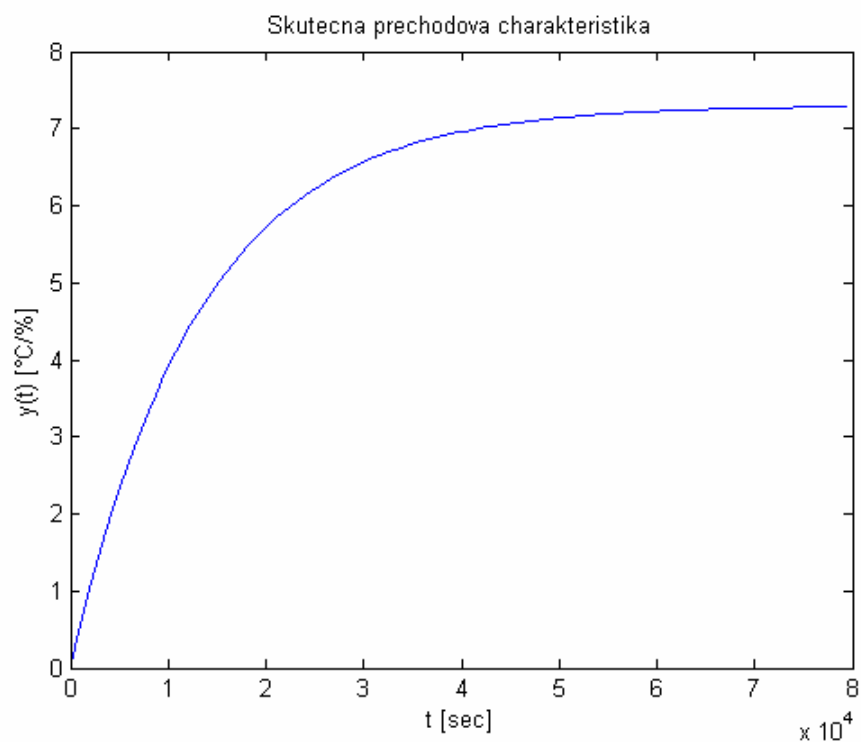
Graf 11: Změřená přechodová char. pro změnu výkonu topení z 4% na 6%



Graf 12: Posunutá přechodová char. pro změnu 2%



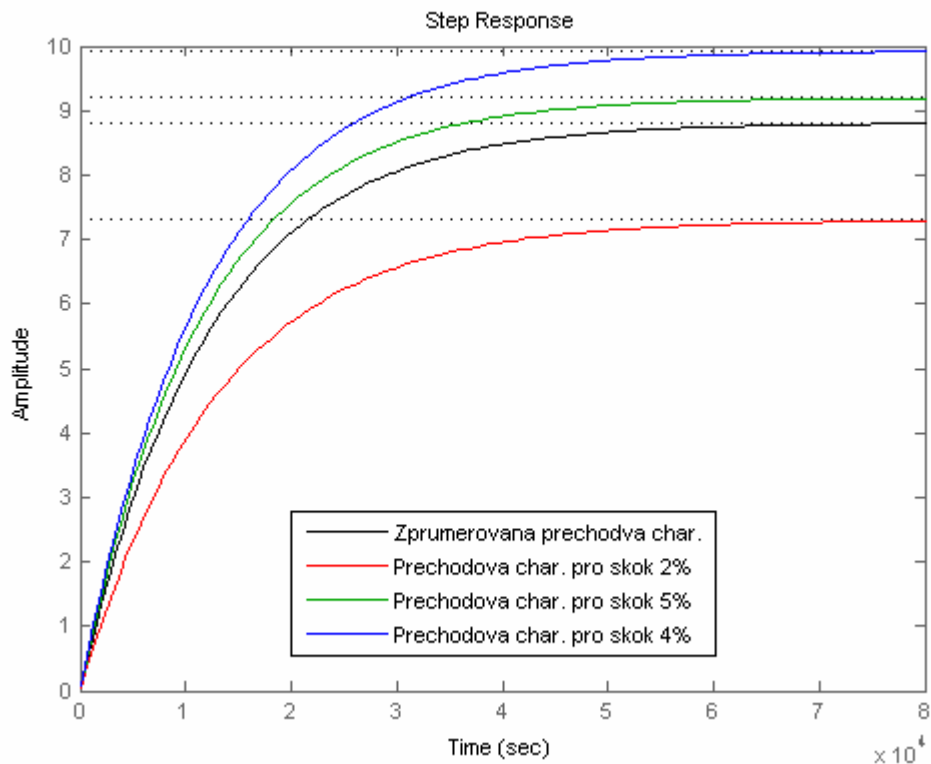
Graf 13: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 2%



Graf 14: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 2%

Vypočtený přenos tohoto systému  $G(s) = \frac{7,3}{13077s + 1}$  pro změnu ze 4% na 6% výkonu ohřevu.

Vypočtené přenosy jsem zprůměřňoval a dostal tak přenos  $G(s) = \frac{8,808}{12185,3s + 1}$ , jehož přechodová charakteristika je zobrazena v následujícím grafu. Jak vyplývá z přenosu, jedná se o aperiodickou soustavu prvního řádu.



Graf 15: Zprůměřňovaná přechodová charakteristika a jednotlivé charakteristiky

## 5.2 Stanovení regulátoru

Pro výše identifikovanou soustavu prvního řádu postačuje pro řízení teploty dvupolohový regulátor s penalizací nebo PID regulátor vypočtený metodou inverze dynamiky.

### 5.2.1 Dvupolohový regulátor s penalizací

Tento regulátor pro svou funkci potřebuje znát pouze statickou charakteristiku, jež jsem změřil a je zobrazena v Graf 2. Protože je systém lineární, regulátor může být bez

problémů použit. Jedná se prakticky o dvoupolohový regulátor, nicméně díky použité modifikaci je akční veličina v okolí žádané hodnoty penalizována, čímž je dosaženo menších překmitů. Penalizační konstanta se vypočítá podle následujícího vztahu

$$k_p = 1 + \left( 1 - \frac{w - y}{y} \cdot \frac{1}{\frac{p_p}{2}} \right) \cdot (k_{p \max} - 1) \quad (5)$$

kde  $k_p$  - penalizační konstanta

$w$  - žádaná hodnota

$y$  - regulovaná veličina

$p_p$  - pásmo penalizace

$k_{p \max}$  - maximální velikost penalizační konstanty

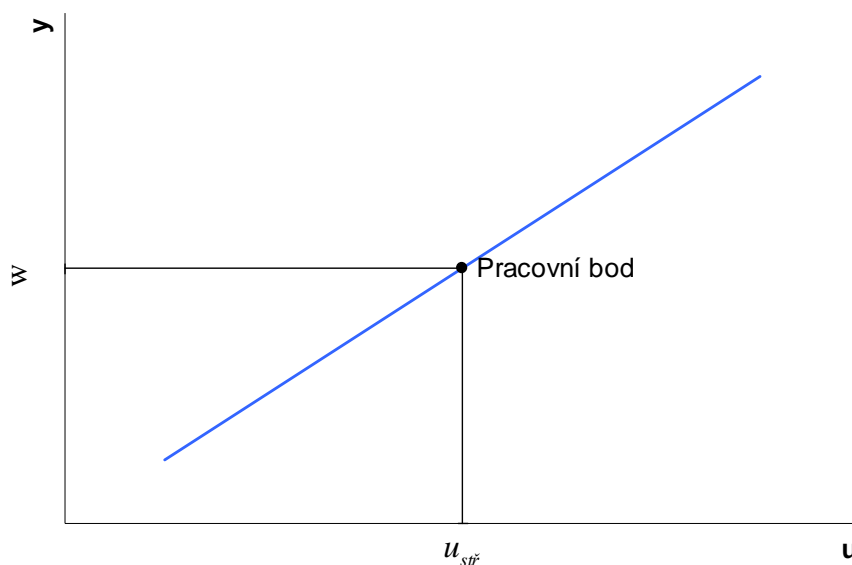
Maximální velikost penalizační konstanty se vypočte pomocí vztahu

$$k_{p \max} = \frac{u_{\max}}{u_{stř}} \quad (6)$$

kde  $u_{\max}$  - maximální velikost akčního zásahu

$u_{stř}$  - hodnota akčního zásahu v pracovním bodě

Hodnotu akčního zásahu v pracovním bodě odečteme dle *Graf 16* z námi změřené statické charakteristiky pro zvolený pracovní bod.



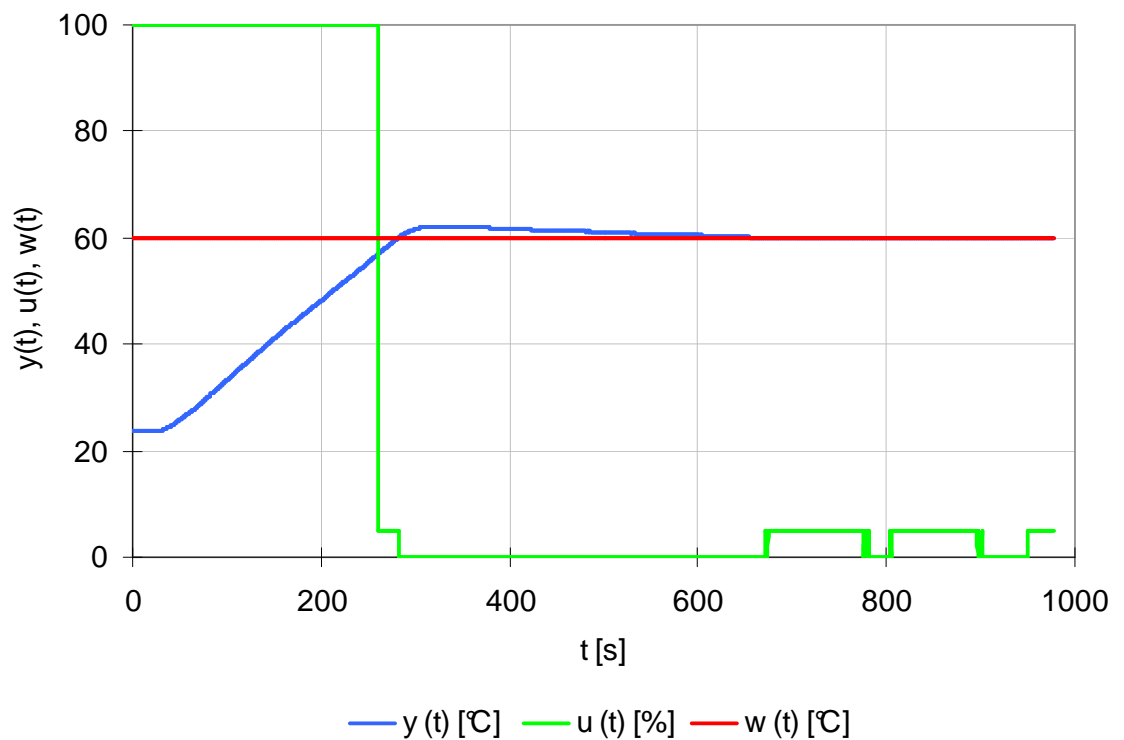
Graf 16: Odečtení  $u_{stř}$  ze statické charakteristiky

V tomto případě se velikost akčního zásahu vypočte podle vztahu

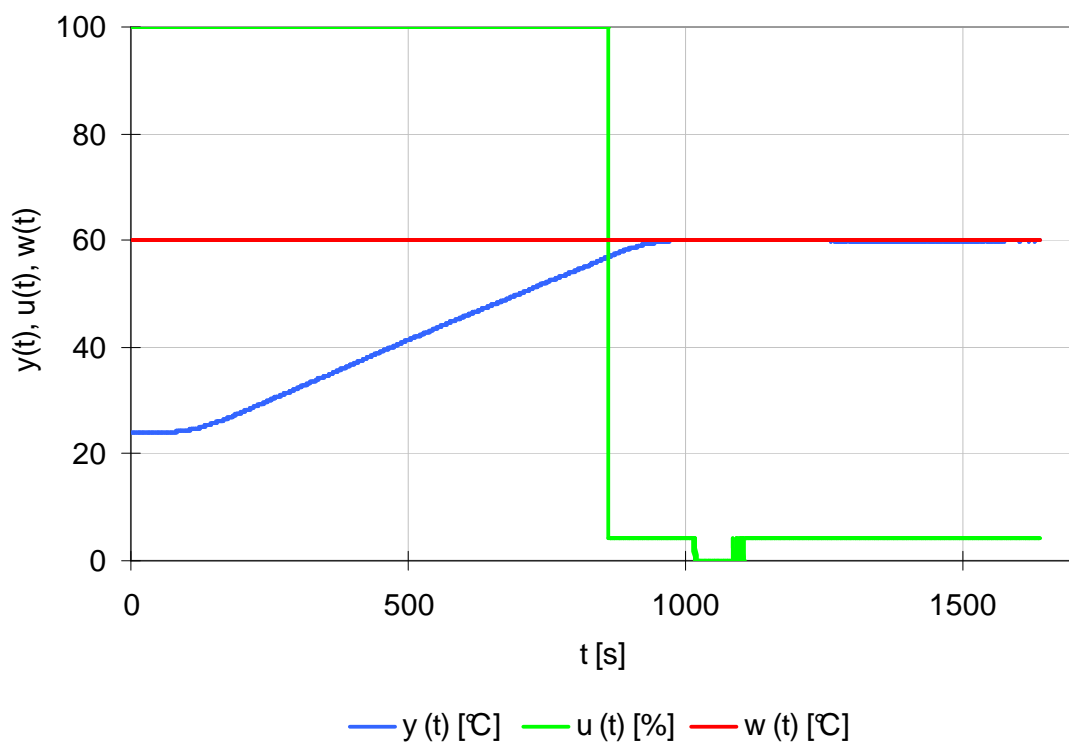
$$u_{pen} = \frac{u_{max}}{k_p} \quad (7)$$

Tento regulátor jsem naprogramoval do PLC automatu, kde řídí teplotu vsádky. Veškeré parametry jako je  $k_p$ ,  $u_{stř}$  apod. si vypočítá ze zadané statické charakteristiky a požadované teploty vsádky.

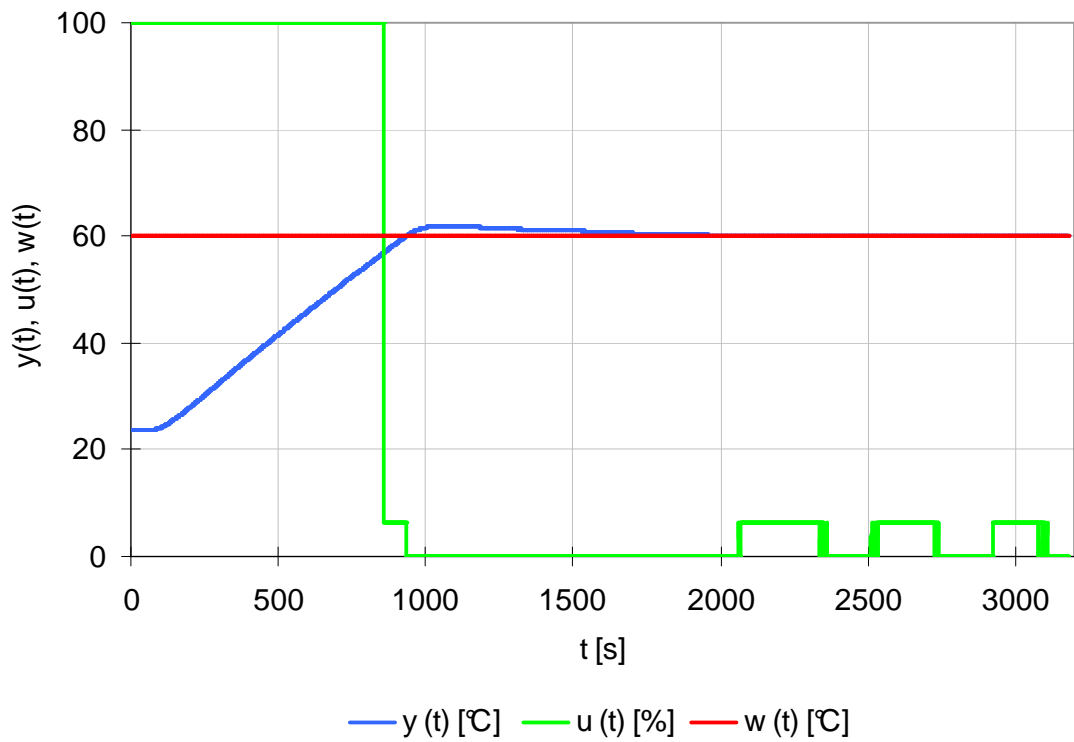
Na následujících grafech je vidět ověření funkčnosti regulátoru pro jeho různá nastavení.



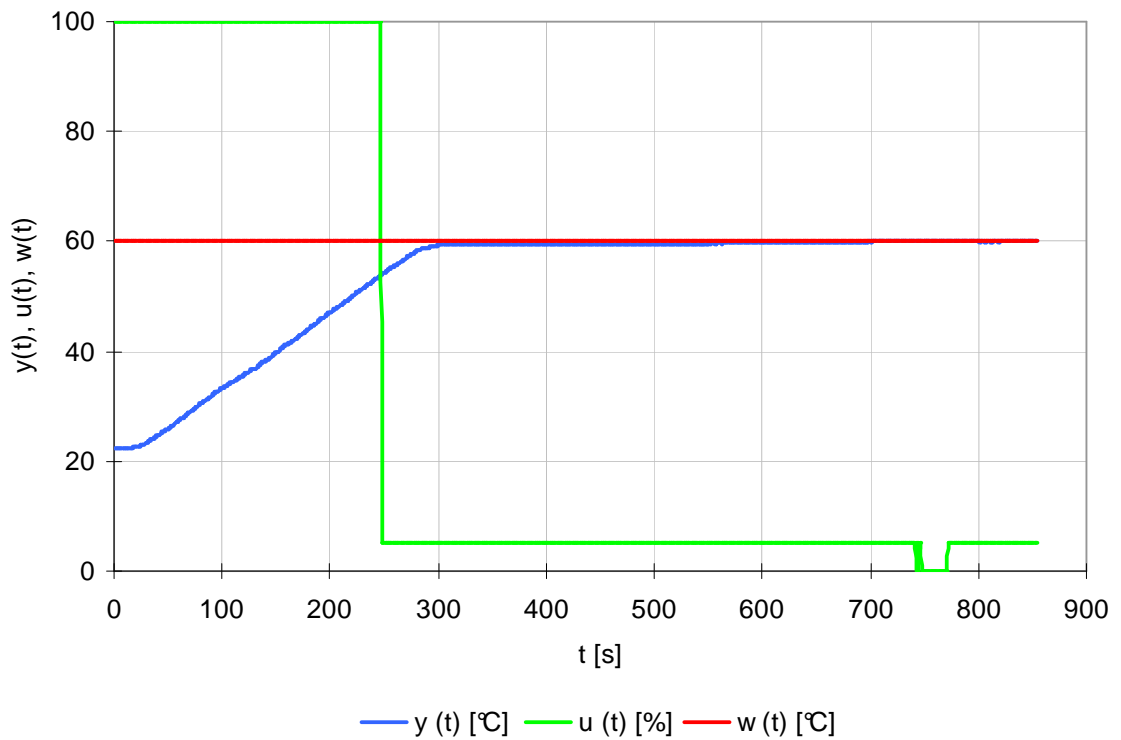
Graf 17: Ověření regulátoru pro  $p_p = 10\%$  a  $w = 60^\circ\text{C}$ ,  $k_{p\max}$  vypočteno ze statické charakteristiky a žádané hodnoty



Graf 18: Ověření regulátoru pro  $p_p = 10\%$   $w = 60^\circ\text{C}$  a  $1,2 k_{p\max}$



Graf 19: Ověření regulátoru pro  $p_p = 10\%$   $w = 60^\circ\text{C}$  a  $0,8 k_{p\max}$



Graf 20: Ověření regulátoru pro  $p_p = 20\%$   $w = 60^\circ\text{C}$ ,  $k_{p\max}$  vypočteno ze statické charakteristiky a žádané hodnoty

Jak je vidět z *Graf 18* a *Graf 19*, bylo změněno  $k_{p\max}$  vůči původnímu v *Graf 17*. Při zvýšené hodnotě dochází k menším překmitům, nicméně pokud by byla tato hodnota změněna příliš, nemuselo by dojít k dosažení požadované veličiny. Při snížení hodnoty  $k_{p\max}$  dochází k větším překmitům regulované veličiny. Pokud by  $k_{p\max}$  bylo neúměrně zmenšeno, regulátor by se začal chovat téměř jako dvoupolohový.

### 5.2.2 PID regulátor určený metodou inverze dynamiky

Pro výpočet PID regulátoru metodou inverze dynamiky je potřeba znát přenos regulované soustavy, kterou jsem identifikoval a dosahuje hodnoty  $G(s) = \frac{8,808}{12185,3s + 1}$ , jak je uvedeno výše.

Výpočet parametrů regulátoru probíhá dle vztahů v *Tab. 3* [13], [14]. Jak je vidět, tak pro výše uvedenou soustavu odpovídá PI regulátor, který má přenos  $G_R(s) = k_r \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$ . Pro výpočet regulátoru, kdy není regulována soustav s dopravním zpožděním, je nutno zvolit  $T_w$ , což je setrvačná časová konstanta přenosu řízení uzavřeného reg. obvodu. Tuto jsem zvolil o hodnotě  $T_w = 1000$ . Dle tabulky jsem další parametry vypočítal následovně:

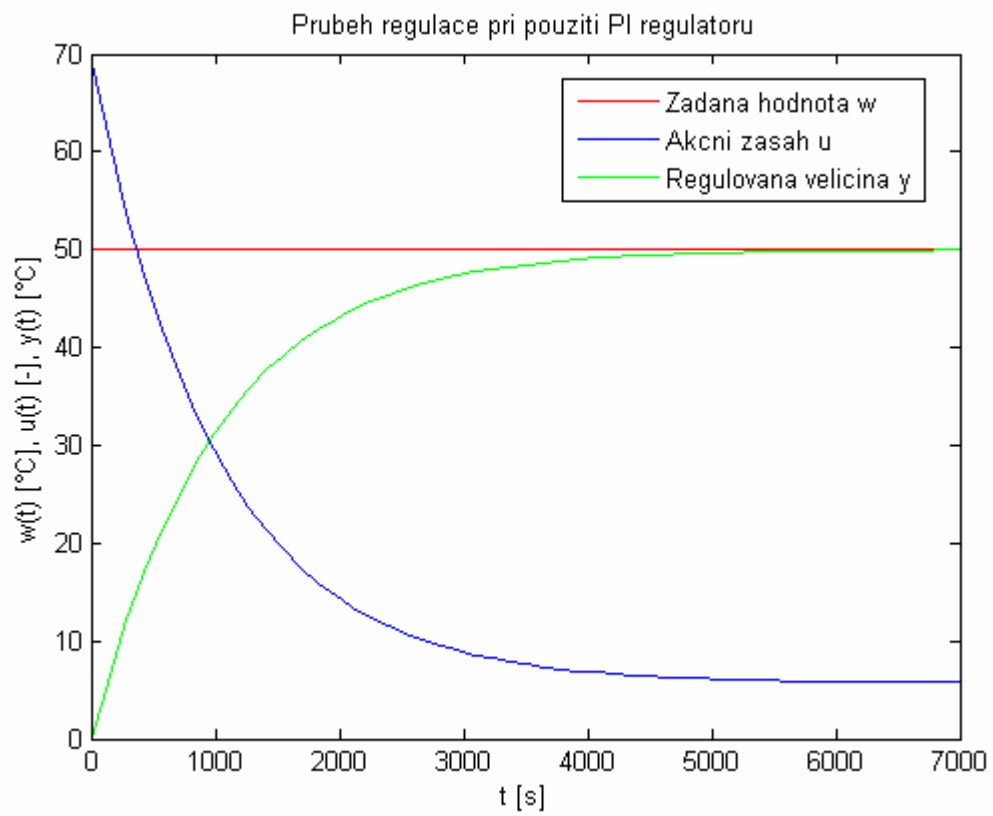
Integrační časová konstanta  $T_I = T_I = 12185,3$

Zesílení regulátoru  $k_r = \frac{T_I^*}{k_s T_w} = \frac{12185,3}{8,808 \cdot 1000} \doteq 1,3834$

Tab. 3: Doporučené hodnoty a typy regulátorů [13], [14]

Regulovaná soustava		Regulátor				
		Typ	$k_R^*$		$T_I^*$	$T_D^*$
			$T_d = 0$	$T_d > 0$		
1	$\frac{c_s}{s} e^{-T_d s}$	<b>P</b>	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a}{c_s}$	-	-
2	$\frac{k_s}{T_1 s + 1} e^{-T_d s}$	<b>PI</b>	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	$T_1$	-
3	$\frac{c_s}{s(T_1 s + 1)} e^{-T_d s}$	<b>PD</b>	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a}{c_s}$	-	$T_1$
4	$\frac{k_s}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-T_d s}$	<b>PID</b>	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	$T_1 + T_2$	$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$
5	$\frac{k_s}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} e^{-T_d s}$ $0,5 < \xi_0 \leq 1$	<b>PID</b>	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	$2\xi_0 T_0$	$\frac{T_0}{2\xi_0}$

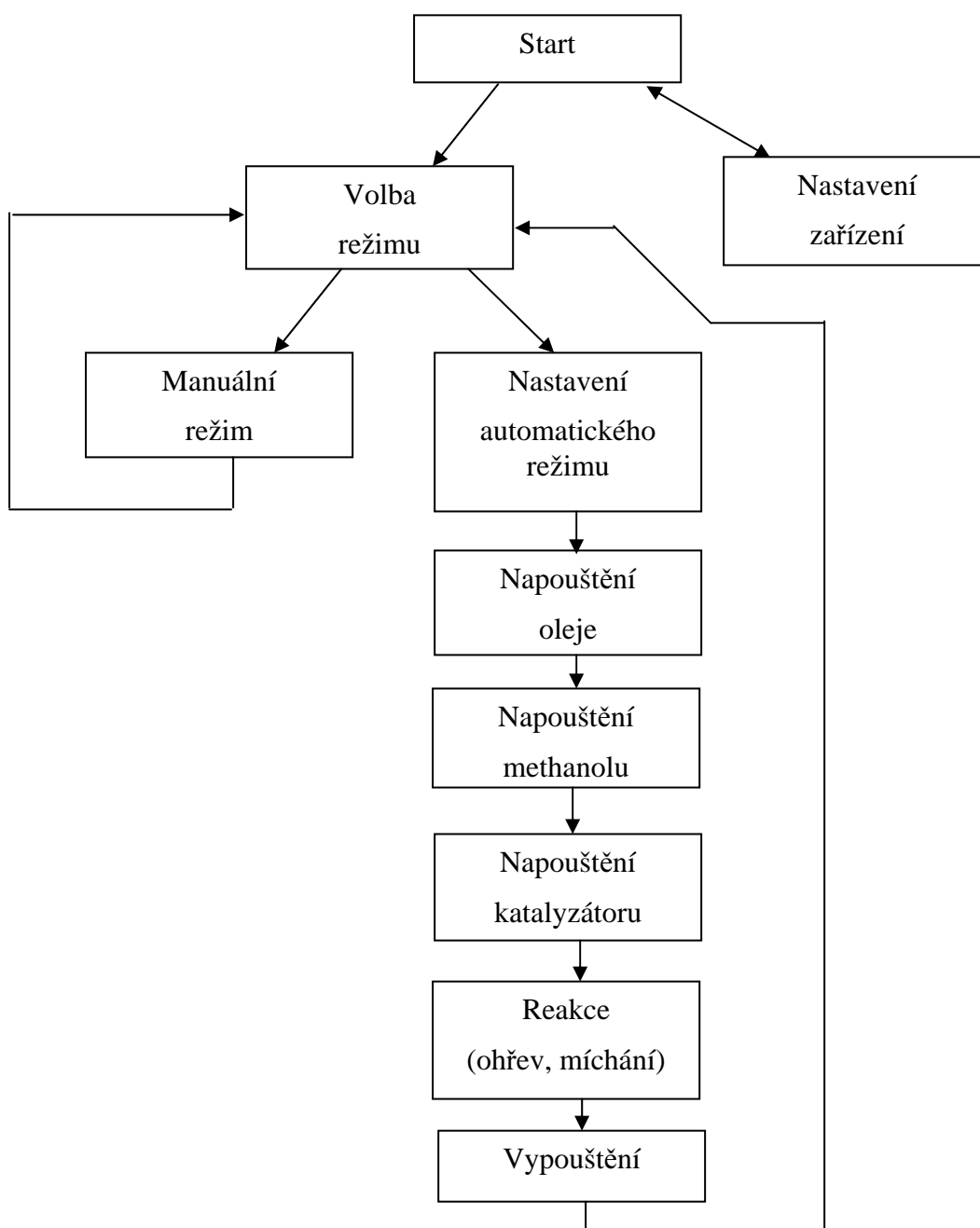
Jak je vidět ze simulace regulačního průběhu v *Graf 21* při použití PI regulátoru, nedochází k překmitu regulované veličiny, nicméně je zde dlouhá doba, než dojde k ustálení. Tato lze zkrátit pomocí volby konstanty  $T_w$ . Při zmenšení její hodnoty dojde k rychlejšímu ustálení, avšak zvýší se hodnota akčního zásahu. Vzhledem k tomu, že při řízení teploty vyhovoval dvupolohový regulátor s penalizací, tento PI regulátor jsem pro její řízení automatem PLC nevyužil.



Graf 21: Simulovaný regulační průběh při použití PI regulátoru

## 6 ŘÍDICÍ ALGORITMUS VÝROBY BIONAFTY

Ovládání zařízení a výroba bionafty probíhá dle následujícího schématu, na kterém jsou zobrazeny jednotlivé logické kroky:



Obr. 18: Algoritmus řízení výroby bionafty

Jak je vidět z *Obr. 18*, při spuštění PLC automatu dojde k inicializaci jednotlivých proměnných a čeká se na volbu uživatele, zda- li změní technické parametry zařízení, jako třeba objem nádrže, maximální povolenou teplotu a parametry použitých chemických látek – jejich hustoty. Zde se také nastavuje povolení ovládání pomocí SMS zpráv a jejich zasílání uživateli.

V bloku volba režimu se uživatel rozhodne zda – li chce použít manuální nebo automatický režim. Zde v tomto místě může dojít ke spuštění automatického režimu pomocí SMS zprávy, který následně probíhá dle zobrazeného diagramu s přeskočením nastavení, neboť to je provedeno v SMS zprávě.

Rozhodne – li se uživatel využít manuální režim, má k dispozici ovládání všech prostředků připojených k automatu PLC (ovládání topení, míchání, čerpadel a rezervních relé).

Při automatickém režimu je požadováno nastavení parametrů reakce, jako třeba teplota, množství jednotlivých složek a čas. Po té se spustí samostatný proces výroby, kdy uživatel nemá možnost zasahovat do programu, ale může jej celý ukončit. Po té může pokračovat podle své volby, obvykle v manuálním režimu.

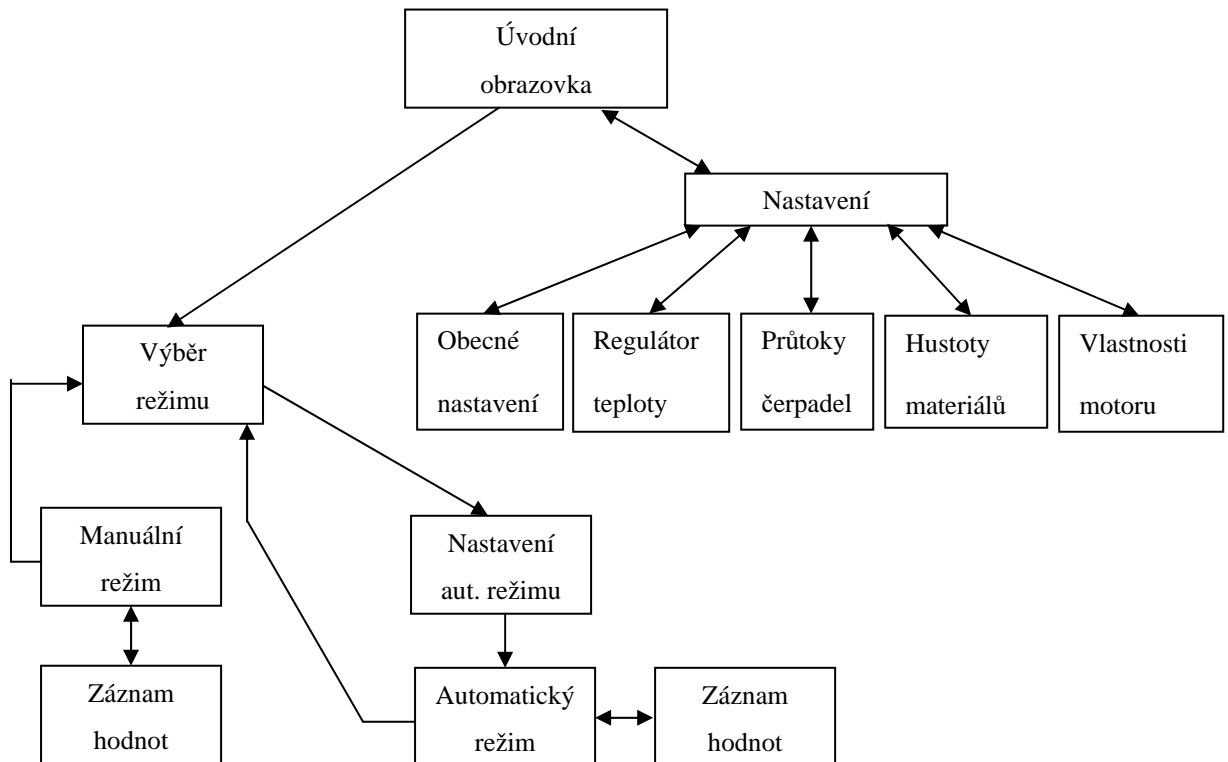
Je – li jednou vstoupeno do bloku výběru režimu, není již možno měnit technické parametry zařízení ani vlastnosti chemických látek použitých k výrobě.

## 7 VIZUALIZACE PROCESU VÝROBY A OVLÁDÁNÍ POMOCÍ SMS

Aby bylo možno jednoduše ovládat a měnit nastavení zařízení, použil jsem k vizualizaci dotykový displej PCD7.D410. Díky němu je možno zařízení ovládat bez použití PC, nicméně může být taktéž využito, třeba k záznamu naměřených hodnot.

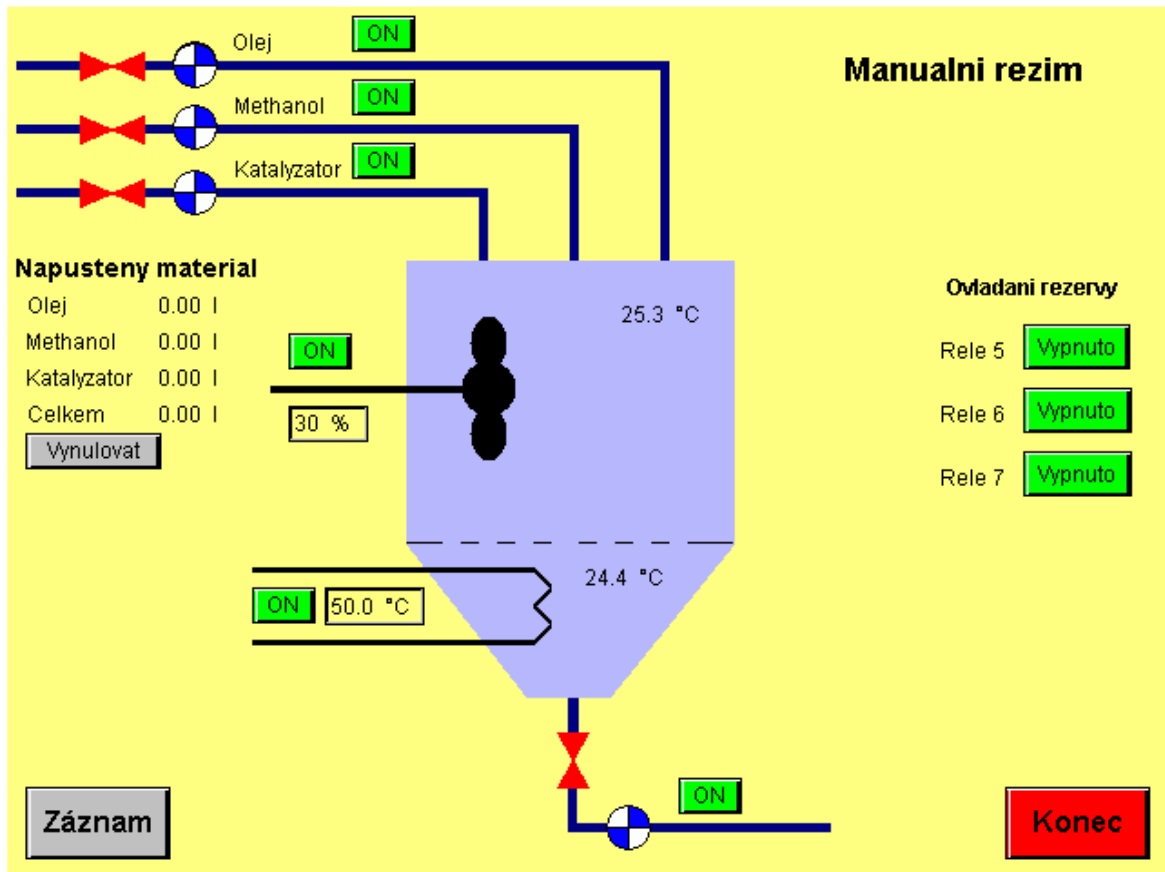
Propojení počítače a PLC automatu může být realizováno pomocí nekříženého UTP kabelu s konektory RJ45. IP adresa PLC automatu je nastavena na hodnotu 192.168.2.20 a síťová maska 255.255.255.0. Budeme – li chtít zobrazit vizualizaci, do běžného prohlížeče zadáme adresu [http://192.168.2.20/vizualizace\\_web.html](http://192.168.2.20/vizualizace_web.html).

Struktura procházení stránek je zobrazena v následujícím diagramu.



Obr. 19: Struktura stránek vizualizace

Jak je vidět, některé stránky jsou přístupné pouze z úvodní obrazovky. Je to z toho důvodu, aby během běžícího procesu výroby nemohlo dojít k některým změnám, což by mohlo mít za následek nesprávný postup výroby bionafty, v nejhorším případě hrozí i zničení zařízení.



Obr.20: Vizualizace procesu v manuálním režimu

Na Obr.20 lze vidět vizualizaci procesu při použití manuálního režimu. Jednotlivými tlačítky se ovládají příslušné prvky, u kterých jsou umístěny. Aktivita daného prvku je vždy signalizována, třeba při spuštění čerpadla se dané čerpadlo točí a potrubí s ventilem je zvýrazněno zelenou barvou. Teplota vedle tlačítka u topného tělesa nastavuje požadovanou teplotu pro regulátor a tlačítkem se spouští regulace. Topné těleso je aktivní (zvýrazněno červenou barvou) pouze tehdy, je-li skutečné těleso napájeno pomocí regulátoru.

Vzhledem k tomu, že lze nastavit rozjezd a brzdění motoru, tak se může ve vizualizaci pohybovat i po jeho vypnutí – jedná se o čas, kdy dochází ke snížení otáček a poté dojde k jeho úplnému zastavení.

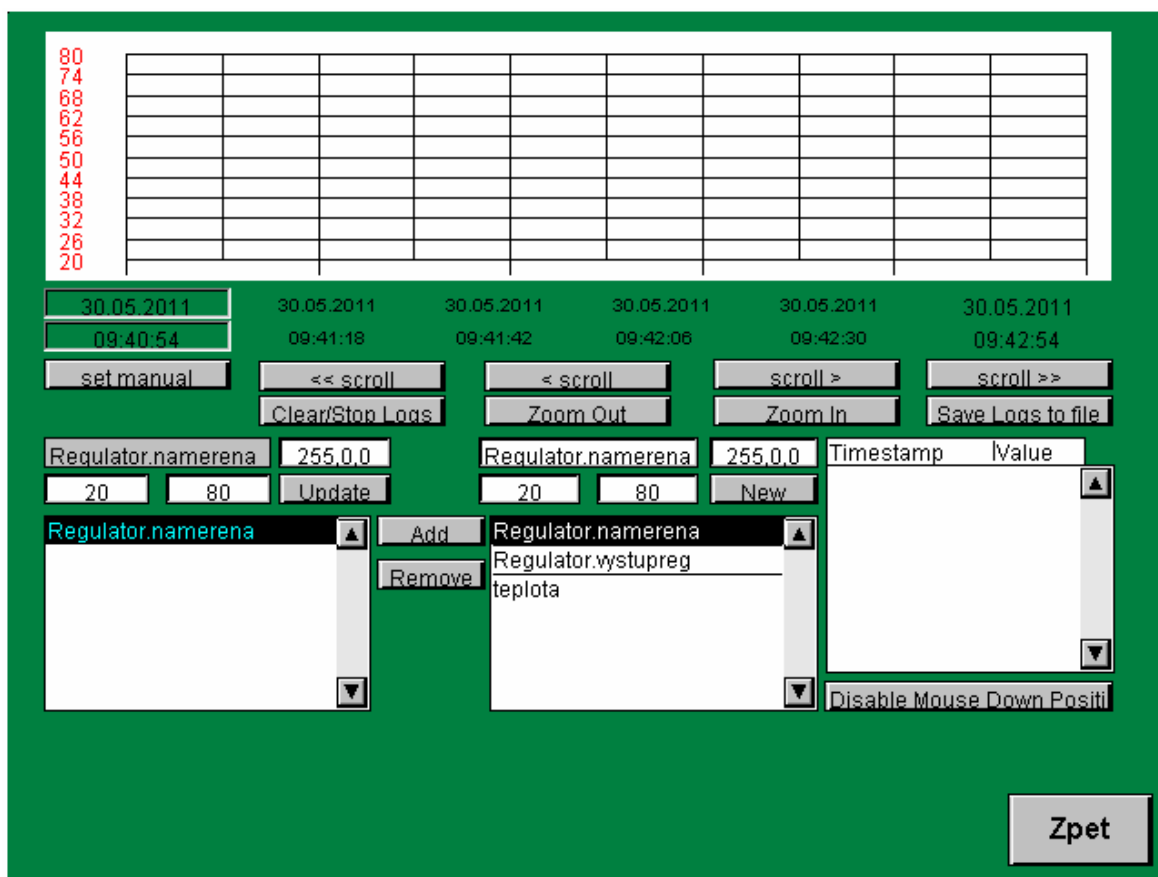
Při stisku tlačítka „Záznam“ je zobrazena obrazovka, na níž je možno přidat proměnné, které chceme zaznamenávat. V prostředním sloupci lze vybrat proměnné, které chceme zaznamenávat, pomocí tlačítka „Add“ a upravit barvu a rozsahy zobrazení.

Chceme – li hodnoty proměnných uložit, stiskneme tlačítko „Save Logs to file“. Toto tlačítko ovšem funguje pouze tehdy, pokud data zobrazujeme z osobního počítače. Pro spuštění záznamu stiskneme tlačítko „Start Logging“ a pro ukončení „Clear/Stop Logs“. Jak je vidět z *Obr. 21*, lze vybrat ze tří veličin:

„Regulator.namerena“ – naměřená teplota v sádce

„Regulator.vystupreg“ – velikost akčního zásahu v procentech

„teplota“ – požadovaná teplota vsádky



*Obr. 21: Okno pro záznam proměnných*

Chceme – li zařízení ovládat pomocí SMS, je potřeba v nastavení tuto skutečnost povolit. Pro ovládání musíme zaslat zprávu ve tvaru DTMF příkazů na telefonní číslo +420 604 757 770. Zpráva musí obsahovat následující pole:

```
#1#500*0*1*1*1*2*1#600*0*100*1*200*2*10*3*600*4*500*5*30#
```

kde: # - slouží k oddělení jednotlivých DTMF příkazů

\* - slouží k oddělení jednotlivých parametrů uvnitř DTMF příkazu

Význam zobrazeného pole lze rozepsat na jednotlivé části:

#1 – aktivuje funkce DTMF serveru, zasláná SMS jej musí vždy obsahovat

#500 – slouží k nastavení binárních hodnot, kde je vždy číslo výstupu a za ním logická hodnota, tedy příkaz #500\*0\*1\*1\*0\*2\*1 znamená, že výstup 0 nastavím na log.1, výstup 0 na log. 0 a výstup 2 na log. 1.

#600 – slouží k nastavení celočíselných parametrů na výstupy, syntaxe odpovídá předchozímu příkazu, tedy příkaz #600\*0\*100\*1\*200\*2\*10\*3\*600\*4\*500\*5\*30 nastavuje na výstup 0 hodnotu 100, výstup 1 hodnotu 200, výstup 3 hodnotu 600 atd.

# - poslední znak ukončuje DTMF příkaz

Jednotlivé výstupy jsou v zařízení přiřazeny funkcím dle následující tabulky

Tab. 4: Přiřazení DTMF příkazů funkcím v PLC automatu

příkaz	výstup	význam	příklad
#500	0	spuštění reakce pomocí SMS	1 – reakce spuštěna
	1	ovládání topení	0 – topení vypnuto
	2	ovládání míchání	1 – míchání zapnuto
#600	0	objem vsádky	100 – vsádka 10,0 l
	1	množství methanolu	200 – 20,0 % methanolu
	2	množství katalyzátoru	10 – 1,0 % katalyzátoru
	3	čas reakce	305 – čas reakce 30,5 minuty
	4	teplota	500 – teplota 50,0°C
	5	otáčky	30 – 30 % z maximálních otáček

Jak je vidět z tabulky, tak hodnoty v příkazu #600 jsou kromě hodnoty otáček zadávány na jedno desetinné místo, tudíž v SMS zprávě je nutno uvést např. pro hodnotu 31,3 číslo 313, kdy poslední číslice je za desetinnou čárkou.

Pro usnadnění lze použít i zkrácené verze příkazů i s popisem co daný příkaz znamená a tyto zprávy si uložit do paměti mobilního telefonu, např. ohřev na teplotu 60°C má příkaz #1#500\*1\*1#600\*4\*600# - tímto dojde k zapnutí topení a nastavení žádané teploty na 60°C, ale reakce nebude spuštěna. Pro spuštění reakce je potřeba zaslat v poslední SMS příkaz #1#500\*0\*1#. Po zaslání tohoto příkazu je spuštěna výroba bionafty a již není možno měnit nastavení procesu výroby.

## ZÁVĚR

V diplomové práci jsem řešil problematiku řízení výrobního procesu bionafty z použitého rostlinného oleje.

V teoretické části jsem se zabýval rozbořem přeměny oleje nebo tuku na bionaftu pomocí transesterifikace a parametry, které ovlivňují tuto chemickou reakci. V této části jsem taktéž uvedl výhody a nevýhody použití bionafty v diesellových motorech vůči použití běžné nafty získané rektifikací z ropy. Taktéž zde rozebírám stávající použité zařízení a navrhuji zde využití moderních prvků automatizace pro řízení procesu, kdy tyto navržené prvky jednotlivě popisují.

V praktické části jsem navrhl elektronické zapojení, jehož schéma je v příloze, a veškeré potřebné prvky jsem umístil do rozvaděče Hager. Dále jsem provedl identifikaci soustavy, abych mohl navrhnout regulátor pro řízení teploty vsádky. Vzhledem k tomu, že identifikovaná soustava je prvního řádu a je aperiodická, rozhodl jsem se použít dvoupolohový regulátor s penalizací a provedl jsem jeho výpočet a ověření funkčnosti na reálném zařízení. Navíc jsem vypočítal PI regulátor a provedl simulaci řízení teploty. Při porovnání obou regulátorů jsem došel k závěru, že bude vhodnější použít dvoupolohový regulátor s penalizací, protože je rychleji dosaženo žádané hodnoty.

Dále jsem sestavil řídicí program pro použité PLC, který zajišťuje řízení procesu výroby bionafty dle uvedeného algoritmu. Tento program v sobě zahrnuje výše navržený dvoupolohový regulátor s penalizací a možnost volby automatického nebo manuálního režimu.

V závěru práce jsem vytvořil vizualizaci systému s využitím dotykového displeje a možností zobrazení a záznamem naměřených dat na běžném PC. V této části také uvádím, jakým způsobem lze ovládat zařízení pomocí SMS zpráv.

Nezbytnou součástí této práce jsou zdrojové kódy řídicího programu a vizualizace pro proces výroby bionafty.

## CONCLUSION

In my theses I solved problems with process control of production biodiesel from used vegetable oil.

In theoretical part I deal with analysis of conversion oil or fat to biodiesel by transesterification and parameters that can affect chemical reaction. In this part I specified advantages and disadvantages of using biodiesel in diesels motors in contrast with using standard diesel, which is obtained from rectification of crude oil. Also I analyze existing used equipment and propose using modern elements of automatization for control process, which these elements are describe individually.

In practical part I designed electronic connection and his schematic diagram is show in appendix and I placed all used elements into Hager control panel. Next I made identification of system for purpose to design controller of batch of oil temperature. However, that identified system is the first order and aperiodic, I decide for use two-stand controller with penalization and I made calculation its parameters. Next I verify his functions on real equipment. Above that, I calculated PI controller and made simulation of controls temperature. If I made comparison both controllers, I conclude to result that will be better use to two-state controller with penalization, because its reach required temperature faster than PI controller.

Next I made controlling program for used PLC, that ensure controls of production process of biodiesel according to show algorithms. This program include above designed two-state controller with penalization and possibility of choice manual or automatic mode.

At the end of work I created visualization of system with using touch display and possibility of show and logging measured dates on usual computer. In this part I show data about method how can be system controlled by SMS messages.

Necessary part of the work is accompaniment, in that are mentioned source codes of control application and visualization of production process of biodiesel.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VAN GERPEN, Jon. Biodiesel processing and production. In *Fuel Processing technology 86*. University Of Idaho, USA, 2005. s. 1097-1107.
- [2] CANAKCI, Mustafa; VAN GERPEN, Jon. A Pilot Plant to Produce Biodiesel from high free Fatty Acid Feedstocks. In *Paper No. 016049 at the 2001 ASAE Annual International Meeting Sacramento Convention Center*. Sacramento, California, USA, 2001.
- [3] ATAYA, Fadi; A. DUBÉ, Marc; TERNAN, Marten. Single - Phase and Two - Phase Base - Catalyzed Transesterification of Canola Oil to Fatty Acid Methyl Esters at Ambient Conditions. In *Ind. Eng. Chem. Res.* Department of Chemical Engineering, Centre for Catalysis Research and Innovation, University of Ottawa, Ontario, Canada, 2006. s. 5411-5417.
- [4] *Hardware PCD2.M5xxx*. 26/856. Saia – Burgess Electronics, 2009. 229 s. Dostupné z WWW: <<http://sbc-support.ch/>>.
- [5] *Manuál hardware PCD2.W525, PCD3.W525*. 26/853. Saia – Burgess Electronics, 2007. 9 s. Dostupné z WWW: <<http://sbc-support.ch/>>.
- [6] Uživatelský manuál. *Invertek Optidrive Single Phase Output : Frekvenční měnič pro jednofázové motory*. Invertek CZ s.r.o., 2010. 36 s. Dostupné z WWW: <[http://www.invertek.cz/downloads/OPTIDRIVE\\_E2\\_1Ph\\_manual.pdf](http://www.invertek.cz/downloads/OPTIDRIVE_E2_1Ph_manual.pdf)>.
- [7] Katalogový list. *Solid State Relays, Industrial, 1-Phase ZS (IO) w. LED and Built-in Varistor, Types RM 23, RM 40, RM 48, RM 60*. Carlo Gavazzi, 2003. 5 s. Dostupné z WWW: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/635/635-020/dsh.635-020.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/635/635-020/dsh.635-020.1.pdf)>.
- [8] *Řada PCD7.D4xxx, Terminály s MicroBrowserem*. 26/851. Saia Burgess Electronics, 2009. 80 s. Dostupné z WWW: <<http://sbc-support.ch/>>.
- [9] *TELTONIKA ModemCOM/G10 (CM100)*. v2.1.1.19. [s.l.] : Teltonika, 2007. 20 s. Dostupné z WWW: <[http://www.teltonika.lt/uploads/docs/WirelessCom\\_G10%20Users%20manual%204.0.1.pdf](http://www.teltonika.lt/uploads/docs/WirelessCom_G10%20Users%20manual%204.0.1.pdf)>.

- [10] Saia ® *S-Web-Editor – snadná příprava vizualizačních a ovládacích stránek : Nástroj pro programování webových HMI*. 26/453. Saia burgess Electronics, 2006. 12 s. Dostupné z WWW: <<http://sbc-support.ch/>>.
- [11] *Katalog Hager 2009-2010*. [s.l.] : Hager elektro s.r.o, 2009. 516 s. Dostupné z WWW: <[http://www.hager.cz/files/download/0/1181\\_1/0/katalog\\_hager.pdf](http://www.hager.cz/files/download/0/1181_1/0/katalog_hager.pdf)>.
- [12] VAŠEK, Vladimír. *Mikropočítačové monitorovací a řídicí systémy*. Zlín, 1994. 126 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta technologická se sídlem ve Zlíně.
- [13] BALÁTĚ, Jaroslav. *Automatické řízení*. Praha : BEN - technická literatura, 2003. 664 s. ISBN 80-7300-020-2.
- [14] VÍTEČKOVÁ, Miluše. *Seřízení regulátorů metodou inverze dynamiky*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1998. 54 s. ISBN 80-7078-628-0.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- $a$  zesílení otevřeného regulačního obvodu [1]
- $c_s$  koeficient přenosu integrační regulované soustavy [1]
- $k_p$  penalizační konstanta [1]
- $k_{p\max}$  maximální velikost penalizační konstanty [1]
- $k_r$  zesílení regulátoru
- $k_r^*$  doporučené zesílení regulátoru
- $k_s$  koeficient přenosu proporcionální regulované soustavy [1]
- $p_p$  pásmo penalizace [1]
- $T_D$  derivační časová konstanta [1]
- $T_D^*$  doporučená derivační časová konstanta [1]
- $T_i$  setrvačná časová konstanta regulované soustavy [1]
- $T_I$  integrační časová konstanta [1]
- $T_I^*$  doporučená integrační časová konstanta [1]
- $T_w$  požadovaná setrvačná časová konstanta přenosu řízení reg. obvodu [1]
- $u_{\max}$  maximální velikost akčního zásahu [1]
- $u_{pen}$  penalizovaný akční zásah [1]
- $u_{stř}$  hodnota akčního zásahu v pracovním bodě [1]
- $w$  žádaná hodnota [1]
- $y$  regulovaná veličina [1]
- $\xi_0$  koeficient poměrného tlumení [1]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1: Schématické znázornění procesu výroby biodieselu .....</i>	13
<i>Obr. 2: PLC automat Saia PCD2.M5540.....</i>	17
<i>Obr. 3: Blokové schéma PCD2.M5540 .....</i>	18
<i>Obr. 4: Mechanické provedení vstupního modulu.....</i>	19
<i>Obr. 5: Provedení modulu PCD2.A465.....</i>	20
<i>Obr. 6: Skutečné provedení analogového modulu.....</i>	21
<i>Obr. 7: Konfigurace vstupů PCD2.W525.....</i>	22
<i>Obr. 8: Základní zapojení frekvenčního měniče.....</i>	23
<i>Obr. 9: Frekvenční měnič Optidrive E2 – 1Ph.....</i>	24
<i>Obr. 10: SSR relé .....</i>	24
<i>Obr. 11: Blokové schéma relé RM1A23D25 .....</i>	25
<i>Obr. 12: Terminál PCD7.D410 .....</i>	25
<i>Obr. 13: Modem G10/COM100.....</i>	26
<i>Obr. 14: Prostor s vlastním programem.....</i>	28
<i>Obr. 15: Bloky Step mode (3) a Transition mode (4) .....</i>	28
<i>Obr. 16: Běžná pracovní plocha v S-Web editoru [10].....</i>	30
<i>Obr. 17: Rozvaděč FL167A s průhlednými a plnými dvířky .....</i>	33
<i>Obr. 18: Algoritmus řízení výroby bionafty.....</i>	51
<i>Obr. 19: Struktura stránek vizualizace .....</i>	53
<i>Obr.20: Vizualizace procesu v manuálním režimu.....</i>	54
<i>Obr. 21: Okno pro záznam proměnných.....</i>	55
<i>Obr. 22: Zapojení síťové části .....</i>	66
<i>Obr. 23: Zapojení nízkonapěťové části (bez polovodičových relé) .....</i>	67
<i>Obr. 24: Připojení SSR k automatu PLC .....</i>	68

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Rozmezí vyráběných frekvenčních měničů .....</i>	23
<i>Tab. 2: Naměřené hodnoty statické charakteristiky .....</i>	34
<i>Tab. 3: Doporučené hodnoty a typy regulátorů [13], [14] .....</i>	49
<i>Tab. 4: Přiřazení DTMF příkazů funkcím v PLC automatu .....</i>	56

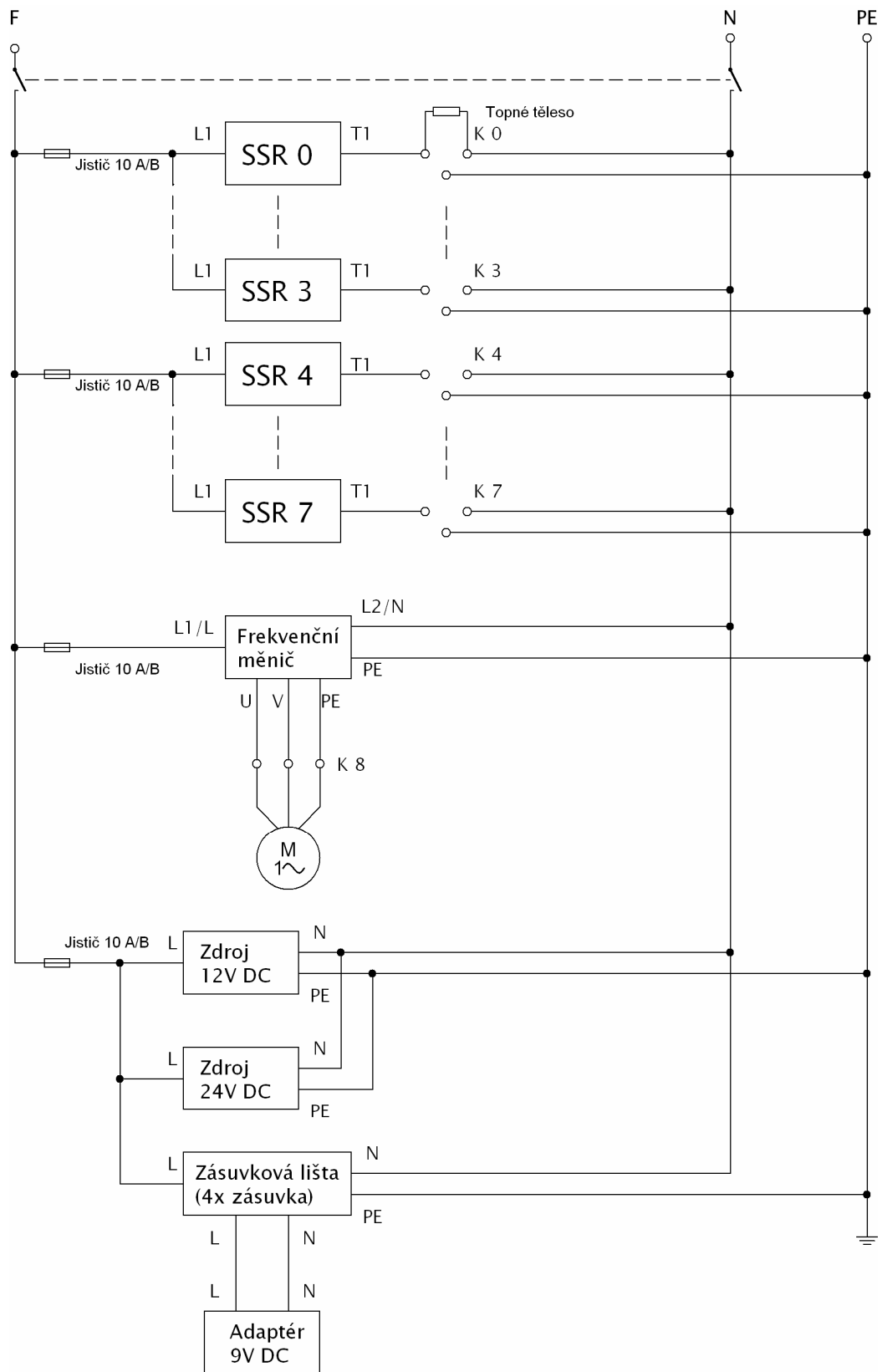
## SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Efekt poměru alkoholu a oleje na výsledek transesterifikace .....</i>	12
<i>Graf 2: Statická charakteristika .....</i>	35
<i>Graf 3: Změřená přechodová charakteristika pro změnu výkonu topení z 0% na 4%.....</i>	36
<i>Graf 4: Posunutá přechodová char. pro změnu 4% .....</i>	36
<i>Graf 5: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 4%.....</i>	37
<i>Graf 6: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 4% .....</i>	37
<i>Graf 7: Změřená přechodová charakteristika pro změnu výkonu topení z 0% na 5%.....</i>	38
<i>Graf 8: Posunutá přechodová char. pro změnu 5% .....</i>	39
<i>Graf 9: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 5%.....</i>	39
<i>Graf 10: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 5% .....</i>	40
<i>Graf 11: Změřená přechodová char. pro změnu výkonu topení z 4% na 6%.....</i>	41
<i>Graf 12: Posunutá přechodová char. pro změnu 2% .....</i>	41
<i>Graf 13: Změřená a vypočtená PCH pro změnu výkonu 2%.....</i>	42
<i>Graf 14: Skutečná přechodová charakteristika pro změnu výkonu 2% .....</i>	42
<i>Graf 15: Zprůměrovaná přechodová charakteristika a jednotlivé charakteristiky.....</i>	43
<i>Graf 16: Odečtení <math>u_{st}</math> ze statické charakteristiky .....</i>	45
<i>Graf 17: Ověření regulátoru pro <math>p_p = 10\%</math> a <math>w = 60^\circ\text{C}</math>, <math>k_{p\max}</math> vypočteno ze statické charakteristiky a žádané hodnoty.....</i>	46
<i>Graf 18: Ověření regulátoru pro <math>p_p = 10\%</math> <math>w = 60^\circ\text{C}</math> a <math>1,2 k_{p\max}</math> .....</i>	46
<i>Graf 19: Ověření regulátoru pro <math>p_p = 10\%</math> <math>w = 60^\circ\text{C}</math> a <math>0,8 k_{p\max}</math> .....</i>	47
<i>Graf 20: Ověření regulátoru pro <math>p_p = 20\%</math> <math>w = 60^\circ\text{C}</math>, <math>k_{p\max}</math> vypočteno ze statické charakteristiky a žádané hodnoty.....</i>	47
<i>Graf 21: Simulovaný regulační průběh při použití PI regulátoru.....</i>	50

**SEZNAM PŘÍLOH**

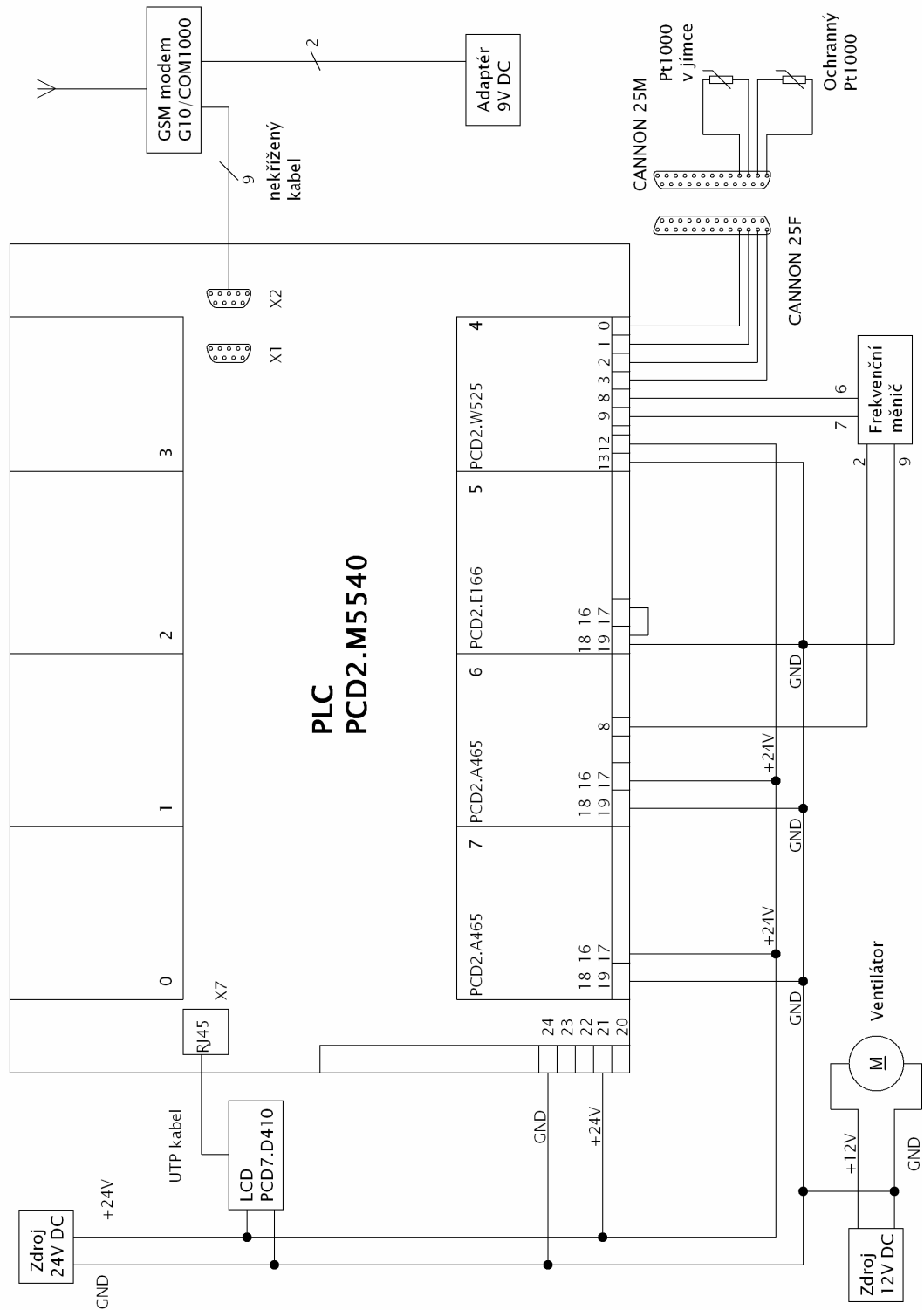
Příloha P I: Schéma zapojení silové části .....	66
Příloha P II: Zapojení nízkonapěťové části .....	67
Příloha P III: Seznam použitého materiálu .....	69

# PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAPOJENÍ SILOVÉ ČÁSTI

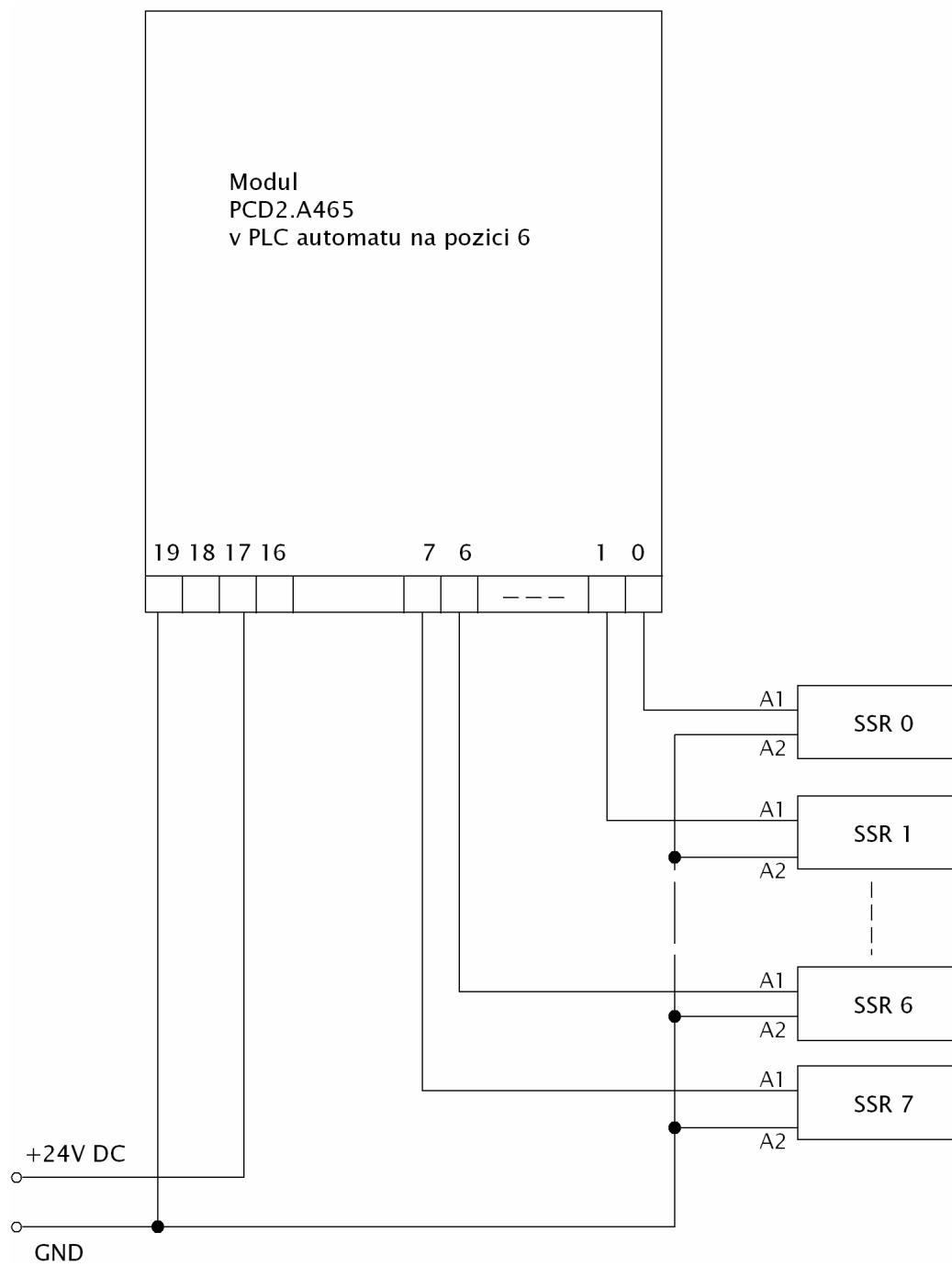


Obr. 22: Zapojení síťové části

## PŘÍLOHA P II: ZAPOJENÍ NÍZKONAPĚŤOVÉ ČÁSTI



Obr. 23: Zapojení nízkonapěťové části (bez polovodičových relé)



Obr. 24: Připojení SSR k automatu PLC

## **PŘÍLOHA P III: SEZNAM POUŽITÉHO MATERIÁLU**

- PLC automat Saia PCD2.M5540	1x
- Vizualizační panel PCD7.D410	1x
- Výstupní modul PCD2.A465	2x
- Vstupní modul PCD2.E166	1x
- SSR relé RM1A23D25	8x
- Zdroj 12V DC, typ PS-100-12	1x
- Zdroj 24V DC, typ PS-100-24	1x
- Frekvenční měnič Optidrive E2-1Ph, typ ODE-2-12075-1KB12-01	1x
- GSM modem G10/CM1000	1x
- Teploměr Pt1000, typ PT50J	1x
- Teploměr Pt100, typ PT31	1x
- Kabel Laplink, sériový, CANONN 9M-9M	1x
- UTP patch kabel cat5e, 0,5m	1x
- Konektor CANONN 25F	1x
- Konektor CANONN 25M	1x
- Ventilátor EE80251B1-A99	1x
- Jistič 10A/B	5x
- Vypínač P-B127A	1x
- Zásuvková lišta 4. násobná	1x
- Konektor EN3C3M16X	9x
- Konektor EN3P3F16X	9x
- Rozvaděčová skříň Hager FL167A	1x