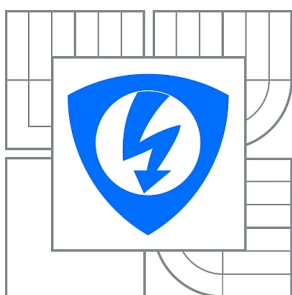




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ ZAHRADNÍHO SKLENÍKU

CONTROL OF GLASSHOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ALEŠ CZUDEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Aleš Czudek

Ročník: 3

ID: 125388

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Řízení zahradního skleníku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s polní instrumentací zahradního skleníku.
2. Realizujte model regulované soustavy - zahradní skleník.
3. Identifikujte parametry přenosové funkce soustavy.
4. Navrhněte a realizujte regulátor teploty ve skleníku.
5. Ověřte celý systém.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

BLAHA, P., VAVŘÍN, P. Řízení a regulace 1. VUT Brno: VUT Brno, 2004.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 27.5.2013

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

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá řešením bakalářského projektu řízení zahradního skleníku. Cílem bylo popsat reálný skleník s aplikací technologie využívající elektronický řídicí systém Siemens a sběrníkové technologie AS-Interface. Dále vytvořit model regulované soustavy a navrhnout řízení teploty ve skleníku.

Klíčová slova

Skleník, teplota, vlhkost, AS-i sběrnice, AS-i master, slave, regulovaná soustava, model, OPC rozhraní

Abstract

This report deals with a solution of the student project called Greenhouse controlling. The aim was to equip a real glasshouse with application technology using electronic control system Siemens and bus technology AS-Interface. You can find here a description of the function of the glasshouse, used hardware, technological scheme and identification of controlled system.

Keywords

Greenhouse, temperature, humidity, AS-i bus, AS-i master, slave, regulated system, OPC client, OPC server.

Bibliografická citace:

CZUDEK, A. Řízení zahradního skleníku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení zahradního skleníku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: **27. května 2013**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Taktéž děkuji Prof. Ing. Petr Vavřínovi, DrSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **27. května 2013**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	11
2	Popis objektu řízení	12
2.1	Funkce skleníku	12
2.1.1	Systém zavlažování	13
2.1.2	Osvětlení	15
2.1.3	Vytápění	15
2.1.4	Mimořádné stavy	15
3	Systém řízení skleníku	16
3.1	Řídicí systém	17
3.2	AS-i síť	17
3.2.1	AS-i Master	17
3.2.2	AS-i sběrnice	17
3.2.3	Další moduly sběrnicové sítě (jednotky slave)	18
3.3	Komunikace systému s uživatelem	19
3.4	Senzory	20
3.5	Akční členy	21
4	Modelování a identifikace systému	22
4.1	Měření hodnot	22
4.1.1	Příprava pro sběr dat	23
4.1.2	Sběr dat	24
4.2	Přesnost platinového snímače teploty	25
4.3	Metody identifikace	25
4.4	Metoda aproximace přechodových charakteristik	26
4.4.1	Aproximace proporcionální soustavou 2. řádu s rozdílnými časovými konstantami	27
5	Návrh regulátoru	31
5.1	Metoda frekvenčních charakteristik	31
5.2	Návrh v Matlab-Sisotool	32
5.3	Výpočet PID a přepočet na PSD	33
5.4	Metoda optimálního modulu	34
6	Prověření regulátoru	37
6.1	Zavedení nového regulátoru do ŘS	37
6.2	Nakonfigurování nových komponentů v systému	38

6.3	Sestavení charakteristik.....	39
6.4	Porovnání dvoustavové a PI regulace	41
7	Závěr.....	43

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Celkový pohled na skleník.....	12
Obr. 2.2: Technologické schéma skleníku	13
Obr. 2.3: Část zavlažovacího systému	13
Obr. 2.4: Nádrže.....	14
Obr. 3.1: Blokové schéma průmyslové instrumentace.....	16
Obr. 3.2: Siemens S7-200 [3].....	17
Obr. 3.3: AS-i Master CP243-2 [6].....	17
Obr. 3.4: AS-i sběrnice [1].....	18
Obr. 3.5: Blokové schéma AS interface [7].....	18
Obr. 3.6: Příklad modulu AC 2417 napojeného na sběrnici	19
Obr. 3.7: Operátorský panel OP73 micro [9].....	19
Obr. 3.8: Teplotní snímač	20
Obr. 3.9: Hladinový senzor	20
Obr. 3.10: Magnet. senzor.....	20
Obr. 3.11: Snímač vlhkosti	20
Obr. 3.12: Snímač intenzity osvětlení	20
Obr. 3.13: Ponorné čerpadlo	21
Obr. 3.14: El-mag. ventil	21
Obr. 3.15: Osvětlení	21
Obr. 4.1: Situační schéma snímání hodnot [16].....	22
Obr. 4.2: Přetypování proměnných.....	23
Obr. 4.3: Nastavení v S7-200 PC Access.....	23
Obr. 4.4: Originál ilustrační obrázek skriptu pro záznam hodnot	24
Obr. 4.5: Naměřené hodnoty teplot.....	25
Obr. 4.6: Stanovení poměru τ [18].....	26
Obr. 4.7: Aproximace soustavou 2. řádu s rozdílnými časovými konstantami [18]	27
Obr. 4.8: Přechodová charakteristika regulované soustavy z 1. měření.....	27
Obr. 4.9: Ověření identifikace.....	30
Obr. 5.1: Bodeho diagram.....	31
Obr. 5.2: Bodeho diagram regulátoru působícího na soustavu	32
Obr. 5.3: Odezvy na skok řízení PI a PID regulace	35
Obr. 6.1: Nastavení PID smyčky ve Wizard PID.....	37
Obr. 6.2: Volání PID smyčky v hlavním programu	37

Obr. 6.3: Analogový modul AC2219 [19]	38
Obr. 6.4: SSR relé [20].....	38
Obr. 6.5: Přechodová charakteristika vypočteného PID regulátoru.....	39
Obr. 6.6: Přechodové charakteristiky PI regulátoru.....	40
Obr. 6.7: Porovnání regulací se skokovou změnou 10 °C	41
Obr. 6.8: Porovnání regulací se skokovou změnou 5 °C	42
Obr. 6.9: Porovnání regulací se skokovou změnou 5 °C	42

Seznam tabulek

Tabulka 1: Určení poměru časových konstant [18]	28
Tabulka 2: Výsledky identifikace z 3 měření	29

1 ÚVOD

Tato práce je zaměřena na použití řídicího systému typu PLC k řízení zahradního skleníku. Jedná se o typizovaný skleník s rozměry $2 \times 3 \times 2$ m. Pro komunikaci mezi vstupními a výstupními zařízeními (čidla a akční členy) je použita AS-i sběrnice. Doposud není na trhu žádný speciální standartní systém automatického udržování klimatických podmínek v takovémto skleníku. Skleník je vybaven moderní automatizační technikou, která ve velké míře nahrazuje každodenní činnost uživatele.

Hlavním cílem této práce je zkvalitnění regulace teploty ve skleníku. Teplota je měřena platinovým snímačem teploty a vytápění je realizováno elektrickým topným tělesem. Cílem mé práce je změna stávající diskrétní regulace typu „ON - OFF“ na přesnější spojitou regulaci. Novou regulaci ověřím a v závěru vyhodnotím rozdíly mezi původní a novou regulací.

2 POPIS OBJEKTU ŘÍZENÍ

V této kapitole je popsán skleník s hlavními technologickými prvky, které jsou využívány k řízení skleníku.

Skleník je užitečným zařízením mnoha zahrádkářů. Používá se pro rychlené pěstování rostlin, které vyžadují speciální klimatické podmínky (především vyšší teplotu a konstantní vlhkost). Tvoří ho nosná konstrukce opatřená průhlednými deskami (nejčastěji sklo, případně plasty – dutinový polykarbonát).

Skleník se nachází vedle rodinného domu, se kterým je propojen kabeláží a vodovodním potrubím. Nedílnou součástí skleníku jsou dvě nádoby, na hnojivo a vodu pro zavlažování skleníku. Veškeré technické vybavení, jehož stupeň krytí není dostatečný, je umístěno v rozvaděčích. Rozvaděče jsou dva, jeden je umístěn přímo na skleníku a druhý ve sklepních prostorech rodinného domu.



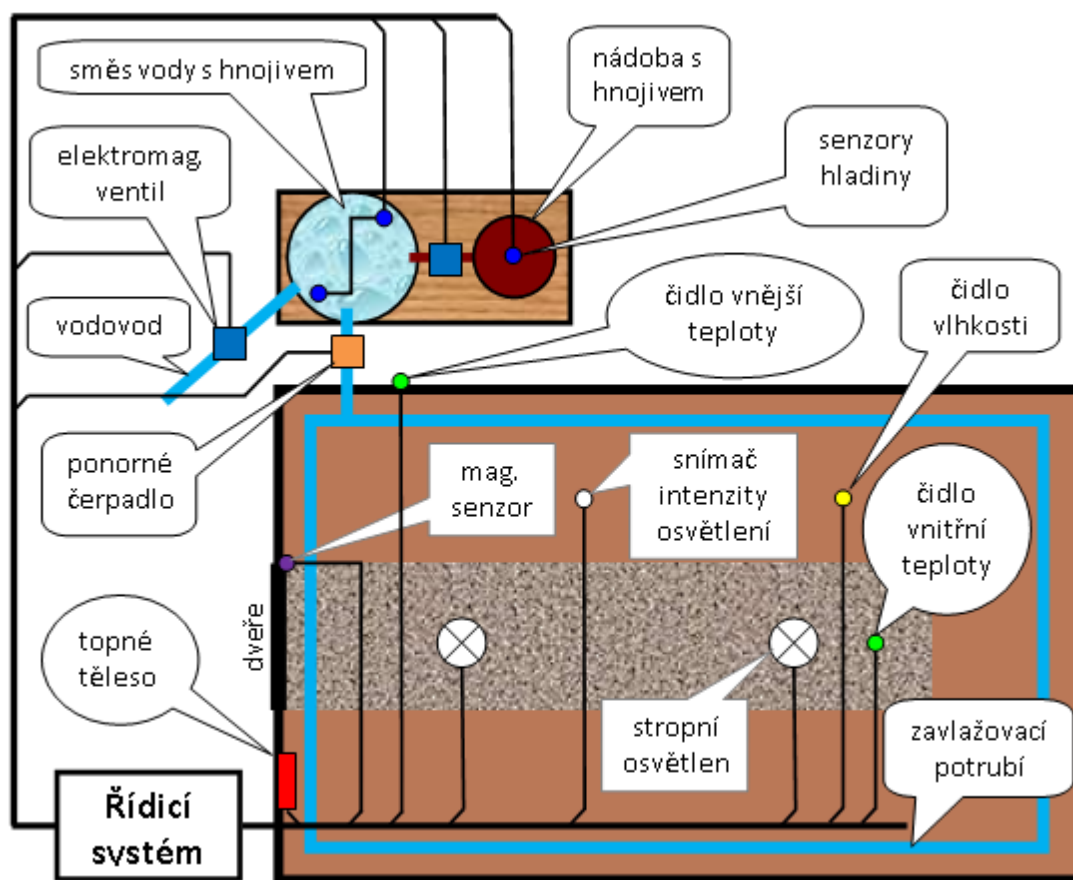
Obr. 2.1: Celkový pohled na skleník

2.1 Funkce skleníku

Mezi hlavní funkce skleníku patří automatické zavlažování a hlídání teploty, včetně umělého osvětlení. K zavlažování skleníku se používá směs vody a hnojiva. Zavlažování je spouštěno při poklesu vlhkosti půdy pod nastavenou mez. Při poklesu hladiny směsi v nádobě dojde k automatickému doplňování vody a hnojiva. Hladiny v obou nádržích jsou hlídány kapacitními čidly. Ve skleníku se udržuje uživatelem nastavená teplota pomocí elektrického topného tělesa. V případě snížených světelných podmínek (například v noci) lze využít osvětlení stropními světly.

Ve spodní části nádoby s vodou a hnojivem je umístěn ruční ventil, který lze použít k odběru vody na zalévání jiných rostlin mimo skleník.

Na následujícím obrázku je znázorněno technologické schéma celé sestavy skleníku. Zobrazuje jeho přibližný půdorys s veškerými komponenty. Podrobnější nákres je uveden v přílohách 1,2,3.



Obr. 2.2: Technologické schéma skleníku

2.1.1 Systém zavlažování

Automatické zavlažování je založeno na řízení vlhkosti půdy ve skleníku. Ke snímání vlhkosti je použito vlhkostní čidlo od firmy Gardena.



Obr. 2.3: Část zavlažovacího systému

Čidlo je zasunuto do půdy cca 20 cm pod povrch. Jestliže vlhkost půdy klesne pod nastavenou mez, spustí se ponorné čerpadlo, které je umístěno v nádobě se směsí vody a hnojiva. Čerpadlo vhání směs do zavlažovacího potrubí (Obr. 2.3), které je rozmístěno po obvodu skleníku (Obr. 2.2). Potrubí, které je umístěno jen pár centimetrů nad půdou, má na vnitřní straně navrtané malé otvory, kterými směs tryská přímo ke stonkům rostlin. Zavlažuje se vždy v cyklu po 20 sekundách s přestávkou 10 minut, aby voda měla čas proniknout půdou a čidlo zaznamenat změnu vlhkosti. Cykly se opakují, dokud není dosažena požadovaná vlhkost. Pokud dojde během zavlažování k otevření dveří, proces zavlažování se přeruší.



Obr. 2.4: Nádrže

U skleníku stojí dvě nádoby (Obr. 2.4). Horní (s objemem 30 l) obsahuje hnojivo a ve spodní (s objemem 200 l) je směs vody s hnojivem. Na stěnách nádob jsou umístěna celkem 3 hladinová čidla. Z toho jedno slouží k hlídání minimálního množství hnojiva v horní nádobě a další dvě hladinová čidla hlídají minimální a maximální hladinu směsi vody s hnojivem ve spodní nádobě. Jestliže klesne hladina směsi ve spodní nádobě pod spodní čidlo, spustí se pomocí elektromagnetického ventilu dočerpávání vody z vodovodu. Zároveň do této nádoby dávkuje další elektromagnetický ventil hnojivo z horní nádoby. Pokud dojde k poklesu hnojiva (v horní nádobě) na minimum, upozorní uživatele kontrolka k doplnění hnojiva a na displeji se zobrazí výzva k doplnění hnojiva. V tomto případě nedojde k procesu dočerpávání vody.

2.1.2 Osvětlení

Ve stropní části skleníku je umístěn snímač intenzity okolního světla. Pokud dojde k otevření dveří při snížených světelných podmínkách, rozsvítí se stropní osvětlení. Stav dveří hlídá magnetické čidlo. Stropní osvětlení slouží uživateli k lepší orientaci ve skleníku, ale mohlo by být také využito k osvětlování rostlin.

2.1.3 Vytápění

Regulace teploty ve skleníku je dalším úkolem automatizovaného systému skleníku. Ke snímání teplot jsou použita dvě platinová teplotní čidla firmy ifm electronic. První čidlo snímá venkovní teplotu mimo skleník, která je pouze informativně zobrazena na displeji. Druhé čidlo snímá vnitřní teplotu a ta slouží k regulaci vytápění. Dalo by se uvažovat o regulaci vytápění v závislosti na vývoji venkovní teploty – ekvitemní regulaci. Ale vzhledem k tomu, že izolační vlastnosti stěn skleníku jsou nízké, projeví se změna venkovní teploty na změně vnitřní teploty poměrně rychle, a regulátor může na ni plynule reagovat. Na displeji může uživatel nastavit požadovanou teplotu ve skleníku v rozmezí 0 °C až 30 °C. Pokud klesne teplota uvnitř skleníku pod požadovanou teplotu, zapne se vytápění. Pro větrání skleníku se používá střešní okno, které bylo součástí dodávky skleníku. Automatika otvírání je řešena mechanismem založeným na principu dvojkovu. Střešní okno se automaticky otvírá při překročení vnitřní teploty nad 30 °C.

2.1.4 Mimořádné stavy

Při výpadku napájení 230 V se vypne celý řídicí systém, uzavřou se ventily a vypne se čerpadlo.

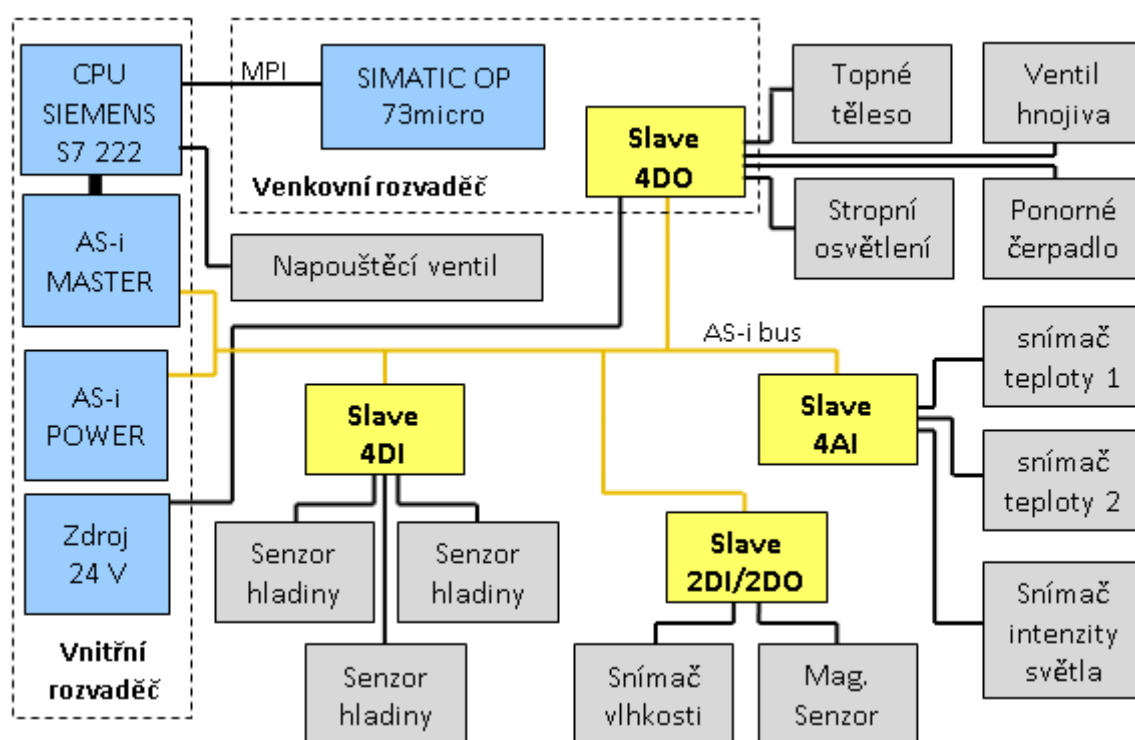
Systém také hlídá poruchy při doplňování vody. Například při přerušení přívodního potrubí se uzavře přívodní ventil a systém se zastaví. Na displeji se vypíše porucha doplňování.

Při nedosažení požadované vlhkosti se proces po 2 hodinách zastaví a vypíše se porucha zalévání.

3 SYSTÉM ŘÍZENÍ SKLENÍKU

V této kapitole jsou popsány použité části řídicího systému, který slouží k řízení a vyhodnocení regulačních smyček. Dále se zaměřím na popis jednotlivých prvků (čidla a akční členy), které jsou součástí regulačních obvodů.

Nejdůležitějším komponentem ve skleníku je řídicí systém, dále jen ŘS. Na něj je připojen AS-i master S7 243-2, který zprostředkovává komunikaci po AS-i sběrnici. AS-i síť tvoří jednotky s analogovými a digitálními vstupy a výstupy. Na tuto síť lze napojit až 62 jednotek tohoto typu a přenést tak řadu informací v jednom kabelu [1]. Většina snímačů je od výrobce ifm electronic. Použité snímače podrobněji popíšu v dalších kapitolách.



Obr. 3.1: Blokové schéma průmyslové instrumentace

Snímače a jednotky digitálních vstupů a výstupů jsou umístěny v rozvaděčích nebo přímo ve skleníku. Kabeláž mezi rozvaděči obsahuje: 3 fázové silové vodiče, střední vodič a zemnicí vodič, AS-i sběrnici, kabel pro napájení relé (stejnoseměrných 24 V), MPI kabel pro displej. Celý systém je napájen z třífázové soustavy $3 \times 230 \text{ V}/50 \text{ Hz}$.

Všechny hardwarové komponenty jsou umístěny ve vnitřním rozvaděči, venkovním rozvaděči a mimo skleník.

Vnitřní rozvaděč je umístěn ve sklepních prostorách rodinného domu a obsahuje:

- řídicí systém SIMATIC S7-200 CPU222
- přídatný zdroj stejnosměrného napětí 24 V
- AS-i zdroj pro napájení AS-i sběrnice
- spínací relé (pro elektromagnetický ventil přívodu vody do nádrže)

Venkovní rozvaděč je připevněn ke konstrukci skleníku a obsahuje:

- jednotku AC2417 (slave)
- čtyři spínací relé
- displej Siemens SIMATIC OP 73micro

3.1 Řídicí systém

K řízení byl zvolen řídicí systém Siemens SIMATIC S7-200 s frekvencí procesoru 222 MHz (Obr. 3.2). Podle článku [2] spadá SIMATIC S7-200 do řady malých programovatelných logických automatů, které se nejvíce hodí pro řízení jednoduchých aplikací, což skleník je.



Obr. 3.2: Siemens S7-200 [3]



Obr. 3.3: AS-i Master CP243-2 [6]

3.2 AS-i síť

AS-Interface je inteligentní automatizační řešení pro nejnižší úroveň v systému automatizace. Systém AS-Interface umožňuje začlenění senzorů a aktuátorů od různých výrobců do sítě jedním kabelem. Struktura je otevřená vůči nadřazeným úrovním a je základem pro profesionální pokroková systémová řešení [4].

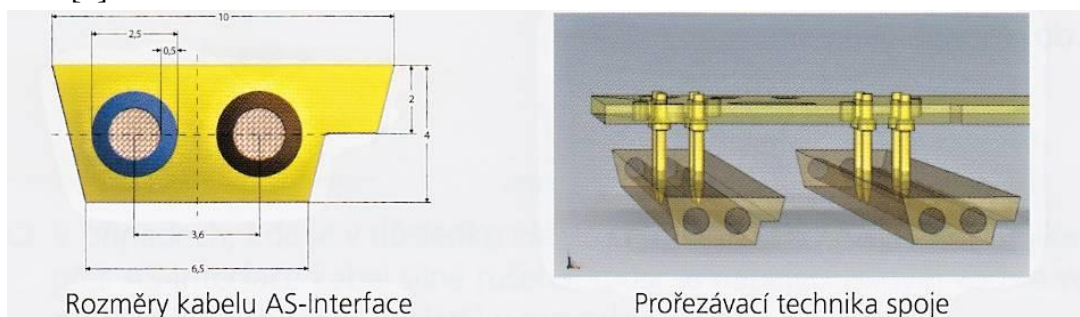
3.2.1 AS-i Master

Je komunikační modul k řídicímu systému (Obr. 3.3). Zprostředkovává komunikaci s AS-i sběrnici, tím ho obohacuje o mnoho dalších vstupů a výstupů. Celkem lze připojit 248 vstupů a 186 výstupů. V tomto projektu byl použit AS-i master CP 243-2 značky Siemens [5].

3.2.2 AS-i sběrnice

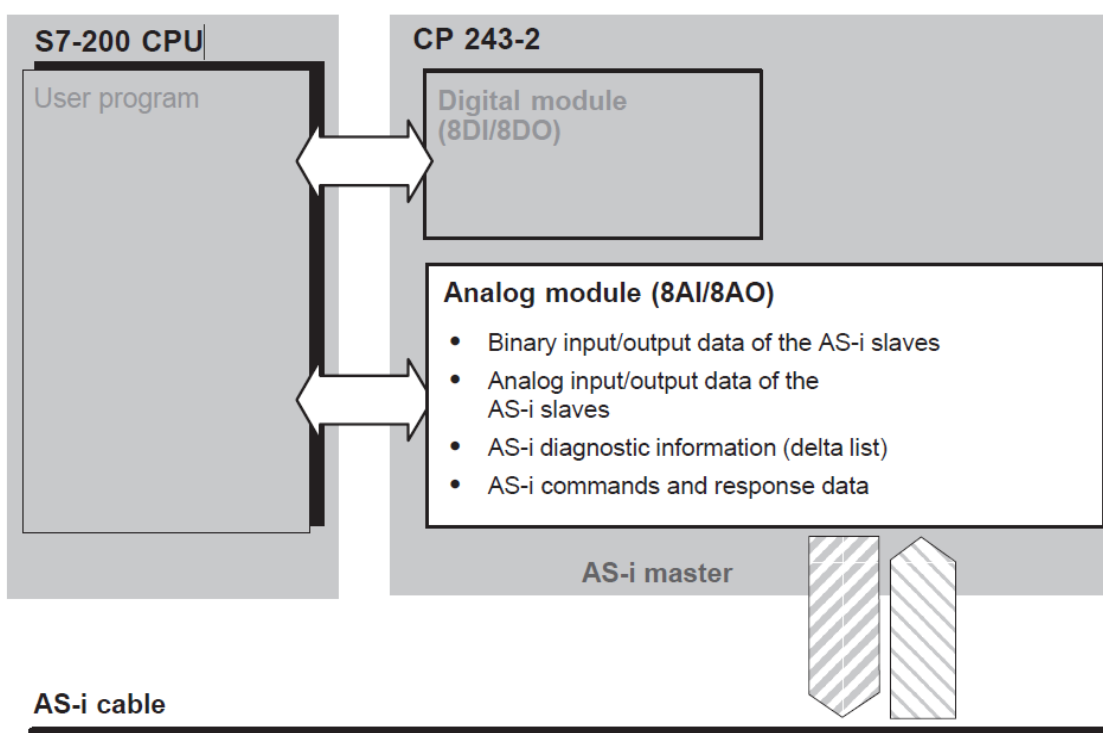
Sběrnice AS-Interface je síť typu master-multislave. K síti je připojeno jedno zařízení typu master a až 62 jednotek typu slave. Sběrnice je nekroucený, nestíněný dvou vodičový profilovaný kabel, který přenáší jak data, tak napájení 24 V

stejnoseměrných. Proudový odběr celé sítě je maximálně 8 A. Jedno zařízení typu slave odebírá maximálně 200 mA podle specifikace v1.0 (podle v2.1 max. 100 mA). Přenosová rychlost na této sběrnici je 167 kb/s. Maximální délka vedení je 100 m bez omezení v topologii. Pomocí repeaterů lze dosáhnout délky vedení sběrnice až do 500 m [4].



Obr. 3.4: AS-i sběrnice [1]

Celý systém lze zobrazit následovně:



Obr. 3.5: Blokové schéma AS interface [7]

3.2.3 Další moduly sběrnice sítě (jednotky slave)

Mezi další moduly sběrnice sítě patří jednotky zvané „slave“, které jsou propojeny AS-i sběrnici. K jednotlivým jednotkám jsou připojena čidla a přes relé i akční členy. Všechny moduly jsou firmy ifm electronic a mají krytí IP 67.

Ve skleníku jsou použity tyto moduly:

- AC 2410 – modul se čtyřmi digitálními vstupy
- AC 2417 – modul se čtyřmi digitálními výstupy (Obr. 3.6), používá se ke spínání akčních členů pomocí relé
- AC 2411 – modul s dvěma digitálními vstupy a dvěma digitálními výstupy
- AC 2629 – modul se čtyřmi analogovými vstupy (PT 100)



Obr. 3.6: Příklad modulu AC 2417 napojeného na sběrnici

3.3 Komunikace systému s uživatelem

K zobrazení veškerých informací a nastavení požadovaných hodnot slouží operátorský panel Simatic OP 73micro (Obr. 3.7). Panel má 3“ LCD monochromatický displej s rozlišením 160×48 pixelů. Vedle displeje je 8 systémových tlačítek a 4 konfigurovatelné funkční klávesy. Panel je k řídicímu systému připojen MPI kabelem [8].



Obr. 3.7: Operátorský panel OP73 micro [9]

V tomto projektu se na displeji zobrazují obě teploty (venkovní a vnitřní), dále pak aktuální čas, právě probíhané děje, poruchové stavy a další užitečné informace.

Pomocí tlačítek lze nastavit parametry, například požadovanou teplotu ve skleníku. Celý systém lze pomocí tohoto panelu vypnout nebo zapnout. Přístup k nastavovacím režimům se dá zamknout.

3.4 Senzory

K realizaci projektu byla použita moderní čidla. Některá čidla však nebyla dostupná na trhu, proto byly vyrobeny potřebné ekvivalentní jednotky v domácích podmínkách.

K měření teploty byla použita dvě teplotní čidla značky TS2229 (Obr. 3.8). Jedná se o odporový kontaktní snímač teploty s rozsahem $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ [10], což je pro tuto aplikaci postačující.

Výšky hladin jsou snímány kapacitními senzory KN5107 (Obr. 3.9), jejichž výstup je digitální. Detekují kapalinu přes nekovovou stěnu nádoby [11]. Dále je použit magnetický senzor MS5111 (Obr. 3.10), sloužící k zjišťování stavů dveří. Jejím výstupem je digitální signál. Snímací vzdálenost je do 60 mm [12].



Obr. 3.8: Teplotní snímač



Obr. 3.9: Hladinový senzor



Obr. 3.10: Magnet. senzor

Jedním z nejdůležitějších senzorů je vlhkostní čidlo značky Gardena 1188-20 (Obr. 3.11). Čidlo má na horní straně potenciometr k nastavení požadované vlhkosti. Má svůj autonomní regulátor, který vyhodnocuje signál z vlhkostního snímače. Výstup čidla je v podobě digitálního signálu. Při nedosažení vlhkosti je výstup rozepnut.



Obr. 3.11: Snímač vlhkosti



Obr. 3.12: Snímač intenzity osvětlení

Snímač intenzity osvětlení je vlastní výroby (Obr. 3.12). Skládá se z fotorezistoru, jehož odpor se mění v závislosti na intenzitě dopadajícího světla. Hodnota, při které dojde k sepnutí, byla nastavena empiricky.

3.5 Akční členy

Pro zavlažování bylo zvoleno ponorné čerpadlo Güde GS 4000 s příkonem 400 W (Obr. 3.13). Čerpadlo má plovákový spínač s ochranou proti chodu nasucho. Jeho tělo je z plastu. Výtlak čerpadla je 5 m [14], to zajišťuje dostatečně silný tlak pro tryskání vody ze všech trysek najednou.

Použité elektromagnetické ventily (Obr. 3.14) mají následující parametry: jmenovitý tlak 300 kPa a napájecí napětí 230 V.

Osvětlení ve skleníku je zajištěno dvěma stropními světly (Obr. 3.15). Ve světlech jsou 60 W žárovky, které dostatečně nasvítí celý skleník. Světla mají klasické krytí pro venkovní použití, tedy IP 44.

K udržování nastavené teploty je použito topné těleso AEG FW 505 s výkonem 500 W. Těleso je napájeno síťovým napětím 230 V.



Obr. 3.13: Ponorné čerpadlo



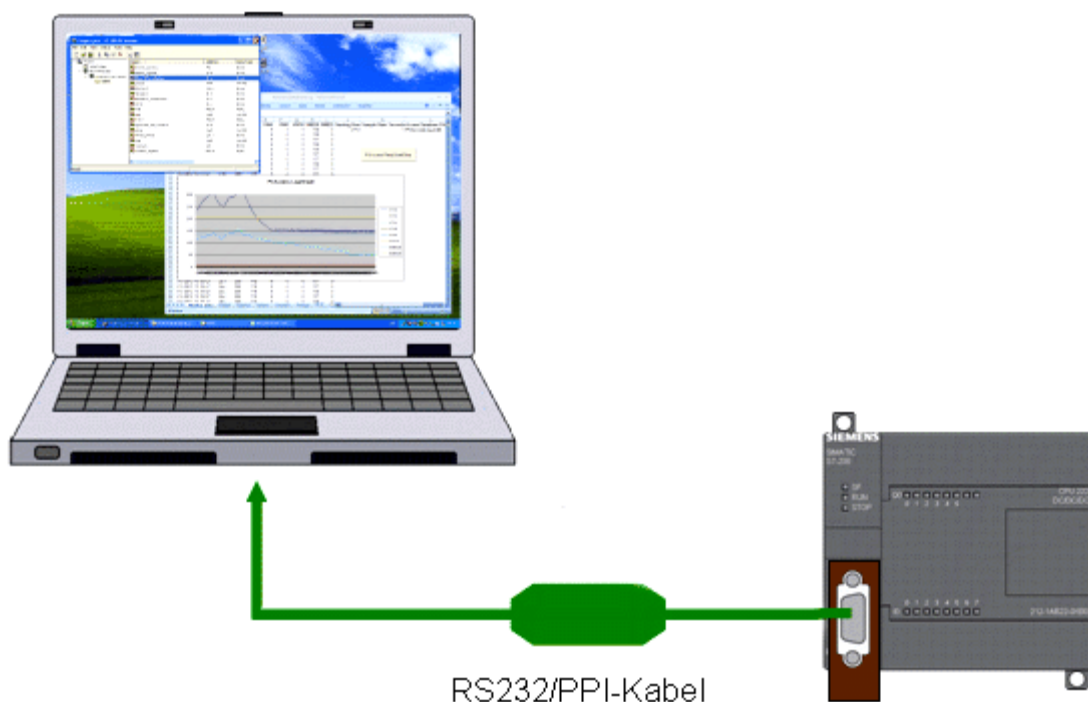
Obr. 3.14: El-mag. ventil



Obr. 3.15: Osvětlení

4 MODELOVÁNÍ A IDENTIFIKACE SYSTÉMU

Modelováním lze vytvořit model reálného objektu, na kterém lze následně provádět testovací experimenty. Identifikací systému se vytvoří matematický popis, který co nejlépe charakterizuje předmětné vlastnosti reálného objektu (v tomto případě dynamiku teplotních procesů). Máme-li například navrhnout řízení pro složitější objekt, zhotovíme jeho model. Na tomto modelu můžeme s použitím počítačové simulace experimentovat podobně jako s reálným objektem bez rizika poškození reálného objektu [18]. To je výhoda hlavně u objektů, které jsou cenově velmi nákladné. Pro tuto práci byl použit matematický model a identifikovaná soustava byla konfrontována s naměřenými charakteristikami. Na základě toho byla navržena regulovaná soustava, sestaven regulátor a ten pak prakticky odzkoušen.



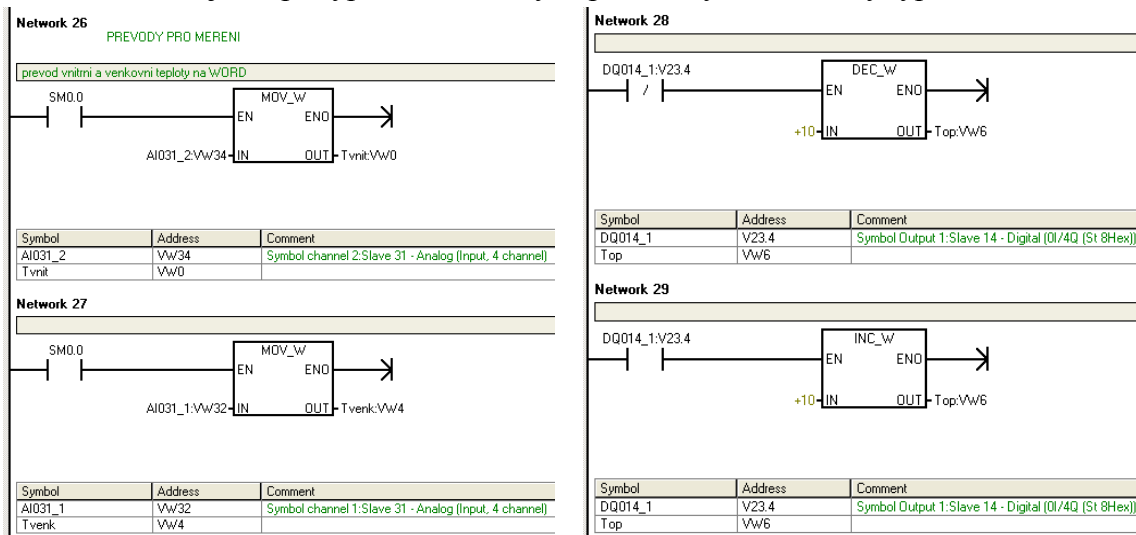
Obr. 4.1: Situační schéma snímání hodnot [16]

4.1 Měření hodnot

Před začátkem měření bylo potřeba připravit místo a podmínky k danému experimentu. Šlo tedy o propojení PC a ŘS. V PC byl modifikován program systému a také nainstalován OPC server. Nezbytné bylo přidání doplňku do programu Microsoft Excel. Veškerá experimentální měření byla prováděna v nočních hodinách, kdy nedocházelo k ovlivňování vnitřní teploty vlivem slunečního záření.

4.1.1 Příprava pro sběr dat

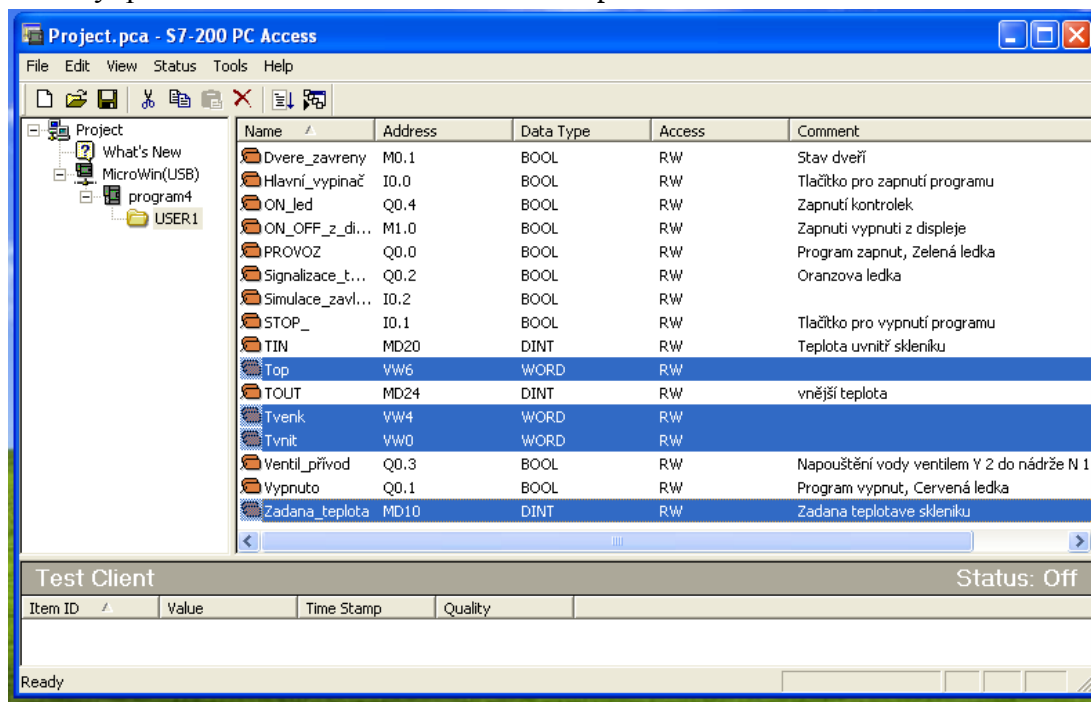
Před samotným sběrem dat bylo potřeba nejprve modifikovat program v ŘS (Obr. 4.2). Jednalo se však jen o přetypování snímaných proměnných na datový typ „word“.



Obr. 4.2: Přetypování proměnných

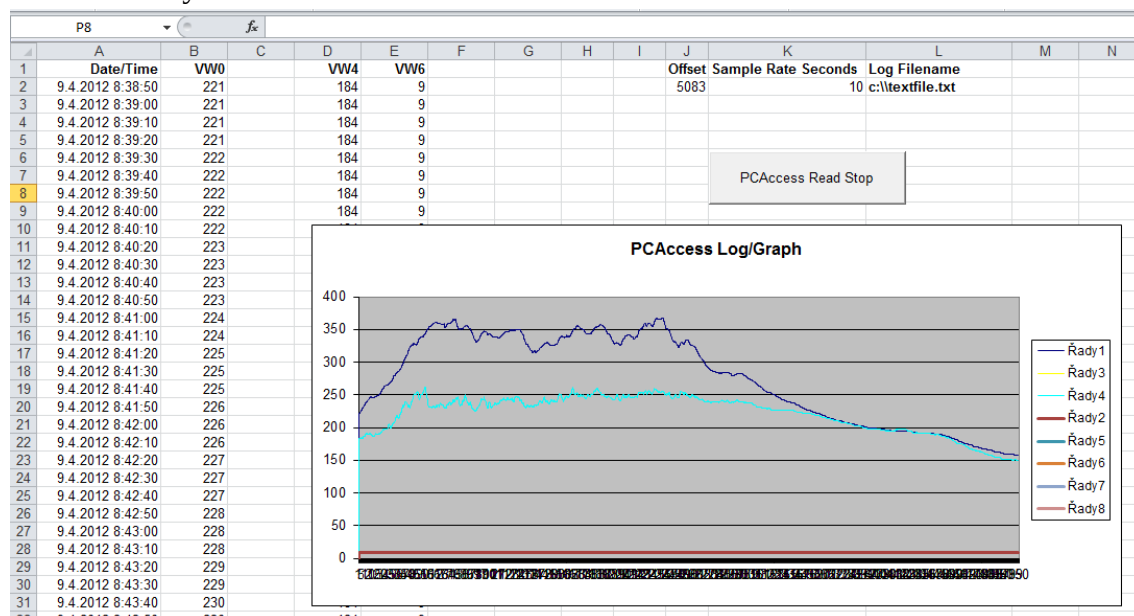
Poté bylo nutno nainstalovat software S7-200 PC Access [17]. Jedná se o jednu ze specifikací OPC, která umožňuje přístup PC k datům ŘS v reálném čase [15]. Tato specifikace byla konzultována a doporučena odborníkem v oboru automatizace.

Po instalaci a spuštění se nejprve naimportovaly symboly z programu uloženého v ŘS (Obr. 4.3). Symboly bylo třeba přetypovat i v tomto programu. K ověření přístupu k datům byl použit OPC klient Matricon OPC Explorer.



Obr. 4.3: Nastavení v S7-200 PC Access

Samotné zaznamenávání dat probíhalo do přednastavené šablony programu Microsoft Excel, ta je volně přístupná na stránkách společnosti Siemens [17]. Do samotného softwaru Excel byl přidán doplněk „OPC-Client AddIn for Excel“, který zajistil spojení se software S7-200 PC Access. Pak už stačilo ve skriptu nastavit periodu snímání 1 sekundu. Komunikaci mezi PLC a PC byla zajištěna pomocí RS232/PPI kabelem firmy Siemens.



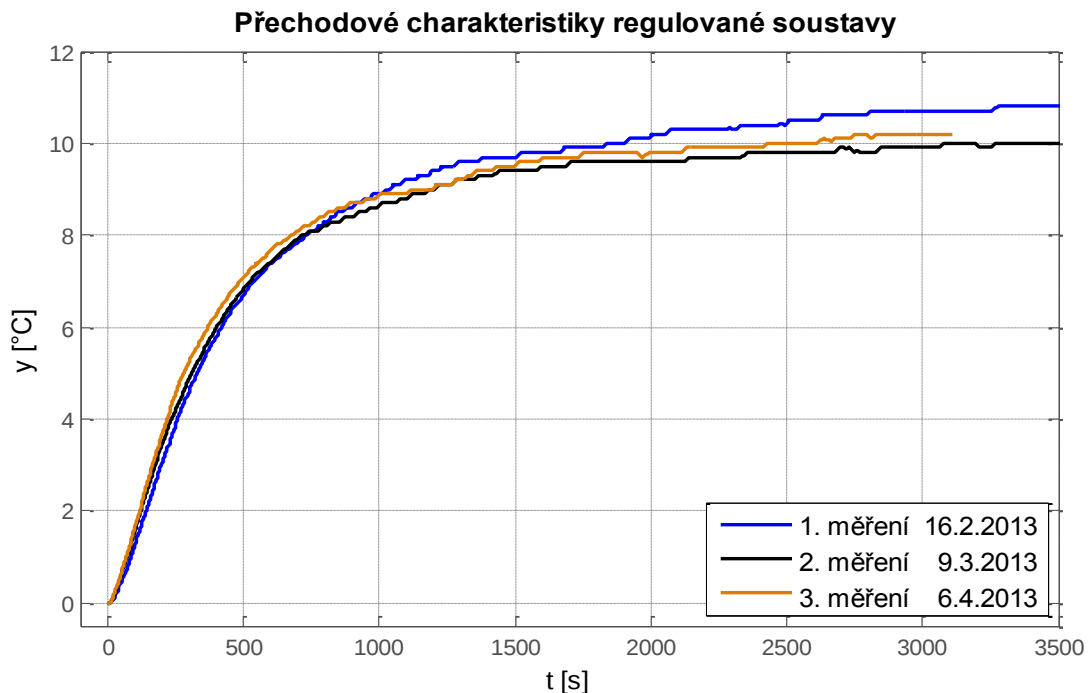
Obr. 4.4: Originál ilustrační obrázek skriptu pro záznam hodnot

Ve skriptu se zapisuje vnitřní teplota, což je měřená proměnná VW0, která je v grafu vyznačena tmavě modrou křivkou. Venkovní teplota VW4 je znázorněna světle modrou křivkou. Poslední proměnná VW6 znázorňuje stav vytápění (9-vypnuto, 11-zapnuto). Ostatní řady jsou v grafu také implementovány, ale z důvodů absence hodnot nejsou vykresleny.

Ke sběru dat existuje mnoho jiných a jednodušších postupů. Přímé určené programy pro záznam hodnot se nainstalují, nastaví a hodnoty se automaticky zaznamenávají. Tyto programy jsou však poměrně drahé a trial verze často neumožňuje zaznamenat více jak 30 hodnot, což by bylo pro tento případ nedostačující.

4.1.2 Sběr dat

Po nastavení všech komponent podílejících se na měření následoval záznam hodnot. Na vstup zkoumaného systému působil signál skoková změna, což byla požadovaná teplota uvnitř skleníku. Tato hodnota se zaznamenávala do tabulky v Excelu. S touto hodnotou se zároveň ukládaly i hodnoty vnitřní i venkovní teploty skleníku. V dalších krocích nás však bude zajímat pouze naměřená vnitřní teplota (Obr. 4.5). Průběh znázorňuje přechodové charakteristiky naměřených hodnot otevřené smyčky systému. Topné těleso, o výkonu 500 W je schopno navýšit teplotu maximálně o 11 °C (při venkovní teplotě -4 °C). Z těchto charakteristik lze vycházet při identifikaci soustavy systému skleníku.



Obr. 4.5: Naměřené hodnoty teplot

V rámci objektivitu byla tato měření prováděna při různých povětrnostních podmínkách, zejména při různých teplotách v časovém rozmezí dvou měsíců. Jak je patrné z grafu (Obr. 4.5), naměřené přechodové charakteristiky jsou podobné. Rozdíl je pouze v dosažené teplotě ve skleníku (10 °C až 10,8 °C), která byla závislá na venkovní teplotě. Z toho lze usoudit, že vliv poruchy na systém je minimální. Následná identifikace soustavy bude provedena postupně ze všech tří měření a následně zprůměrována.

4.2 Přesnost platinového snímače teploty

Jak už bylo uvedeno dříve, k měření teploty jsou použity platinové snímače teploty. Tento snímač splňuje normu DIN EN 60751, kde je vyroben v toleranční třídě B. Jeho citlivost se pohybuje v tolerančním pásmu $\pm (0,3 + 0,005 \times |t|)$ K [10]. Za hodnotu t se dosazuje absolutní hodnota okamžité teploty v jednotkách °C. S přibývajícím teplotou roste i nepřesnost snímače. Například při 0 °C bude chyba snímače $\pm 0,3$ K, při teplotě 10 °C už bude chyba $\pm 0,35$ K.

4.3 Metody identifikace

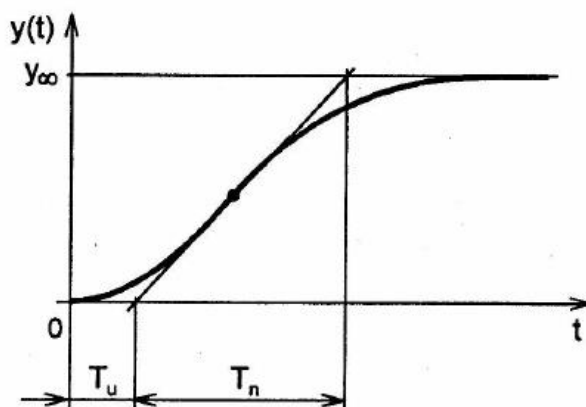
U tepelných soustav se předpokládají poměrně velké časové konstanty, proto lze použít identifikaci pomocí aproximace přechodové charakteristiky. Použití těchto deterministických metod je vhodné, jestliže šum na vstupu měřené soustavy je zanedbatelný. Jelikož se jedná o tepelnou soustavu, předpokládá se soustava minimálně druhého řádu.

K určení přenosové soustavy řízených objektů se používají nejrůznější metody identifikace. Pro tento projekt byla použita Strejcova metoda, což je metoda experimentální.

4.4 Metoda aproximace přechodových charakteristik

Jelikož odezva systému vykazuje aperiodický průběh, lze ji aproximovat pomocí soustavy 2. řádu s rozdílnými časovými konstantami, nebo proporcionální soustavu n -tého řádu [18]. To lze zjistit pomocí tohoto jednoduchého výpočtu:

$$\tau = \frac{T_u}{T_n} \quad \begin{array}{l} T_u - \text{doba průťahu} \\ T_n - \text{doba náběhu} \end{array} \quad (1)$$



Obr. 4.6: Stanovení poměru τ [18]

Jestliže:

$\tau < 0,1 \rightarrow$ aproximace přenosem ve tvaru:

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)} \quad (2)$$

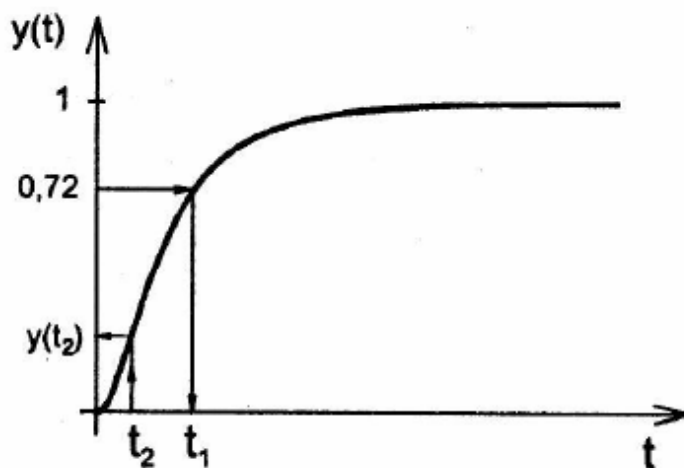
$\tau > 0,1 \rightarrow$ aproximace přenosem ve tvaru:

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} \quad (3)$$

Pohledem na přechodovou charakteristiku (Obr. 4.5) lze konstatovat, že doba náběhu je několikanásobně větší než doba průťahu a proto byla k aproximaci použita rovnice číslo 2.

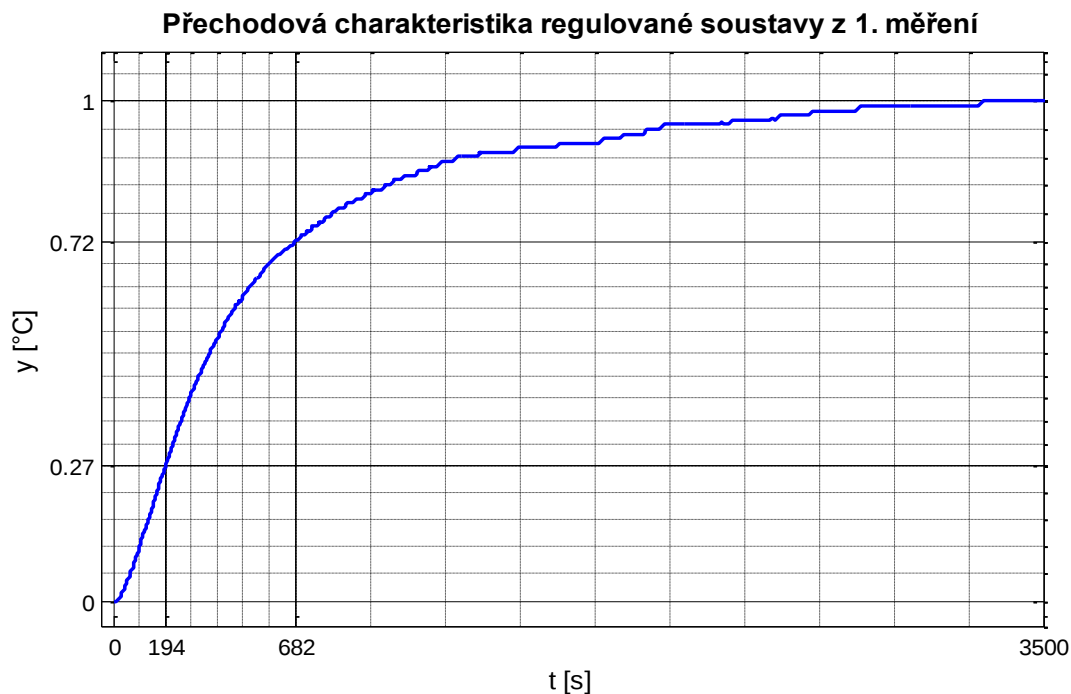
4.4.1 Aproximace proporcionální soustavou 2. řádu s rozdílnými časovými konstantami

Prvním krokem před samotnou identifikací bylo převedení přechodové charakteristiky (z prvního měření) na jednotkový skok o velikosti 1 °C (viz Obr. 4.7).



Obr. 4.7: Aproximace soustavou 2. řádu s rozdílnými časovými konstantami [18]

Výsledkem modifikace přechodové charakteristiky 1. měření na jednotkový skok je Obr. 4.8.



Obr. 4.8: Přechodová charakteristika regulované soustavy z 1. měření

V grafu jsou vyznačeny následující výpočty potřebné k identifikaci systému.

Parametry přenosu $G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}$ určíme následujícím způsobem:

1. Vypočet zesílení

$$K = \frac{y(\infty)}{u(\infty)} = \frac{1}{1} = 1 \quad (4)$$

2. Pro hodnotu $0,72y(\infty)$ se z přechodové charakteristiky odečte časový okamžik $t_1 = 682 \text{ s}$, a vypočte se součet časových konstant T_1 a T_2 podle vztahu:

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564} = \frac{682}{1,2564} = \underline{\underline{542,8208 \text{ s}}} \quad (5)$$

3. Pak se vypočte časový okamžik t_2

$$t_2 = 0,3574 \cdot (T_1 + T_2) = \underline{\underline{194,0041 \text{ s}}} \quad (6)$$

4. Z grafu přechodové charakteristiky (Graf 1) se odečte hodnota $y(t_2) = 0,27$

5. Podle tabulky 1 se určí poměr časových konstant τ_2 , kde:

$$\tau_2 = \frac{T_1}{T_2} = \underline{\underline{0,063}} \quad (7)$$

Tabulka 1: Určení poměru časových konstant [18]

$y(t_2)$	τ_2	$y(t_2)$	τ_2	$y(t_2)$	τ_2
0,30	0,000	0,25	0,105	0,20	0,264
0,29	0,023	0,24	0,128	0,19	0,322
0,28	0,043	0,23	0,154	0,18	0,403
0,27	0,063	0,22	0,183	0,17	0,538
0,26	0,084	0,21	0,219	0,16	1,000

6. Ze známého součtu a poměru časových konstant lze vypočíst T_1 a T_2 pro

1. měřený průběh:

$$T_1 = 32,1709 \text{ s} \cong \underline{\underline{32 \text{ s}}} \quad \text{a} \quad T_2 = 510,6498 \text{ s} \cong \underline{\underline{511 \text{ s}}} \quad (8)$$

7. Následně tak dostáváme rovnici soustavy:

$$\underline{\underline{Fs_{(p)} = \frac{1}{(32p + 1)(511p + 1)}}} \quad (9)$$

Stejným způsobem se provedly výpočty pro zbývající dvě měřené charakteristiky. Mezivýsledky a konečné výsledky jsou zaznamenány v následující tabulce.

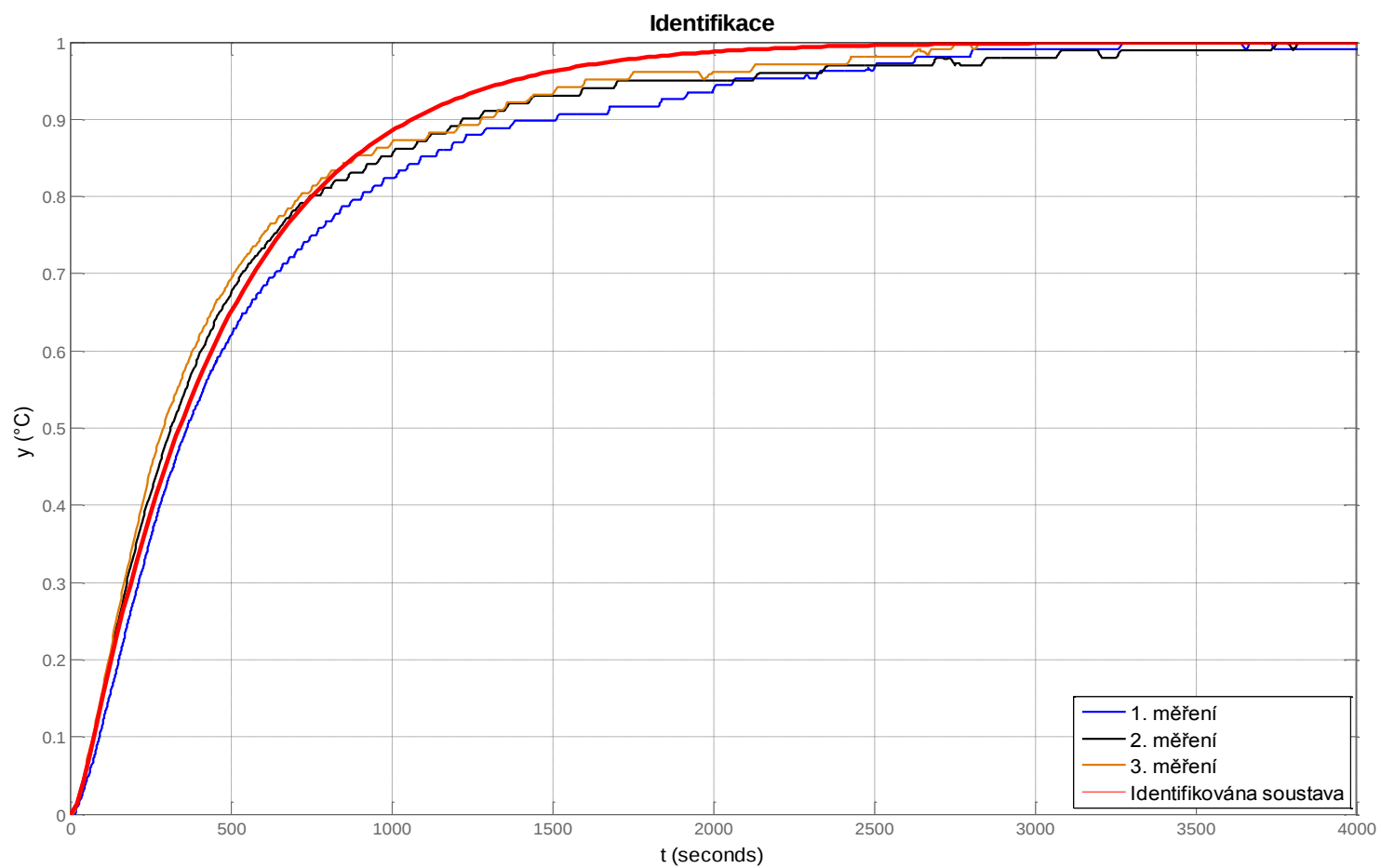
Tabulka 2: Výsledky identifikace z 3 měření

	$T_1 + T_2$	$y(t_2)$	τ_2	T_1	T_2
1. Měření	543	0,27	0,063	32 s	511 s
2. měření	455	0,27	0,063	27 s	528 s
3. Měření	432	0,27	0,063	26 s	406 s
Průměr	477	-	0,063	28 s	449 s

Nejen z grafu přechodových charakteristik, ale také z tabulky je vidět podobnost přechodových dějů vytápění ve skleníku. Poměr časových konstant τ_2 ve všech případech vyšel 0,063. Pro další výpočet byla jako součet časových konstant zvolena průměrná hodnota součtu časových konstant ze všech tří měření. Následně podle poměru τ_2 byly odvozeny jednotlivé časové konstanty. Pro další výpočty byly zvoleny časové konstanty $T_1 = 28 \text{ s}$ a $T_2 = 449 \text{ s}$. Tím získáme přenosovou rovnici soustavy:

$$\underline{\underline{Fs_{(p)} = \frac{1}{(28p + 1)(449p + 1)}}} \quad (10)$$

Pro kontrolu správnosti identifikace je na následující stránce vynesena graf, kde identifikována soustava je shodná s přechodovými charakteristikami vzniklými měřeními. Maximální rozdíl mezi vypočtenou charakteristikou a naměřenými charakteristikami nepřesáhne 5 %.



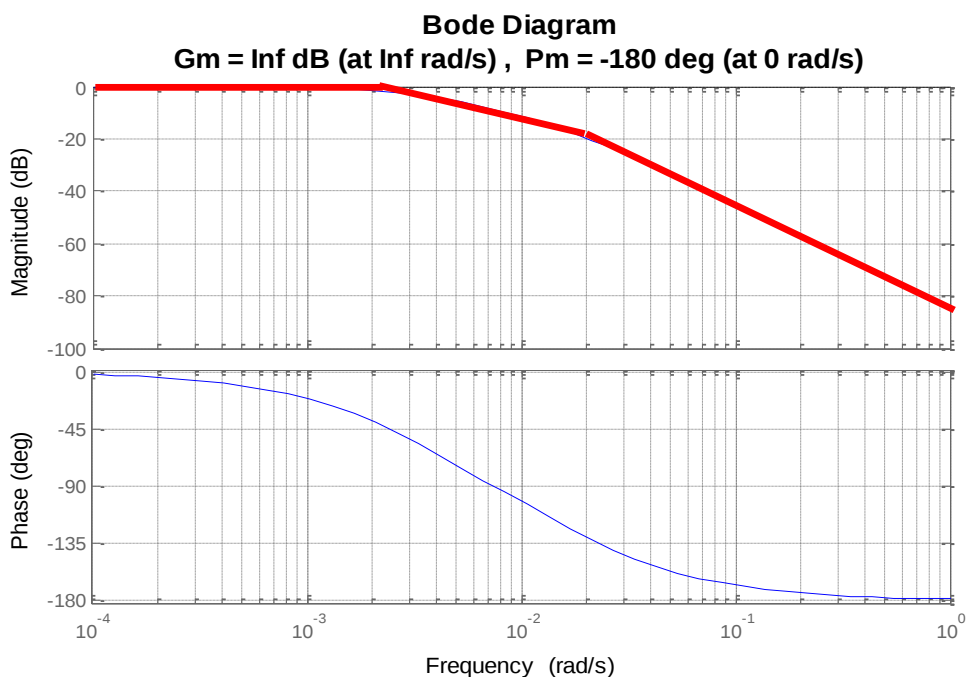
Obr. 4.9: Ověření identifikace

5 NÁVRH REGULÁTORU

V předešlém kroku byla sestavena regulovaná soustava. Dalším krokem je nyní návrh samotného regulátoru. Existuje mnoho postupů pro tento návrh. Například metoda frekvenčních charakteristik, metoda optimálního modulu nebo metoda Ziegler-Nicholsova. Pro tento úkol byla pro jednoduchost návrhu zvolena metoda frekvenčních charakteristik, která je pro tento případ zcela postačující. Pro ověření však byl navrhnout regulátor i metodou optimálního modulu.

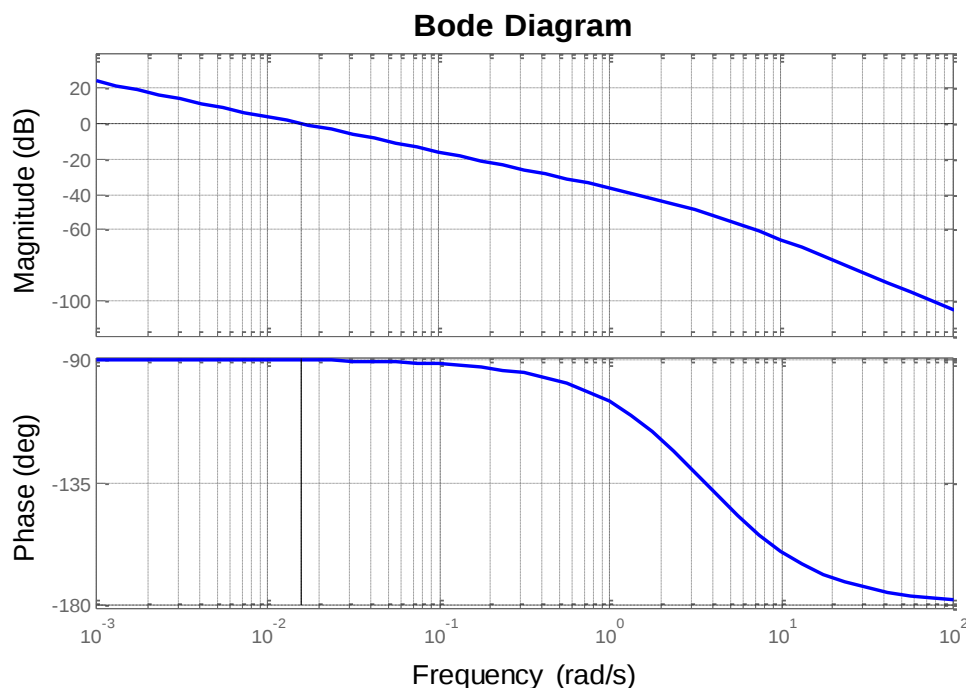
5.1 Metoda frekvenčních charakteristik

Jak už z názvu vyplývá, tato metoda vychází z frekvenční charakteristiky otevřené smyčky obvodu. Máme-li rovnici soustavy, tak každé zvýšení pólu v čitateli (nula) způsobí změnu sklonu asymptoty $+20$ dB a každé zvýšení pólu ve jmenovateli (pól) způsobí změnu sklonu asymptoty -20 dB. V Obr. 5.1 je znázorněn průběh charakteristiky regulované smyčky, první zlom na -20 dB/dek nastává ve frekvenci $1/313$ rad/s, další zlom na -40 dB/dek na frekvenci $1/57$ rad/s.



Obr. 5.1: Bodeho diagram

Optimální je protínání osy 0 dB pod sklonem -20 dB/dek, a to co nejdále na obě strany od frekvence řezu (fázová bezpečnost). Pro toto řešení byl použit PID regulátor, který správným fázovým posuvem a změnou zesílení zajistil zmíněnou podmínku (viz Obr. 5.2).



Obr. 5.2: Bodeho diagram regulátoru působícího na soustavu

5.2 Návrh v Matlab-Sisotool

Nadstavba Sisotool umožňuje práci se zpětnovazebními systémy – je možné zvolit základní zapojení zpětnovazebního obvodu a jeho prvky (přenos řízení, přenos poruchy...) a tato vyšetřovat pomocí současného zobrazování frekvenčních charakteristik, polohy kořenu, zobrazení přenosu a odezev, a to vše interaktivně reagující společně na změnu parametru (myš, klávesnice).

V důsledku použití diskrétního regulátoru bylo potřeba implementovat na soustavu zpoždění. Jelikož se počítalo se vzorkovací periodou $T_{VZ} = 1$ s, soustava byla přes Padeho rozvoj zpožděna o 0,5 s. Po vložení soustavy F_S do Matlab-Sisotool byl následně navržen regulátor. U regulátoru byly použity shodné časové konstanty jako u modelu regulované soustavy. Tím došlo k eliminaci pólu soustavy. Současně se změnou ve frekvenční oblasti byla sledována simulovaná přechodová charakteristika. Při konečném nastavení bylo dosaženo amplitudové bezpečnosti cca 50 dB a fázové bezpečnosti 90 °. Také bylo zjištěno zesílení 0,0077, to je nutno znát pro další výpočty. Z této simulace pak dostáváme přenos regulátoru, který zní:

$$F_R(p) = \frac{97,63p^2 + 3,7p + 0,0077}{p} \quad (11)$$

5.3 Výpočet PID a přepočet na PSD

Následujícím krokem je výpočet jednotlivých složek regulátoru a přepočet na PSD regulátor [21].

Typizovaný přenos klasického PID regulátoru lze zapsat jako:

$$F_R(p) = \frac{X(p)}{E(p)} = r_0 + \frac{r_i}{p} + r_d p = K_R \left(1 + T_D p + \frac{1}{T_I p} \right) = K_R \left(\frac{T_I p + T_D T_I p^2 + 1}{T_I p} \right) \quad (12)$$

Přenos lze následně odvodit do tvaru, v jakém jen navržen regulátor:

$$F_R(p) = K_R \frac{T_I p + T_D T_I p^2 + 1}{T_I p} = \frac{K_R}{T_I} \cdot \frac{T_D T_I p^2 + T_I p + 1}{p} = \frac{K_R T_D p^2 + K_R p + \frac{K_R}{T_I}}{p} \quad (13)$$

Pak po dosazení lze odvodit jednotlivé PID složky regulátoru.

$$F_R(p) = \frac{K_R T_D p^2 + K_R p + \frac{K_R}{T_I}}{p} = \frac{97,63 p^2 + 3,7 p + 0,0077}{p(0,28 p + 1)} \quad (14)$$

Z důvodu realizovatelnosti regulátoru byla do jmenovatele přidána realizační konstanta, která se volila jako setina nejmenší časové konstanty, tedy 0.28 s.

Podle následujících vztahů byly odvozeny všechny potřebné složky nového regulátoru, které následně byly přepočteny na diskretní regulátor.

$$\begin{aligned} K_R &= \underline{\underline{3,7}} \\ \frac{K_R}{T_I} &= 0,0077 \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{T_I}} = \frac{K_R}{0,0077} = \underline{\underline{480,52s}} \\ K_R T_D &= 97,63 \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{T_D}} = \frac{97,63}{K_R} = \underline{\underline{26,39s}} \end{aligned} \quad (15)$$

Pomocí vzorců pro diskretizaci byly odvozeny parametry diskretního regulátoru.

$$\begin{aligned} D_d &= \frac{T_D}{T} = \frac{26,39}{1} = \underline{\underline{26,39s}} \\ D_i &= \frac{T}{T_I} = \frac{1}{480,52} = \underline{\underline{0,0021 s}} \end{aligned} \quad (16)$$

5.4 Metoda optimálního modulu

Metoda optimálního modulu, jako jedna z mála metod pracuje s požadovaným tvarem frekvenční charakteristiky uzavřené smyčky s přenosem $F_w(p)$. Přechodový děj bude optimální, jestliže bude $|F_w(p)| \approx 1$ do co největších frekvencí a bude-li tento průběh bez překmitů [21].

Tato metoda byla použita pro ověření návrhu regulátoru. Prakticky bylo zjištěno, že pro řízení vytápění stačí pouze PI regulátor. Nejprve se odvodil přenos řízení uzavřené smyčky a následně byly podle vzorců vypočteny jednotlivé složky regulátoru.

Přenos soustavy zní:

$$F_s(p) = \frac{1}{(28p+1)(449p+1)} \quad (17)$$

a přenos regulátoru:

$$F_R(p) = \frac{X(p)}{E(p)} = k_r \frac{T_i p + 1}{p} \quad (18)$$

Pro přenos řízení pak platí:

$$F_\omega(p) = \frac{\frac{1}{12572p^2 + 477p + 1} \cdot \frac{k_r(T_i p + 1)}{p}}{1 + \frac{1}{12572p^2 + 477p + 1} \cdot \frac{k_r(T_i p + 1)}{p}} \quad (19)$$

$$F_\omega(p) = \frac{\frac{k_r T_i p + k_r}{12572p^3 + 477p^2 + p}}{\frac{(k_r T_i p + k_r) + (12572p^3 + 477p^2 + p)}{12572p^3 + 477p^2 + p}} \quad (20)$$

$$F_\omega(p) = \frac{k_r T_i p + k_r}{12572p^3 + 477p^2 + (k_r T_i + 1)p + k_r} \quad (21)$$

Příslušné koeficienty přenosu pak jsou:

$a_0 = k_r$	$b_0 = k_r$
$a_1 = (k_r T_i + 1)$	$b_1 = k_r T_i$
$a_2 = 477$	$b_2 = 0$
$a_3 = 12572$	$b_3 = 0$

$A_0 = a_0^2 = k_r^2$	$B_0 = b_0^2 = k_r^2$
$A_1 = a_1^2 - 2a_0 a_2 = (k_r T_i + 1)^2 - 954k_r$	$B_1 = b_1^2 - 2b_0 b_2 = k_r^2 T_i^2$
$A_2 = a_2^2 - 2a_1 a_3 + 2a_0 a_4 = 477^2 - 25144(k_r T_i + 1)$	$B_2 = 0$

Koeficienty se dosadí do následujících dvou rovnic:

$$A_2 \cdot B_0 = A_0 \cdot B_2$$

$$A_1 \cdot B_0 = A_0 \cdot B_1$$

a výpočtem dvou rovnic o dvou neznámých se zjistí jednotlivé složky regulátoru:

$$477^2 - 25144(k_r T_i + 1) = 0$$

$$(k_r T_i + 1)^2 - 954k_r = k_r^2 T_i^2$$

$$227529 - 25144k_r T_i - 25144 = 0$$

$$k_r T_i - 954k_r + 1 = 0$$

$$T_i = \frac{202385}{25144k_r} = \frac{202385}{25144 \cdot 0,017922}$$

$$2\left(\frac{202385}{25144k_r}\right)k_r - 954k_r + 1 = 0$$

$$\underline{\underline{T_i = 449,10s}}$$

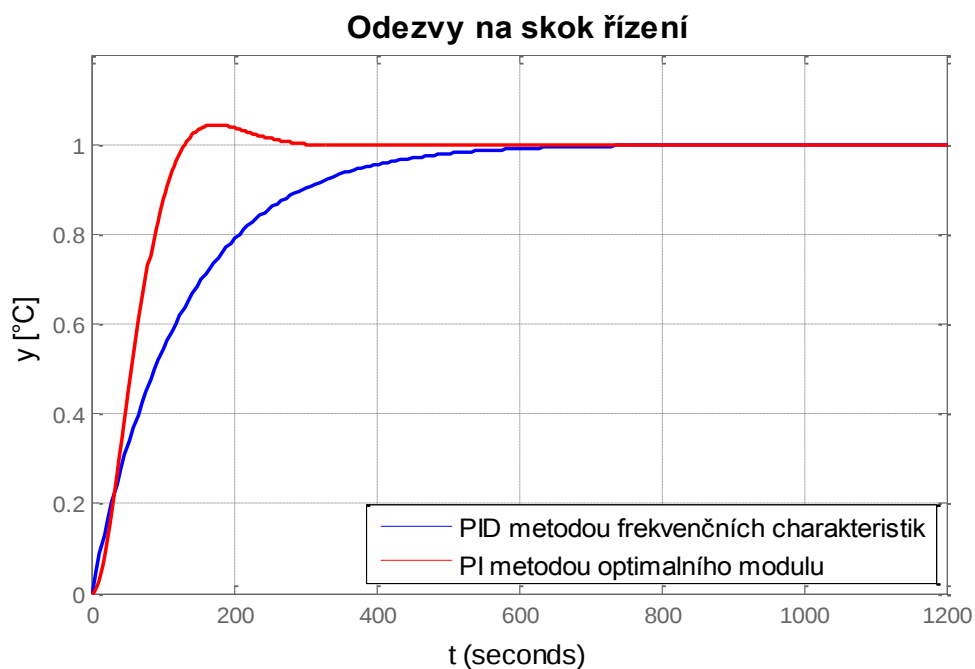
$$\underline{\underline{k_r = 0,017922}}$$

Z dosazení těchto výsledků do rovnice PI regulátoru, pak dostáváme přenos regulátoru:

$$F_R(p) = \frac{X(p)}{E(p)} = k_r \frac{T_i p + 1}{p} = 0,01792 \frac{449 p + 1}{p} \quad (22)$$

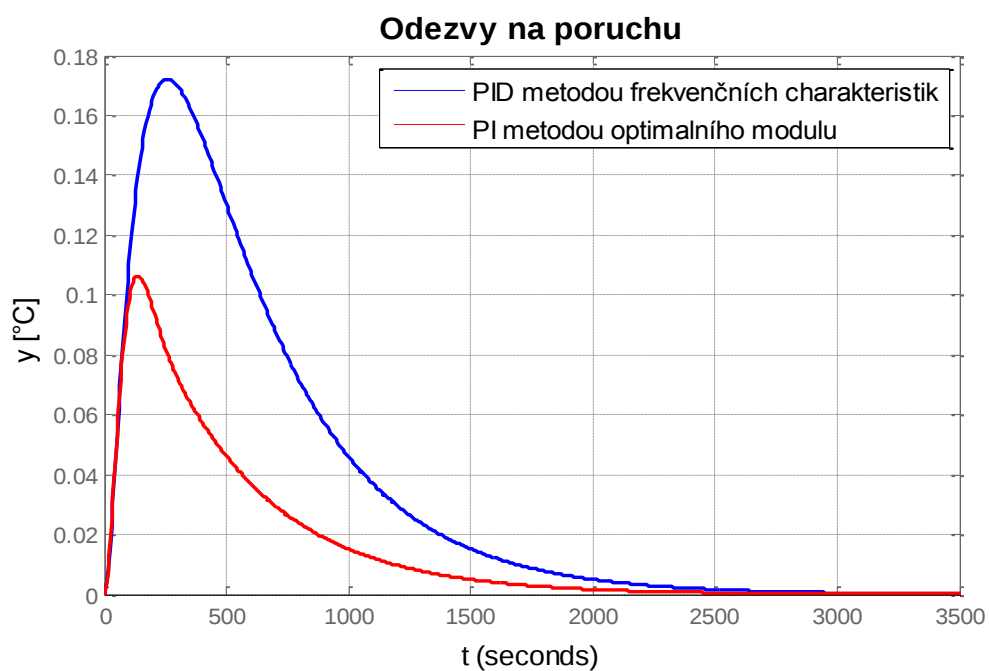
Časová konstanta přenosu regulátoru je shodná s jednou z časových konstant přenosu soustavy, to lze brát jako kontrolu správnosti návrhu regulátoru touto metodou.

Pro porovnání vlastností navržených regulátorů rozdílnými metodami, byl vynesena graf odezvy regulátoru na skok řízení (Obr. 5.3).



Obr. 5.3: Odezvy na skok řízení PI a PID regulace

Regulátor navržený metodou optimálního modulu je sice rychlejší, ale jeho překmit by mohl být v praxi nežádoucí.

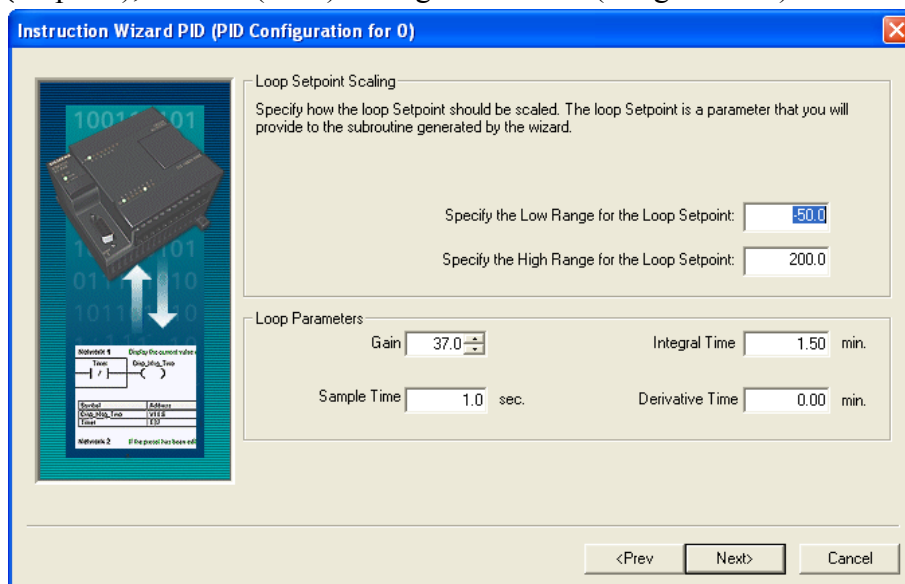


Velká výhoda by mohla být v reakci regulátoru na poruchu, kde PI regulátor dokáže poruchu rychleji vyeliminovat.

6 PROVĚŘENÍ REGULÁTORU

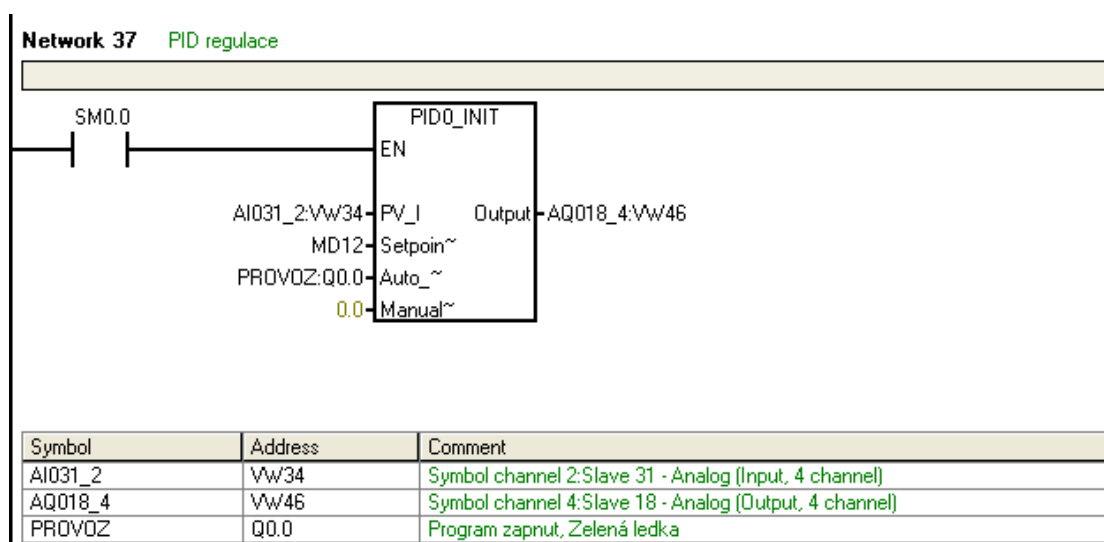
6.1 Zavedení nového regulátoru do ŘS

Jak už bylo zmíněno, skleník je řízen programovatelným automatem Siemens Simatic S7-200. Ten může regulovat až 8 nezávislých smyček typu PID. Regulátor byl tedy vložen do jedné z nich přes tzv. Wizard PID. Byly nastaveny hodnoty pracovního rozsahu (Setpoint), zesílení (Gain) a integrační složka (Integral Time).



Obr. 6.1: Nastavení PID smyčky ve Wizard PID

Jelikož výstupní hodnota z teplotního snímače je 10x větší a je datového typu integer, nedá se vydělit na desetinné číslo. Desetinásobná aktuální teplota je tedy vkládána na vstup regulátoru, kde pak i zesílení regulátoru musí být desetinásobné.



Obr. 6.2: Volání PID smyčky v hlavním programu

Daná nastavená PID smyčka se pak volá z hlavního programu, kde vstup představují: SP (set point) – požadovaná hodnota, PV – aktuální hodnota teploty a dále pak manuální nebo automatický režim. Výstupem je analogový signál sloužící k ovládání topného tělesa.

6.2 Nakonfigurování nových komponentů v systému

Při dvoustavové regulaci typu ON/OFF postačoval digitální výstup a jen relé, kterým se spínal akční člen. Při spojitě regulaci by se rovněž dalo použít relé ovládané pulzní šířkovou modulací. Je to nejlevnější princip plynulého ovládání akčního členu, ale dochází k rychlému opotřebení relé. Ke spojitému řízení akčního členu byl proto použit analogový modul spolu s tyristorovým výkonovým prvkem. Jde sice o dražší variantu, ale také kvalitnější a s delší životností.

Analogový modul je značky ifm electronic AC2219 [19], což je aktivní AS-i modul se 4mi analogovými výstupy 0...10 V. Tento modul byl použit jako převodník digitálního signálu 0...10000 na 0...10 V. Je napojen na AS-i sběrnici, a ta následně na AS-i master. Parametry modulu se musely přes PC rozhraní vložit do systému, poté byl modul připraven k použití.



Obr. 6.3: Analogový modul AC2219 [19]

K analogovému modulu bylo připojeno SSR relé [20], které řídí výkon topného tělesa v závislosti na vstupním signálu (0...10 V).



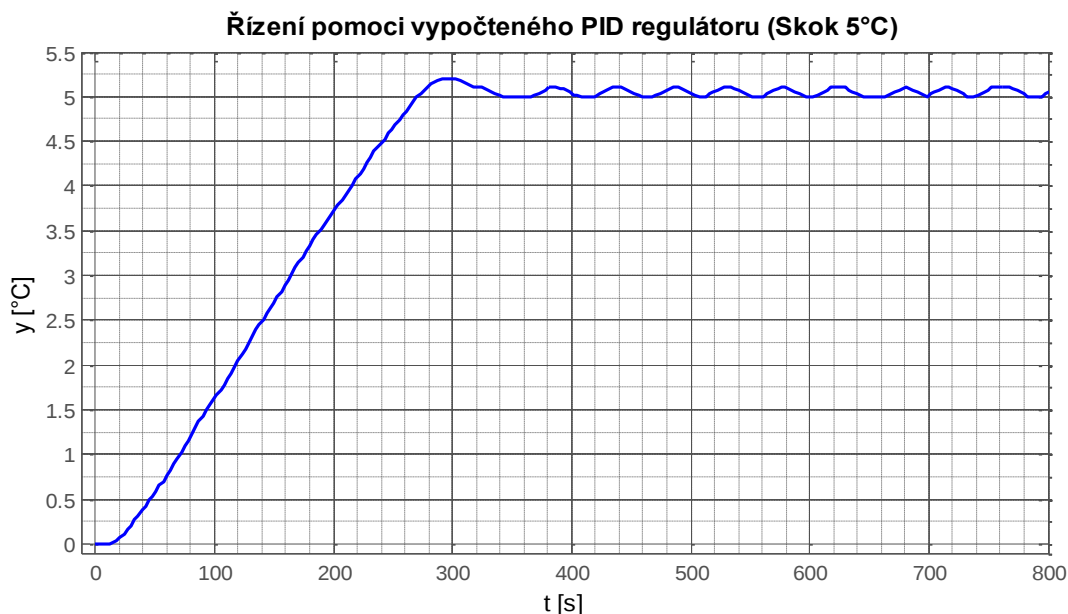
Obr. 6.4: SSR relé [20]

Zařízení funguje na principu triakového regulátoru výkonu (princip stmívače). Kromě řídicího signálu, SSR relé potřebuje i externí napájení 24 V ss.

6.3 Sestavení charakteristik

Po nakonfigurování AS-i sítě a ŘS a nastavení regulátoru bylo dalším úkolem prověřit regulaci systému vytápění. Nejprve byly zadány hodnoty složek PID z výpočtů. Pak došlo postupně k doladování hodnot k optimální funkčnosti regulace.

Nejprve tedy k vypočtenému PID regulátoru. Zadaly se hodnoty z výpočtů, kde: $K_R = 3,7$, $D_I = 0,0021$ s, $D_D = 26,35$ s. Po nastavení proběhlo testování a následné vykreslení přechodové charakteristiky uzavřené smyčky.



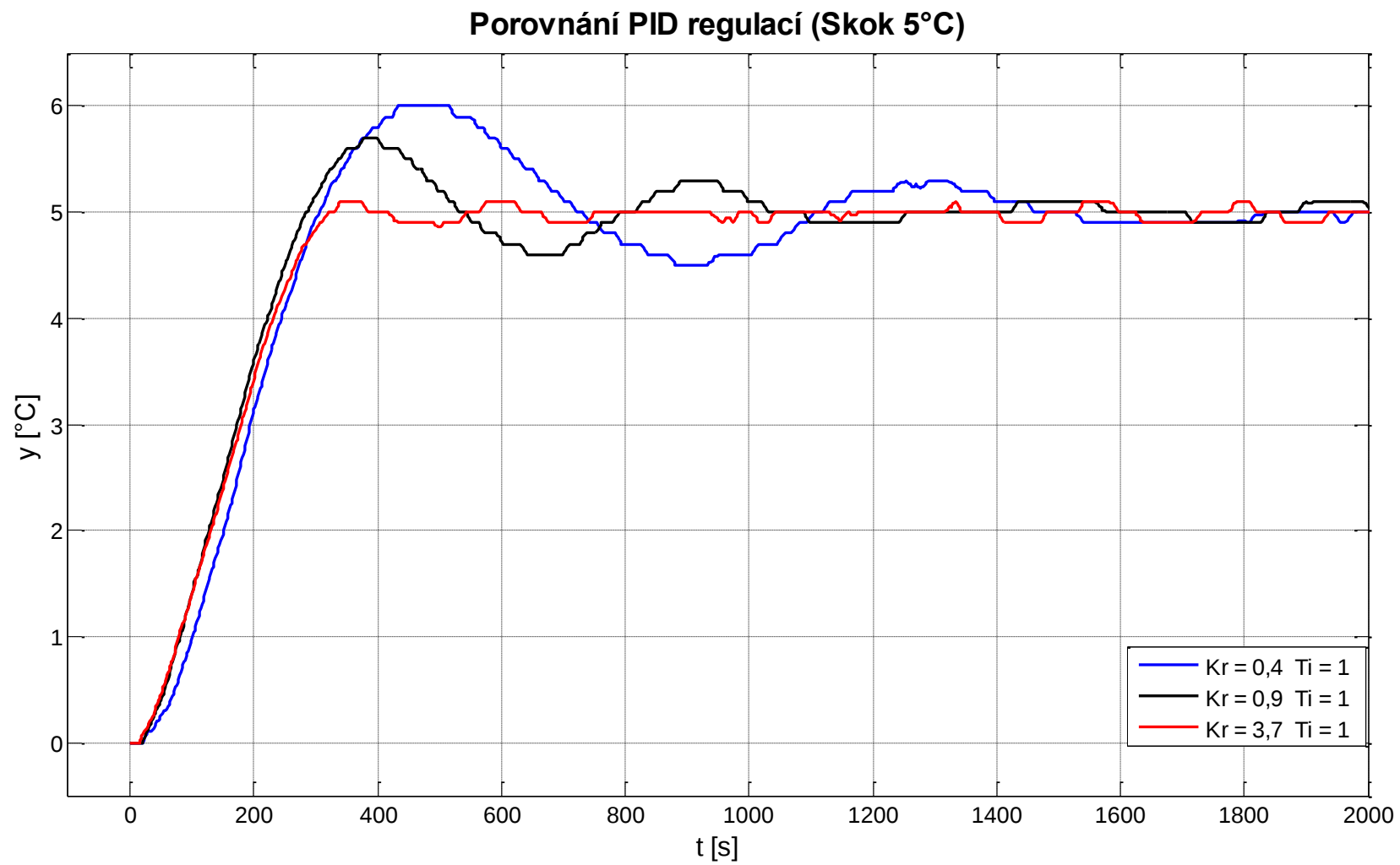
Obr. 6.5: Přechodová charakteristika vypočteného PID regulátoru

V přechodové charakteristice (Obr. 6.5) si lze povšimnout mírného překmitu, což je nevhodné (zbytečné) pro regulátor tak pomalého systému. Navíc díky kmitajícímu akčnímu členu není možné ustálení na požadovanou hodnotu.

Došlo tedy k modifikacím hodnot jednotlivých složek PID. Prvním krokem bylo vyrušení D_D složky z regulace, která způsobovala velké rozkmity akční veličiny. V systému byl nyní zvolen a nastaven pouze PI regulátor, který plynuleji řídil výkon akční veličiny.

U PI regulátoru se v jednotlivých krocích dále upravovalo jen zesílení a integrační složka. Nejprve byla experimentálně zvolena časová konstanta $D_I = 1$ minuta, která se po několika testovacích měřeních jevila jako optimální. Dále pak byla upravována hodnota zesílení K_R od 0,4 až 3,7. V následujícím grafu (Obr. 6.6) jsou vybrána testovací měření, kde byl použit PI regulátor se zesílením 0,4; 0,9 a 3,7.

PI regulátor se zesílením 0,4 pomaleji upravoval výkon akční složky, tím docházelo k dosti velkému překmitu 1,2. Kvůli malým změnám zesílení a překmitu docházelo k pomalému ustálení. Po ustálení však lépe reguluje teplotu na požadované hodnotě.



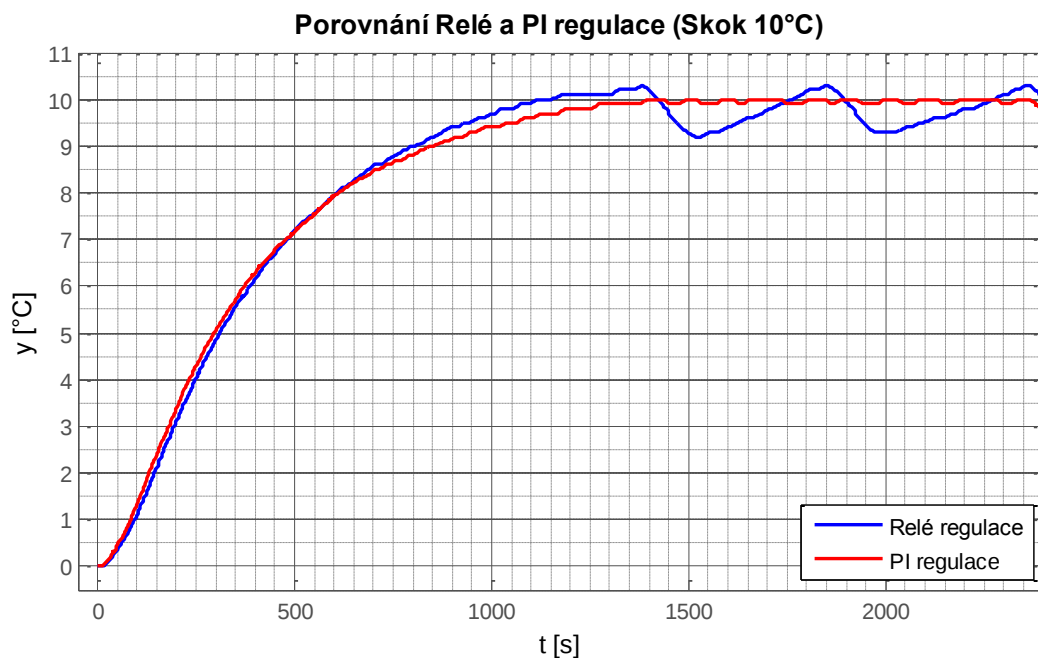
Obr. 6.6: Přebíhové charakteristiky PI regulátoru

Pouhou úpravou zesílení na hodnotu 0,9 se změnil celý průběh. Takovýmto navýšením akčního zásahu nastává menší překmit a dochází k rychlejšímu ustálení.

Postupným experimentálním nastavováním a testováním regulátoru byla vrácena dříve vypočtená hodnota zesílení $K_R = 3,7$. S touto hodnotou se společně s integrační složkou $D_I = 1$ minuta regulátor jevil neoptimálněji nastaven.

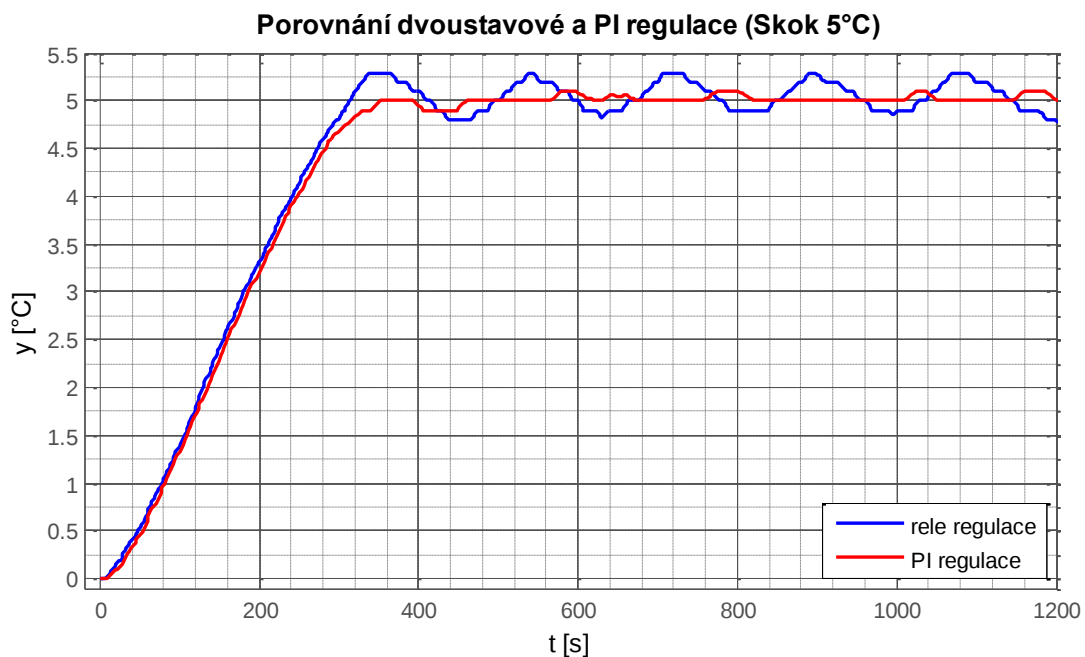
6.4 Porovnání dvoustavové a PI regulace

Jak už bylo zmíněno dříve, dosavadní regulace ve skleníku byla dvoustavová (vypnuto, zapnuto), u této regulace však docházelo ke vzniku relaxačních kmitů $\pm 0,5$ °C. Navržením nové regulace zanikly relaxační kmitý. Srovnání lze jasně vidět v grafické podobě těchto dvou regulací (viz Obr. 6.7).



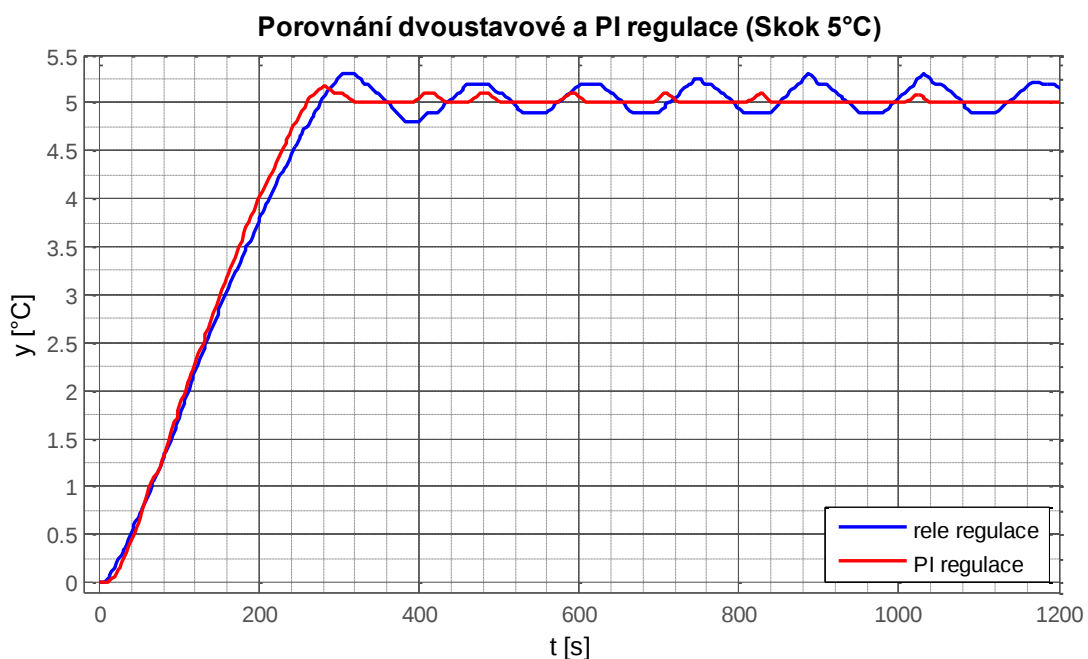
Obr. 6.7: Porovnání regulací se skokovou změnou 10 °C

Nejprve bylo provedeno srovnání při skokové změně 10 °C. Požadovaná teplota byla zvolena velmi blízko maximální teplotě, kterou je topné těleso schopno dosáhnout. Pro větší skokové změny teploty je nutno použít topné těleso s vyšším výkonem, aby nedošlo k saturaci (nasycení). To je patrné z Obr. 6.7, kde lze pozorovat posun středu relaxačních kmitů pod požadovanou hodnotu teploty. Dále lze u relé regulace pozorovat pomalé regulační děje.



Obr. 6.8: Porovnání regulací se skokovou změnou 5 °C

Jinak tomu bylo při skokové změně 5 °C, kde byly regulace mnohem pružnější. Obr. 6.8 a Obr. 6.9 znázorňují průběhy regulace při různých venkovních teplotách.



Obr. 6.9: Porovnání regulací se skokovou změnou 5 °C

Na zaznamenaných časových odezvách jsou patrné drobné změny, které mohou být způsobeny malou rozlišovací schopností nebo šumem teplotního snímače (0,1 °C).

7 ZÁVĚR

V první části byl popsán skleník jako objekt řízení s jeho hlavními funkcemi a jednotlivými regulačními okruhy. Ve skleníku jsou použity moderní a kvalitní prvky renomovaných firem. Volba řídicího systému a jeho přídatných modulů je možná z hlediska ceny pro tento systém zbytečná, ale jiný nebyl k dispozici. Výhoda může být při rozšíření systému o další regulace v okolí skleníku. V konkrétním případě by se mohla k systému připojit řízení inteligentního vytápění rodinného domu. Jde o optimalizaci využití různých zdrojů tepla: kotel na tuhá paliva, elektrické topné spirály, tepelné čerpadlo a připravované solární články, to vše se dvěma vícefunkčními zásobníky tepla. Část vyráběné tepelné energie by mohla být použita k vytápění zahradního skleníku. Pak by se dalo dosáhnout větší úspory v provozních nákladech na skleník.

Další část práce je věnována návrhu modelu regulované soustavy. Pro návrh byla vybrána regulace vytápění ve skleníku. Dříve se k udržování teploty používal dvoustavový regulátor, kde skutečná teplota kolísala v rozsahu $\pm 0,5^\circ\text{C}$ kolem požadované teploty.

Prvním úkolem bylo změřit přechodovou charakteristiku dosavadního vytápění ve skleníku. Po následné aproximaci charakteristiky proběhla identifikace soustavy Strejcovou metodou a následně byly odvozeny časové konstanty. Vzhledem ke vztahu časových konstant a periody vzorkování bylo možno zanedbat přídatné dopravní zpoždění, které nahrazuje proces digitalizace. Dopravní zpoždění bylo využito pouze pro návrh regulátoru a jeho diskretizaci.

Po identifikaci časových konstant byl na soustavu navrhnut PID regulátor, který byl nastaven v ŘS. V ŘS se zavedly nové komponenty nutné k plynulé regulaci s analogovým výstupem. PID regulátor byl testován a zároveň modifikován na dostačující PI regulátor. S použitím nového regulátoru se dosahuje kolísání teploty v rozsahu $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Z důvodu nízkého rozlišení (citlivosti) teplotního snímače nebylo možné dosáhnout přesnější regulace. Ke zlepšení stability regulace by bylo nutno zvýšit výkon topného tělesa.

Z porovnání bývalé a nové regulace lze s určitostí konstatovat, že PI regulace v tomto skleníku je kvalitnější než dřívější dvoustavová. Pokud však vezmeme v potaz poměr cena/kvalita vypěstovaných plodin, pak stačí pouze dvoustavová regulace.

Z pohledu automatizace je tento projekt zajímavým tématem, kde bylo možno porovnat teoretické poznatky výpočtu se zavedením a nastavením regulátoru v praxi.

Celá práce byla poměrně časově náročná, protože měření a doladování regulátoru bylo možno provádět jen za vhodných povětrnostních podmínek (ustálená venkovní teplota). Tomu předcházela rovněž náročný výběr a aplikace vhodných a dostupných programů pro sběr dat.

Literatura

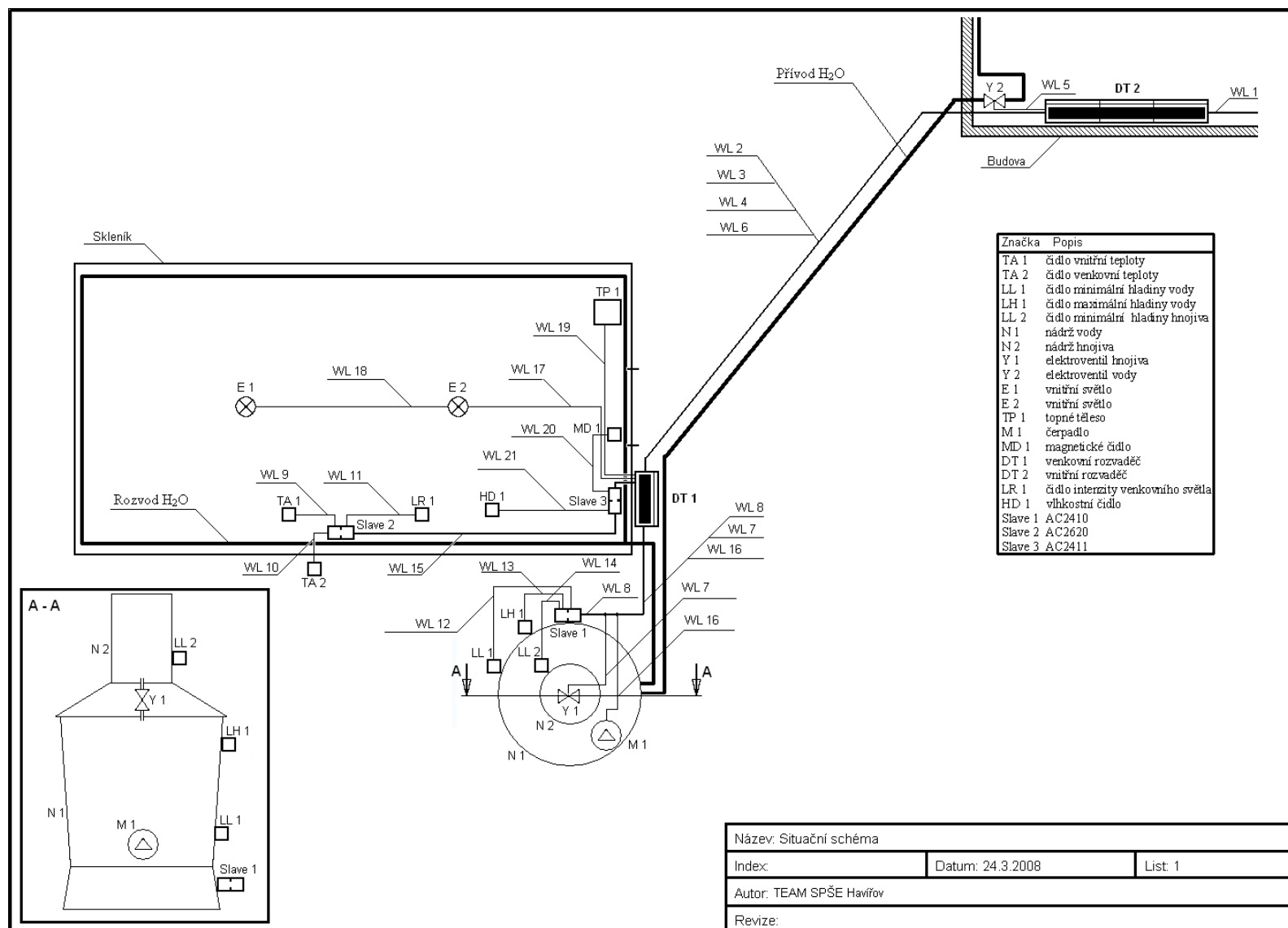
- [1] BECKER, Rolf, et al. AS-Interface: Řešení pro automatizaci. 1. Brno : AS-Interface, 2005. 194 s. ISBN I80-214-2958-5.
- [2] SIEMENS, s.r.o. *Řídicí systém Simatic S7-200* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=86f90bfae0>
- [3] ACELAB. *CPU 222* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: http://acelab.com/ACELAB/index.php?main_page=popup_image&pID=3
- [4] AS-INTERFACE. *Základní informace o sběrnici AS-I* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: http://www.as-interface.cz/AS-i_zaklad.html
- [5] SIEMENS, s.r.o. *AS-Interface Master* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=85cd04829a&ctxp=home>
- [6] CONRAD. *AS interface module CP 243-2* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: http://www.conrad.de/medias/global/ce/1000_1999/1200/1290/1294/129407_RB_00_FB.EPS_1000.jpg
- [7] SIEMENS, s.r.o. *CP 243-2 AS-Interface Master* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s7200/komunikacni_moduly/cp_243_2/manual_cp_243_2_07_2000_en.pdf
- [8] SIEMENS, s.r.o. *Operátorský panel Simatic OP 73micro* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=6a8d6e8ac7&ctxp=home>
- [9] SIEMENS. *Simatic OP 73 micro* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: http://support.automation.siemens.com/CN/lisapi.dll/csfetch/21651554/OP73front_al_72dpi.jpg
- [10] IFM ELECTRONIC, spol. s r.o. *TS2229* [online]. 2010 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www.ifm.com/ifmcz/web/dsfs!TS2229.html>
- [11] IFM ELECTRONIC, spol. s r.o. *KN5107* [online]. 2009 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/KN5107.htm>
- [12] IFM ELECTRONIC, spol. s r.o. *MS5011* [online]. 2009 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www.ifm.com/ifmcz/web/dsfs!MS5011.html>
- [13] GARDENA. *Čidlo půdní vlhkosti* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www.gardena.com/cz/water-management/water-controls/cidlo-pudni-vlhkosti/>
- [14] EMICO 1989 S.R.O. *Ponorné kalové čerpadlo GS 4000, GÜDE* [online]. [cit. 2011-12-15]. Dostupné z URL: <http://www.gude.cz/naradi/kalova-hlubinna-cerpadla/ponorne-kalove-cerpadlo-gs-4000-gude.html?search=GS+4000>
- [15] OPC v průmyslové komunikaci. In: STIANKO, Martin a Jaromír PETERKA. *OPC v průmyslové komunikaci* [online]. 2004 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32378
- [16] SIEMENS S.R.O. [online]. [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: http://cache.automation.siemens.com/dnl/DkzMjg0OQAA_26726155_FAQ/S7_20_0_CPU_Freeport_DataLog_04_d.gif

- [17] SIEMENS S.R.O. *S7-200 PC Access and other OPC clients: Configuring and programming communication* [online]. 2010 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=21601611&load=treecontent&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>
- [18] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: Montanex, 1999, 276 s. ISBN 80-722-5030-2.
- [19] AC2219. *Ifm electronic* [online]. 2006 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC2219.htm>
- [20] RM1E23V25. *GM ELECTRONIC* [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/ssr-pro-montaz-na-chladic/rm1e23v25-p635-300/#popis>
- [21] BLÁHA, Petr, VAVŘÍN, Petr. *Řízení a regulace I: Základy regulace lineárních systémů - spojité a diskrétní* [online]. Brno [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~richter/vyuka/0809_BRR1/texty/brr1.pdf. Skripta. VUT v Brně.

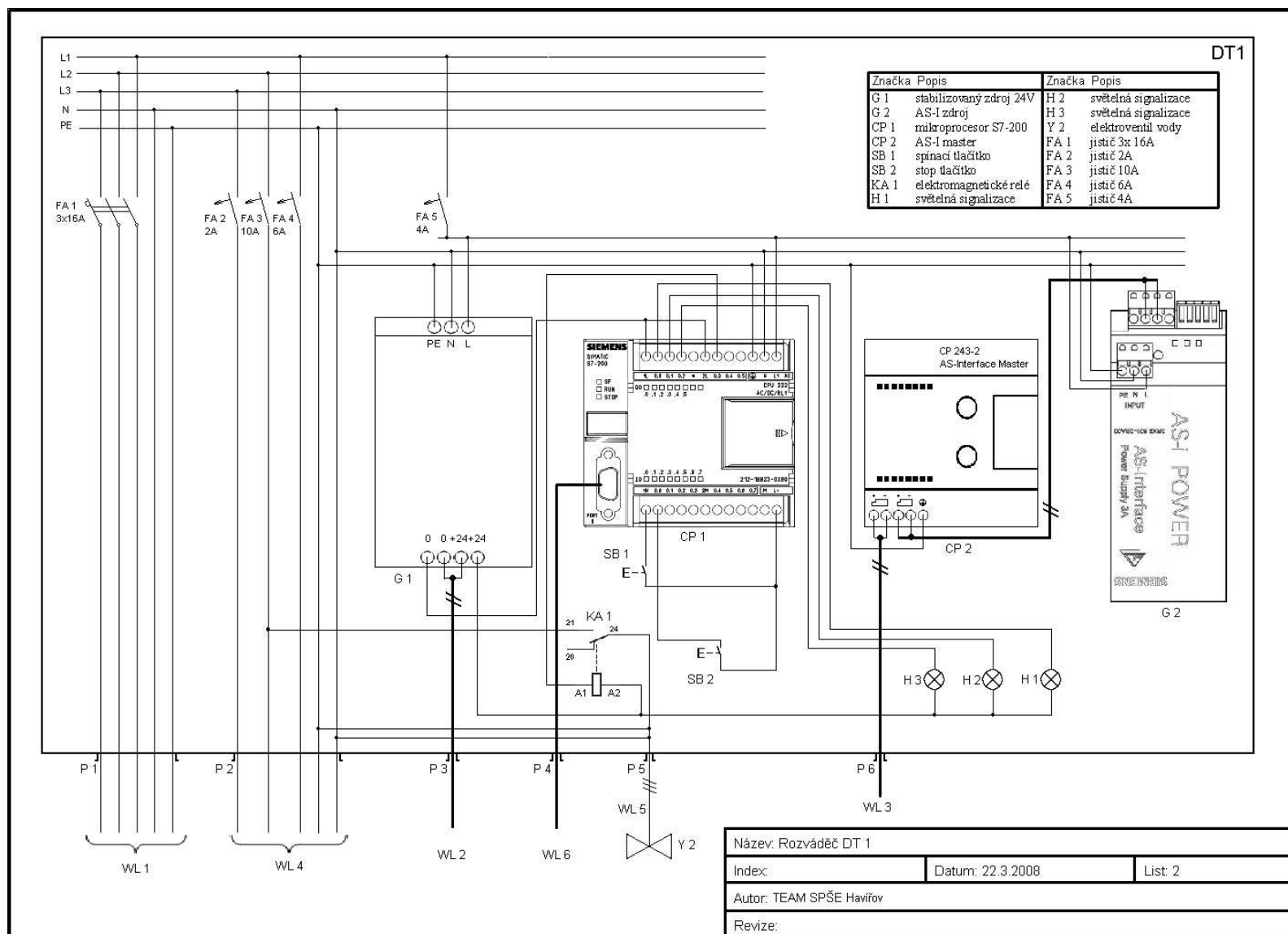
Seznam příloh

- Příloha 1. Situační schéma
- Příloha 2. Schéma vnitřního rozvaděče
- Příloha 3. Schéma venkovního rozvaděče
- Příloha 4. Výpis programu z PLC na CD
- Příloha 5. Soubory z programu Matlab na CD
- Příloha 6. Měřená data z Microsoft Excel na CD

Příloha 1. Situační schéma



Příloha 2. Schéma vnitřního rozvaděče



Příloha 3. Schéma venkovního rozvaděče

