

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA
ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Patrik Jaroš

Univerzita Pardubice
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

Řízení zkušební komory pro testování materiálů pomocí PLC
Bakalářská práce

2024

Patrik Jaroš

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Patrik Jaroš**
Osobní číslo: **I21045**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Řízení zkušební komory pro testování materiálů pomocí PLC**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je implementace software pro řízení zkušební komory pro testování materiálů s využitím vybraného PLC. V rámci práce bude vytvořen teoretický model komory typu Temperature-Humidity, která se v praxi používá pro testování vlastností materiálů a zařízení při různých teplotách a vlhkostech. Model komory bude zahrnovat kondenzační chladicí jednotku, výparník, elektrické topení, ventilátor a zvlhčovač.

Teoretická část: Stručná rešerše problematiky týkající se komor používaných pro testování materiálů při různých teplotách a vlhkostech. Popis problematiky řízení systémů pomocí PLC a možností programování PLC. Návrh řídicího systému testovací komory s využitím PLC.

Implementační část: Vytvoření programu pro PLC realizujícího řízení testovací komory a tvorba software pro HMI ovládací panel. Ověření a simulace funkčnosti navrženého řídicího systému na několika modelových situacích.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, Ladislav a Marie Martinásková, 2002. PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-86056-58-9.
ŠMEJKAL, Ladislav, 2005. PLC a automatizace 2: sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-7300-087-3.
MARTINÁSKOVÁ, Marie, 2004. Programovací jazyky pro PLC. Automatizace, ročník 47, č. 6, s. 380. ISSN 0005-125X.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Kupka, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2024**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. ledna 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem „Řízení zkušební komory pro testování materiálů pomocí PLC“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 17.5.2024

Patrik Jaroš 2024.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Liboru Kupkovi Ph.D. za pomoc při zpracování této práce. Ing. Petru Grundovi z firmy Frigera s.r.o za konzultace v oblasti chlazení a vytápění. Ing. Janu Tluchořovi z firmy Siemens s.r.o za poskytnutí informací ohledně řídicích systémů Siemens Simatic.

ANOTACE

Cíl práce:

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit ideovou klimatickou komoru a k ní příslušný řídicí software a uživatelské prostředí pro ovládání této komory. Tyto komory umožňují přesnou simulaci různých klimatických podmínek. Tento systém je navržen pro testování a výzkum vlivu environmentálních faktorů na různé materiály a produkty především z plastů a pryže.

Teoretická část:

Stručné seznámení s klimatickými komorami, jejich typy a funkcemi. Popis konstrukce a jednotlivých částí klimatických komor. Popis problematiky řízení systémů pomocí PLC a způsoby programování PLC.

Implementační část:

Vytvoření ideové komory s vhodným topením, chlazením, zvlhčováním a čidly. Vytvoření programu v PLC pro regulaci klimatické komory, vybrání vhodného uživatelského rozhraní a naprogramování tohoto ovládacího panelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klimatická komora, ovládání PLC, regulace teploty a vlhkosti, termodynamika

TITLE

Control of Temperature Humidity Test Chamber Using PLC

ANNOTATION

Objective of the thesis:

The aim of this thesis is to design and develop a conceptual climate chamber and the corresponding control software and user environment for controlling this chamber. These chambers allow accurate simulation of different climatic conditions. This system is designed to test and research the effect of environmental factors on various materials and products mainly plastics and rubber.

Theoretical part:

A brief introduction to climate chambers, their types and functions. Description of the construction and individual parts of climate chambers. A description of the problems of controlling systems using PLCs and methods of PLC programming.

Implementation part:

Creation of an idea chamber with suitable heating, cooling, humidification and sensors.
Creating a program in PLC to control the climate chamber, selecting a suitable user interface and programming this control panel.

KEYWORDS

Climate chamber, PLC control, temperature and humidity control, thermodynamics

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	12
ÚVOD.....	13
Teoretická část	14
1. Parametry	14
2. Hlavní komponenty komory	14
3. Typy klimatických komor.....	15
3.1. Stabilní komora	15
3.2. Cyklická komora	15
3.3. Světelné komory	15
3.4. Tlakové komory.....	15
3.5. Korozní komory.....	15
4. Jednotlivé prvky projektu	15
4.1. Skříň	15
4.2. Topné těleso.....	15
4.3. Chladicí těleso	16
4.4. Zvlhčovač	17
4.5. Ventilace.....	18
4.6. Snímače	19
4.7. PLC - Programmable Logic Controller	23
4.8. Program	24
Praktická část	26
5. Jak vybrat komponenty	26
6. Mé preference při výběru komponentů.....	26
6.1. Chlazení.....	26
6.2. Topení.....	26
6.3. Zkušební prostor a izolace.....	27
6.4. Zvlhčování.....	27
6.5. Čidla	27

6.6. Regulace a ovládání.....	28
6.7. Možnost rozšíření	29
6.8. Schéma zapojení.....	29
7. Podmínky pro nastavování.....	31
7.1. Mollierův diagram	31
7.2. Typy regulátorů	32
8. Program PLC	35
8.1. Diagram	36
8.2. Hlídaní podmínek	36
8.3. Regulace	38
8.4. Data.....	38
8.5. HMI	39
ZÁVĚR	45
POUŽITÁ LITERATURA	46

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 ZSB-229 3000 W	15
Obrázek 2 TAG-2525 ZBR	16
Obrázek 3 Ultrasonic humidifier working principle	17
Obrázek 4 AXF300B	18
Obrázek 5 PT100	19
Obrázek 6 termočlánek VUT	19
Obrázek 7 typy termistorů	20
Obrázek 8 kapacitní senzor vlhkosti	21
Obrázek 9 odpor snímač vlhkosti	22
Obrázek 10 Princip reléového schéma	23
Obrázek 11 příklad blokového schématu	24
Obrázek 12 T0213 Comet	27
Obrázek 13 SIMATIC S7-1200	28
Obrázek 14 Schéma komory	28
Tabulka 1 Seznam součástek	29
Obrázek 15 Mollierův diagram při tlaku 1 baru	30
Obrázek 16 přechodová charakteristika P regulátoru	31
Obrázek 17 přechodová charakteristika I regulátoru	31
Obrázek 18 přechodová charakteristika D regulátoru	31
Obrázek 19 přechodová charakteristika PI regulátoru	32
Obrázek 20 přechodová charakteristika PD regulátoru	32
Obrázek 21 přechodová charakteristika PID regulátoru	33
Obrázek 22 Diagram PLC programu	34
Obrázek 35 PID regulátory v programu	36
Obrázek 36 struktura databáze	36
Obrázek 37 šablona vzhledu aplikace na HMI	37
Obrázek 38 vzhled hlavní obrazovky HMI	38
Obrázek 39 Grafické znázornění stavu systému	39
Obrázek 40 nastavení času, datumu a jasu	40
Obrázek 41 seznam hlášených chyb	41
Obrázek 42 první strana nastavení	42
Obrázek 43 druhá strana nastavení	43

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

KK	klimatická komora
HMI	rozhraní člověk-stroj (human-machine interface)
RH	relativní vlhkost
PID	proporcionálně integračně derivační
PWM	pulsní šířková modulace (pulse width modulation)
NTC	koeficient negativní teploty (negative temperature coefficient)
PTC	koeficient pozitivní teploty (positive temperature coefficient)

ÚVOD

Klimatické komory představují klíčový prvek v oblasti testování materiálů, výrobků a zařízení v různých podmínkách a prostředí

í. Jejich účelem je simulovat a reprodukovat extrémní klimatické podmínky, jako jsou teplotní rozdíly, vlhkost, sluneční záření či atmosférický tlak, aby bylo možné posoudit odolnost a spolehlivost testovaných objektů. V dnešní době, kdy se změny klimatu stávají stále zřetelnějšími a jejich dopady se projevují na celosvětové úrovni, nabývá významu vývoj a efektivní využití klimatických komor pro testování a výzkum. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit vlastní ideovou klimatickou komoru. Tato klimatická komora by byla schopna simulovat změny teplot od -40°C až do 180°C , a při středních hodnotách (2°C až 90°C) simulovat různé úrovně vlhkosti. Součástky byly vybrány podle daných parametrů a byl vytvořen software na regulaci a ovládání této komory.

Teoretická část

Hlavní výhody využívání Klimatických komor:

- Spolehlivost testování : Klimatické komory mohou simulovat extrémní podmínky a testovat odolnost výrobků vůči těmto podmínkám
- Zkrácení vývojového cyklu : Rychlé testování nových materiálů a designů v různých podmínkách
- Úspora nákladů : Opakovatelné testování bez provozování v reálných podmínkách
- Ověření standartů : Snadné ověření splnění požadavků na materiál
- Flexibilita : Různé velikosti a konfigurace komor pro testování různých objektů
- Podpora výzkumu a inovací : Poskytnutí prostředí pro výzkum a otestování nových technologií a materiálů

1. Parametry

- Teplotní rozsah [°C]
- Vlhkostní rozsah[%]
- Stabilita
- Dynamičnost systému[°C/min, %/min]
- Tlak[hPa]
- Objem zkušebního prostoru[l]
- Přesnost regulace teploty a vlhkosti[%]
- Ostatní speciální funkce – vibrace, UV záření apod.

2. Hlavní komponenty komory

- Izolační skříň
 - Hlavní konstrukce komory, která odděluje vnitřní (kondiciovaný) prostor od vnějšího prostředí.
- Vnější panelování
 - Obložení izolační skříně, napomáhá kontrole teploty ochranou před vnějšími vlivy
- Dveře
 - Vstup do komory, vybaven těsněním a uzavíracím mechanismem pro udržení klimatických podmínek uvnitř komory.
- Klimatizační systém

- Zařízení pro regulaci teploty a vlhkosti uvnitř komory. Zahrnuje chlazení, vytápění a zvlhčování.
- Měřicí a řídicí systém
 - Senzory pro monitorování teploty a vlhkosti uvnitř komory umožňující řídicím prvkům nastavit požadované klimatické podmínky.
- Ventilační systém
 - Ventilátory zajišťují cirkulaci vzduchu pro rovnoměrné rozložení teploty a vlhkosti

3. Typy klimatických komor

- 3.1. **Stabilní komora** – udržuje konstantní podmínky pro dlouhodobé testování stability a spolehlivosti výrobků
- 3.2. **Cyklická komora** – simuluje teplotní a vlhkostní cykly které se vyskytují v reálných podmínkách. Často jsou používány pro testování extrémních podmínek.
- 3.3. **Světelné komory** – mimo klimatické podmínky umožňují také testovat vliv hlavně UV záření na materiál.
- 3.4. **Tlakové komory** – od normálních hodnot pro testování materiálu například v jiných nadmořských výškách až po extrémní změny tlaku simulující výbuch.
- 3.5. **Korozní komory** – umožňují simulaci agresivního prostředí, jako je například atmosféra s vysokým obsahem solí, a jsou často využívány pro odolnost materiálů a povrchových úprav materiálů proti korozi.

4. Jednotlivé prvky projektu

4.1. Skříň

Hlavní kostra komory je její skříň. Požadavky jsou kladeny hlavně na rozměry vnitřního prostoru, izolaci proti teplotním ztrátám, vlhkosti a odolnost proti korozi. Základní skladba stěny je vnitřní stěna odolná vůči korozi, izolace pro udržení teploty, těsnění a vnější stěna proti korozi a kontaminaci izolantu.

Většina skříní má průhledy buďto v dvířkách nebo ve stěně pro možnost vizuální kontroly vnitřního stavu.

4.2. Topné těleso

Pro ohřev se využívají hlavně odporové dráty, Jejich hlavní výhodou je relativně rychlá změna teploty díky nižší teplotní kapacitě. U malých komor lze využít i Peltierův článek.[2]



Obrázek 1 :ZSB-229 3000 W

4.3. Chladící těleso

Pro chlazení se využívá nejčastěji kombinace výparníku, kompresoru a kondenzátoru (podobně jako u chladniček a mrazáků). U malých komor lze opět využít Peltierův článek, ale zde je ještě méně účinný než u topení.

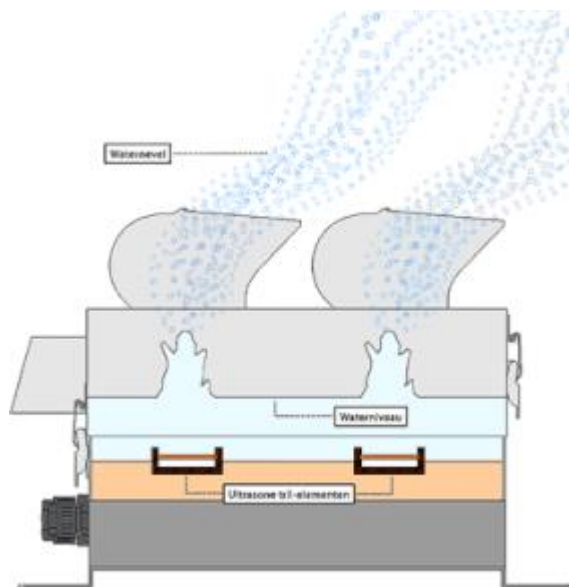


Obrázek 2: TAG 2525 ZBR

4.4. Zvlhčovač

Zvlhčovače jsou 3 typů

- Parní zvlhčovače fungují na principu vypařování vody pomocí topného tělesa. Pokud je potřeba je možné i upravit teplotu páry před vpuštěním do komory pro předejití ohřevu komory. Nevýhoda je vyšší spotřeba energie ztrátovým teplem.
- Ultrazvukové zvlhčovače vytváří mikrokapky pomocí ultrazvukového oscilátoru které vytvoří mlhu a tím zvýší vlhkost vzduchu. Mají nízkou spotřebu energie a jsou velice tiché, jsou ale méně výkonné.



Obrázek 3: Ultrasonický zvlhčovač princip

- Zvlhčovače se studeným (přirozeným) odparem mají speciální kazety s destičkami nebo disky na kterých se drží voda z nádržky. Tato voda je poté pomocí ventilátoru odpařována a rozmístěna po okolí. Velkou výhodou je že nemůže dojít k přesycení vzduchu vodou jelikož pokud je okolní vzduch nasycen, další voda se již neodpaří z destiček/disků. Nejjednodušší provedení by se dalo považovat miska s vodou v místnosti. Další výhodou je částečné čištění vzduchu [1]

4.5. Ventilace

Ventilace je nutná pro zajištění rovnoměrné teploty a vlhkosti v celé komoře. V komoře vždy je takzvaná přirozená konvekce neboli pohyb vzduchu způsobený rozdílnou teplotou v částech komory. U některých komor kde není zapotřebí rychlé změny teplot tudíž není ventilátor potřebný.

Většinou se ale doporučuje mít nucenou konvekci neboli aktivní prvek který zajišťuje pohyb vzduchu v komoře a pomáhá tím rovnoměrnému rozložení teploty.[2]



Obrázek 4: AXF300B

4.6. Snímače

Pro regulaci teploty a vlhkosti v komoře je zapotřebí zpětná vazba. Ta je zajištěna pomocí snímačů teploty, vlhkosti a u speciálních KK jsou zapotřebí také jiné senzory ale těmi se nebudeme zabývat. Senzory jsou rozděleny do dvou hlavních kategorií podle výstupu na analogové a digitální.

4.6.1. Teplotní snímače

Kromě rozdělení podle výstupu se teplotní snímače také rozdělují na kontaktní a bezkontaktní.

- Odporové snímače

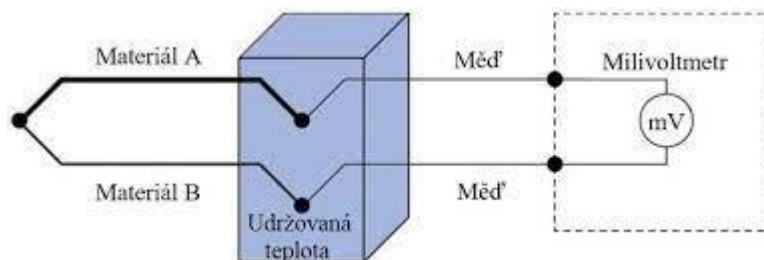
Kontaktní snímače teploty jsou nejčastěji odporové, které využívají závislosti odporu kovů a polovodičů na teplotě. Přesnosti těchto snímačů závisí na teplotním koeficientu α [10-3/K]. Jako materiál se využívají hlavně nikl a platina.



Obr.5 PT100

- Termočlánky

Termoelektrické snímače využívají napětí, které vzniká ve styku dvou různých kovů umístěných v prostředí s rozdílnými teplotami. Tento jev je způsoben difuzí nosičů náboje z oblasti s vyšší teplotou do oblasti s nižší teplotou. V důsledku toho vzniká vnitřní elektrické pole, které brání další difuzi. Výhodou je že na nízkých a středních hodnotách je jeho průběh lineární. Tento jev se nazývá Peltier-Seebeckův jev.



Obr.6 termočlánek VUT

- Termistor

Termistor je podobný termočládkům, není však ani v malých teplotách lineární a tudíž je potřeba znát VA charakteristiku.

Jsou dva typy termistorů a těmi jsou PTC a NTC.

U PTC (pozistor) odpor s růstem teploty mírně klesá, poté prudce vzroste a pak opět klesá. Kvůli této strmosti se využívá spíše jako teplotní pojistka.

NTC (negistor) má negativní teplotní koeficient, tudíž zahřátím odpor vždy klesá. Jelikož je více stálý oproti PTC, využívá se více pro měření teploty.



Obr.7 typy termistorů

4.6.2. Vlhkostní snímače

Vlhkostní snímače se využívají hlavně dvou typů, kapacitní a odporový.

Oba jsou digitální.

- Kapacitní snímač vlhkosti

Relativní vlhkost je snímána pomocí vlhkostně-závislého kondenzátoru.

Senzor se skládá z nosné desky na které jsou elektrody a hygroskopickou vrstvou. Hygroskopická vrstva absorbuje molekuly vody z ovzduší čímž se mění kapacita kondenzátoru. Elektrický obvod poté převede tuto kapacitu na odpovídající vlhkost. Přesnost v jednotkách %RH a dobrá odolnost vůči vyšším teplotám a chemikáliím.



Obr.8 kapacitní senzor vlhkosti

- Odporový senzor vlhkosti

Odporový senzor využívá změnu vodivosti hygroskopických materiálů při absorbování kapaliny. Aby nedošlo k polarizaci elektrod se musí využívat střídavé napětí pro měření. Senzor je citlivý na orosení, tudíž ho nelze využít při vyšších

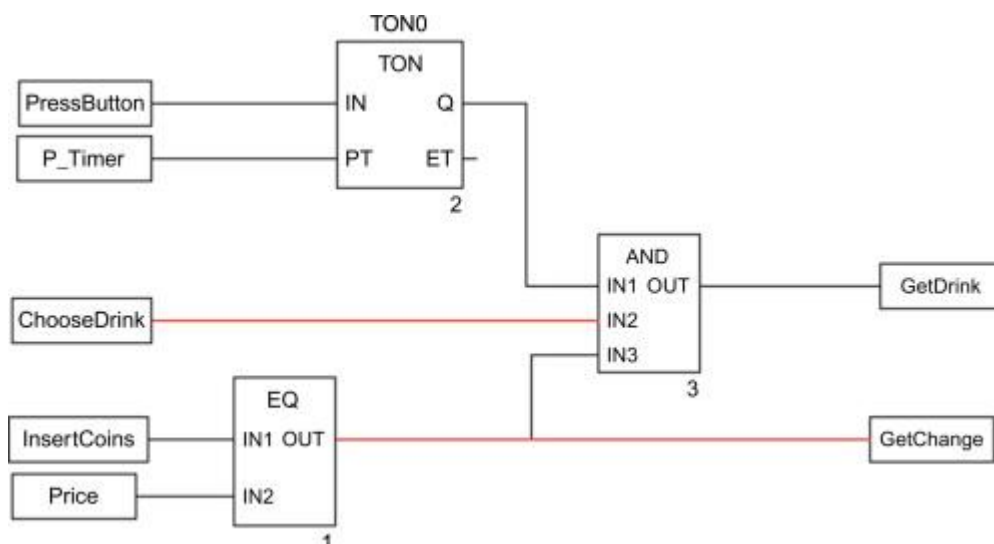
teplotách. Přesto se stále využívá a to zejména kvůli jeho přesnosti (desetiny %) a celkem dobré stabilitě.



Obr.9 odpor snímač vlhkosti

4.7. PLC - Programmable Logic Controller

PLC je průmyslový počítač využíván k automatizaci procesů v reálném čase. PLC programy jsou charakteristické jejich probíháním v cyklech. Nově je snaha změnit název z PLC na PAC (Programmable Automation Controller) ale není moc úspěšné. Od běžných počítačů se PLC liší nejen cyklickými programy ale i tím, že jeho periferie bývají přímo uzpůsobeny pro daný technologický proces. Základní část periférií jsou vstupy a výstupy. PLC umí využít jak digitální tak analogové signály v kombinaci s AD/DA převodníky. Další periferie, takzvané Funkční moduly (FM), se přidávají podle požadavků, např Komunikační procesory pro sběr a zpracování dat.



Obr.11 příklad blokového schématu

4.8.3. Sekvenční programování (Sequential Function Chart)

Sekvenční programování zobrazuje posloupnost kroků programu. Každý krok představuje stav, který program sleduje. Krok může být například stav určitého bodu. Kroky se nespojují přímo, musí být spojeny jedním nebo více přechody. Přechody představují stav, například hodnotu analogového bodu větší než 50. Tedy ve chvíli kdy se tato podmínka splní, krok před tímto přechodem je deaktivován a následující krok je aktivován.

4.8.4. Strukturovaný text (Structured Text)

Strukturovaný text je programovací jazyk vyšší úrovně, funguje tedy podobně jako jazyky C, Python apod. Vyšší programovací jazyky se od těch nižších liší jejich větší abstrakcí, jejich zápis je tedy uzpůsoben, aby byl podobný tomu, jak problémy zpracovává lidské myšlení. Nevýhodou je nutnost překladač tohoto kódu kompilátorem do jazyku nižšího. Nepatří do grafických programovacích jazyků stejně jako Seznam Instrukcí.

4.8.5. Mnemokódy/Seznam Instrukcí (Instructions List)

Nezákladnější zápis programu. Princip stejný jako u Assembleru. Skládá se z operací v pořadí vykonávání. Programy vytvořené tímto způsobem jsou velice nenáročné na výpočetní výkon systému a na paměť. Bohužel kvůli složitosti tohoto jazyka je téměř nepoužitelný pro rozsáhlé aplikace kvůli přehlednosti programu.

Praktická část

Pro svůj projekt jsem vytvořil vlastní zadání pro klimatickou komoru na testování pryže a plastů. Objem vnitřního prostoru je 200 l, teplotní rozsah je od -40°C do 180°C a zvlhčování lze použít v rozmezí $+2^{\circ}\text{C}$ až $+95^{\circ}\text{C}$ s RH max 90%.

5. Jak vybrat komponenty

Součástky vybíráme na základě 4 parametrů

Vyhovují zadání : například teplotní rozsahy, nekorozní apod.

Spolehlivost : Mnoho součástek mají krátkou životnost nebo jsou náchylné na poškození a následně mají nesprávné výstupy

Přesnost : u klimatických komor se snažíme mít co největší přesnost pro lepší predikci chování materiálů i bez opětovných testů, které jsou náročné nejen na čas ale i peníze.

Cena : u klimatických komor není vhodné využívat méně kvalitní součástky a materiály, proto se v průmyslu často používají kvalitní evropští dodavatelé, kteří jsou cenově náročnější. Jelikož klimatické komory nejsou jednorázové stroje, investice do kvality se časem vždy vrátí.

6. Mé preference při výběru komponentů

Kontrola teploty

6.1. Chlazení

Vybral jsem kompresorový, jednostupňový chladicí okruh který je vhodný až do -40°C , který je dostatečný pro mé zadání. Chlazení běží vždy od teploty 20°C . Samotné chlazení zajišťuje lamelový výparník, ale ke své funkci potřebuje také kondenzátor a kompresor, který stlačí chladivo odávané z výparníku, čímž se zvedne jeho teplota. Chladivo pod tlakem poté odevzdá teplo do okolí v kondenzátoru. Za těchto podmínek (Vysoký tlak a nízká teplota) se chladivo zkondenzuje do kapalného stavu. Tato kapalina poté putuje zpět do výparníku v komoře kde se za nižšího tlaku začne opět vypařovat, čímž odebírá teplo z okolí a cyklus se opakuje. Výkon tedy závisí na výkonu kompresoru a správně nadimenzovanému výparníku a kondenzátoru. [7]

6.2. Topení

Topení v komoře této velikosti je podle mně nejvhodnější spirálové topné těleso. Teplo se vede díky konvekci, tudíž je potřeba zajistit vhodné proudění vzduchu v komoře.

V komoře je ventilátor výparníku, který je v chodu nezávisle na chlazení. Tím zajišťuje proudění vzduchu v komoře, což má za následek homogenní teplotní pole.

6.3. Zkušební prostor a izolace

Užitný objem komory je 200 litrů s vnitřní konstrukcí z nerezové oceli AISI 304, která je velmi rozšířená v průmyslu. Prostor je neustále osvětlen. Ve dveřích je průhledné okno 300 x 300 mm s vyhříváním proti zamlžení. Tyto funkce běží nezávisle na podmínkách uvnitř. Izolace je provedena bezfreonovou pěnou PUR a minerální vatou. Minerální vata snižuje teplotu na povrchu PUR izolace čímž ji chrání před degradací vysokou teplotou. Dveře jsou osazeny silikonovým těsněním, které má vyhovující teplotní odolnost při provozních teplotách.

6.4. Zvlhčování

Je zajištěno ultrazvukovým zvlhčovačem Merlin Senso 2. ZV(zvlhčovač vzduchu) má pracovní podmínky maximálně 90% RV(relativní vlhkosti), má zvlhčovací výkon až 1 Kg/h, má vlastní ochranu proti chodu na sucho, kolísavému napětí, tepelnou ochranu a ochranu proti přeplnění. Musí být plněna pouze destilovanou vodou. Odvlhčování je zajištěno pomocí kondenzace vody na chlazení a následné odkapání odpadem pryč ze systému. Voda není znovu zavedena do systému z důvodu nebezpečí kontaminace a následných problémů ve zvlhčovači, který potřebuje destilovanou vodu. Provoz zvlhčovače je omezen teplotním rozsahem +2°C až 95°C z důvodu jeho ochrany.[8]

6.5. Čidla

6.5.1. Teplotní

V zkušebním prostoru jsou dva snímače teploty PT100 s teflonovým kabelem, jeden pro kontrolu teploty v prostoru a jeden přímo na výparníku pro kontrolu jeho teploty. Snímač PT100 s teflonovým kabelem má teplotní rozsah od -40°C do 200°C. Jako ochranu kompresoru je použit snímač teploty PT100, který je určen pro měření povrchové teploty stěn nádob.

6.5.2. Vlhkostní

T0213 Comet je snímač teploty a vlhkosti. Vestavěný „konverter“ počítá teplotu rosného bodu, absolutní vlhkost, měrnou vlhkost, směšovací poměr a specifickou entalpii. Tudíž slouží nejen jako snímač vlhkosti, ale také jako další teplotní snímač.



Obr.12 T0213 Comet

6.6. Regulace a ovládání

V komoře se regulují 3 prvky, zapnutím a vypnutím kompresoru se upravuje regulovaná teplota v komoře, topení je regulováno PWM regulací topného tělesa, které je hlavním regulátorem teploty a poslední prvek je zvlhčovač. Topení je regulováno PID regulací a ovládáno PWM. Zatímco zvlhčovač a chlazení je regulováno pouze PI regulátorem, jelikož nám jde pouze o co nejrychlejší dosažení požadované hodnoty. Chlazení je zapnuto pouze pokud je požadovaná teplota pod 20°C. Kompresor je spuštěn trvale při požadované teplotě pod 20°C a požadovaná teplota je udržována na požadované hodnotě spouštěním topného tělesa. Tento způsob je zvolen jako nejvhodnější z důvodu udržování požadované teploty v nízké hodnoty difference. Tento způsob není energeticky nejvhodnější, ale zabraňuje nám teplotním výkyvům způsobením zapínáním a vypínáním kompresoru a jeho ochranným časům.(min. doba chodu kompresoru a min. doba odstávky

kompresoru) Výrobci kompresorů doporučují maximálně 6-8 startů za hodinu. Ovládání je prováděno díky PLC SIMATIC S7-1200 a modulu analogových vstupů AI 4xRTD 1.



Obr.13 SIMATIC S7-1200

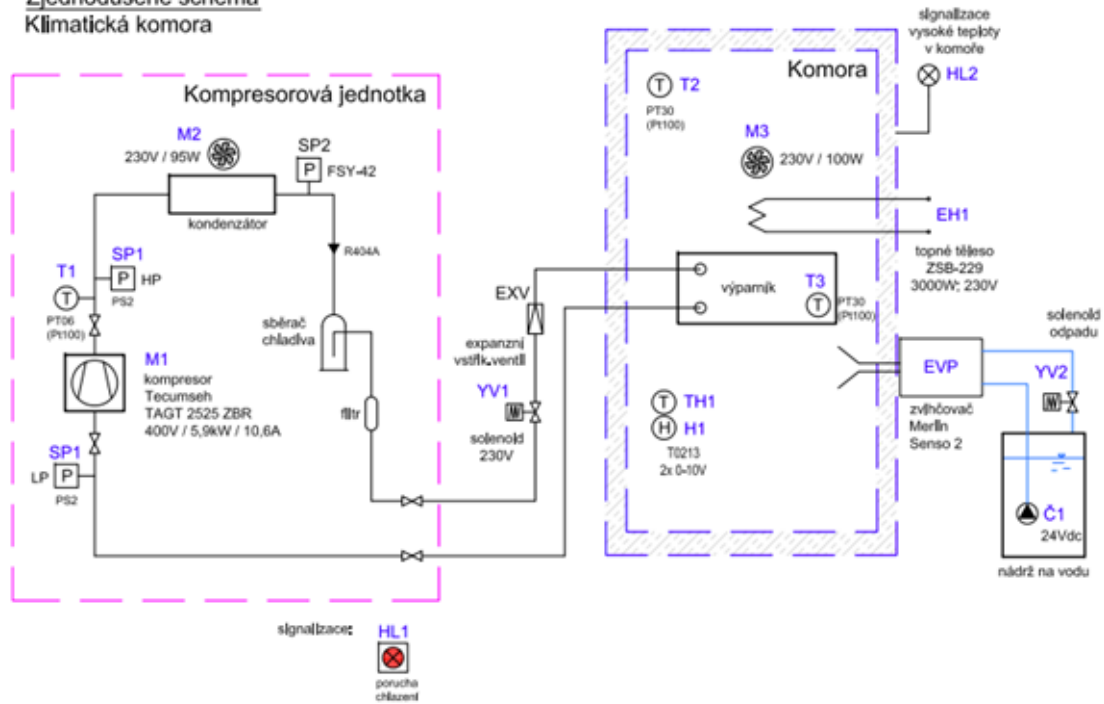
6.7. Možnost rozšíření

V průmyslu je standardem vytvoření univerzálního slotu pro případný senzor na přání zákazníka. Pro tento účel se používá 50 – 100 mm kruhový otvor s možností zaslepení otvoru.

6.8. Schéma zapojení

Teoretické zapojení klimatické komory

Zjednodušené schéma
Klimatická komora



Obr.14 Schéma komory

Tabulka 1 Seznam součástek

SP1	Presostat	Porovnání tlaku v dvou různých bodech
M1	Kompresor	Stlačení chladiva
YV1	Solenoidový ventil	Elektromagnetický ventil pro automatické ovládání
M3	Ventilátor výparníku	Zajišťuje proudění vzduchu v komoře
EH1	Topné těleso	Zajišťuje zahřívání v komoře
EVP	Zvlhčovač	Merlin SENCO 2 ultrazvukový zvlhčovač
Č1	Čerpadlo vody	Součástí Merlin SENCO 2
H1	T0213	Vlhkostní senzor

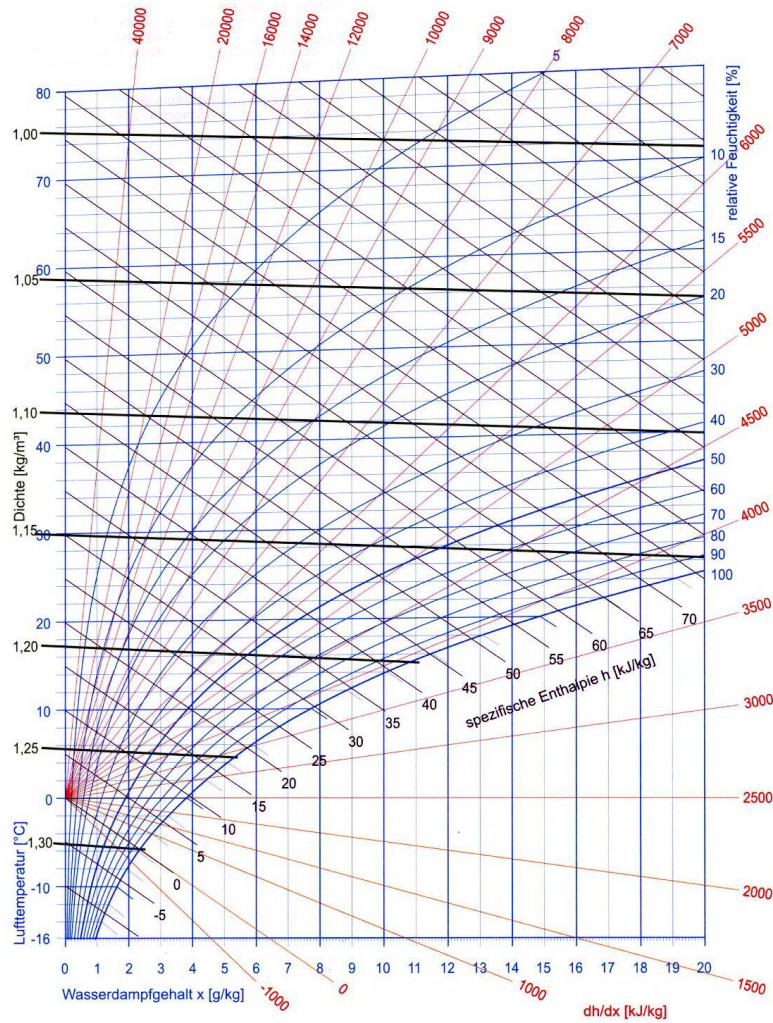
TH1	T0213	Teplotní senzor
T1	PT06	Teplotní senzor kompresoru
T2	PT30	TS v komoře
T3	PT30	TS výparníku

7. Podmínky pro nastavování

7.1. Mollierův diagram

Také známý jako i-x, h-s nebo h-x diagram podle použitých os, je diagram zobrazující závislost vlhkosti vzduchu a teploty. Na vodorovné ose bývá vyznačen poměr hmotnosti vody v hmotnosti vzduchu čímž výjde x [kg/kg]. Na svislé ose zase bývá takzvaná „suchá“ teplota vzduchu. Naopak „mokrý“ teplota se měří v proudícím vzduchu teploměrem který je neustále navlhčen např. Punčoškou namočenou ve vodě. Molliérův diagram se v praxi využívá u vzduchotechniky kde je potřebná funkce odvlhčování vzduchu.

Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft für $p = 1 \text{ bar}$

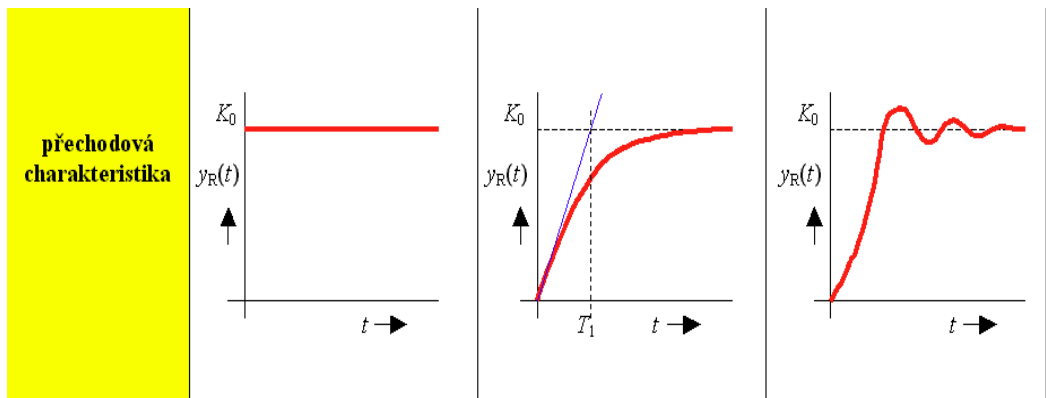


Obr. 15 Mollierův diagram při tlaku 1 baru

7.2. Typy regulátorů

7.2.1. Regulátor typu P (proporcionální)

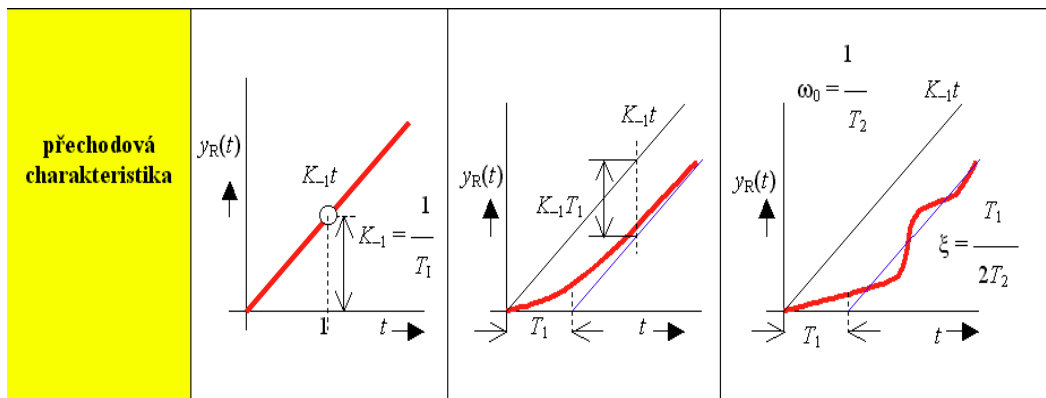
Pracuje v uzavřeném okruhu s trvale nastavitelnou vzdáleností. Má dobrou stabilitu. Velmi často se používá např. ke stabilizaci pevných bodů, stabilizaci napětí, proudu. Na kvalitě nezáleží.



Obr.16 přechodová charakteristika P regulátoru

7.2.2. Regulátor typu I (integrační)

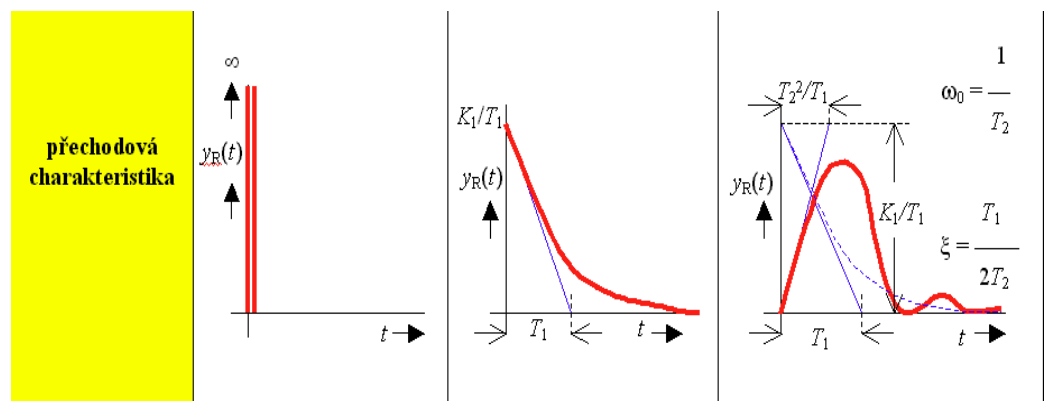
Integrační regulátor pracuje tak, že rychlost změny akční veličiny (pohybu ventilu, pístu atd.) je přímo úměrná vstupnímu signálu. Regulátor je tedy v činnosti stále, pokud regulační odchylka není nulová.



Obr.17 přechodová charakteristika I regulátoru

7.2.3. Regulátor typu D (derivační)

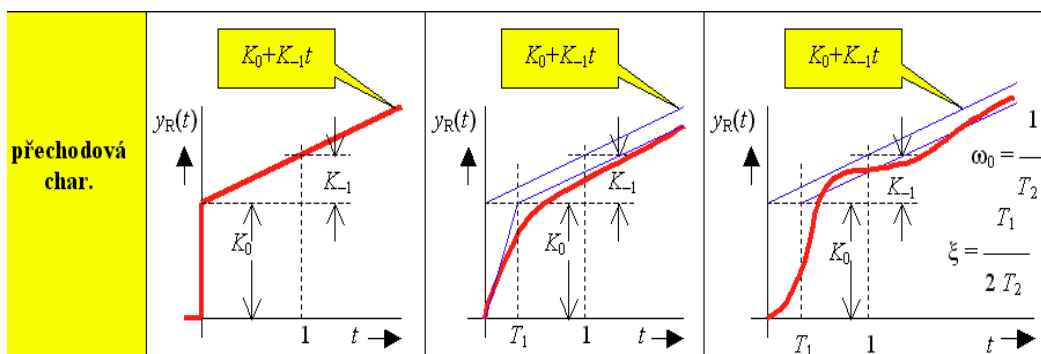
Samotný regulátor typu D nelze použít pro regulaci. Derivační složku lze použít pouze jako doplněk jiných regulátorů pro zlepšení jejich vlastností



Obr.18 přechodová charakteristika D regulátoru

7.2.4. Regulátor typu PI (proporcionálně integrační)

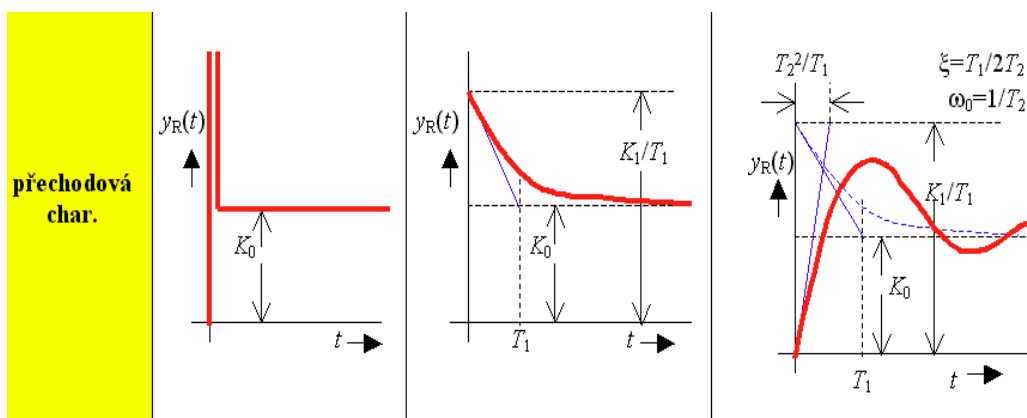
PI regulátor odstraňuje trvalou regulační odchylku která, je u P regulátoru a oproti čistě I regulátoru má větší stabilitu. Na začátku pracuje hlavně P složka a s časem začíná převládat I složka. Nejvíce používaný regulátor.



Obr.19 přechodová charakteristika PI regulátoru

7.2.5. Regulátor typu PD

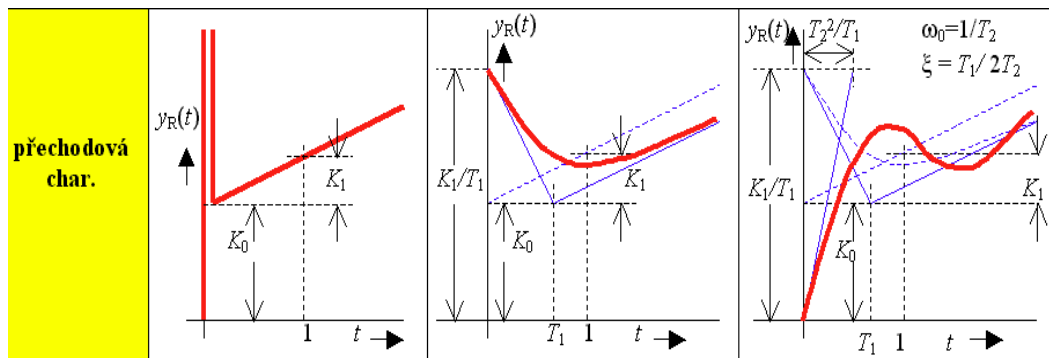
Zvětšuje stabilitu obvodu tudíž je možnost pracovat s vyšším zesílením regulátoru, čímž se zmenšuje trvalá regulační odchylka oproti samotnému P regulátoru.



Obr.20 přechodová charakteristika PD regulátoru

7.2.6. Regulátor typu PID

Kombinuje výhody všech tří složek. Odstraňuje regulační odchylku vlivem I složky a vlivem D složky zlepšuje stabilitu. Výhoda je velmi dobrá samostatná adaptace regulátoru daným podmínkám.[4]

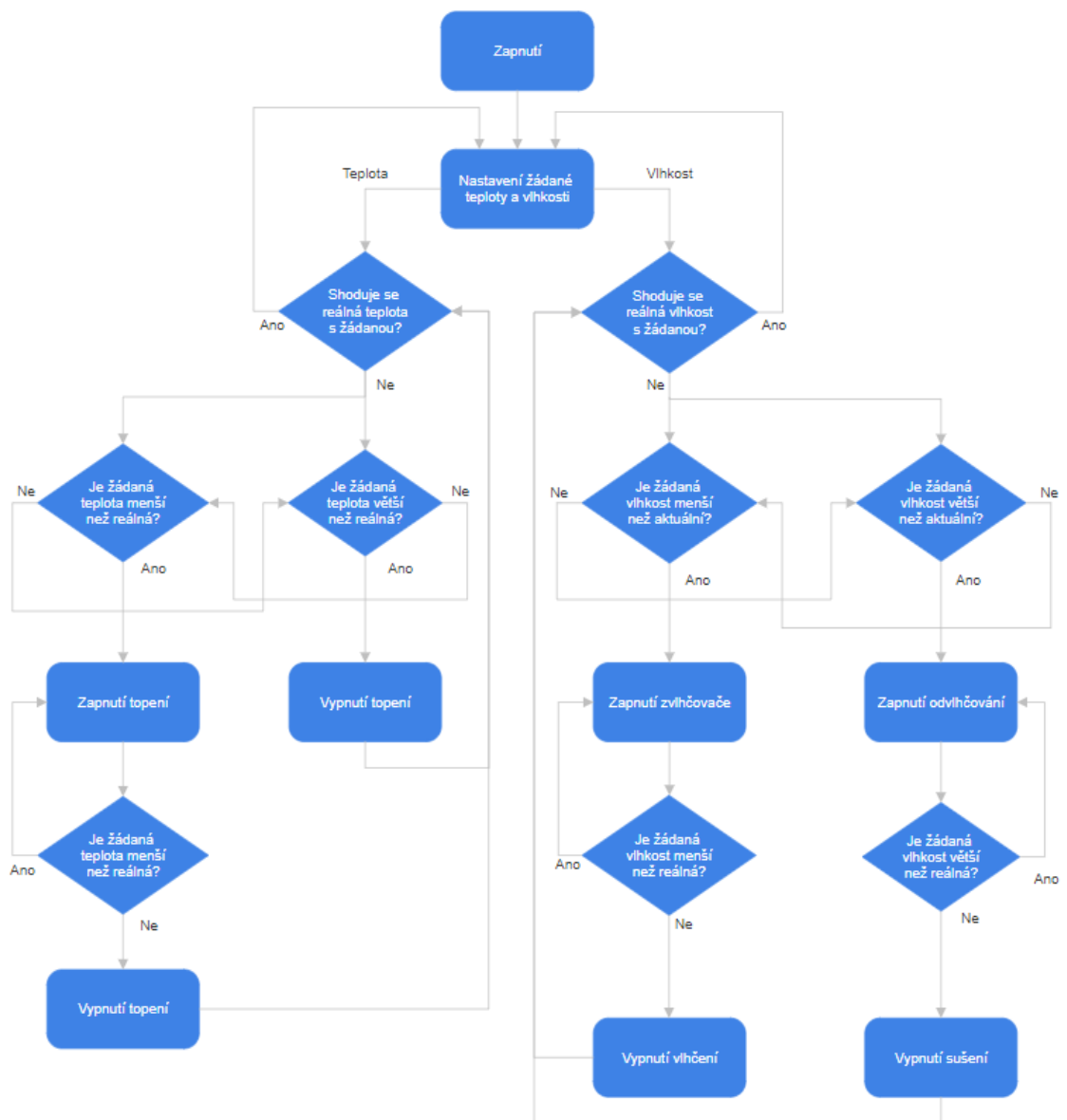


Obr.21 přechodová charakteristika PID regulátoru

8. Program PLC

Program byl vytvořen v TIA portálu v16 přesněji STEP 7 professional, což je software pro vytváření projektů pro PLC, HMI apod. Je vytvořen pro prvky firmy Siemens. Samotný kód je psaný ve stylu strukturovaného textu (ST), který funguje jako vyšší programovací jazyky. V TIA portálu je tento program zapsán do Organizačních Bloků (OB). V programu jsou také využity knihovny PID_Compact pro regulaci a R_TRIG a F_TRIG pro pracování s náběžnou a sestupnou hranou.[3]

8.1. Diagram



Obr.22 Diagram PLC programu

8.2. Hlídání podmínek

Velkou částí programu jsou alarmy které hlídají dodržení podmínek v komoře. Tyto podmínky vyplývají buďto z našich požadavků, nebo například z fyziky.[6]

8.2.1. Alarmy a podmínky

Alarmy jsou nastaveny například na hlídání maximální teploty v komoře,

```
IF "T1" > "T1_max" THEN
    "porucha_T1" := FALSE;
ELSIF "T1" < "T1_max" - "T1_hyst" THEN
    "porucha_T1" := TRUE;
```

```
END_IF;
```

Zdrojový kód 1: Alarm překročení maximální povolené teploty v komoře

Poté jsou zakomponovány podmínky které musí být dodrženy pro použití zvlhčovače a zapnutí chlazení.

```
IF "start_out" AND NOT "HL1" THEN
    "topeni_povol" := TRUE;
    //chlazení se zapína pouze pokud se má udržovat
teplota nižší jak 20°C
    IF "T2_ZH" <= 20 THEN
        "chlazeni_povol" := TRUE;
    ELSE
        "chlazeni_povol" := FALSE;
    END_IF;
    //zvlhčovač může být v provozu pouze, když je v
komoře teplota (+2°C až 95°C)
    IF ("TH1" > 3) AND ("TH1" < 94) THEN
        "zvlhcovac_povol" := TRUE;
    ELSIF ("TH1" < 2) OR ("TH1" > 95) THEN
        "zvlhcovac_povol" := FALSE;
    END_IF;
ELSE
    "topeni_povol" := FALSE;
    "chlazeni_povol" := FALSE;
    "zvlhcovac_povol" := FALSE;
END_IF;
```

Zdrojový kód 2: Podmínky pro použití zvlhčovače a chlazení

Když například nelze měřit vlhkost, tak se vypíná zobrazení její hodnoty na HMI obrazovce.

```
//měřit jenom v rozsahu teplot 5-100°C, pak ukazuje
blbosti
IF ("TH1" > 5) AND ("TH1" < 100) THEN
    "H1_show" := TRUE;
ELSE
    "H1_show" := FALSE;
```

```

END_IF;
"H1" := "AI1" / 27550.0 * 100.0;

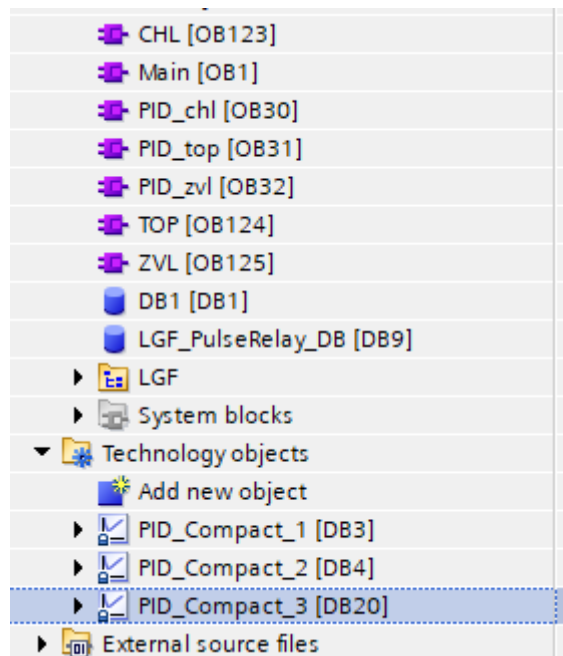
"TH1" := "AI2" / 27550.0 * 155 - 30.0;

```

Zdrojový kód 3: Vypnutí zobrazování hodnoty vlhkosti na HMI

8.3. Regulace

Pro ovládání regulace je využit funkční blok PID_Compact. Tento funkční blok má vlastnost automatického ladění. Celkově jsou 3 instance regulace a to PID_chl pro chlazení nastaveno na PI regulátor, PID_top pro topení nastaveno na PID regulátor a PID_zvl pro zvlhčování nastavené opět pouze na PI regulátor.



Obr.35 PID regulátory v programu

8.4. Data

Velice důležitá část klimatických komor jsou data získaná z měření. Program ukládá každých 5 minut teplotu prostoru. Je možno upravit podle požadavků měření.

DB1				
	Name	Data type	Start value	R
1	Static			
2	DB_Time_H	Array[0..9] of USInt		
3	DB_Time_M	Array[0..9] of USInt		
4	DB_Temp	Array[0..9] of Real		

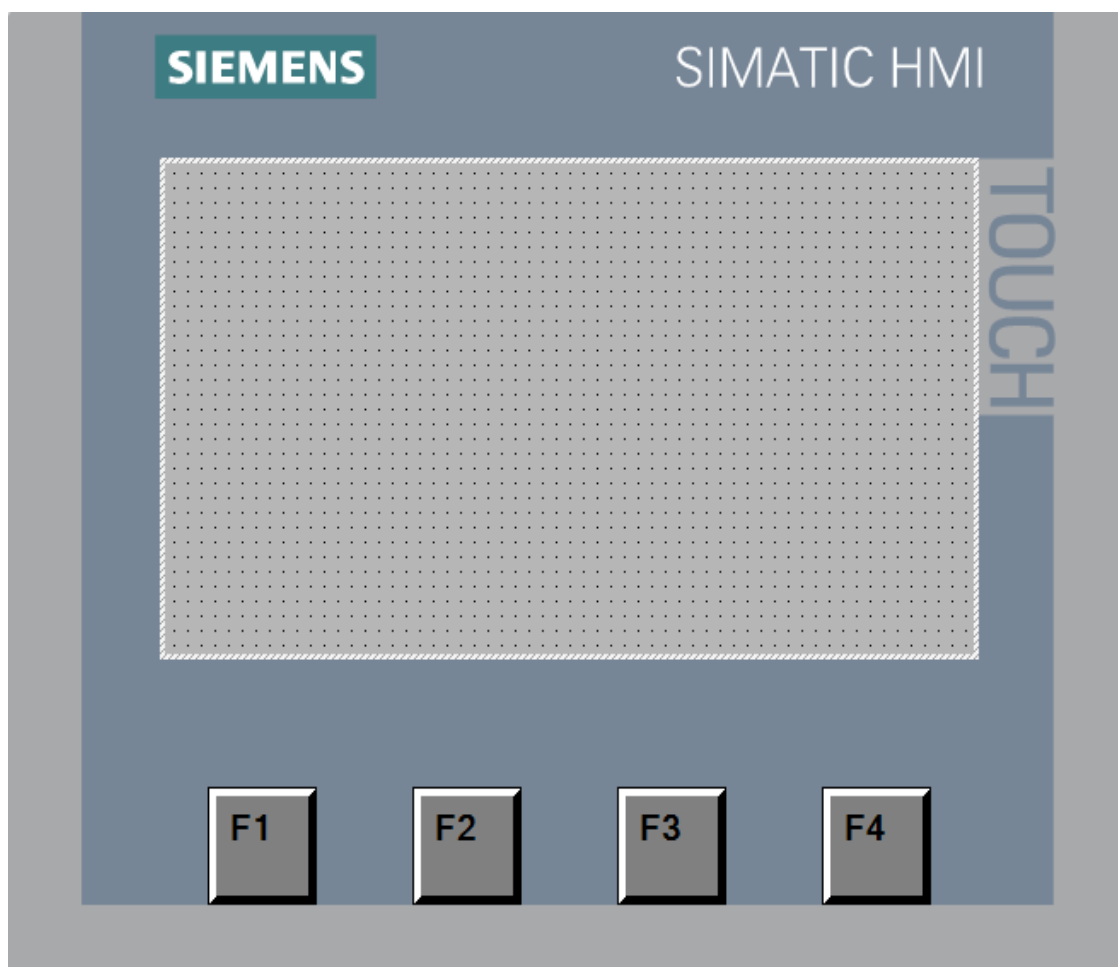
Obr.36 struktura databáze

8.5. HMI

Human-Machine Interface je uživatelské rozhraní strojů. HMI lze technicky použít pro jakoukoliv obrazovku která umožňuje uživateli komunikovat s zařízením.

8.5.1. Design

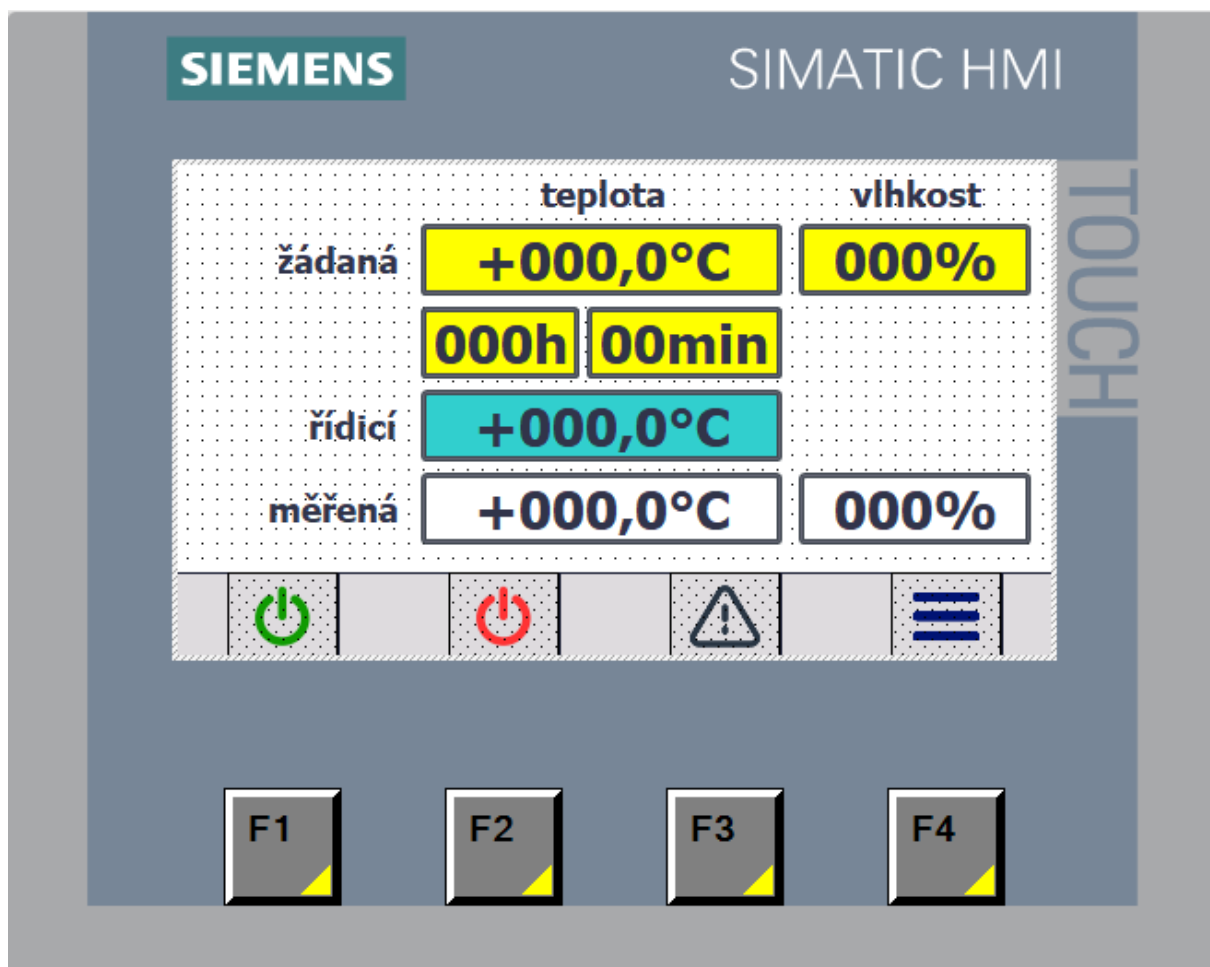
Pro vzhled je použita základní šablona



Obr.37 šablona vzhledu aplikace na HMI

8.5.2. Start

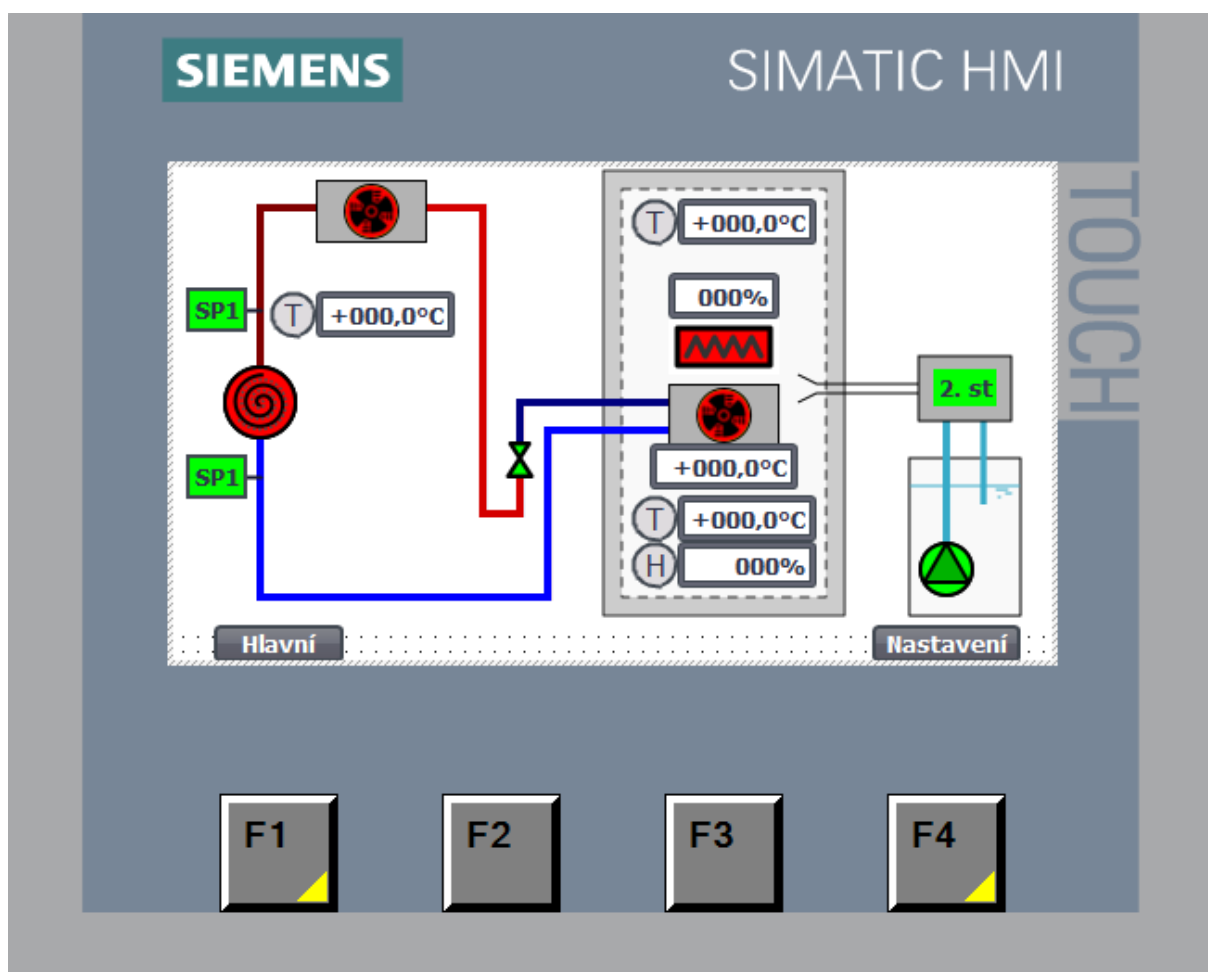
Hlavní obrazovka kde se nastavuje žádaná teplota a vlhkost. Také zobrazuje reálnou teplotu a vlhkost.



Obr.38 vzhled hlavní obrazovky HMI

8.5.3. Schéma

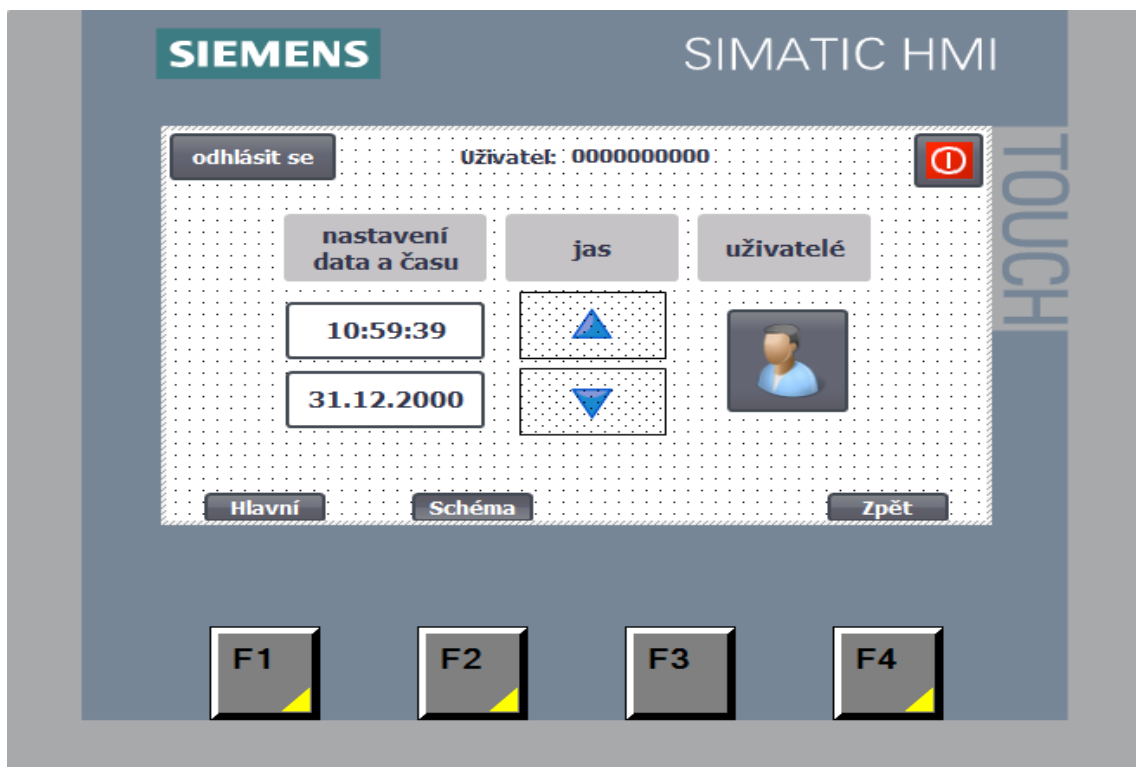
Grafické zobrazení stavu systému v reálném čase.



Obr.39 Grafické znázornění stavu systému

8.5.4. Menu

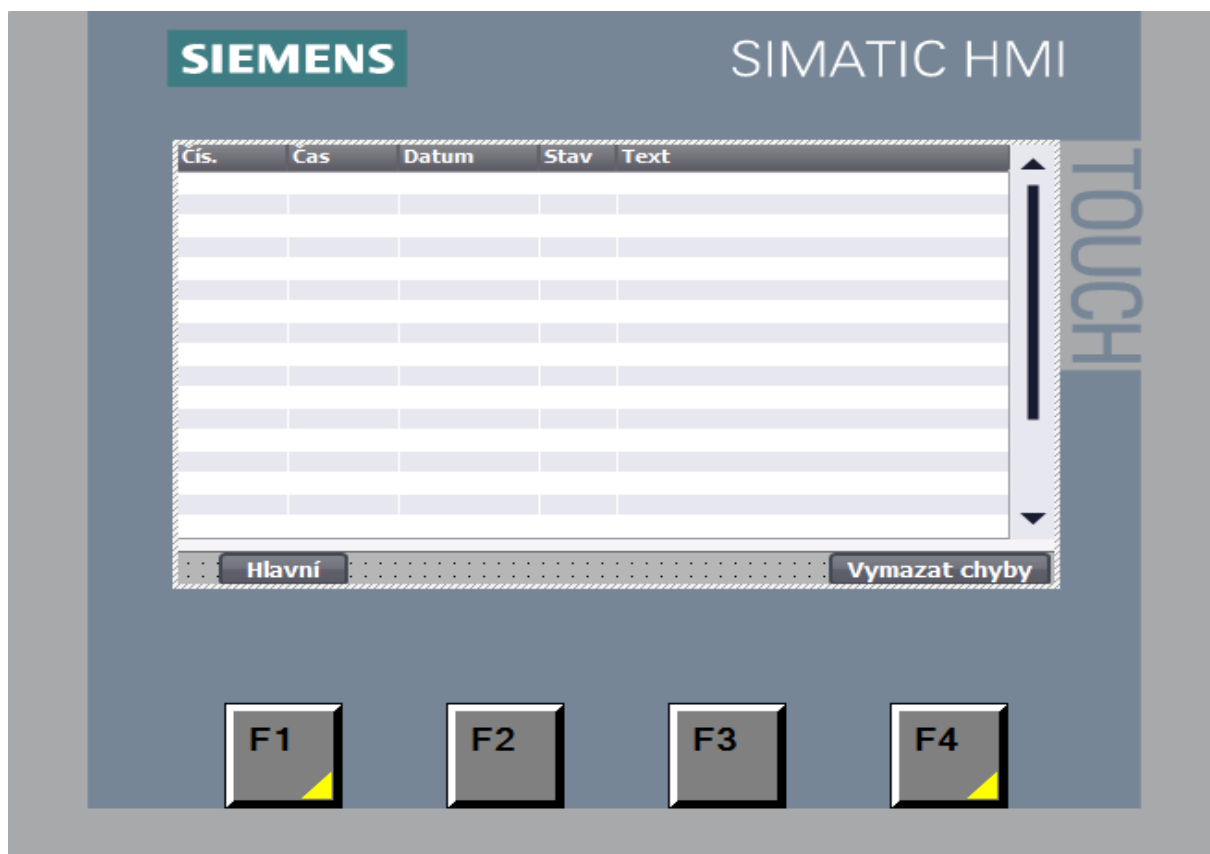
Nastavení času, datumu a jasu.



Obr.40 nastavení času, datumu a jasů

8.5.5. Alarmy

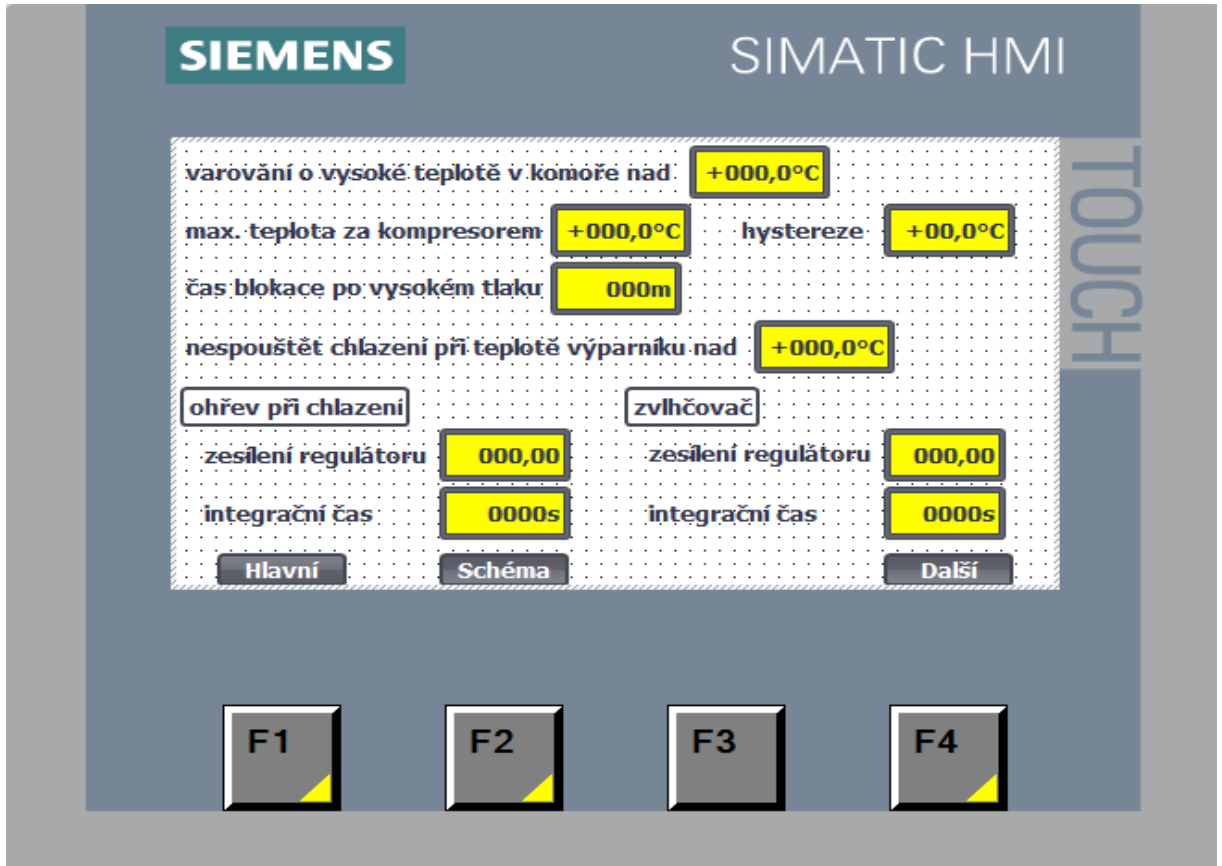
Záznam chyb při provozu.



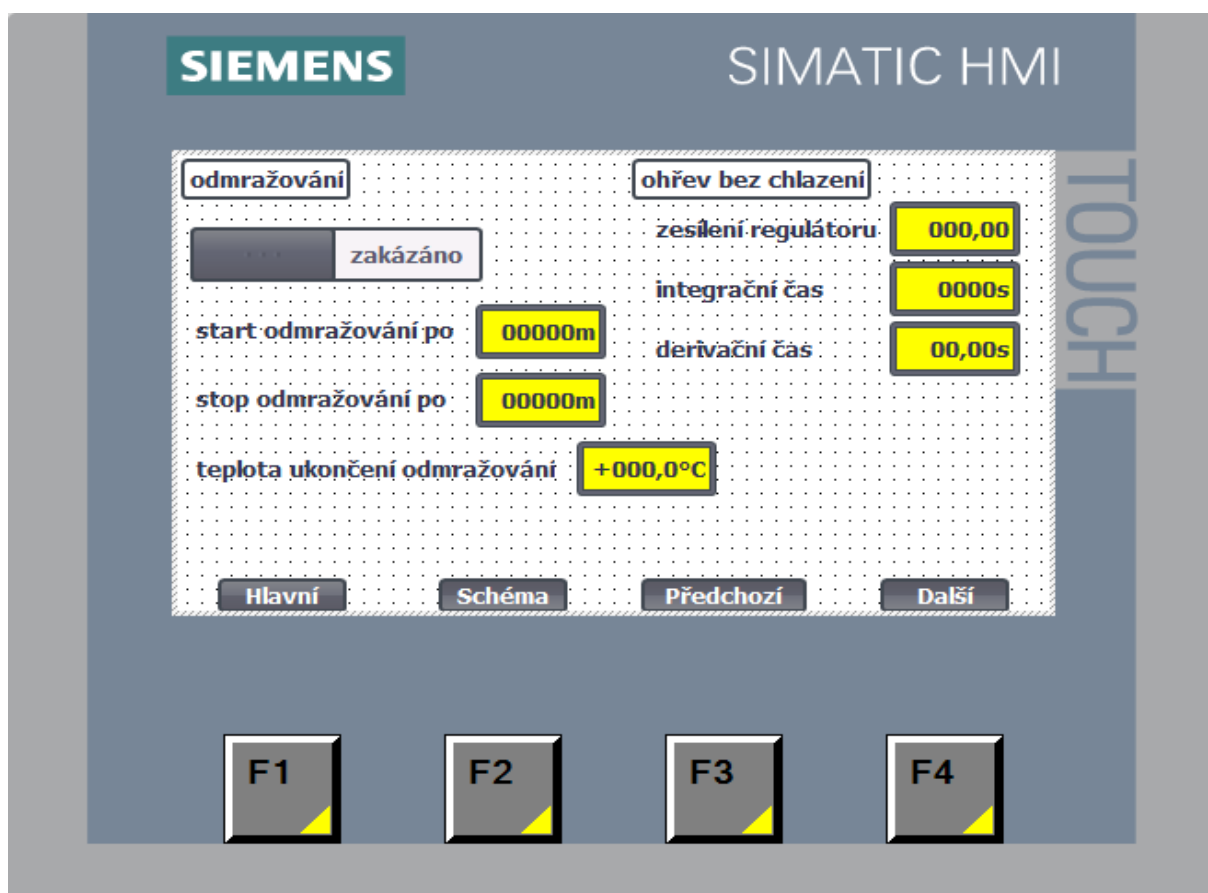
Obr.41 seznam hlášených chyb

8.5.6. Nastavení

Nastavování vlastností systému. Lze nastavit hodnoty jako max. teplota kompresoru, jak dlouho je systém zastaven po překročení tlaku, zesílení regulátorů apod.



Obr.42 první strana nastavení



obr.43 druhá strana nastavení

ZÁVĚR

Cílem této práce je kompletní návrh ideové klimatické komory pro testování kaučuku a plastů. Tyto komory nacházejí užití například v automobilovém průmyslu při vývoji a testování jednotlivých komponentů. Práce je pojata jako návrh kompletního ideového zařízení, to znamená chladicí části, topné části, zvlhčování, elektrické části a softwaru.

Výsledek této práce je teoreticky funkční klimatická komora, která by mohla být využita pro klimatické zkoušky různých materiálů a součástí. Toto zařízení je možné modifikovat i pro jiné použití například pro zkoušky elektrosoučástí (při použití průchodu do zkušebního prostoru).

Pro ověření tohoto teoretického návrhu by bylo ideální vyrobit prototyp, na kterém by se tento návrh ověřil v praxi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DRUHY ZVLHČOVAČŮ VZDUCHU PODLE PRINCIPU ZVLHČOVÁNÍ [online].
Poslední editace: 2021 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <http://www.zvlhcovac-vzduchu.cz/druhy-zvlhcovacu-vzduchupodle-principu-zvlhcovani.php>
- [2] Sdílení tepla prouděním (konvekce). Online. In: . S. 3-4. Dostupné z:
<https://uchi.vscht.cz/files/uzel/53360/0011~~MzRQ8Pb3C3P1dnYFAA.pdf?redirected> [cit. 2024-04-16].
- [3] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie Martinásková, 2002. PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-86056-58-9. [2024-02-15]
- [4] ŠMEJKAL, Ladislav, 2005. PLC a automatizace 2: sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-7300-087-3. [2024-04-15]
- [5] MARTINÁSKOVÁ, Marie, 2004. Programovací jazyky pro PLC. Automatizace, ročník 47, č. 6, s. 380. ISSN 0005-125X.[2024-04-29]
- [6] BENEŠ, Pavel, Jan CHLEBNÝ, Josef LANGER, Marie MARTINÁSKOVÁ a Rudolf VORÁČEK. *Automatizace a automatizační technika III*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 254s. ISBN 80-7226-248-3.[2024-04-30]
- [7] GRUND, Petr, 2021: *Návod k obsluze a údržbě pro uživatele, Klimatická komora KK 200/40*. [2024-03-12]
- [8] Merlin Technology, 2008: *User manual ultrasonic-humidifier Merlin SENSO 1-4* [2024-03-15]

SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

TIA Portal V16

S7-PCT Port Configuration Tool

TIA Administrator

Microsoft Word

SEZNAM PŘÍLOH

Text práce (.pdf)

TIA Portal složka KK (.ap16)