

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

REGULACE VZDUCHOTECHNIKY V BATERIOVÉ STANICI

REGULATION OF AIR CONDITIONING IN BUFFER STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kočka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Jakub Kočka

ID: 211154

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Regulace vzduchotechniky v bateriové stanici

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte literární rešerši řízení prvků vzduchotechniky bateriové stanice.
2. Seznamte se a popište prvky vzduchotechniky bateriové stanice.
3. Navrhněte a realizujte modely dostupných prvků pro jejich regulaci.
4. Navrhněte způsoby řízení tepelné soustavy bateriové stanice.
5. Realizujte vybraný způsob řízení.
6. Ověřte své řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

firemní dokumentace Elektroline a. s.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

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

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

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

Bakalářská práce se zabývá regulací vzduchotechniky v bateriové stanici pro trakční vedení. Je popsán návrh této regulace a následně jeho implementace do řídicího kódu pro PLC od firmy B&R.

Klíčová slova

Regulace, Klimatizace, Vyrovnávací stanice, Bateriová stanice

Abstract

The bachelor's thesis is focused to control of air conditioning in buffer station for traction line. This regulation is described and implemented as a firmware for B&R PLC's.

Keywords

Control, Air Condition, Buffer station, Battery station

Bibliografická citace

KOČKA, Jakub. Regulace vzduchotechniky v bateriové stanici. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134593>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Radek Štohl.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Jakub Kočka</i>
VUT ID studenta:	<i>211154</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2020/21</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Regulace vzduchotechniky v bateriové stanici</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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: 24. května 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za odborné vedení, Bc. Ondřeji Milotovi za konzultace a cenné rady při zpracování práce. Dále doc. Ing. Petru Blahovi za odbornou pomoc ohledně dané problematiky.

V Brně dne: 24. května 2021

podpis autora

Obsah

1. ÚVOD	11
2. POPIS BATERIOVÉ STANICE	12
3. TEORIE REGULACE	13
3.1 SOUSTAVA	13
3.2 AKČNÍ ČLENY	14
3.3 ROZDĚLENÍ REGULÁTORŮ	14
3.3.1 <i>P regulátory</i>	14
3.3.2 <i>I regulátory</i>	14
3.3.3 <i>D regulátory</i>	14
4. PRVKY VZDUCHOTECHNIKY	15
4.1 LITHIUM-IONTOVÝ ČLÁNEK.....	15
4.1.1 <i>Lithium-Nikl-Mangan-Kobalt-Oxid — NMC článek</i>	15
4.1.2 <i>Použitý článek NMC 18650</i>	16
4.2 VYTÁPĚNÍ	16
4.3 MODUL UTI A KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA.....	17
4.3.1 <i>UTI</i>	17
4.3.2 <i>Klimatizační jednotka Fujitsu</i>	17
5. PLC	18
5.1 POUŽITÉ PLC (X20cCP1584).....	19
5.1.1 <i>Power Panel T30 (6PPT30.101G-20B)</i>	19
5.1.2 <i>POWERLINK</i>	19
6. AUTOMATION STUDIO	21
6.1 PROSTŘEDÍ	21
6.2 MAPP TECHNOLOGIE	21
6.3 HMI	21
6.4 PROGRAMOVACÍ JAZYKY.....	22
6.4.1 <i>LD (Ladder Diagram)</i>	22
6.4.2 <i>FBD (Function Block Diagram)</i>	23
6.4.3 <i>IL (Instruction List)</i>	23
6.4.4 <i>ST (Structured Text)</i>	23
6.4.5 <i>Jazyk C</i>	23
7. NÁVRH REGULACE	24
7.1 TEPLOTNÍ LIMITY BATERIE PRO URČENÍ CHLAZENÍ A VYTÁPĚNÍ	24
7.2 MODELÝ PRVKŮ	25
7.2.1 <i>Teorie</i>	25
7.2.2 <i>Vlastní modely</i>	27
7.3 DOSTUPNÉ VELIČINY ZE SENZORŮ	33
7.4 AKČNÍ ČLENY	33
7.5 REGULACE PŘES STAVY (BLOKOVÝ DIAGRAM, TABULKA STAVŮ).....	34
7.5.1 <i>Blokový diagram</i>	34
7.5.2 <i>Tabulka stavů</i>	35

7.6	HARDWAROVÁ KONFIGURACE PLC	40
7.6.1	<i>Karty</i>	40
7.6.2	<i>AD funkce pro teploty</i>	41
7.7	IMPLEMENTACE REGULACE DO KÓDU.....	41
7.8	SHRNUTÍ.....	42
8.	ZÁVĚR.....	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Návrh půdorysu stanice [8]	12
Obrázek 2 Regulační schéma ovládání	13
Obrázek 3 Regulační schéma řízení.....	13
Obrázek 4 Graf vlastností NMC článků [2] (Figure 7).....	15
Obrázek 5 Blokový diagram modulárního PLC.....	18
Obrázek 6 B&R X20cCP1584 PLC [4].....	19
Obrázek 7 Přenosový cyklus sítě v módu Powerlink [9]	20
Obrázek 8 Prostředí Automation Studio	21
Obrázek 9 Vizualizace vzduchotechniky v Automation Studiu.....	22
Obrázek 10 Ukázka jazyka LD	22
Obrázek 11 Bateriová stanice – Teploty	27
Obrázek 12 Nasávací klapka.....	28
Obrázek 13 Výfuková klapka	29
Obrázek 14 Klimatizační jednotka.....	30
Obrázek 15 Obvodový model akumulátoru [12]	31
Obrázek 16 Grafy modelu článku [13] – převzato, upraveno.....	32
Obrázek 17 Blokový diagram kódu (zjednodušen na část vzduchotechniky).....	34
Obrázek 18 Diagram stavového automatu	35
Obrázek 19 Příklad výběru stavu podle tabulky stavů.....	39
Obrázek 20 Hardwarová konfigurace PLC	40
Obrázek 21 Definice Proměnných k napapování.....	41
Obrázek 22 Příklad volby stavu ve funkci ac_ctrl	41
Obrázek 23 Příklad přechodu ze stavu do jiného.....	42

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Tabulka vlastností NMC článků [2] (Table 8).....	16
Tabulka 2 Specifikace klimatizační jednotky Fujitsu [3]	17
Tabulka 3 Limity návrhu ovládaní [6] – převzato, upraveno	24
Tabulka 4 Ukázka stavů regulace	35
Tabulka 5 Regulace akčních členů ve stavech chlazení.....	36
Tabulka 6 Regulace akčních členů ve stavech vytápění	37

1. ÚVOD

Práce se zabývá regulací vzduchotechniky v bateriové stanici pro trakční vedení. Bateriová stanice je vestavěna do standardního kontejneru, který je rozdělen na určité části. Transformační část, kde dochází k transformaci vysokého napětí na přijatelné napětí pro baterky, část s rozvaděčem, kde je umístěn programovatelný automat, dále bateriová a poslední klimatizační část.

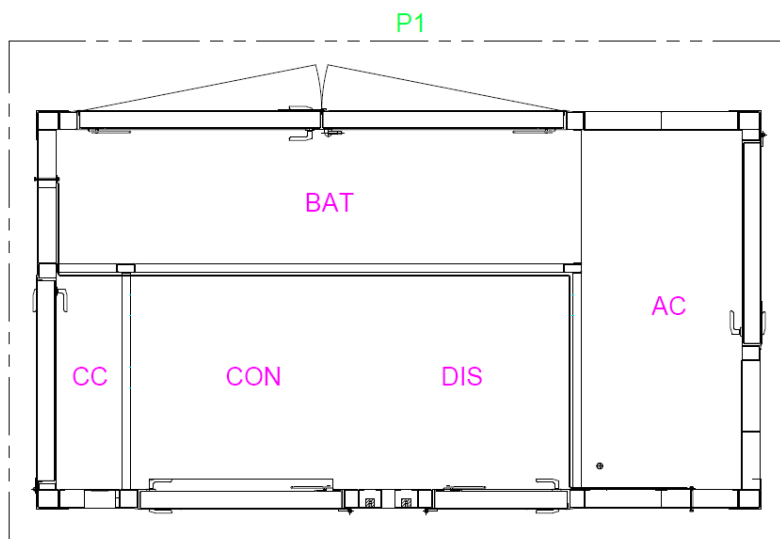
Jelikož je stanice zamýšlena používat po celý rok pro vyrovnávání napětí v trakční síti nebo pro její posílení na konečných uzlech či při opravách, je velmi významné, aby klimatizační část zajistila v celé soustavě, a hlavně v bateriové části ideální teplotu pro provoz článků.

Kromě okolních teplotních vlivů dochází vlivem nabíjení nebo vybíjení článků vysokými proudy k jejich zahřívání, a to vede jak k bezpečnostnímu riziku vzniku požáru při vysokých teplotách, tak k zhoršování kapacity akumulátorů a snižování životnosti, pokud budou pracovat mimo určitý rozsah teplot.

Všechny dostupné akční členy stanice budou řízeny pomocí PLC od firmy B&R.

Cílem je tedy navrhnout a poté implementovat vhodnou regulaci vzduchotechniky k vytvoření ideálního prostředí pro provoz a uchovávání článků.

2. POPIS BATERIOVÉ STANICE



Obrázek 1 Návrh půdorysu stanice [8]

Jak bylo zmíněno v úvodu, bateriová stanice je vestavěna do standardního kontejneru a rozdělena do určitých částí. Slouží pouze k stabilizaci napěťových špiček nebo posílení trakčního vedení.

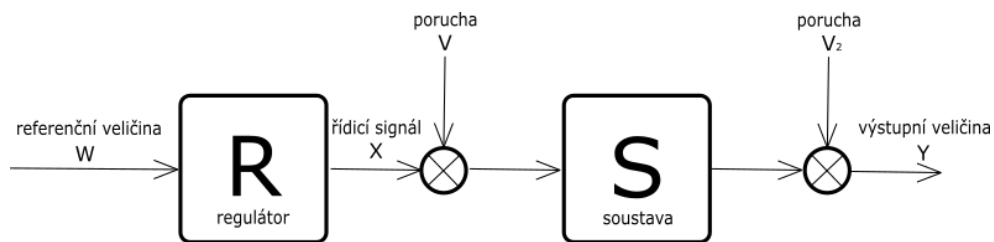
Klimatizační část a prvky vzduchotechniky se nachází v části AC (Obrázek 1 Návrh půdorysu stanice).

Vzduchotechnika se skládá z nasávací klapky venkovního vzduchu, výfukové klapky vnitřního vzduchu, ventilátoru uvnitř potrubí, klimatizace vstupující do potrubí skrze výměník a vytápěcích tyčí, které ohřívají prostor AC a následně přes vnitřní nasávací otvor do potrubí i prostor baterií (část BAT - Obrázek 1).

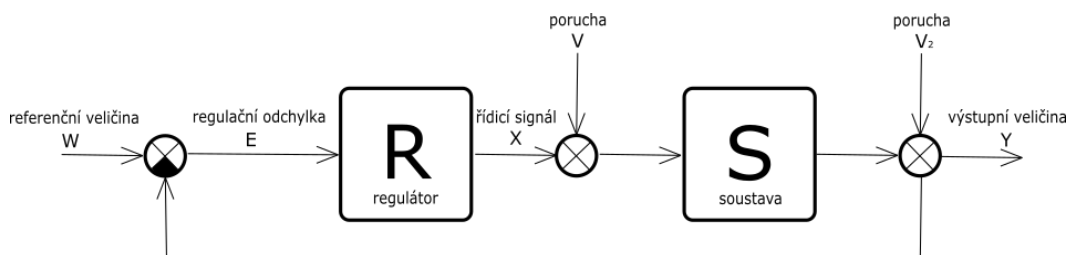
Dále diferenční manostat pro kontrolu chodu ventilátoru a snímače teploty (popsáno dále – kapitola 9 Návrh regulace). Za nasávací klapkou se také nachází filtry pevných částic, který zabraňuje znečištění vzduchovodu a samotné stanice.

3. TEORIE REGULACE

Regulace může být dvojího typu, buď ovládání (Obrázek 2 Regulační schéma ovládání), kde není informací o tom, zda se daný systém dostal do požadovaného stavu, což eliminuje druhá možnost, kterou je řízení (Obrázek 3 Regulační schéma řízení). V tomto případě se bude jednat o zpětnovazební řízení, kdy se neustále kontroluje výstup systému a na základě toho řídíme akční členy systému.



Obrázek 2 Regulační schéma ovládání



Obrázek 3 Regulační schéma řízení

3.1 Soustava

Soustavy se dělí na [1]:

- Lineární a nelineární
- Časově invariantní a časově proměnné
- Statické a dynamické
- Spojité a diskrétní v čase
- Spojité a diskrétní v hodnotě
- Single Input Single Output (SISO) a Multiple Inputs Multiple Outputs (MIMO)

Termodynamický systém, pod kterým je možné si představit danou soustavu bateriové stanice by mohl být popsán jako lineární, časově proměnná, spojitá soustava prvního řádu. Kde při změně okolní teploty systému nebo při zásahu vnitřní regulace dochází k pozvolnému projevení změny na výstupu soustavy (označuje se jako doba náběhu).

3.2 Akční členy

Akční členy systému jsou prvky nebo celé zařízení, které je možno řídit a zasáhnout tak akcí do systému, což způsobí ovlivnění řízené soustavy pomocí řídicího signálu a následně výstupu.

3.3 Rozdělení regulátorů

Základní dělení podle způsobu činnosti je na spojité a diskrétní regulátory.

Další dělení je podle přítomnosti jedné ze základních složek na proporcionální (P), integrační (I) a derivační (D) regulátory. Existují kombinace těchto základních typů.

V dnešní době, pokud nejsou vyloženě potřeba analogové regulátory spíše se nahrazují těmi číslicovými. [1]

3.3.1 P regulátory

V podstatě jde o statické zesílení. Zesílení je rovno podílu akční veličiny a regulační odchylky.

3.3.2 I regulátory

Integrační složka sice odstraňuje trvalou regulační odchylku, ale zhoršuje dynamické vlastnosti regulátoru, zpomaluje regulační děj.

U diskrétních regulátoru se nazývají sumační (S).

3.3.3 D regulátory

Samostatně se nepoužívají, ale v kombinaci s proporcionálními (PD) nebo proporcionálními i integračními (PID) regulátory.

Derivační složka zlepšuje dynamické vlastnosti uzavřeného obvodu, zrychluje regulační děj, ale zesiluje působení šumu.

U diskrétních regulátorů jde o diferenční.

4. PRVKY VZDUCHOTECHNIKY

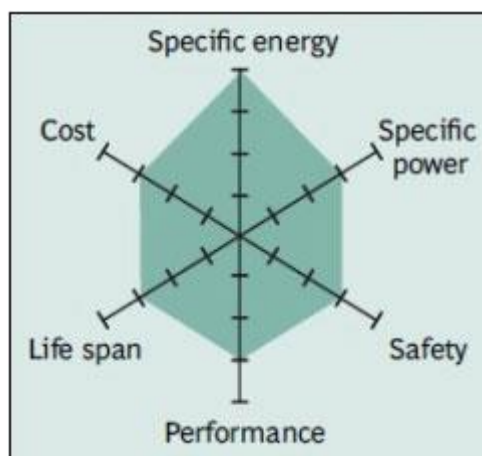
V následující kapitole jsou blíže představeny jednotlivé prvky vzduchotechniky. Nasávací a výfuková klapka společně s ventilátorem jsou probrány až v kapitole 7. Návrh regulace.

4.1 Lithium-iontový článek

V dnešní době nejčastěji používaný článek v běžné elektronice díky vysoké kapacitě v porovnání s velikostí a hmotností. Anoda je z uhlíku, katoda z oxidu kovu a elektrolyt lithiová sůl. Jmenovité napětí pro jeden článek je stanoveno normami na 3,7 V, ale podle potřeby se vyrábějí i jiné hodnoty. Funkčnost i životnost článku je ovlivněna teplotou, proto je vhodné udržovat ji jak při skladování, tak při provozu v určitém rozmezí, podle přesného typu a doporučení výrobce (více kapitola 9.1 Teplotní limity baterie pro určení chlazení a vytápění). [2]

4.1.1 Lithium-Nikl-Mangan-Kobalt-Oxid — NMC článek

NMC článek je jeden z nejlepších typů Li-ion článků. Katoda je tvořena kombinací niklu, manganu a kobaltu. Nikl má vlastnost velké kapacity, ale malou stabilitu. Mangan má velmi dobrou strukturu a nízkou vnitřní resistenci, ale malou kapacitu. Právě spojení těchto dvou kovů posiluje jejich silné vlastnosti. Běžně se vyrábí kombinace 1/3 Nikl, 1/3 Mangan a 1/3 Kobalt (1-1-1). Díky elektrolytu a aditivům může být jmenovité napětí článku posunuto na 4,4 V. [2]



Obrázek 4 Graf vlastností NMC článků [2] (Figure 7)

Jak je vidět článek má vyvážené vlastnosti ve všech parametrech a velmi dobrou kapacitu. Také díky nízkému vlastnímu ohřevu (v důsledku nabíjení a vybíjení) je preferován jak pro elektrická vozidla, tak bateriové systémy.

Tabulka 1 Tabulka vlastností NMC článků [2] (Table 8)

Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: LiNiMnCoO ₂ . cathode, graphite anode Short form: NMC (NCM, CMN, CNM, MNC, MCN similar with different metal combinations) Since 2008	
Voltages	3.60V, 3.70V nominal; typical operating range 3.0–4.2V/cell, or higher
Specific energy (capacity)	150–220Wh/kg
Charge (C-rate)	0.7–1C, charges to 4.20V, some go to 4.30V; 3h charge typical. Charge current above 1C shortens battery life.
Discharge (C-rate)	1C; 2C possible on some cells; 2.50V cut-off
Cycle life	1000–2000 (related to depth of discharge, temperature)
Thermal runaway	210°C (410°F) typical. High charge promotes thermal runaway
Cost	~\$420 per kWh (Source: RWTH, Aachen)
Applications	E-bikes, medical devices, EVs, industrial
Comments	Provides high capacity and high power. Serves as Hybrid Cell. Favorite chemistry for many uses; market share is increasing.
2019 update:	Leading system; dominant cathode chemistry.

4.1.2 Použitý článek NMC 18650

Použitý NMC článek 18650 je určen pro střední zatížení a má kapacitu okolo 2 800 mAh, schopný dodat 4 – 5 A. Stejný článek optimalizovaný pro měrný výkon má kapacitu pouze okolo 2 000 mAh, ale konstantní vybíjecí proud může být 20 A.

Anoda na bázi křemíku navýší kapacitu na 4 000 mAh a více, ale sníží možnost zatížení a zkrátí životnost článku.

Nevýhoda přidání křemíku do grafitu je, že při nabíjení a vybíjení (v důsledku oteplení) se anoda zvětšuje nebo smršťuje, což dělá článek mechanicky nestabilní. [2]

Chování lithium-iontových článků je popsáno na modelu prvku (kapitola 7.2.2 Vlastní modely). Důležitost udržování článků v intervalu teplot je více přiblížena v kapitole 7.1 Teplotní limity baterie pro určení chlazení a vytápění. Tento článek je ve stanici použit v sestavě několika článků.

4.2 Vytápění

Vytápění lze řešit klimatizační jednotkou Fujitsu jak je popsáno v kapitole 4.3.2 Klimatizační jednotka Fujitsu. Ale v tomto případě, kdy už byly stanoveny komponenty vzduchotechniky soustavy, se narazilo na problém, že pokud by mělo být použito vytápění klimatizační jednotkou, bylo by nutné tyto komponenty předělat, a to je jak finančně, tak časově náročné. Proto byly přidány pro vytápění vytápěcí tyče.

Vytápění pomocí topných tyčí funguje tak, že při průchodu elektrického proudu tyčí dochází k zahřívání tyče.

V soustavě se nacházejí 3 vytápěcí tyče o výkonu 750 W, dohromady tedy 2250 W.

4.3 Modul UTI a klimatizační jednotka

Klimatizační jednotka je řízená skrze modul UTI, v následující kapitole jsou tyto prvky popsány.

4.3.1 UTI

Modul UTI slouží k řízení venkovních klimatizačních jednotek FUJITSU. Montuje se přímo na DIN lištu v rozvaděči podle normy EN 60715 a pro komunikaci s okolím je vybaven následujícími vstupy a výstupy:

- Analogový vstup (0-10 VDC) – požadavek na výkon kompresoru
- Vstup (12 VDC) – volba funkce chlazení/topení
- Vstup (230 VAC) – pro povolení/blokování chodu
- Výstup (230 VAC) – aktivní při chodu kompresoru (max. proudové zatížení 1,6 A)
- Výstup (230 VAC) – aktivní v režimu automatického odtávání výměníku klimatizační jednotky
- Výstup (230 VAC) – signál poruchy venkovní jednotky
- Rozhraní RS-232 – připojení ovládacího a monitorovacího systému

Teplotní čidlo UTI-ETS s adresou A slouží při externí regulaci k ochraně výměníku, kdy je z výroby limit nastaven na +5 °C v režimu chlazení a + 50 °C v režimu topení. [5]

Tento modul je ve stanici použit právě k řízení klimatizační jednotky po příchozím požadavku z PLC, protože je modul používán v externím módu. Do řízení zasahuje pouze, pokud se kompresor dostane na limitní hodnoty, takže jako ochranný prvek, aby nedošlo k zamrznutí nebo přehřátí kompresoru.

4.3.2 Klimatizační jednotka Fujitsu

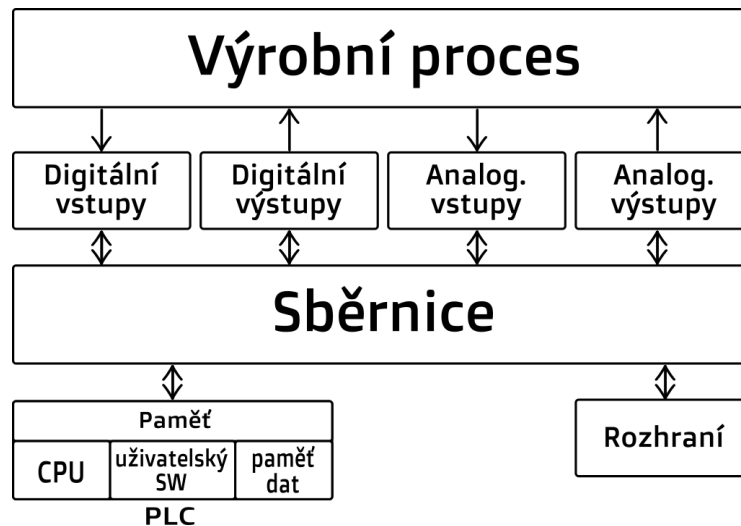
Venkovní kondenzační jednotka řízená externě pomocí PLC přes modul UTI. Používaná pouze pro účely chlazení z důvodu nevhodně navržené vzduchotechniky a řešení vytápění pomocí vytápěcích tyčí. Životnost kompresoru je značně ovlivněna rychlými a skokovými požadavky na změnu výkonu.

Tabulka 2 Specifikace klimatizační jednotky Fujitsu [3]

Napájení	230 V
Jmenovitý výkon (min.-max.)	7,1 kW (0,9-8 kW)
Energetická třída	A++
Provozní proud	9,7/9,7 A
Roční spotřeba	406 kWh/a
Odvlhčení	2,7 l/h
Vzduch. výměna	2340 m ³ /h
Rozměry	(výška x šířka x hloubka) 620x790x298 mm

5. PLC

Z anglického Programmable Logical Controller, používá se i české PLA (Programovatelný Logický Automat) nebo PA. Je to číslicový elektronický systém zpracovávající informace v reálném čase, využívaný převážně v průmyslu pro řízení výrobních procesů.



Obrázek 5 Blokový diagram modulárního PLC

Velkou výhodou oproti reléové logice, která byla předchůdce PLC, jsou změny v programu bez změn v zapojení. Obecně pak spolehlivost a levná údržba. Relativně nevýhodou je, že není zcela univerzální a na každou aplikaci musí být vyrobeno (poskládáno) nové.

Z hlediska konstrukce PLC dělíme na kompaktní a modulární.

Kompaktní programovatelné automaty jsou takové, kde všechny části obsahuje stejné jedno pouzdro. Rozšířit se dají například propojením po síti.

Modulární programovatelné logické automaty se naopak skládají z jednotlivých modulů a jsou tak rozšiřitelné o další vstupy a výstupy a stejně jako kompaktní i po komunikační síti.

Běžně se využívá spojení obou typů, kde se kompaktní PLC starají o jednotlivá pracoviště a modulární automat řídí celý celek složený z kompaktních.

Uživatelský program má svoji vlastní paměť a u programovatelných automatů je charakteristické, že se program vykonává cyklicky. Základní rozdělení cyklického vykonávání programu:

1. Čtení vstupů
2. Zpracování programu
3. Nastavení výstupů
4. Režie systému (Aktualizace systémových proměnných)

5.1 Použité PLC (X20cCP1584)

Modulární PLC od firmy B&R disponující Ethernet POWERLINK komunikačním rozhraním. Procesor Intel Atom 600 MHz s přídatným procesorem pro vstupně výstupní periferie. Výpočetní paměť má 256 MB a je typu DDR2, program je uložen na odnímatelné flash paměti. [7]

Tento typ PLC je použit jako řídicí jednotka celé bateriové stanice, z důvodu dostatečného výkonu. Přesná hardwarová konfigurace je popsána v kapitole 7. Návrh regulace. Požadavky na PLC jsou kvalitní a rychlé komunikační rozhraní, možnost připojení analogových karet pro získávání dat z teplotních snímačů a následně jejich další zpracování a kontrola poruchových stavů spolu s distribucí všech informací nadřazenému systému pro jejich vizualizaci.



Obrázek 6 B&R X20cCP1584 PLC [4]

5.1.1 Power Panel T30 (6PPT30.101G-20B)

Dotykový displej WSVGA, 1024 x 600 pixelů od B&R se svítivostí 500 cd/m², s vlastním procesorem ARM Cortex-A8 a 512 MB operační paměti. Komunikace pomocí ethernetu. [7]

Je použit jako hlavní ovládací panel přímo v rozvaděči bateriové stanice zajišťující tak rozhraní člověk-stroj (HMI).

5.1.2 POWERLINK

POWERLINK je protokol rozšiřující ethernet podle normy IEEE 802.3 o smíšený mechanismus pro dotazování a rozdělování času, tedy průmyslový ethernet pracující v reálném čase. Je zaručen přenos kritických dat v krátkých a přesných cyklech s konfigurovatelným časováním a velmi přesná synchronizace všech síťových uzlů v řádu méně než mikrosekunda. Méně kritická data jsou přenášena v asynchronním kanálu.

Fyzická vrstva

Powerlink disponuje gigabitovým ethernetem, což umožňuje přenos až 1000 Mbit/s. Propojení se realizuje klasickými ethernetovými konektory RJ-45. Pro menší zkrácení a zpoždění je lepší použití síťových rozbočovačů namísto přepínačů.

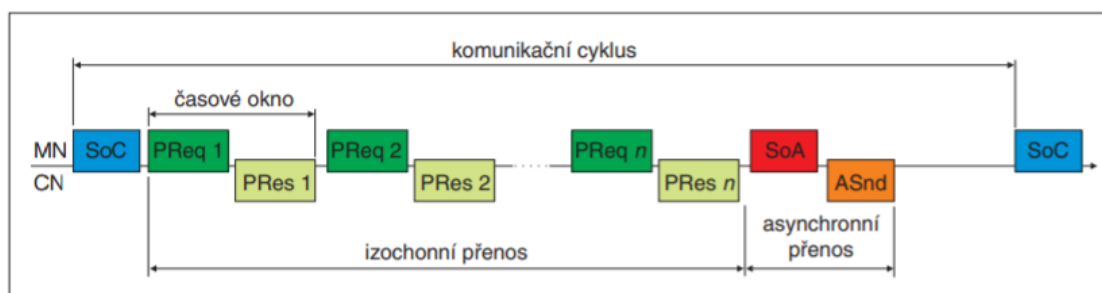
Datová vrstva

Datová vrstva standartního Ethernetu je rozšířena o plánovací mechanismus, který zaručuje, že pouze jeden uzel má přístup v daný čas a nedochází ke kolizím. Toto časování je rozděleno do izochronní a asynchronní fáze, kdy jsou kritická data přenášena s přesnou synchronizací a data, která nejsou tolik náročná na časovou přesnost jsou přenášena v asynchronní fázi.

Komunikační cyklus

Na začátku dochází k rozesílání synchronizačních zpráv na všechny uzly, dále nastává izochronní fáze, kdy jsou na uzly rozeslány požadavky na vystavení všech kritických dat a čeká se na odpověď. Po skončení této fáze začíná asynchronní fáze, při které dojde k udělení přístupu pouze jednomu uzlu.

Trvání jednotlivých fází je možné přizpůsobit. [9, 7]



Obrázek 7 Přenosový cyklus sítě v módu Powerlink [9]

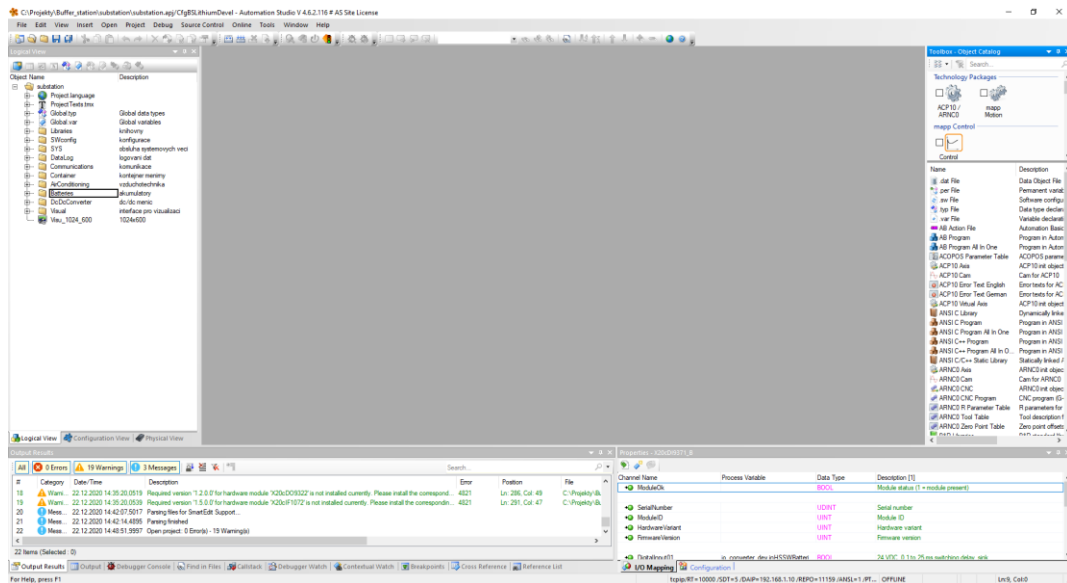
Výše uvedený obrázek (Obrázek 7) zobrazuje komunikační cyklus sítě v módu Powerlink i s jednotlivými odesílanými i přijímanými rámci.

- SoC – Start of Cycle (začátek cyklu)
- PReq – Poll Request (žádost na daný uzel)
- PRes – Poll Response (odpověď uzlu)
- SoA – Start of Asynchronous (začátek asynchronní fáze)
- ASnd – Asynchronous End (konec asynchronní fáze)

6. AUTOMATION STUDIO

Automation Studio je nástroj pro strojní inženýring od firmy B&R automation. Jednotné prostředí pro automatizační aplikace, na vývoj softwaru propojeného s hardwarem, bezpečnostní techniku, HMI i diagnostiku. Toto programovací prostředí bude použito k vytvoření softwarového vybavení.

6.1 Prostředí



Obrázek 8 Prostředí Automation Studio

Systémově-objektové orientování projektu a rozdělení funkcí do jednotlivých částí napomáhá k lehčí správě a programování projektu.

Samotný program strukturovaný v sekci „Logical View“ je oddělen od hardwarové konfigurace „Configuration View“, takže není nutné upravovat celý program pro jiné zařízení, ale pouze hardwarovou konfiguraci.

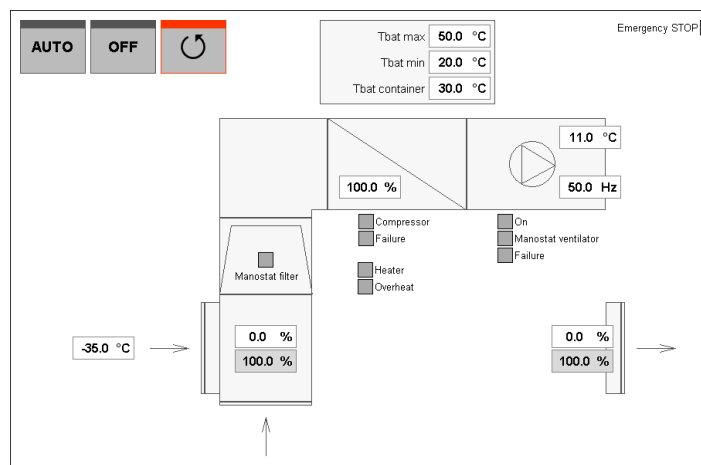
6.2 Mapp technologie

Mapp (Modular application) technologie je v podstatě softwarová stavebnice, díky které se značně urychluje doba vývoje. Jednotlivé komponenty se neprogramují, ale pouze parametrizují.

Tato technologie umožňuje lépe chránit know-how společností, což je věc, na kterou se v poslední době klade větší důraz. Zpětné inženýrství na softwaru v podstatě není možné na rozdíl od mechanické části zařízení. [7]

6.3 HMI

HMI (Human Machine Interface) je rozhraní mezi strojem a člověkem. Jde o zprostředkování informací ve srozumitelné formě a reálném čase. Automation Studio má přímo integrovaný vizualizační systém, pro různé typy displejů a ovládání.



Obrázek 9 Vizualizace vzduchotechniky v Automation Studiu

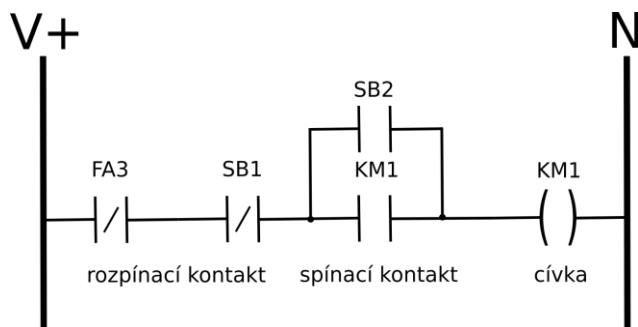
Vizualizační systém Automation Studia má mnoho komponentů jako například Vytváření grafů z procesu, True color zobrazení pro podporu barevných displejů, interakci pomocí tlačítek a dotykových obrazovek, možnost funkce pracovat v módu terminál nebo přímo VNC pro vzdálenou správu a další.

6.4 Programovací jazyky

Programovací jazyky slouží k implementaci logiky do programu pro PLC, definuje se tedy pomocí nich funkčnost zařízení. Automation Studio podporuje vedle klasických programovacích jazyků pro PLC i vyšší jazyky jako je jazyk C i objektově orientované C++.

6.4.1 LD (Ladder Diagram)

LD (česky příčkový diagram) je nejstarší jazyk pro PLC, který vychází z reléové logiky. Jedná se o grafický jazyk, který má výhodu v přehlednosti zápisu a velmi rychlém programování. Ale pro práci s daty nebo k aritmetickým operacím je nevhodný. Složitě programy rychle narůstají na délce, což také není vhodné.



Obrázek 10 Ukázka jazyka LD

(Obrázek 10) zobrazuje ukázkou ovládání stykače v jazyce LD, kde FA3 je pojistka, SB1 stopovací tlačítko, SB2 zapínací tlačítko a KM1 stykač.

Stykač KM1 se sepne tlačítkem SB2 a drží sepnutý až do rozepnutí pojistky FA3 nebo stopovacího tlačítka SB1.

6.4.2 FBD (Function Block Diagram)

FBD (česky diagram funkčních bloků) je také grafický jazyk, který vyjadřuje chování programu pomocí provázaných bloků s logickými operacemi (hradel).

Výhodou je přehlednost zápisu programu, ale podobně jako u LD není vhodný pro manipulaci s velkým množstvím dat a práci s ASCII znaky. Je nevhodný pro programování algoritmů.

6.4.3 IL (Instruction List)

IL (česky seznam instrukcí) je podle názvu seznam instrukcí, tedy textový jazyk, kdy každá instrukce PLC systému odpovídá příkazu jazyka. Dal by se přirovnat k assembleru, který je také strojově orientován a používá se u PC.

Výhodou je přesná definice chování programu a úsporný program, na druhou stranu je nutné se orientovat v jednotlivých příkazech a program už není tak průhledný jako u předchozích jazyků. Pro složité aplikace není úplně vhodný, ale používá se spíše pro jednoduché, často se opakující funkce.

6.4.4 ST (Structured Text)

ST (česky strukturovaný text) je textový jazyk vyšší úrovně podobný například Pascalu či C. Ideální pro klasické programátory. Vhodný pro práci s daty a ASCII znaky i pro náročnější zpracování analogových signálů, ale přehlednost zápisu logických operací je trochu menší a je nutné znát přesnou syntaxi.

6.4.5 Jazyk C

Jazyk C je textový jazyk vyšší úrovně, ale s možností přístupu do paměti. Dobře známý pro programátory a stejně jako ST ideální pro práci s daty, ASCII znaky a analogovými signály.

Příklad zapsán ve zdrojovém kódu:

```
// Proměnné definovány zvlášť
void _INIT ovlStykac_ioInit(void) // funkce která se provede při
startu PLC
{}

void _CYCLIC ovlStykac_ioCyclic(void) // cyklicky vykonávaná funkce
(program) PLC
{
    // logika (OUT)
    KM1 = (!FA3 & !SB1) & (SB2 ^ KM1);
}

void _EXIT ovlStykac_ioExit(void) // funkce která se provede při
vypínání PLC
{}
```

Stejný příklad kódu jako u LD, tentokrát v jazyce C

Kde ! je logická negace signálu, & operátor bitového součinu a ^ operátor exkluzivního součtu.

Při srovnání jazyků se může říct, že jazyk C je nejvhodnější z hlediska úspory a pro práci s daty, ale je nutné znát syntaxi. Nejjednodušší a dobře přehledný je jazyk LD, ale je nevhodný pro složitější algoritmy. Kód pro regulaci bude právě v jazyce C.

7. NÁVRH REGULACE

Návrh regulace vychází z ekvitermní regulace, tedy nastavení vnitřní teploty na základě vnější. Na základě zkušeností z výpočtů při sestavování modelu systému byla zvolena jednodušší metoda regulace. Jsou stanoveny určité stavy, které mohou nastat a v těchto stavech jsou dány určité podmínky regulace. Regulátor je zvláště pro klapky, zvláště pro ventilátor a zvláště pro klimatizaci, jedná se o proporcionální regulátory. Regulátor pro vytápěcí tyče je on-off.

Toto řešení bylo také zvoleno na základě požadavků a nevhodně navržené vzduchotechniky. Rychlé změny výkonu kompresoru klimatizace (10 % na 100 % a zpět na nízkou hodnotu během desítek sekund) například z PSD regulátoru ničí kompresor a samovolně se objevuje stav poruchy, který není žádoucí. Modul UTI, přes který prochází změny výkonu kompresoru musí mít také čas požadavek na výkon zpracovat (2-5 minut). Proto byla stanovena maximální změna výkonu 5 % za 1 minutu.

Tento čas je i z hlediska klapky přijatelný, protože nějakou dobu trvá, než se otevře/zavře na žádanou hodnotu. V následující kapitole budou popsány modely jednotlivých prvků vzduchotechniky a návrh regulace.

7.1 Teplotní limity baterie pro určení chlazení a vytápění

Tabulka 3 Limity návrhu ovládání [6] – převzato, upraveno

Popis	Hodnota
Teplota pod jejíž hodnotou se má topit	15 °C
Teplota nad jejíž hodnotou se má chladit	25 °C
Spodní limit přípustných pracovních teplot baterie	10 °C
Horní limit přípustných pracovních teplot baterie	40 °C

Tabulka vychází z toho, že životnost akumulátoru a jeho kapacita je závislá na teplotě. Záleží na použitém materiálu, ze kterého je baterie vyrobena, kdy se teplotní limity mohou posouvat. Obecná ideální teplota baterie pro provoz, vycházející z katalogových listů a fyzikálních vlastností, je +18 °C. Pracovní rozsah pak +15 °C až 45 °C. Při teplotách pod nulou nadměrně dochází ke ztrátě kapacity.

Pro uchování akumulátorů je podle určení výrobců nejlepší nabití alespoň na 60% kapacity a teplota těsně nad bodem mrazu.

7.2 Modely prvků

7.2.1 Teorie

Model je podle definice odrazem reálného systému, který může být například tranzistor, průmyslová budova nebo i ekonomika celé země. Základem bývá abstraktní matematický model, kdy se matematickými vyjádřeními, grafy, algoritmy popisuje reálný systém. Díky výstupu z matematického modelu se poté dá vybudovat model fyzikální, který je reálným systémem modelující jiný reálný systém.

Cílem tedy je sestavit model systému, který je zjednodušením reálného a má stejné podstatné vlastnosti z hlediska řešeného problému.

Matematické modely v technické kybernetice mají nejčastěji tvar stavových rovnic zapsaných jako soustavy diferenciálních rovnic. [10]

Termodynamické systémy

U modelování teplotních systémů musí platit tři základní zákony.

- Zákony zachování hmotnosti
Hmotnost přitékající do konkrétního objemu z něj také musí vytéct, platí tedy rovnice:

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2 \quad (1)$$

kde S_1 a S_2 [m^2] je průřez potrubí, v_1 a v_2 rychlosti proudění [m/s] – dohromady hmotnostní průtok.

U hmotnostního průtoku se také může uvádět hustota tekutiny.

- Zákony zachování energie
Pro bezztrátové proudění platí zákon zachování energie reprezentován Bernoulliovou rovnicí.

$$\frac{1}{2} \rho dV v^2 + p dV + \rho dV g h = konst \quad (2)[10]$$

kde ρ je hustota [kg/m^3], dV je změna objemu [m^3/s], p je tlak [Pa], g je gravitační zrychlení [m/s^2] a h je výška [m].

Tedy součet kinetické, tlakové a polohové energie je konstantní.

- Materiálová rovnováha
Pro volný objem platí zákon materiálové rovnováhy. Za předpokladu že hustota ρ je konstantní, pak suma průtoků odpovídá časové změně objemu.

$$\frac{dV}{dt} = \sum f_i \quad (3)$$

kde dV/dt je změna objemu [m^3/s], f je průtok [m^3/s]

V souladu s těmito zákony dochází u termodynamických systémů k tepelným procesům. Při teplotním rozdílu dvou látek lze určit dodaná nebo odebraná hmotnost tepla látky.

$$Q = mc(\vartheta_1 - \vartheta_2) = \rho Vc(\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (4) [11]$$

kde Q je teplo [J], m je hmotnost [kg], c je měrné teplo látky [J/kgK], ρ je hustota [kg/m³], V je objem [m³] a ϑ_1, ϑ_2 jsou teploty [K].

Tepelný tok bude následující:

$$q = \frac{dQ}{dt} = mc \frac{d\vartheta}{dt} \quad (5) [11]$$

kde q je tepelný tok [J/s = W], m je hmotnost [kg], c je měrné teplo látky [J/kgK] (mc dohromady je C – tepelná kapacita [J/K]) a $d\vartheta/dt$ je změna teploty (K).

Ke sdílení tepla dochází.

- Vedením

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\lambda}{d} S(\vartheta_1 - \vartheta_2) = \frac{1}{R_T} (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (6) [11]$$

kde dQ/dt je tepelný tok [W], λ je měrná tepelná vodivost [W/mK], d je tloušťka stěny [m], S je plocha [m²], ϑ_1 a ϑ_2 teploty [K] a R_T je tepelný odpor [m²K/W].

- Prouděním

$$\frac{dQ}{dt} = \rho c \vartheta f \quad (7) [11]$$

kde dQ/dt je tepelný tok [W], ρ je hustota [kg/m³], c je měrné teplo [J/kgK], ϑ je teplota [K] a f je průtok [m³/s].

- Přestupem

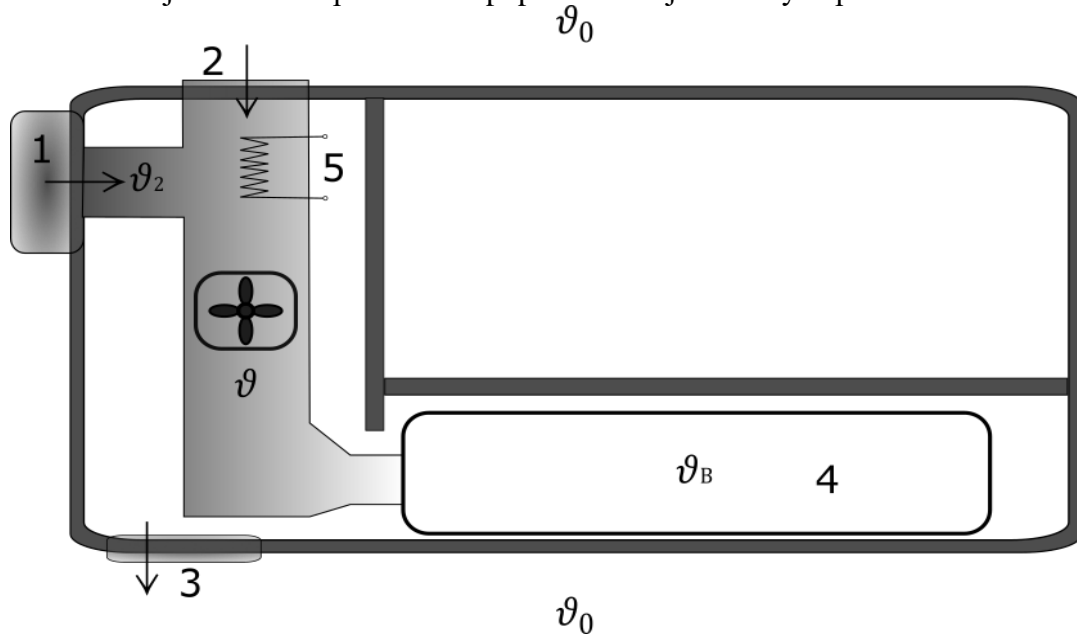
$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S(\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (8) [11]$$

kde dQ/dT je tepelný tok [W], α je součinitel přestupu tepla [W/m²K], ϑ_1 teplota první látky [K] a ϑ_2 teplota druhé látky [K].

Řešení obecných tepelných systémů vede na parciální diferenciální rovnice.

7.2.2 Vlastní modely

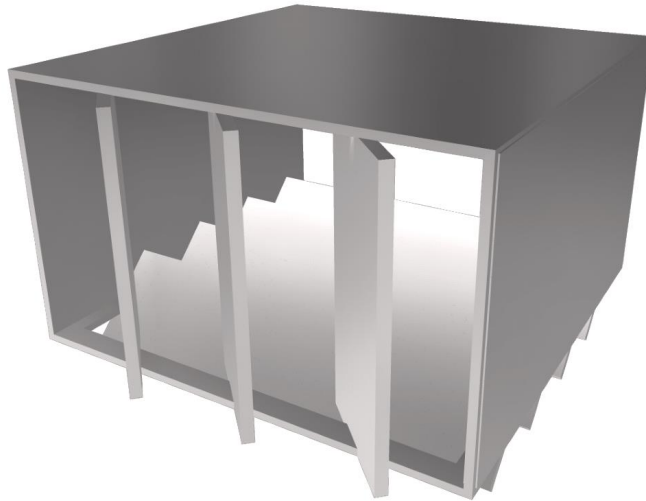
Na teoretickou část modelování teplotních systémů navazuje tato kapitola, ve které se nachází zjednodušená představa a popis modelů jednotlivých prvků bateriové stanice.



Obrázek 11 Bateriová stanice – Teploty

Na obrázku (Obrázek 11) je vyobrazena vzduchotechnika bateriové stanice v pohledu shora. Číslo 1 představuje klimatizační jednotku, 2 nasávací klapku, 3 výfukovou klapku, 4 akumulátory a 5 topné těleso. U jednotlivých částí jsou uvedeny i teploty, které se budou objevovat v následujícím popisu modelů. ϑ_0 je teplota okolního vzduchu, ϑ_2 je teplota z klimatizace, ϑ je teplota uvnitř bateriové stanice a ϑ_B je teplota akumulátorů.

Nasávací klapka



Obrázek 12 Nasávací klapka

Na vizualizaci výše je znázorněna přibližná podoba nasávací klapky. Jde o směšovací klapku pro nasávání okolního a vnitřního vzduchu. Lze tedy nastavit úplný vnitřní oběh nebo kombinaci s nasáváním venkovního vzduchu.

S využitím rovnic z teorie, je poté tepelný tok přiváděný do systému touto klapkou následující:

$$\frac{dQ_1}{dt} = q_1 = \rho c \vartheta_0 f_1 \quad (9)$$

kde q_1 je přiváděný tepelný tok z okolí [W], ρ je hustota [kg/m^3], c je měrné teplo vzduchu [J/kgK], ϑ_0 je teplota okolí [K] a f_1 je průtok přes klapku [m^3/s].

Průtok f_1 je vyjádřen následovně:

$$f_1 = S_1 v \quad (10)$$

kde f_1 je průtok přes klapku [m^3/s], S_1 je plocha potrubí klapky [m], která může být ve zjednodušené podobě měněna natočením lopatek, a v je rychlost proudění přes klapku řízena ventilátorem [m/s].

Výfuková klapka



Obrázek 13 Výfuková klapka

Obrázek 13 zobrazuje přibližnou podobu výfukové klapky. Jde o obyčejnou klapku, která umožňuje plné zavření, tedy cirkulaci vzduchu uvnitř bateriové stanice, nebo natočením lopatek zajistit pootevření až k plnému otevření a umožnit tak, ventilaci vnitřního vzduchu do okolí.

Jde v podstatě o podobnou úvahu jako u nasávací klapky, rovnice popisující výfukovou klapku poté je:

$$\frac{dQ_3}{dt} = q_3 = \rho c \vartheta f_3 \quad (11)$$

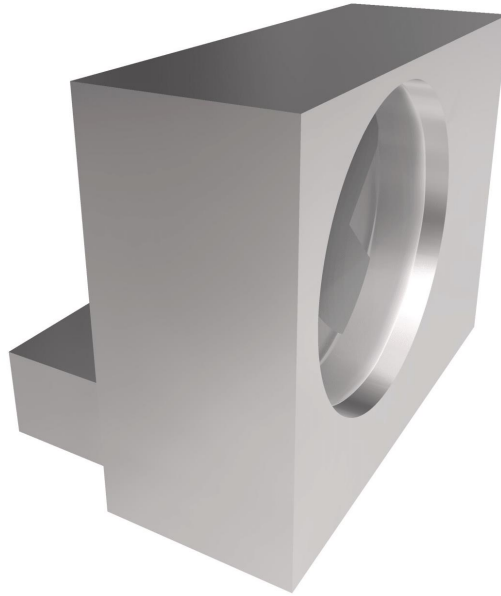
kde q_3 je odváděný tepelný tok do okolí [W], ρ je hustota [kg/m^3], c je měrné teplo vzduchu [J/kgK], ϑ je teplota uvnitř bateriové stanice [K] a f_3 je průtok přes klapku [m^3/s].

Průtok f_3 je vyjádřen následovně:

$$f_3 = S_3 v \quad (12)$$

kde f_3 je průtok přes klapku [m^3/s], S_3 je plocha potrubí klapky [m], která může být ve zjednodušené podobě měněna natočením lopatek, a v je rychlost proudění přes klapku řízena ventilátorem [m/s].

Klimatizační jednotka



Obrázek 14 Klimatizační jednotka

Vizuální podoba klimatizační jednotky je přiblížena na předchozím obrázku. Jak bylo zmíněno, i když některé klimatizační jednotky včetně tohoto typu umožňují i vytápění, používá se pouze pro chlazení. Popisující rovnice je poté následující:

$$\frac{dQ_2}{dt} = q_2 = \rho c \vartheta_2 f_2 \quad (13)$$

kde q_2 je přiváděný tepelný tok z klimatizační jednotky [W], ρ je hustota [kg/m^3], c je měrné teplo vzduchu [J/kgK], ϑ_2 je teplota vzduchu z klimatizační jednotky [K] a f_2 je průtok přes klimatizační jednotku [m^3/s].

Průtok f_2 je pak vyjádřen následovně:

$$f_2 = S_2 v \quad (14)$$

kde f_2 je průtok přes klimatizační jednotku [m^3/s], S_2 je plocha potrubí klimatizace [m] a v je rychlost proudění řízena ventilátorem [m/s].

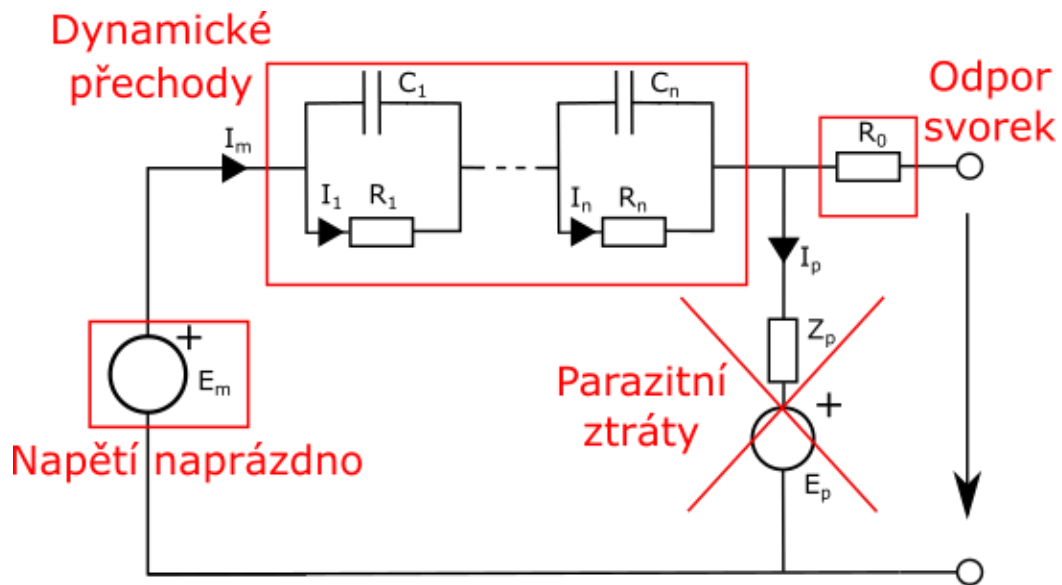
Topné tyče

Teplota topných tyčí, jak bylo popsáno v kapitole 4.2 Vytápění, je přímo závislá na průchodu proudu. Proto je dodávaný tepelný tok vlastně výkonem a je dán následující rovnicí:

$$\frac{dQ}{dt} = q = Ri^2 \quad (15)$$

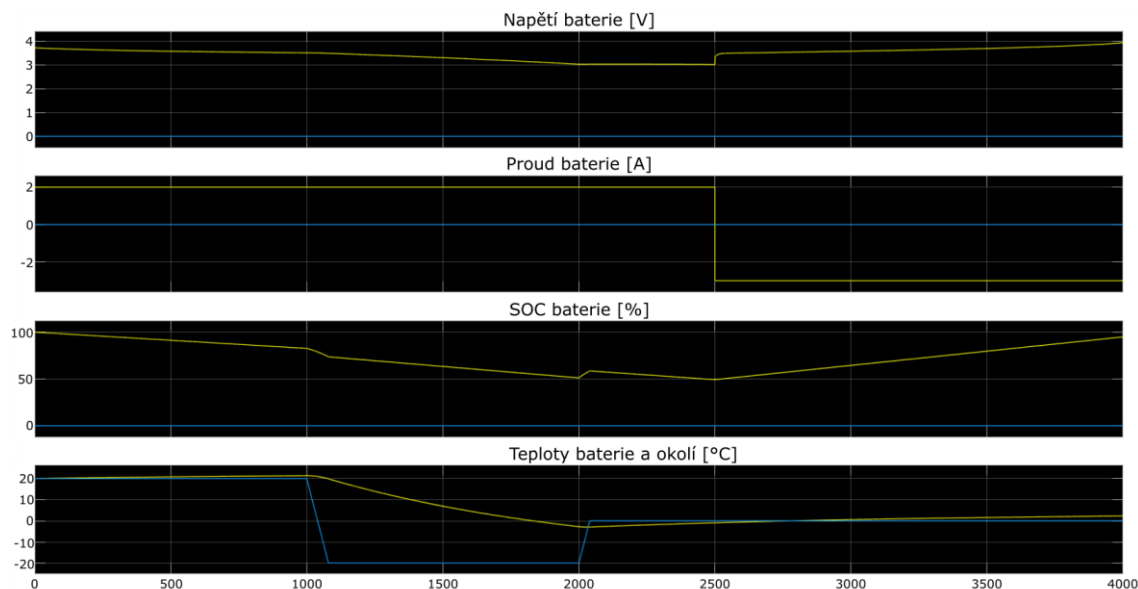
kde q je dodávaný tepelný tok vytápěcími tyčemi (výkon) [W], R je odpor topných tyčí [Ω] a i je procházející proud tyčemi [A].

Akumulátory



Obrázek 15 Obvodový model akumulátoru [12]

Ekvivalentní model akumulátoru je zobrazen na obrázku výše. Parazitní ztráty jsou často tak malé, že mohou být zanedbány. Jednotlivé prvky jsou závislé na stavu nabití, teplotě, často i proudu a napětí, proto jsou vysoce nelineární. [12] Tento obvodový model se dá použít v programu Matlab Simulink v kombinaci se Simscape k vytvoření simulačního modelu Li-ion článku.



Obrázek 16 Grafy modelu článku [13] – převzato, upraveno

Grafy z předchozího obrázku odpovídají modelu teplotně závislého Li-ion článku. „Napětí baterie“ znázorňuje hodnotu napětí na článku, „Proud baterie“ ukazuje vybíjecí (kladné hodnoty) a nabíjecí (záporné hodnoty) proud článku (žlutý průběh). SOC je parametr „State of Charge“, který znázorňuje stav nabití článku a „Teplota baterie a okolí“ reprezentuje dané teploty (žlutý průběh – teplota baterie, modrý průběh – teplota okolí).

Z uvedených grafů lze názorně vidět chování článku při vybíjení proudem 2 A, kdy dochází k zahřívání a samozřejmě k poklesu stavu nabití. V čase 1000 s je také patrné, že při skokové změně teploty z 20 °C na – 20 °C dochází k ochlazení článku a s tím spojeného náhlého většího poklesu stavu nabití.

Dodávaný/odebíraný tepelný tok skrze prvky vzduchotechniky má přímo ovlivňovat teplotu akumulátorů a zajistit tím ideální podmínky pro jejich bezpečný a co možná nejdelší provoz. Změna teploty poté bude následující:

$$\frac{d\vartheta_B}{dt} = \frac{1}{C} \sum q \quad (16)$$

kde $d\vartheta_B/dt$ je změna teploty akumulátorů, C je tepelná kapacita akumulátorů a $\sum q$ je suma tepelných toků.

Z upravené rovnice materiálové rovnováhy (3) je poté názorně vidět tepelné toky.

$$q + q_1 + q_2 - q_3 = 0 \quad (17)$$

Dosazením za jednotlivé tepelné toky se získají odpovídající rovnice pro řešení tepelného systému, jak se však ukázalo z důvodu navržení vzduchotechniky, tento způsob řešení není vhodný a je poměrně komplikovaný, proto bylo postupováno již zmíněným způsobem přes předem definované stavy.

7.3 Dostupné veličiny ze senzorů

- Venkovní teplota (°C) ... **ᑖ₀**
- Teplota za ventilátorem (vnitřní teplota) (°C) ... **ᑖ**
- Nejnižší teplota článku v battery boxu (°C) ... společně s nejvyšší -> **ᑖ_B**
- Nejvyšší teplota článku v battery boxu (°C) ... společně s nejnižší -> **ᑖ_B**
- Poloha nasávací klapky (%) ... 0 % = uzavření
- Poloha výfukové klapky (%) ... 0 % = uzavření
- Diferenční manostat ventilátoru (0/1) ... porovnává tlak před a za ventilátorem (určení, zda je ventilátor v pohybu)

Popis možných měřených hodnot odpovídá obrázku (Obrázek 11 Bateriová stanice – Teploty).

7.4 Akční členy

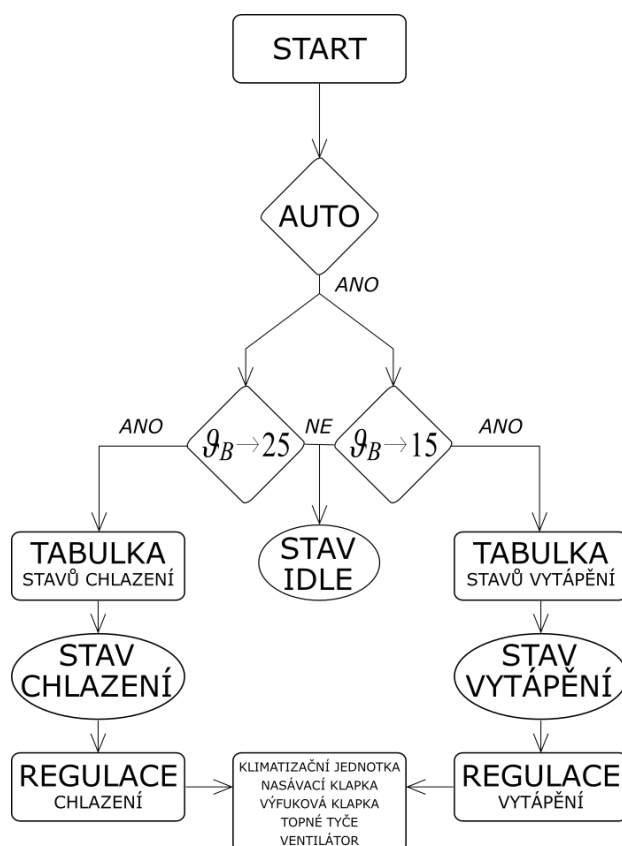
- nasávací klapka (%) ... 0% vnitřní okruh ... **airFlapIntake**
- výfuková klapka (%) ... 0% vnitřní okruh ... **airFlapDischarge**
- ventilátor (Hz) ... (20 Hz minimální otáčky, na které reaguje manostat) ... 50 Hz max otáčky ... **ventilator**
- chlazení (UTI) (%) ... 5% minimální výkon, kdy jednotka zapne kompresor a začne chladit
- topení (0/1) ... **heater**

Popis akčních členů odpovídá názvům proměnných.

7.5 Regulace přes stavy (Blokový diagram, tabulka stavů)

V této kapitole bude popsán návrh regulace přes stavy a řídicí kód, pomocí blokového diagramu a tabulky stavů, tyto stavy budou poté následně podrobněji rozvedeny.

7.5.1 Blokový diagram



Obrázek 17 Blokový diagram kódu (zjednodušen na část vzduchotechniky)

Na obrázku výše lze vidět blokový diagram kódu pro část vzduchotechniky popisující chování k dosažení regulace akčních členů. Jednotlivé bloky představují funkce nebo segmenty řídicího kódu.

Vyhodnocování přechodu do určitého stavu chlazení nebo vytápění probíhá až tehdy, pokud se teplota akumulátorů začne přibližovat limitní hodnotě (viz. Tabulka 3 Limity návrhu ovládání). Přechod se vhodně zvolí podmínkami závisujícími na teplotě baterií, vnitřní teplotě bateriové stanice a okolní teplotě (více Tabulka 4 Ukázka stavů regulace).

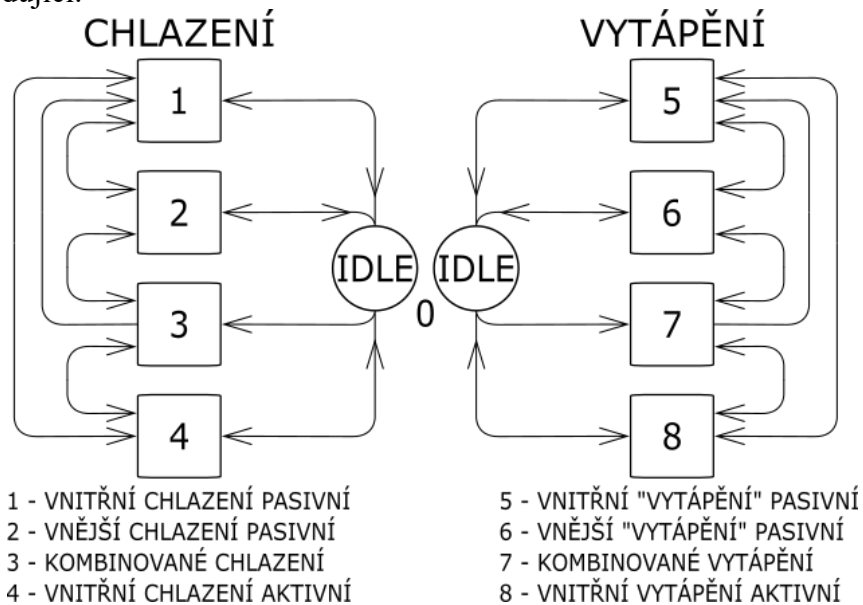
Jedná se o čtyři stavy pro chlazení a čtyři pro vytápění, celkem tedy i s nečinným stavem 9 stavů, ve kterých se systém může nacházet a v nich poté probíhá ovládání a regulace jednotlivých akčních členů, jak bude popsáno spolu s přechodem mezi stavy.

7.5.2 Tabulka stavů

Tabulka 4 Ukázka stavů regulace

	případ	vyžádání akce	TYP STAVU	podmínka typu stavu	přechod stavu
CHLAZENÍ PŘI PŘEHŘÍVÁNÍ	$\vartheta_B > \vartheta_0$ & $\vartheta < \vartheta_0$	$\vartheta_B \rightarrow 25^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ	$\vartheta \leq 17^\circ\text{C}$	$\vartheta \geq \vartheta_0 \parallel \vartheta > 17^\circ\text{C}$ ↓
	& $\vartheta \geq \vartheta_0$	$\vartheta_B \rightarrow 25^\circ\text{C}$	VNĚJŠÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ	$\vartheta_0 \leq 17^\circ\text{C}$	$\vartheta_0 > 17^\circ\text{C}$ ↓
			KOMBINOVANÉ CHLAZENÍ	$\vartheta_0 \leq 20^\circ\text{C}$	$\vartheta_0 > 20^\circ\text{C}$ ↓
			VNITŘNÍ CHLAZENÍ AKTIVNÍ	$\vartheta > 20^\circ\text{C}$	
	$\vartheta_B < \vartheta_0$ & $\vartheta < \vartheta_B$	$\vartheta_B \rightarrow 25^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ	$\vartheta \leq 17^\circ\text{C}$	$\vartheta \geq \vartheta_B \parallel \vartheta > 17^\circ\text{C}$ ↓
	& $\vartheta \geq \vartheta_B$	$\vartheta_B \rightarrow 25^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ CHLAZENÍ AKTIVNÍ	$\vartheta > 20^\circ\text{C}$	
VYTÁPĚNÍ PŘI OCHLAZOVÁNÍ	$\vartheta_B > \vartheta_0$ & $\vartheta > \vartheta_B$	$\vartheta_B \rightarrow 15^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ "VYTÁPĚNÍ" PASIVNÍ	$\vartheta \geq 20^\circ\text{C}$	
	& $\vartheta \leq \vartheta_B$	$\vartheta_B \rightarrow 15^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ	$\vartheta \leq 17^\circ\text{C}$	↑ $\vartheta > \vartheta_B$
	$\vartheta_B < \vartheta_0$ & $\vartheta > \vartheta_0$	$\vartheta_B \rightarrow 15^\circ\text{C}$	VNITŘNÍ "VYTÁPĚNÍ" PASIVNÍ	$\vartheta \geq 20^\circ\text{C}$	↑ $\vartheta_B > \vartheta_0 \& \vartheta \leq \vartheta_B$
	& $\vartheta \leq \vartheta_0$	$\vartheta_B \rightarrow 15^\circ\text{C}$	VNĚJŠÍ "VYTÁPĚNÍ" PASIVNÍ	$\vartheta_0 \geq 20^\circ\text{C}$	↑ $\vartheta > \vartheta_0$
			KOMBINOVANÉ VYTÁPĚNÍ	$\vartheta_0 > 17^\circ\text{C}$	↑ $\vartheta_0 > 20^\circ\text{C}$
			VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ	$\vartheta_0 < 17^\circ\text{C}$	↑ $\vartheta_0 > 17^\circ\text{C}$

Tabulka znázorňuje stavy a přechody mezi nimi. Použité proměnné jsou popsány v kapitolách 7.3 Dostupné veličiny ze senzorů, odpovídají také obrázku v kapitole 7.2.2 Vlastní modely (Obrázek 11 Bateriová stanice – Teploty). Diagram stavového automatu je poté následující.



Obrázek 18 Diagram stavového automatu

Předchozí diagram zjednodušeně zobrazuje jednotlivé stavy regulace a přechody mezi nimi bez podmínek.

Chlazení

Tabulka 5 Regulace akčních členů ve stavech chlazení

	Klapky	Topné tyče	Klimatizační jednotka	Ventilátor
1.	0 %	0	0 %	30 – 50 Hz
2.	0 - 100 %	0	0 %	20 – 50 Hz
3.	0 - 100 %	0	0 – 100 %	20 – 50 Hz
4.	0 %	0	0 – 100 %	30 – 50 Hz

- **VNITŘNÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ**

Vyvolání tohoto stavu je, pokud se teplota baterií blíží k limitní hodnotě pro vyžádání chlazení. Nastat pak může ze dvou důvodů. Prvním je, že teplota baterií je větší jak teplota okolí, ale zároveň vnitřní teplota stanice je nižší než okolní, a to alespoň o osm stupňů. Pro ochlazování akumulátorů se tak může použít pouze uzavřená vnitřní cirkulace vzduchu. Regulaci odpovídá 1. řádek v tabulce 5.

- **VNĚJŠÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ**

Tento stav se vyvolá, stejně jako předchozí, až po přiblížení teploty akumulátorů k limitní hodnotě. Nastane, když je teplota akumulátorů větší než venkovní teplota a zároveň vnitřní teplota je větší nebo stejná jako vnější a vnější teplota musí být o osm stupňů nižší než limitní hodnota. Dochází v něm k ochlazování akumulátorů pomocí venkovního vzduchu. Regulaci odpovídá 2. řádek v tabulce 5.

- **KOMBINOVANÉ CHLAZENÍ**

V tomto stavu platí stejné podmínky jako u předchozího stavu VNĚJŠÍ CHLAZENÍ PASIVNÍ, ale vnější teplota může být nižší nebo rovna 20 °C, dochází pak k nasávání vnějšího vzduchu a smíchávání ho s ochlazovaným vnitřním vzduchem pomocí klimatizační jednotky. Regulaci odpovídá 3. řádek v tabulce 5.

- **VNITŘNÍ CHLAZENÍ AKTIVNÍ**

Tento stav může nastat ze dvou případů, jedním jsou stejné podmínky jako u předchozích dvou stavů, ale uvažuje se namísto venkovní teploty vnitřní teplota, která musí být vyšší jak 20 °C. Nebo ve druhém případě, kdy je teplota baterií nižší než venkovní teplota a zároveň vnitřní teplota je vyšší nebo rovna teplotě baterií. Regulaci odpovídá 4. řádek v tabulce 5.

Vytápění

Tabulka 6 Regulace akčních členů ve stavech vytápění

	Klapky	Topné tyče	Klimatizační jednotka	Ventilátor
1.	0 %	0	0 %	30 – 50 Hz
2.	0 – 100 %	0	0 %	20 – 50 Hz
3.	0 – 100 %	1	0 %	20 – 50 Hz
4.	0 %	1	0 %	30 – 50 Hz

- **VNITŘNÍ „VYTÁPĚNÍ“ PASIVNÍ**

V případě tohoto vytápěcího stavu se vyhodnocuje, zda se teplota akumulátorů blíží k limitní hodnotě pro vyžádání vytápění. Dále může nastat ze dvou případů, pokud bude teplota baterií vyšší než venkovní teplota, zároveň pokud vnitřní teplota bude alespoň 20 °C a bude vyšší nebo rovna teplotě baterií. Druhý nastane, když teplota baterií bude nižší než venkovní teplota, a zároveň teplota uvnitř stanice bude alespoň 20 °C a vyšší než venkovní. Jak napovídá název stavu, ve kterém je vytápění v uvozovkách nejedná se o používání topných tyčí k ohřívání akumulátorů, ale pouze teplejšího vzduchu uvnitř stanice, který cirkuluje a ohřívá tak baterie. Regulaci odpovídá 1. řádek v tabulce 6.

- **VNĚJŠÍ „VYTÁPĚNÍ“ PASIVNÍ**

Do tohoto stavu se dá dostat, pokud platí podmínka teploty baterií, která se blíží k limitní hodnotě a zároveň je teplota akumulátorů nižší než venkovní teplota, která je vyšší nebo stejná jako teplota uvnitř stanice. Podobně jako u stavu VNITŘNÍ „VYTÁPĚNÍ“ PASIVNÍ nejde o vytápění topnými tyčemi, ale pouze o ohřívání vzduchu ve stanici nasáváním teplejšího venkovního vzduchu, a následně ohřívání akumulátorů tímto vzduchem. Regulaci odpovídá 2. řádek v tabulce 6.

- **KOMBINOVANÉ VYTÁPĚNÍ**

Tento stav nastane, pokud jsou splněny stejné podmínky jako u předchozího, ale venkovní teplota je nižší než 20 stupňů celsia a vyšší než 17 °C. Dochází k nasávání relativně teplého venkovního vzduchu a k jeho ohřívání a následně dopravení k akumulátorům. Zde už se k ohřívání vzduchu používají topné tyče. Regulaci odpovídá 3. řádek v tabulce 6.

- **VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ**

Do tohoto stavu se dá dostat dvěma případy, první je takový, že platí podmínky z předchozích dvou stavů, ale venkovní teplota je nižší než 17 °C. Druhý případ nastane, když je teplota akumulátorů vyšší než okolní teplota a zároveň je vnitřní teplota nižší nebo stejná jako teplota baterií. Pro ohřívání akumulátorů se pak používají topné tyče, které ohřívají vnitřní vzduch, který cirkuluje. Regulaci odpovídá 4. řádek v tabulce 6.

Nečinný stav IDLE

V tomto stavu nedochází k ovládání ani regulaci akčních členů, pouze se vyhodnocuje, zda se teplota akumulátorů neblíží k limitní hodnotě pro určení nějakého stavu chlazení nebo vytápění.

Výpočty regulace z tabulek (Tabulka 5 a Tabulka 6) se provádějí následovně.

Výpočet natočení klapek

$$Position = \frac{\vartheta_B - \vartheta_{Bmin}}{\vartheta_{Bmax} - \vartheta_{Bmin}} * Position_{Max} \quad (18)$$

kde $Position$ je natočení nasávací a výfukové klapky [%], $Position_{Max}$ je maximální natočení pro daný stav, ϑ_B je aktuální teplota baterií [°C] a ϑ_{Bmax} a ϑ_{Bmin} jsou limitní teploty akumulátorů [°C].

Výpočet výkonu klimatizační jednotky

$$outPower_{AC} = \frac{\vartheta_B - \vartheta_{Bmin}}{\vartheta_{Bmax} - \vartheta_{Bmin}} * MAX_{PowerAC} \quad (19)$$

kde $outPower_{AC}$ je výkon klimatizační jednotky [%], MAX je maximální výkon pro daný stav [%], ϑ_B je aktuální teplota baterií [°C] a ϑ_{Bmax} a ϑ_{Bmin} jsou limitní teploty akumulátorů [°C].

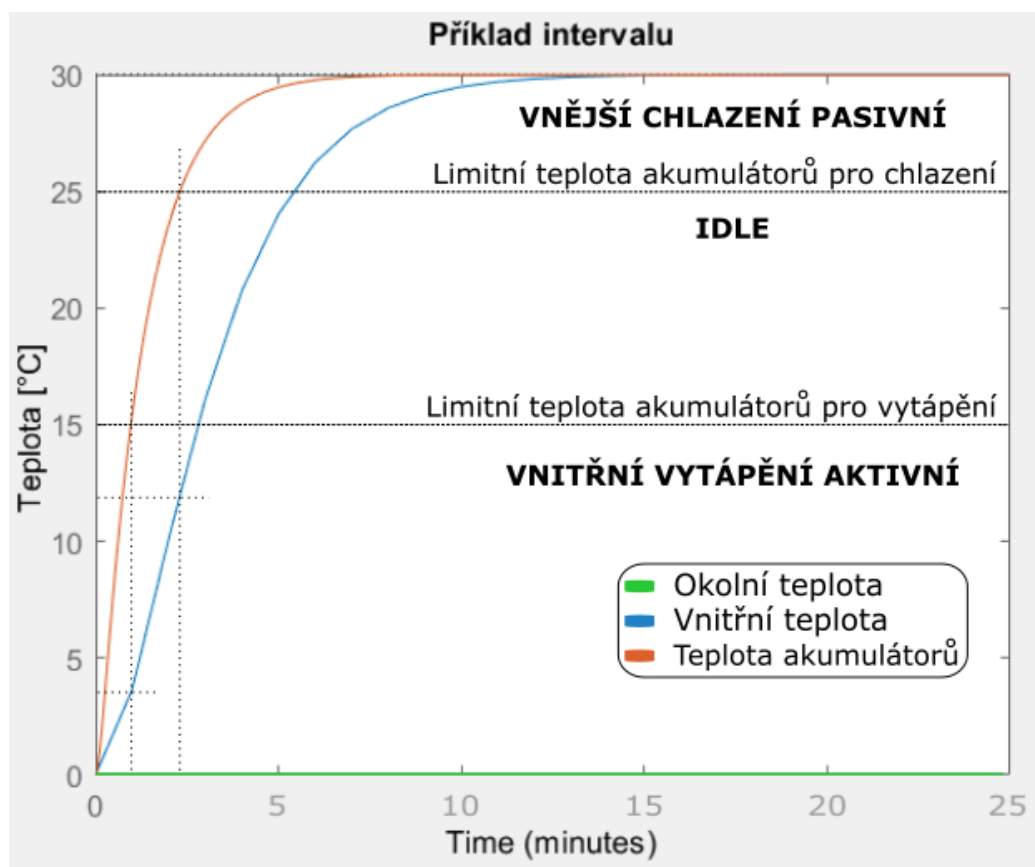
Výpočet výkonu ventilátoru

$$outPower = (MAX_{Power} - MIN_{Power}) * \frac{\vartheta_B - \vartheta_{Bmin}}{\vartheta_{Bmax} - \vartheta_{Bmin}} + MIN_{Power} \quad (20)$$

kde $outPower$ je výkon ventilátoru [Hz], MAX maximální a MIN minimální výkon pro daný stav [Hz], ϑ_B je aktuální teplota baterií [°C] a ϑ_{Bmax} a ϑ_{Bmin} jsou limitní teploty akumulátorů [°C].

Jak bylo zmíněno na začátku kapitoly, regulátor topných tyčí je on-off, tedy pokud je potřeba topit jsou zapnuté, jinak jsou vypnuté.

Příklad vyhodnocení stavu podle tabulky (Tabulka 4 Ukázka stavů regulace)



Obrázek 19 Příklad výběru stavu podle tabulky stavů

Z předchozího obrázku teplotních průběhů je patrné, jak funguje vyhodnocování stavů regulace z tabulky stavů. První stav (VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ) na obrázku spodní interval se zvolí tak, že platí podmínka, aby okolní teplota ($\vartheta_0 = 0\text{ °C}$) byla nižší než teplota akumulátorů. Pokud toto platí rozhoduje se o stavech VNITŘNÍ „VYTÁPĚNÍ“ PASIVNÍ a VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ. Vzhledem k vylučování jednotlivých podmínky, přičemž je splněno, že teplota uvnitř stanice je nižší než teplota baterií, může platit pouze podmínka pro vytápěcí stav VNITŘNÍ VYTÁPĚNÍ AKTIVNÍ.

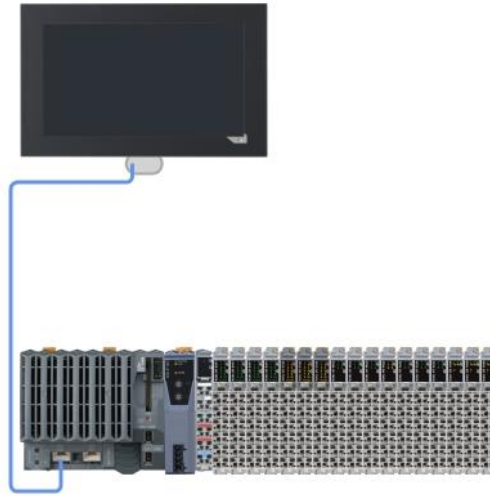
Kdyby došlo k reálnému zapnutí regulace, vnitřní teplota stanice by se zvýšila v důsledku zapnutí topných tyčí a tento vzduch by ohříval akumulátory, po určitém čase by tedy došlo k přechodu do stavu VNITŘNÍ „VYTÁPĚNÍ“ PASIVNÍ a následně k přechodu do stavu IDLE a vypnutí regulace.

Vyhodnocení vrchního intervalu z obrázku probíhá podobnou úvahou jako bylo popsáno v předchozím odstavci, opět by došlo k postupnému přechodu stavů až do nečinného stavu IDLE.

Na obrázku jsou zobrazeny pouze teplotní průběhy bez zásahu regulace k jednoduššímu popsání chování.

Takto navržený způsob regulace by měl zohledňovat setrvačnost soustavy a zamezit tak velkým akčním zásahům a s tím spojeným opotřebením prvků a kmitání soustavy.

7.6 Hardwarová konfigurace PLC



Obrázek 20 Hardwarová konfigurace PLC

7.6.1 Karty

Všechny dále popsané použité karty disponují signalizací stavu a vhodnou standardní třídou krytí.

x20cDI9371

Karta digitálních vstupů, která umožňuje připojit až 12 vstupů. Nominální napětí je 24 V. Rozsah pracovních teplot je od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. [7]

x20cDO9322

Karta digitálních výstupů, umožňuje připojit až 12 výstupů s nominálním napětím 24 V a celkový odebíraný proud by neměl přesáhnout 6 A. Disponuje ochranou odpojení výstupu při přehřátí v důsledku přesáhnutí limitního proudu nebo při vyzkratování obvodu. [7]

x20cAI4622

Karta analogových vstupů, umožňující připojit až 4 analogové vstupy typu $\pm 10\text{ V} / 0\text{--}20\text{ mA}$ / $4\text{--}20\text{ mA}$. Vstupy umožňují 13-ti bitové rozlišení (včetně znaménka). Maximální měřené napětí je $\pm 30\text{ V}$ a maximální měřený proud je $\pm 50\text{ mA}$. [7]

x20cAO4622

Karta analogových výstupů, také umožňuje připojit až 4 analogové výstupní napěťové nebo proudové signály s rozlišením převodníku 13 bitů (včetně znaménka). Výstup je $\pm 10\text{ V}$ nebo 10 mA (při napětí větším jak 5 V), popřípadě 15 mA (při napětí menším jak 5 V). [7]

x20cAT4222

Karta pro 4 vstupy odporového měření teploty pomocí Pt100 nebo Pt1000. Umožňuje měřit rozsahy teplot od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ s 16-ti bitovým rozlišením. Možnost nastavení typu senzoru pro každý kanál a zda jde o dvou nebo třívodičové měření. [7]

7.6.2 AD funkce pro teploty

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole 7.6.1 Karty, je použita přímo karta pro odporové měření teploty x20cAT4222, která zajišťuje interní standardizaci a výstupní hodnota z ní je typu INT nebo UINT odpovídající odporovému měření (at – analog temperature). Stačí tedy reálně zapojit senzory a namapovat proměnné odpovídající teplotám.

```
TYPE
io_ac_dev_type : STRUCT (*IO vzduchotechniky*)
    inTemperatureIntake : at; (*teplota nasavaneho vzduchu*)
    inTemperatureOutdoor : at; (*teplota venkovni*)
    inTemperatureExchanger : at; (*teplota vymenik*)
    inAirFlapPositionIntake : ai; (*aktualni poloha saci vzduchove klapky (0...zavreno - vnitri cirkulace)*)
    inAirFlapPositionDischarge : ai; (*aktualni poloha vytlacne vzduchove klapky (0...zavreno - vnitri cirkulace)*)
    inVentilatorManostat : BOOL := FALSE; (*manostat ventilatoru*)
    inVentilatorInverterFailure : BOOL := FALSE; (*porucha menice ventilatoru*)
    inVentilatorInverterOn : BOOL := FALSE; (*chod menice ventilatoru*)
    outVentilatorFailure : BOOL := FALSE; (*porucha ventilatoru*)
    outVentilatorActivate : BOOL := FALSE; (*aktivace ventilatoru*)
    outVentilatorReset : BOOL := FALSE; (*reset poruchy menice*)
    outVentilatorPower : ao; (*pozadavek menice na otacky ventilatoru*)
    inCondensingUnitFailure : BOOL := FALSE; (*porucha kondenzacni jednotky*)
    inCondensingUnitCompressorOn : BOOL := FALSE; (*chod kompresoru kondenzacni jednotky*)
    outCondensingUnitFailure : BOOL := FALSE; (*porucha kondenzacni jednotky*)
    outCondensingUnitActivate : BOOL := FALSE; (*aktivace kondenzacni jednotky*)
    outCondensingUnitPower : ao; (*pozadavek na vykon kondenzacni jednotky*)
    inHeaterFailure : BOOL := FALSE; (*porucha topeni*)
    outHeaterActive : BOOL := FALSE; (*aktivace topeni*)
    outAirFlapPositionIntake : ao; (*pozadavek na polohu saci vzduchove klapky (0...zavreno - vnitri cirkulace)*)
    outAirFlapPositionDischarge : ao; (*pozadavek na polohu vytlacne vzduchove klapky (0...zavreno - vnitri cirkulace)*)
    inAirFilterManostat : BOOL := FALSE; (*manostat vzduchoveho filtru*)
END_STRUCT;
END_TYPE
```

Obrázek 21 Definice Proměnných k namapování

7.7 Implementace regulace do kódu

V kapitole 6.4 Programovací jazyky, byl vybrán pro implementaci regulace jazyk C. Při spuštění automatu je zavolána funkce inicializační funkce `ac_controlInit(void)`, kde dojde k inicializaci. Poté se neustále vykonává funkce `ac_controlCyclic(void)`. Ve které jsou volány funkce jednotlivých prvků vzduchotechniky.

Funkce `ac_ctrl` obsluhuje prvky vzduchotechniky a určuje volbu stavů a přechod mezi nimi. Na následujícím obrázku je zobrazen příklad volby stavu v této funkci.

```
if (batTemp > dev->temperature.outdoor){
    if ((dev->temperature.intake < dev->temperature.outdoor) && (dev->temperature.intake <= (temperatureIdleMax - ac_state_hyst_coolPas))){
        ac_state = acState_COOLING_INNER_PASSIVE;
    }
}
```

Obrázek 22 Příklad volby stavu ve funkci `ac_ctrl`

Po vyhodnocení stavu ve funkci `ac_ctrl` dojde ve stejné funkci k nastavení příslušných prvků vzduchotechniky.

```

case acState_COOLING_INNER_PASSIVE:
    dev->airFlap.outPositionIntake = 0;
    dev->airFlap.outPositionDischarge = 0;

    dev->ventilator.cmdExtOff = 0;
    dev->ventilator.cmdExtAuto = 1;

    dev->condensingUnit.cmdExtAuto = 0;
    dev->condensingUnit.cmdExtOff = 1;

    dev->heater.cmdExtAuto = 0;
    dev->heater.cmdExtOff = 1;

    dev->airFlap.cmdExtOff = 0;
    dev->airFlap.cmdExtAuto = 1;
    break;

```

Ve funkci daného prvku vzduchotechniky pak dojde k regulaci podle daného stavu.

```

case acState_COOLING_INNER_PASSIVE:

    outPower = ((dev->conf.output_max - (dev->conf.output_min +
powerHyst)) * ((tempBat - temperatureIdleMin) / (temperatureIdleMax -
temperatureIdleMin))) + (dev->conf.output_min + powerHyst);

    break;

```

Výše je zobrazen příklad regulace prvku vzduchotechniky, v tomto případě jde o ventilátor a regulaci jeho výkonu, díky implementaci rovnice (20).

Z konkrétního stavu se poté ve funkci `ac_ctrl` vyhodnocuje přechod do jiných stavů.

```

// přechody mezi stavy regulace ve stavu AUTO
if (ac_state == acState_COOLING_INNER_PASSIVE){
    if ((dev->temperature.intake >= dev->temperature.outdoor) && (dev->temperature.outdoor <= (temperatureIdleMax - ac_state_hyst_coolPas))){
        ac_state = acState_COOLING_OUTTER_PASSIVE;
    } else if (dev->temperature.intake >= batTemp){
        ac_state = acState_COOLING_INNER_ACTIVE;
    } else if (batTemp < temperatureIdleMax){
        // přechod do stavu IDLE - resi timer
    }
}

```

Obrázek 23 Příklad přechodu ze stavu do jiného

7.8 Shrnutí

V průběhu práce bylo zmíněno, že vzduchotechnika je nevhodně navržená, což způsobuje i komplikace v její regulaci. Toto nevhodné navržení je například, že ve vzduchovodu je výřez pro nasávání vnitřního vzduchu ve stanici. Ohřev, který je sice umístěn těsně před nasáváním do vzduchovodu by bylo vhodnější umístit přímo do vzduchovodu nebo k vytápění použít klimatizační jednotku. Ventilátor, který má maximální průtok 1800 m³/h je také zbytečně silný pro takto malý prostor.

Chlazení a ohřev proudícím vzduchem by se také mohlo přehodnotit na použití vodního, zde ale vystávají problémy se skladováním média a možných spojených rizik například v důsledku mechanického poškození a následné poničení komponentů.

8. ZÁVĚR

V bakalářské práci byl vysvětlen návrh regulace spolu se zdůvodněním použití regulace na základě stavů a následně jeho implementace jako program do PLC.

Pro vytvoření zdrojového kódu byl použit jazyk C, jak již bylo zmíněno v kapitole 6.4 Programovací jazyky. Jelikož nejde o složité operace s daty, mohla by být použita například i kombinace standardních jazyků. Rozdělit program na dílčí úlohy pro binární podmínky a pro stavový automat. Důvod upřednostnění jazyka C oproti ostatním, je zachování konzistentnosti celého řídicího kódu pro bateriovou stanici včetně části vzduchotechniky a relativně vyšší osobní zkušenosti s tímto jazykem.

Při sestavování tepelného systému se projevil nevhodný návrh vzduchotechniky, převážně proto regulace vychází z tabulky stavů. Bylo zjištěno, že při použití PSD regulátoru k regulování soustavy dochází k chybovým stavům, protože jednotka UTI, která ovládá klimatizaci nestihá zpracovávat rychlé požadavky. Velké změny v požadavcích na výkon ničí kompresor klimatizační jednotky.

Proto byly zvoleny jednoduché P a on-off regulátory, které jsou dostačující z hlediska rychlosti soustavy. Vyhodnocování stavů a postupné přecházení mezi nimi do vyšších, popřípadě nižších stavů z pohledu regulace zajišťuje menší akční zásahy pro jednotlivé akční členy.

V příloze A – Naměřené průběhy teplot jsou zobrazeny výsledky regulace. U teploty baterií jsou zobrazeny tři průběhy, jedná se o maximální teplotu na článku (modrý průběh), minimální teplotu na článku (oranžový průběh) a průměrnou teplotu baterií (žlutý průběh). Jde o případ, kdy se venkovní teplota pohybovala do 2,5 °C. Dochází tedy k přechodům do vytápěcích stavů. Jak je vidět, pokud klesne minimální teplota na článku na hodnotu 15 °C a nižší, dojde k vytápění, a to se projeví na vzrůstu vnitřní teploty. Následně jsou tímto vzduchem ohřáty články a průměrná teplota se udržuje v ideálních teplotních podmínkách. Regulace se tedy jeví jako funkční a efektivní. Pokračování této práce bude provedení rozsáhlejších měření a provedení vylepšení případně úprav, pokud by se objevili jakékoliv nedostatky.

Z důvodu velikostí a formátování je zdrojový kód regulace uložen na příloženém CD, obsah elektronické přílohy je uveden v příloze B.

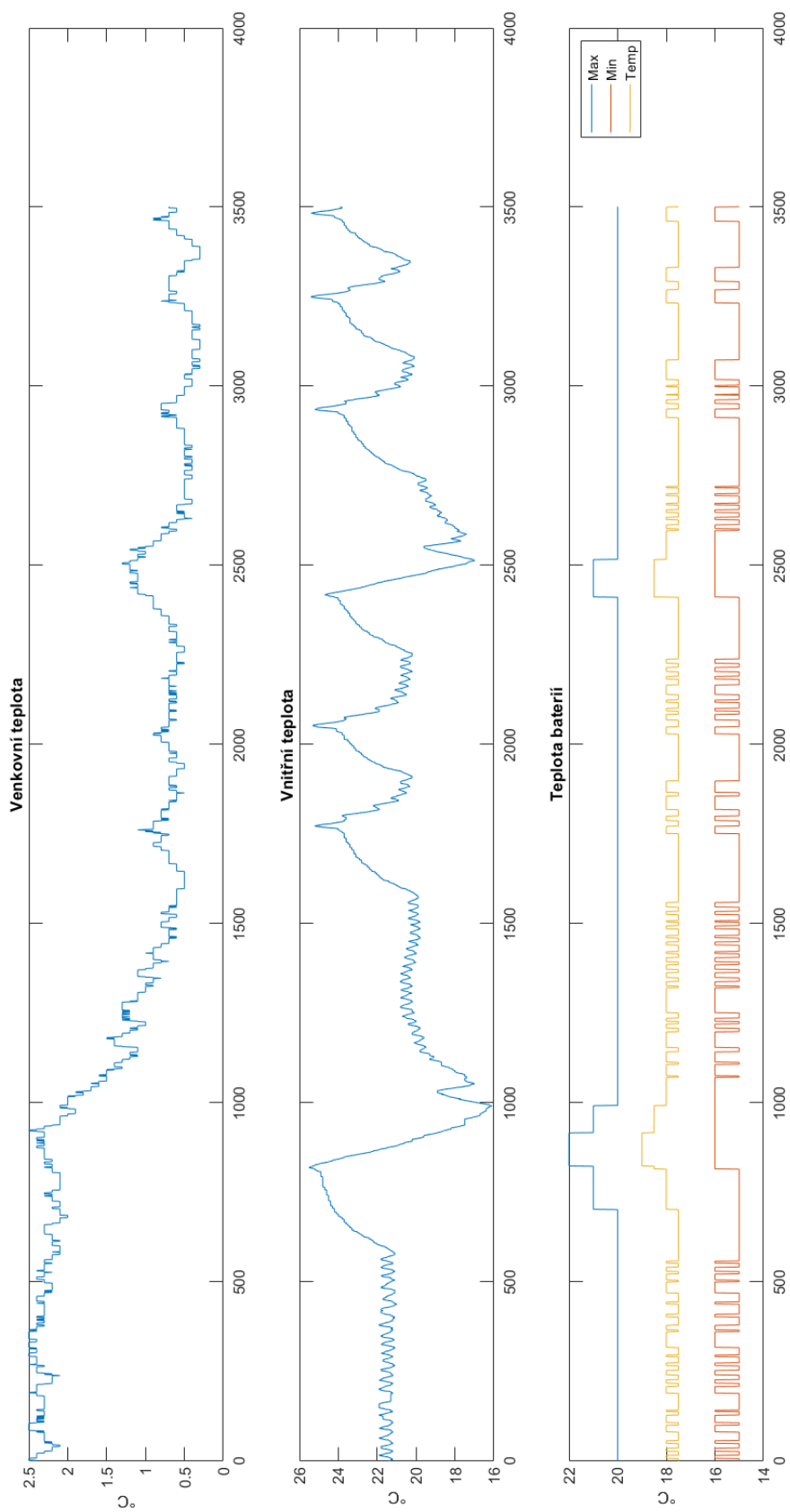
LITERATURA

- [1] BLAHA, doc. Ing. Petr Blaha Ph.D. Řízení a regulace: Regulátory [online]. [cit. 2020-12-20].
- [2] Types of Lithium-ion Batteries. Battery University [online]. [cit. 2020-12-20].
Dostupné na URL:
https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- [3] Specifikace produktu AOYG24LFCC. Fujitsu General [online]. [cit. 2020-12-21].
Dostupné na URL:
<https://www.fujitsu-general.com/cz/products/split/wall/std/asyg24lfcc.html>
- [4] X20cCP1584. In: B&R Automation [online]. [cit. 2020-12-22].
Dostupné z: <https://www.br-automation.com/fileadmin/1373575976804-de-bigicon-1.0.jpg>
- [5] TECHNICKÝ MANUÁL: Modul pro přímé řízení a regulaci inverterových venkovních jednotek FUJITSU [online]. [cit. 2020-12-21].
Dostupné na URL: <https://docplayer.cz/6358768-Technicky-manual-modul-pro-prime-rizeni-a-regulaci-inverterovych-venkovnich-jednotek-fujitsu-pro-venkovni-jednotky-fujitsu.html>
- [6] PLHÁK, Ondřej. Regulace Klimatizace [online]. Elektrolina [Praha], 25.5.2020 [cit. 2020-12-21].
- [7] B&R Automation [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/>
- [8] Elektrolina, Firemní dokumentace elektrolina [cit. 2021-02-15]
- [9] ZEŽULKA, prof. Ing. František Zezulka, CSc. a Ing. Ondřej HYNČICA. Průmyslový EthernetVIII: Ethernet Powerlink, Profinet. Automa. UAMT FEKT VUT v Brně, 2008(5), 62-66 [cit. 2021-02-16].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37288.pdf>
- [10] VÁCLAVEK, Doc. Ing. Pavel Václavek, Ph.D. Modelování a simulace: Hydraulické a tepelné systémy [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dnV0YnIuY3p8Ym1vZHxn eDozNzkxOTg4MTA1MjBiMjg0>
- [11] VÁCLAVEK, Doc. Ing. Pavel Václavek, Ph.D. Modelování a simulace: Tepelné systémy [online]. [cit. 2021-4-10].
Dostupné z: <https://sites.google.com/a/vutbr.cz/bmod/soubory-ke-stazeni>
- [12] JACKEY, Robyn. Lithium Battery Model with Thermal Effects for System-Level Analysis [online]. MathWorks [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/videos/lithium-battery-model-with-thermal-effects-for-system-level-analysis-81886.html>
- [13] SOULEMAN, Njoya M. a Louis-A. DESSAINT. Lithium-Ion Temperature Dependent Battery Model [online]. MathWorks [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/lithium-ion-temperature-dependent-battery-model.html>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY TEPLŮT	46
PŘÍLOHA B - OBSAH ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY	47

Příloha A - Naměřené průběhy teplot



Příloha B - Obsah elektronické přílohy

- BP_Kocka.pdf ... Elektronická podoba bakalářské práce
- Main.c ... Zdrojový kód regulace vzduchotechniky
- Variables.var ... Definice lokálních proměnných pro Zdrojový kód
- Data
 - bs_lithium_ac_tests_3.xlsx ... Naměřená data
 - Data.m ... Matlab skript pro zpracování dat
- Zdroje
 - (Složka Zdroje obsahuje použité obrázky ve zdrojovém formátu)