

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**OPTIMALIZACE
KLIMATIZACE
VÝROBNÍ HALY**

2019

Autor

Bc. Aleš Petruš

Vedoucí práce

Ing. Miloš Lain, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petrů** Jméno: **Aleš** Osobní číslo: **420463**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace klimatizace výrobní haly

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of an Industrial Hall Air-Conditioning System

Pokyny pro vypracování:

Zabývejte se klimatizačním systémem zadané výrobní haly, s důrazem na nastavení měření a regulace a optimalizaci provozu. Provedte sběr a analýzu dat ze stávajícího provozu, doporučte změny vedoucí ke snížení spotřeby energie a zlepšení kvality prostředí.

Seznam doporučené literatury:

Chyský, J.; Hemzal, K. a kol. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. BOLIT ? B press, Brno 1993. ISBN 80-901574-0-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


Ing. Miloš Lain, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

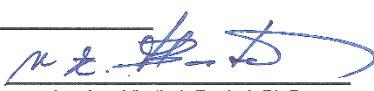
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Miloš Lain, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

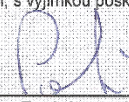

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.4.2019

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Optimalizace klimatizace výrobní haly“ vypracoval samostatně za pomoci literatury a pramenů uvedených v Seznamu použité literatury pod vedením Ing. Miloše Laina, Ph.D.

V Praze dne 19.6.2019



.....
Aleš Petřů

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Milošovi Lainovi, Ph.D. ze jeho metodickou pomoc, odborné vedení a Vladimírovi Kastnerovi za věcné připomínky k oboru měření a regulace.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou měření a regulace klimatizačních a větracích systémů výrobní haly. Je kladen důraz na optimalizaci regulace na základě sběru a analýzy dat. Za účelem analýzy dat je vytvořen nástroj v softwaru Microsoft Excel. Tento nástroj je použit pro analýzu konkrétních klimatizačních jednotek.

Na základě rozboru a analýzy datových bodů jsou vytipována problematická místa. Těmto bodům je věnována další část práce, kde na základě znalosti regulačního software je hledána příčina vzniku problému. Následně jsou popsány konkrétní kroky vedoucí k možné optimalizaci a zlepšení kvality regulace.

Abstract

The diploma thesis is focused on measurement and regulation of air-conditioning units and ventilation systems of the manufacturing hall. Emphasis is given to optimizing regulation based on analysis and data collection. In order to analyse the data, a computing tool is created in Microsoft Excel. This tool is used to analyse specific air conditioning units.

Problematic points are identified and diploma thesis continue with searching for optimization of regulation. The search of optimization is based on knowledge of regulatory software. Subsequently, specific steps leading to possible optimization and improvement of regulation quality are described.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Klimatizace a větrání pro technologické účely	11
2.1 Větracích a klimatizačních zařízení ve výrobních halách	11
2.2 Funkční prvky větracích a klimatizačních systémů	12
2.2.1 Ohřívač	12
2.2.2 Chladič.....	14
2.2.3 Ventilátor	16
2.2.4 Vlhčení vzduchu	17
2.2.5 Čištění vzduchu.....	18
2.2.6 Zpětné získávání tepla	18
2.2.7 Odvlhčování.....	19
2.2.8 Ostatní funkční prvky klimatizačního a větracího zařízení.....	19
2.3 Klimatizační systémy	19
2.4 Zdroje chladu pro klimatizační systémy.....	20
3. Popis výrobní haly	21
3.1 Specifikace výrobní haly H1	21
3.2 Tepelné zisky haly H1	21
3.2.1 Tepelné zisky od výrobních linek	21
3.2.2 Tepelné zisky od osvětlení	24
3.2.3 Tepelné zisky od lidí.....	24
3.2.4 Ostatní vnitřní tepelné zisky	24
3.2.5 Shrnutí vnitřních tepelných zisků	25
3.3 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy	25
3.3.1 Shrnutí tepelných zisků haly H1	26
4. Popis klimatizačních a větracích systému haly H1	27
4.1 Klimatizační jednotky	27
4.2 Klimatizační jednotka VZT3.....	27
4.2.1 Základní informace o zařízení VZT3	28
4.2.2 Klapky.....	28
4.2.3 Filtry	28
4.2.4 Zpětné získávání tepla	29
4.2.5 Ohřívač	29
4.2.6 Zvlhčování	30
4.2.7 Chladič.....	31
4.2.8 Ventilátor	32

4.2.9	Závěr popisu klimatizačních jednotek VZT3 a VZT8.....	32
4.3	Ventilátorové konvektory.....	32
4.4	Chlazení technologií	32
4.5	Technologický odtah	33
5.	Energetická bilance haly H1	34
6.	Měření a regulace:	35
6.1	Popis systému měření a regulace	35
6.1.1	AS nova220 řady EY3600	36
6.1.2	AS modu225 řady modulo 2	36
6.1.3	As modu525 řady modulo 5.....	38
6.1.4	Vzájemná kompatibilita průmyslových sběrnic.....	38
6.1.5	Umístění automatizačních stanic	39
7.	Nástroj pro analýzu a vyhodnocení dat:.....	40
7.1	Úvod kapitoly.....	40
7.2	Volba vhodného výpočetního software:.....	41
7.3	Synchronizace dat:.....	43
7.4	Tvorba grafu:.....	46
7.4.1	Dynamizace grafu	46
7.5	Shrnutí.....	47
8.	Analýza dat.....	48
8.1	Úvod do analýzy dat	48
8.2	Meteorologická stanice.....	48
8.3	Letní provoz.....	49
8.4	VZT3 – letní provoz.....	50
8.4.1	Příloha 1 - VZT3, letní provoz.....	50
8.4.2	Příloha 2 - VZT3, letní provoz.....	51
8.4.3	Příloha 3 - VZT3, letní provoz.....	52
8.5	VZT8 – letní provoz.....	53
8.5.1	Příloha 4 – VZT8, letní provoz	53
8.5.2	Příloha 5- VZT8, letní provoz.....	54
8.5.3	Příloha 6 - VZT8, letní provoz.....	54
8.6	Přechodné období.....	55
8.6.1	Příloha 7 - VZT8, přechodné období.....	56
8.6.2	Příloha 8 - VZT8, přechodné období.....	56
8.6.3	Příloha 9 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence	58
8.6.4	Příloha 10 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence.....	58

8.7	Zimní období.....	58
8.8	Shrnutí analýzy dat.....	59
9.	Optimalizace regulace.....	60
9.1	Kontrola umístění senzoru venkovní teploty	60
9.1.1	Závěr kontroly umístění senzoru venkovní teploty	62
9.2	Kontrola teploty prostoru a odtahu pro VZT3 (VZT8)	63
9.2.1	Kontrola teploty prostoru VZT8.....	64
9.2.2	Kontrola teploty prostoru VZT3.....	67
9.2.3	Závěr kontroly teplot prostoru VZT3 a VZT8.....	67
9.3	VZT3/VZT8 – Kontrola logiky otevírání cirkulační klapky	68
9.3.1	Závěr kontroly logiky otevírání cirkulační klapky	75
9.4	Kontrola návaznosti VZT8 na předehřevu od kompresorů	75
9.4.1	Závěr kontroly návaznosti VZT8 na předehřevu od kompresorů.....	79
9.5	Ventil ohřevu – protimrazová ochrana.....	80
9.5.1	Závěr kontroly regulace ventilu ohřevu, protimrazové ochrany	84
10.	Závěr:.....	85
10.1	Senzor venkovní teploty.....	85
10.2	Teplota v prostoru a na odtahu zařízení VZT3 a VZT8	86
10.3	Cirkulační klapka	86
10.4	Protimrazová ochrana ohříváče, teplota vody na zpátečce	86
11.	Bibliography.....	87
12.	Přílohy.....	88
12.1	Příloha 1 - VZT3, letní provoz	89
12.2	Příloha 2 - VZT3, letní provoz	90
12.3	Příloha 3 - VZT3, letní provoz	91
12.4	Příloha 4 – VZT8, letní provoz	92
12.5	Příloha 5- VZT8, letní provoz	93
12.6	Příloha 6 - VZT8, letní provoz	94
12.7	Příloha 7 - VZT8, přechodné období.....	95
12.8	Příloha 8 - VZT8, přechodné období.....	96
12.9	Příloha 9 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence	97
12.10	Příloha 10 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence	98
12.11	Příloha 11 - Průběh venkovní teploty, vliv solárních zisků.....	99
12.12	Příloha 12 - Protimrazová ochrana ohříváče, mezní teplota 13 °C	100

Seznam použitých symbolů

t	Teplota A-vzduchu; A ₁ -před výměníkem; A ₂ -za výměníkem W-vody; W ₁ -na vstupu; W ₂ -na výstupu; W _m -aritmetický průměr	[K]
Δt_m	Střední teplotní rozdíl	[K]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
c	Měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]
S	Plocha	[m ²]
\dot{m}	Hmotnostní průtok	[kg/s]
\dot{V}	Objemový průtok	[m ³ /s]
h	Entalpie	[J/kg]
\dot{Q}	Tepelný tok	[W]
P	Příkon	[W]
x	Měrná vlhkost vzduchu	[-]

Seznam použitých zkratk

EC	Elektronicky komutovaný
EER	Chladicí faktor (<i>Energy efficiency ratio</i>)
SMT	Technologie pro povrchovou montáž (<i>Surface mount technology</i>)
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů (<i>Surface mount device</i>)
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk (<i>ethylene propylene diene monomer rubber</i>)
BCHJ	Bloková chladicí jednotka
HVAC	Vytápění, větrání a klimatizace (<i>Heat, ventilation and air conditioning</i>)
PLC	Programovatelný logický automat (<i>Programmable Logic Controller</i>)
AS	Automatizační stanice
PK	Primární klíč databáze
VZT3	Klimatizační jednotka č.3
VZT8	Klimatizační jednotka č.8

1. Úvod

Měření a regulace je nedílnou součástí technických zařízení budov. I správně navržený systém může špatně zvolená koncepce měření a logika regulace uvést do nefunkčního stavu. Naopak vhodně zvolený regulační software může vést k energetickým či provozně technickým úsporám. Vlivem rostoucích cen energií a enviromentálních zájmů snižování spotřeby se měření a regulace stává v dnešní době znatelným nástrojem v energetickém managementu budov.

Další klíčovou roli hraje v zajištění parametrů kvality vnitřního prostředí, zejména v technologickém odvětví. Parametry jako teplota, relativní vlhkost, čistota vnitřního prostředí jsou zásadní pro zajištění kvality výsledku daného technologického procesu. Tyto parametry jsou často vyžadovány ve velmi úzkém tolerančním pásmu, což vede k nutnosti správného návrhu systému jako celku. Správný konstrukční návrh zařízení, měření a regulace patří mezi stěžejní předpoklady pro dosažení žádané kvality vnitřního prostředí.

Práce pojednává o klimatizaci a větrání konkrétní výrobní haly. Hlavní důraz je kladen na optimalizaci regulace, s tím související sběr a následnou analýzu dat.

Úvod práce popisuje přehled klimatizačních a větracích zařízení, převážně používaných v průmyslovém prostředí. Jsou popsány základní funkční prvky klimatizačních zařízení a identifikovány hlavní klimatizační systémy.

V další části jsou popisovány základy regulace z hlediska softwarové tak i hardwarové stránky. Je zaměřeno převážně na systémy technických zařízení budov.

Práce pokračuje popisem výrobního objektu a vybráním konkrétní výrobní haly, kterou se podrobněji zabývá. Jsou identifikovány základní tepelně technické vlastnosti a spočtena energetická bilance haly. Popis haly pokračuje se zaměřením na větrací a klimatizační systémy instalované v ní. Všechny systémy TZB, které se v dané hale nachází jsou blíže identifikovány se souvislostmi zmíněných v teoretickém úvodu práce.

Následuje část s popisem tvorby nástroje pro analýzu a sběr dat. Tento nástroj je v dalších kapitolách použit pro vyhodnocení kvality regulace daných zařízení v hale. Jsou rozpoznány a popsány konkrétní případy, kdy se chování systému nejeví jako optimální. Těmto bodům se věnují další odstavce, kde na základě znalosti regulačního software je hledána příčina vzniku problému. Následuje popis a doporučení změn v systému regulace, které by mohly vést k její optimalizaci. Práce je doplněna v závěru o přílohy, kde jsou zobrazena data, na základě kterých analýza jednotlivých zařízení probíhala.

2. Klimatizace a větrání pro technologické účely

Průmyslová výroba s sebou nese celou řadu požadavků na kvalitu vnitřního prostředí. Mezi základní požadavky patří úprava teploty vzduchu, relativní vlhkosti a čistoty přiváděného vzduchu. Při výrobě často vznikají škodliviny, které ve vyšší koncentraci mají negativní dopad na pracovní prostředí, potažmo zaměstnance samotné. Z tohoto důvodu je nutné zajistit dostatečný přívod čerstvého venkovního vzduchu. Vlastní hygienické podmínky jsou právně vymezeny, případně doplňkově upraveny na základě místních okolností. V některých případech je nutné zajistit správné proudění vzduchu mezi výrobními prostory. Typickým příkladem jsou čisté prostory, kde je kladena vysoká kvalita na čistotu vnitřního prostředí z důvodu technologie výroby [1], [2].

2.1 Větracích a klimatizačních zařízení ve výrobních halách

Velká část výrobních objektů, se v dnešní době staví na zelené louce. Požadavky na ekonomické řešení stavby, rychlost výstavby, případnou opětovnou demontáž haly, vedou k tomu, že většina výrobních hal je sestavena z montovaných konstrukcí. Nosná část konstrukce bývá ocelová, případně z železobetonových prefabrikátů. Hlavní opláštění objektu je tvořeno zpravidla trapézovými či vlnitými plechy v kombinaci s tepelněizolačními materiály či sendvičovými panely. Použité stavební materiály a tepelně technické požadavky stavby vedou k tomu, že většina hal je v dnešní době neprůvzdušná. Z tohoto důvodu je použití podtlakového/přetlakového systému větrání pouze s nuceným odvodem/přívodem vzduchu nevhodné.

Převážná část větrání výrobních hal je v dnešní době zajišťována pomocí klimatizačních jednotek. Ty standartně obsahují dva ventilátory (přívod, odtah), jedná se o nucené větrání, ve výrobních prostorách nemusí být vždy rovnotlaké. Tyto jednotky mohou být i hlavními zařízeními pro potřeby klimatizace prostoru. Častá je také kombinace klimatizačních jednotek s místními cirkulačními jednotkami. Jako místní cirkulační jednotky mohou být vodní klimatizačními systémy typu fan-coil nebo chladičové split systémy.

Majoritním zastoupení klimatizačních jednotek, co se týče konstrukce jsou ve výrobních halách sestavné větrací a klimatizační jednotky. Jejich nespornou výhodou je variabilita systému [2], [1].

2.2 Funkční prvky větracích a klimatizačních systémů

U sestavných klimatizačních jednotek má zpravidla každý funkční prvek svoji komoru. Díky jednotným připojovacím rozměrům se komory montují v závislosti na požadavcích k sobě, často v odlišné konfiguraci. Tím je docíleno, že pro různé typy provozu lze aplikovat nejvhodnější variantu větracího a klimatizačního systému [2].

Mezi nejčastější funkční prvky patří:

- *ohřívač,*
- *chladič,*
- *ventilátor,*
- *zvlhčovač,*
- *filtr,*
- *výměníky ZZT,*
- *klapka,*
- *tlumič hluku.*

Následující podkapitoly se budou věnovat podrobnějším popisem zmíněných funkčních prvků používaných ve větracích a klimatizačních zařízeních.

2.2.1 Ohřívač

Průměrná roční teplota¹ v České republice za rok 2018 byla 9,6 °C. Průměrná žádaná teplota v prostoru se pohybuje v rozmezí 22 °C až 26°C. Při zanedbání možných vnitřních tepelných zisků dostáváme fakt, že ohřívač patří mezi nejdůležitější komponenty používaných v klimatizačních systémech. Ohřívače můžeme dělit na základě média přenášející teplo na tři základní typy:

- *vodní ohřívače,*
- *parní ohřívače,*
- *elektrické,*
- *chladvové (kondenzátor),*
- *(hořáky – plynové, olejové).*

Ve výrobních halách se nejčastěji používají vodní ohřívače. Teplonosným médiem je zpravidla voda (ideálně upravená dle ČSN 07 7401). Přenos tepla je zprostředkován rekuperačním výměníkem voda – vzduch. Nejčastější teplotní spády pro ohřívače jsou 90/70 °C nebo 55/45 °C. Ohřívač je nejčastěji tvořen hliníkovými lamelami na straně vzduchu, které jsou nalisovány na měděnou trubku. Výkon ohřívače (tepelný tok) lze vypočítat na základě rovnice výměníku nebo jedné ze dvou bilančních rovnic tekutin, buď vody nebo ohřívaného vzduchu [2], [3]:

¹ <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

$$\dot{Q} = U \cdot S \cdot \Delta t_m = \dot{m}_A \cdot c_A \cdot \Delta t_A = \dot{m}_W \cdot c_W \cdot \Delta t_W \quad (2.1)$$

kde:

- \dot{Q} = výkon přenášený výměníkem (tepelný tok) [W]
- U = součinitel prostupu tepla výměníku [W/m²K]
- S = teplosměnná plocha [m²]
- Δt_m = střední teplotní rozdíl [K]
- \dot{m} = hmotnostní průtok, A-vzduchu, W-vody [kg/s]
- c = měrná tepelná kapacita, A-vzduchu, W-vody [J/kg K]
- Δt = rozdíl teplot, A-vzduchu, W-vody [K]

Pro výpočet středního teplotního rozdílu Δt_m , za předpokladu dostatečně velkého rozdílu teplot vzduchu a vody platí [2]:

$$\Delta t_m = \frac{t_{A2} - t_{A1}}{\ln \left(\frac{t_{Wm} - t_{A1}}{t_{Wm} - t_{A2}} \right)} \quad (2.2)$$

kde:

- Δt_m = střední teplotní rozdíl [K]
- t_{A2} = teplota vzduchu za výměníkem [K]
- t_{A1} = teplota vzduchu před výměníkem [K]
- t_{Wm} = aritmetický průměr teploty vstupní a výstupní vody [K]

Při ohřevu vzduchu dochází k nárůstu teploty a entalpie. Klesá relativní vlhkost, měrná vlhkost zůstává konstantní.

Přenášený výkon ohřivačem se zpravidla reguluje na straně vody a to kvalitativně, změnou teploty vody. Tato regulace vyžaduje čerpadlo pro každý ohřivač. Díky konstantnímu průtoku vody, je však daleko bezpečnější pro venkovní výměníky, není zde tak velké riziko zamrznutí. Jako protimrazová ochrana je standartně spolu s ohřivačem montován termostat s kapilárovým čidlem. Montuje se na zadní stranu výměníku ideálně přes velkou část plochy výměníku (úhlopříčné smyčky přes trubky výměníku). Často limitujícím faktorem je obvyklá délka kapiláry (1,5 m až 6 m). Hodnota sepnutí kontaktu termostatu je v obvyklých případech nastavena na 5 °C. V případě, že termostat sepne/rozepne, systém měření a regulace by měl vypnout ventilátor, uzavřít přívodní klapku, maximálně otevřít trojcestný ventil na ohřivači spolu s povelom na chod čerpadla. Toto je však alarmový stav, který vybaví dané zařízení z provozu. Tím pádem je vyžadován zásah od obsluhy zařízení a kvitování poruchy. Proto jako doplňková ochrana proti zamrznutí se někdy používá kontrola teploty vody na zpátečce. Teplota je udržována nad minimální definovanou hranicí pomocí softwarové logiky. Toto se používá obzvlášť v provozech, kde krátkodobé vybavení klimatizační jednotky by mohlo mít značný dopad na provoz ve výrobní hale [2], [3].

Parní ohřivače se především používají pro velké výkony. Jejich použití je často limitováno faktorem, zda je k dispozici pára jako taková. Dají se regulovat na straně kondenzátu zaplavitím nebo škrcením na straně páry. Pro regulaci páry se nepoužívají ty samé regulační prvky jako pro vodní ohřivač. Je zde velký požadavek na rychlost regulace. Z tohoto důvodu je časté použití pneumatických pohonů [2].

Elektrické ohřivače se používají převážně jako doplňkové nebo havarijní. Používají se převážně tam, kde není k dispozici jiný zdroj tepla a pro malé výkony. Nejčastěji se skládají z topných tyčí nebo spirál. Regulace výkonu se provádí buď spínáním jednotlivých sekcí, změnou napětí nebo proudu. Jejich velkou výhodou je, že není potřeba protimrazová ochrana, nehrozí zde zničení zařízení mrazem.

Chladivovým ohřivačem nazýváme kondenzátor kompresorového parního oběhu v případě reverzního chodu chladivového klimatizačního systému [2].

Speciálním případem ohřivače jsou spalovací komory. Rozdělují se na otevřené a uzavřené. U otevřených dochází k přímému hoření ve větracím vzduchu. Jejich výhodou je velká účinnost. Při konstrukci zařízení je důležité dbát na produkci škodlivin, které se přímo přenáší do větracího vzduchu. U uzavřených spalovacích komor vzduch proudí kolem spalovací komory a je ohříván nepřímě. Použití spalovacích komor je převážně pro průmyslové objekty a u velkých výkonů (nad 20kW) [2].

2.2.2 Chladič

Chladiče dělíme podle teplotní látky na:

- vodní,
- chladivové.

Princip vodních chladičů je obdobný jako u ohřivačů. S tím rozdílem, že tepelný tok má obrácený smysl, i z tohoto důvodu se jedná o rekuperační výměníky vzduch – voda (pro vodní ohřivač voda – vzduch). Pro tepelnou bilanci vodního chladiče platí obdobné rovnice jako pro vodní ohřivač:

$$\dot{Q} = U \cdot S \cdot \Delta t_m = \dot{m}_A \cdot \Delta h = \dot{m}_W \cdot c_W \cdot \Delta t_W \quad (2.3)$$

kde:

- \dot{Q} = výkon přenášený výměníkem (tepelný tok) [W]
- U = součinitel prostupu tepla výměníku [W/m²K]
- S = teplosměnná plocha [m²]
- Δt_m = střední teplotní rozdíl [K]
- \dot{m} = hmotnostní průtok, A-vzduchu, W-vody [kg/s]
- c = měrná tepelná kapacita, W-vody [J/kg K]
- Δt = rozdíl teplot, W-vody [K]
- Δh = rozdíl entalpie vlhkého vzduchu před a za chladičem [J/kg]

Teplotní rozdíly při chlazení bývají menší než při ohřevu, z tohoto důvodu bývá u chladičů větší teplosměnná plocha. Používají se víceřadé výměníky (2-5 řad) [2].

Výpočet středního teplotního rozdílu pro vodní chladiče je složitější. Nelze ho zjednodušovat viz vzorec 2.2. Pro výměníky se čtyřmi a více řadami lze použít vztah pro protiproudý výměník [2]:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{A1} - t_{W2}) - (t_{A2} - t_{W1})}{\ln \left(\frac{t_{A1} - t_{W2}}{t_{A2} - t_{W1}} \right)} \quad (2.4)$$

kde:

- Δt_m = střední teplotní rozdíl [K]
- t_{A2} = teplota vzduchu za výměníkem [K]
- t_{A1} = teplota vzduchu před výměníkem [K]
- t_{W2} = teplota výstupní vody [K]
- t_{W1} = teplota vstupní vody [K]

Při chlazení můžou nastat dva případy:

- *suché chlazení,*
- *mokrý chlazení.*

Suché chlazení je analogie ohřívání. Teplota klesá, měrná vlhkost se nemění, roste relativní vlhkost, klesá entalpie. Tento případ nastane tehdy, kdy je střední povrchová teplota chladiče vyšší než teplota rosného bodu upravovaného vzduchu.

Naopak k mokrému chlazení dochází tehdy, kdy střední teplota povrchu chladiče je nižší než teplota rosného bodu upravovaného vzduchu. V důsledku toho dojde ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu výměníku. Tím dojde i k odvlhčování upravovaného vzduchu, kondenzát odteče do odpadu. Proto u mokrého chlazení dochází i ke změně měrné vlhkosti. Z tohoto důvodu u mokrého chlazení rozlišujeme dva typy výkonu [2]:

- *celkový výkon,*
- *citelný výkon.*

Pro celkový výkon platí:

$$\dot{Q} = \dot{m}_A \cdot \Delta h \quad (2.5)$$

kde:

- \dot{Q} = výkon přenášený výměníkem (tepelný tok) [W]
- \dot{m} = hmotnostní průtok, A-vzduchu, [kg/s]
- Δh = rozdíl entalpie vlhkého vzduchu před a za chladičem [J/kg]

Výkon, který pocítíme na základě změny teploty se nazývá citelný výkon. Je dán výpočtovým vztahem:

$$\dot{Q} = \dot{m}_A \cdot c_A \cdot \Delta t_A \quad (2.6)$$

kde: \dot{m} = hmotnostní průtok, A-vzduchu, [kg/s]
 c = měrná tepelná kapacita, A-vzduchu, [J/kg K]
 Δt = rozdíl teplot, A-vzduchu, [K]

Pro potřeby výpočtu množství odvedeného kondenzátu (např. pro dimenzování odpadního potrubí), platí:

$$\dot{Q} = \dot{m}_A \cdot (x_1 - x_2) \quad (2.7)$$

kde: \dot{m} = hmotnostní průtok, A-vzduchu, [kg/s]
 x_1 = měrná vlhkost vzduchu před výměníkem [-]
 x_2 = měrná vlhkost vzduchu za výměníkem [-]

Regulace chladičů může probíhat stejným způsobem jako u ohřivačů. Protimrazová ochrana chladičů není většinou potřeba, chladič se nejčastěji umísťuje až za ohřivač. V případě nutnosti se však nabízí použití nemrznoucí směsi v odpovídající koncentraci (nejčastěji glykol). To však snižuje účinnost přenosu tepla, vlivem nižší měrné tepelné kapacity glykolu. Účinnost chladiče je nepřímo úměrná koncentraci nemrznoucí směsi. Použití nemrznoucí směsi také zvyšuje ekonomickou náročnost provozu. Je vyžadována zpětná ekologická likvidace směsi, nelze ji vylít do kanalizace jako u čisté vody. Je vyžadována také častější obměna směsi. V případě rozvodů chladiva venku, je nutné zajistit protimrazovou ochranu nejčastěji pomocí odporových samoregulačních kabelů. Ty jsou instalovány mezi rozvodné potrubí a izolaci [1], [3].

Další možnosti chlazení nabízí přímé výparníky. Jejich použití v průmyslu je například do cirkulačních jednotek (kanceláře a pomocné prostory výrobního objektu) nebo přímo do centrálních klimatizačních jednotek. Výhodou je jejich vyšší chladicí faktor. Jedná se o rekuperační výměník vzduch – chladivo. Nejčastěji se přímé výparníky regulují vypnuto – zapnuto, a to z důvodu obtížně plynulejší regulace škrtkového ventilu [2].

2.2.3 Ventilátor

V průmyslu pro potřeby klimatizačních a větracích systému se nejčastěji používají radiální ventilátory. V případě nuceného odtahu z pracoviště je časté použití axiálních ventilátoru.

Jmenovité otáčky pohonu se volí na základě návrhového průtoku klimatizačních zařízení a na základě tlakové ztráty potrubní sítě. Podle toho se vybere požadovaný elektromotor, případně se zvolí velikost převodu pro řemenici. Regulace průtoku se provádí změnou otáček. Regulace může být skoková a plynulá.

Pro pohon ventilátorů se používají majoritně následující varianty:

- *asynchronní motor bez frekvenčního měniče,*
- *asynchronní motor s frekvenčním měničem,*
- *EC motor (elektronicky komutovaný).*

Skoková regulace lze provést u asynchronních motorů s možností přepínání počtů pólů. Toto lze použít v případě, že není vyžadována plynulá regulace. Pro plynulou regulaci se často používá kombinace asynchronního motoru s frekvenčním měničem, kde změnou kmitočtu dochází ke regulaci otáček. V dnešní době, se čím dál častěji používají elektricky komutované motory, které poskytují jako jeden funkční celek podobné možnosti plynulé regulace [3].

2.2.4 Vlhčení vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu má podstatný vliv na vlastnosti některých materiálů, používaných v průmyslové výrobě. Dále při suchém vzduchu je větší pravděpodobnost statického výboje. Statický výboj může při výrobě elektrických komponent znamenat zničení některých prvků výrobků. Z těchto důvodů je častý požadavek výrobních zařízení na udržování relativní vlhkosti v daném rozmezí (např. 40 % - 60 %). Existují dvě možnosti zvlhčování vzduchu [2]:

- *parní zvlhčovače,*
- *zvlhčování vodou.*

Při parním zvlhčování dochází k mísení větracího vzduchu se sytou nebo mírně přehřátou párou. V případě, že je v objektu k dispozici pára, lze použít středotlaké parní zvlhčovače, ty zbaví páru nečistot a kondenzátu a regulují množství vstříkované páry do větracího vzduchu. Pokud není pára k dispozici, je nutné použít parní vyvíječ. Existují různé typy [2]:

- *elektrodový vyvíječ,*
- *elektrický odporový vyvíječ,*
- *plynový parní vyvíječ.*

Hlavním znakem vlhčení vzduchu pomocí páry je, že teplota větracího vzduchu zůstává téměř konstantní (dochází k mírnému nárůstu).

Při zvlhčování vodou je změna stavu vzduchu adiabatická. Tím dochází k poklesu teploty větracího vzduchu. S tímto je při návrhu nutné počítat. Často se adiabatická pračka umísťuje mezi dva ohřivače (předehřivač a dohřivač). Adiabatické pračky mohou být různé konstrukce, časté jsou sprchové pračky, kde dochází k přímému vstříkovaní malých kapiček vody. Tyto kapičky se odpařují do větracího vzduchu. Další možností jsou pračky se smáčenými prvky. Tato zařízení fungují na principu odpařování vody ze smáčeného nenasákavého materiálu, případně odparem z porů nasákavého materiálu [2].

2.2.5 Čištění vzduchu

Filtrace přiváděného vzduchu je základní předpoklad na dodržení požadované hodnoty čistoty vnitřního prostředí. Čištění vzduchu také zabraňuje případnému poškození komponent klimatizačního a větracího zařízení. Filtry se rozdělují do různých kategorií na základě schopnosti odloučení částic ve větracím vzduchu. Filtry můžeme dělit na [3]:

- *hrubé filtry,*
 - *G1 – G4: vláknitý prach, pyl,*
- *jemné filtry,*
 - *F5 – F9: saze, tabákový kouř, bakterie,*
- *vysoceúčinné filtry*
 - *H10 – H14: aerosoly, viry.*

Při použití vysoceúčinných filtrů je předpoklad předřazení filtrů skupiny G a F. Filtry se vyrábí v různých konstrukčních provedení jako kapsové, kazetové apod. Kontrola zanešení filtru se standardně provádí paralelní montáží regulátoru tlakové difference, který je nastaven na maximální přípustnou tlakovou ztrátou danou typem a výrobcem filtru (např. 200 Pa pro F7) [3].

2.2.6 Zpětné získávání tepla

Hlavní princip zpětného získávání tepla (ZZT) je využít teplo případně vlhkost z odpadního vzduchu. Systémy zpětného získávání tepla můžeme rozdělit dle funkce a typu na:

- *rekuperační,*
- *regenerační,*
- *s pomocnou tekutinou (hydraulické).*

Principem rekuperačního ZZT je deskový nebo trubkový výměník vzduch – vzduch, kde se teplo předává přestupem a vedením tepla přes stěnu výměníku. Přiváděný a odváděný vzduch nejsou v kontaktu, jsou odděleny zmíněným výměníkem. Tímto dochází pouze k přenosu tepla.

U regeneračního výměníku jsou teplo případně vlhkost předány do akumulační hmoty. Hmota následně uvolňuje teplo a případně vlhkost do přiváděného vzduchu. Existují dvě nejčastější konstrukční provedení, rotační a přepínací.

U ZZT s pomocnou tekutinou je teplo předáno pomocí rekuperačního výměníku vzduch – kapalina do tekutiny (voda) a následně opět uvolněno pomocí druhého rekuperačního výměníku do přiváděného vzduchu. Výkon ZZT s pomocnou tekutinou lze regulovat otáčky čerpadla nebo zkratem na straně tekutiny. U zbylých typů ZZT lze výkon regulovat případně obtokem. Při použití ZZT je nutné instalovat filtry před výměníky a dbát na zásady protimrazové ochrany [3], [2].

2.2.7 Odvlhčování

V některých případech, obzvláště v jiných klimatických pásmech, je nutné použití odvlhčování. Lze použít tři základní principy odvlhčování [3]:

- *odvlhčování větráním,*
- *adsorpční odvlhčování,*
- *kondenzační odvlhčování.*

Odvlhčování větráním je prováděno intenzivním větráním tepelně upraveným venkovním vzduchem. Jedná se o nejjednodušší provedení možnosti odvlhčování.

V případě adsorpčního odvlhčování dochází se vzdušná vlhkost váže do pevné látky (adsorbentu). Následně se adsorbent regeneruje prouděním ohřátého vzduchu, kde se vlhkost odvede. Adsorbentem je nejčastěji silikagel nebo chlorid lithný.

Jak bylo zmíněno při mokřém chlazení dochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu výměníku. Toto je princip kondenzačního odvlhčování. V případě nutnosti zachování teploty vzduchu, je nutné větrací vzduch následně dohřát. Tím pádem se jedná o energeticky náročný proces [3], [2].

2.2.8 Ostatní funkční prvky klimatizačního a větracího zařízení

Mezi další funkční prvky patří klapky. Existují různé typy dle funkce, uzavírací, směšovací nebo protipožární. Standartně bývají osazeny elektropohonem, který může regulovat jejich natočení.

Dalším často používaným funkčním prvkem je tlumič hluku. Tlumiče hluku snižují šíření akustického výkonu od ventilátorů. Montují se přímo do potrubí, případně jsou součástí vzduchotechnické jednotky [2].

2.3 Klimatizační systémy

Klimatizační systémy můžeme rozdělit podle tekutiny přenášející chlad [1]:

- *vzduchové,*
- *vodní,*
- *kombinované,*
- *chlادivové.*

Rozvody chladu u klimatizačních systémů jsou tedy provedeny vzduchovody, vodním nebo chlادivovým potrubím. Na konci rozvodu chladu se nachází distribuční prvek, který předává teplota/chlad do prostoru. V případě vzduchových systémů se jedná o vyústky nebo anemostaty. U vodních systému jde převážně o vodní ventilátorové konvektory (jednotky fan-coil) nebo chlادící sálavé panely. Chlادivové ventilátorové konvektory (vnitřní jednotky split systému) zakončují chlادivové klimatizační systémy.

Systéme lze dále dělit na jednozónové a vícezónové, podle počtu zón, které obsluhují.

2.4 Zdroje chladu pro klimatizační systémy

Zdroje chladu pro průmyslové aplikace využívají převážně parní kompresorový oběh. Dělí se na základě typu použitého kompresoru na [1]:

- *pístové,*
- *spirálové,*
- *šroubové,*
- *turbokompresory.*

Pro průmyslové zdroje chladu větších výkonů nachází nejširší uplatnění šroubový kompresor. Jako použité chladivo se často používá R407C, R410A, R134A. Chladiva R11, R12 nebo R22 se již nepoužívají [2].

Kompresorový oběh chladiva má čtyři základní součásti:

- *kompresor,*
- *kondenzátor,*
- *škrtkový ventil,*
- *výparník.*

V případě umístění výparníku přímo ve vzduchu (výměník vzduch – chladivo) se zdroj chladu nazývá kondenzátorovou jednotkou. V případě, že mezi výparníkem a výměníkem odebírajícím teplo ze vzduchu je pomocný okruh (nejčastěji vodní) zdroj označujeme jako „zdroj chladné vody“. V průmyslu je častou aplikací použití blokové chladicí jednotky jako zdroje chladné vody. Následně je voda distribuována po celém objektu do jednotlivých zařízení, jako jsou ventilátorové konvektory (fan-coil) nebo klimatizační a větrací systémy, kde je umístěn chladič [1].

Zdroje chladu můžeme porovnávat na základě benchmarku nazvaným chladicí faktor. Chladicí faktor je definován následovně [2]:

$$\frac{Q_N}{P_N} = EER \quad (2.8)$$

kde: Q_N = chladicí výkon [W]
 P_N = elektrický příkon zdroje [W]
 EER = chladicí faktor (energy efficiency ratio) [-]

Kondenzátor zdroje chladu může být chlazen vzduchem, vodou či chlazení může probíhat rozstříkáním vody přímo či nepřímo (adiabatické chlazení). Regulace zdroje chladu může probíhat vypnutím/zapnutím zdroje (pro menší výkony). Větší zařízení mají více nezávislých okruhů, které mohou postupně spínat. Vhodné je také umístění velké akumulací nádoby, která slouží jako kapacita chladu a vyrovnává špičky při odběru.

3. Popis výrobní haly

Výrobní objekt, kterým se práce zabývá se nachází v průmyslové části města Brandýs nad Labem. Zaměstnává přes 2200 lidí a jeho hlavní činností je výroba elektrických komponentů pro automobilový průmysl. Převážně se jedná o výrobu multimediálních systémů, palubních přístrojů, autorádií, ovládacích panelů klimatizací a podobně. Celý objekt se skládá z celkem pěti výrobních hal, tří skladů, kancelářských zázemí a jídelny. Zastavěná plocha zabírá přes 30 000 m². Konstrukčně se jedná o montované haly s ocelovým nosným systémem v kombinaci s železobetonovými prvky. Opláštění budovy je tvořeno sendvičovou konstrukcí z trapézových plechů vyplněných minerální vatou jako tepelnou izolací.

3.1 Specifikace výrobní haly H1

Pro účely práce byla vybrána jedna výrobní hala jako referenční, jednalo se o halu s názvem H1. Na této hale probíhala analýza regulace klimatizačních a větracích systémů. Hala má podlahovou plochu přes 3500 m². Celková energetická bilance výrobní haly byla provedena na konci kapitoly 4, po identifikování vnitřních a vnějších tepelných zisků spolu s klimatizačními a větracími systémy instalovaných v hale.

3.2 Tepelné zisky haly H1

V hale jsou instalovány výrobní linky od kterých lze očekávat vysoké tepelné zisky. Z tohoto důvodu byla energetická bilance zaměřena převážně na provoz v letních měsících. Je předpokladem, že hlavní důraz je kladen na chlazení haly. Tepelné zisky haly H1 můžeme rozdělit na vnitřní a vnější:

Vnitřní tepelné zisky primárně tvoří:

- výrobní linky,
- osvětlení,
- zaměstnanci.

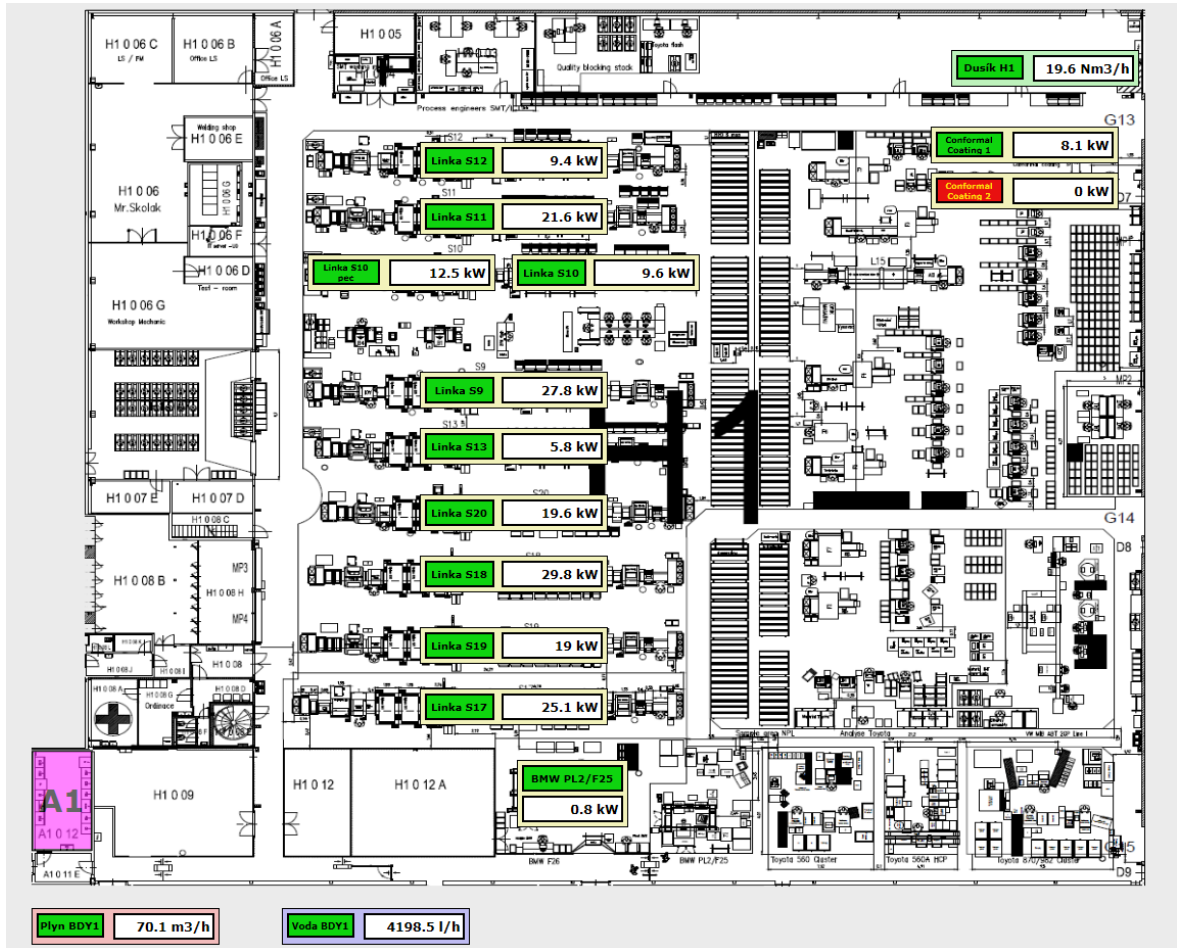
Šíření tepla konstrukcí budovy bude v létě patřit mezi vnější tepelné zisky.

3.2.1 Tepelné zisky od výrobních linek

V hale se nachází celkem dvanáct výrobních linek (schéma na Obr. 3.1):

- M.G.1_H1 SMT-S9; M.G.1_H1 SMT-S10,
- M.G.1_H1 SMT-11; M.G.1_H1 SMT-12,
- M.G.1_H1 SMT-S13; M.G.1H1 SMT-S17,
- M.G.1_H1 SMT-18; M.G.1_H1 SMT-S19,
- M.G.1_H1_SMT-S20; M.G.1_H1 BMW PL2,
- M.G.1_H1 Toyota; M.G.1_H1_Conformal coating.

Jedná se převážně o automatické, či poloautomatické SMT² linky. Tyto linky osazují plošné spoje elektrickými komponentami SMD³. Elektrické součástky jsou na desku plošných spojů osazeny a spojeny pájením. Lze předpokládat, že většina elektrického příkonu linek se mění v tepelnou energii. Vytvořené díly z linek nejsou okamžitě exportovány do skladu, vychladnou v hale H1, tudíž není z haly H1 odvážena znatelná tepelná energie akumulovaná ve výrobcích.

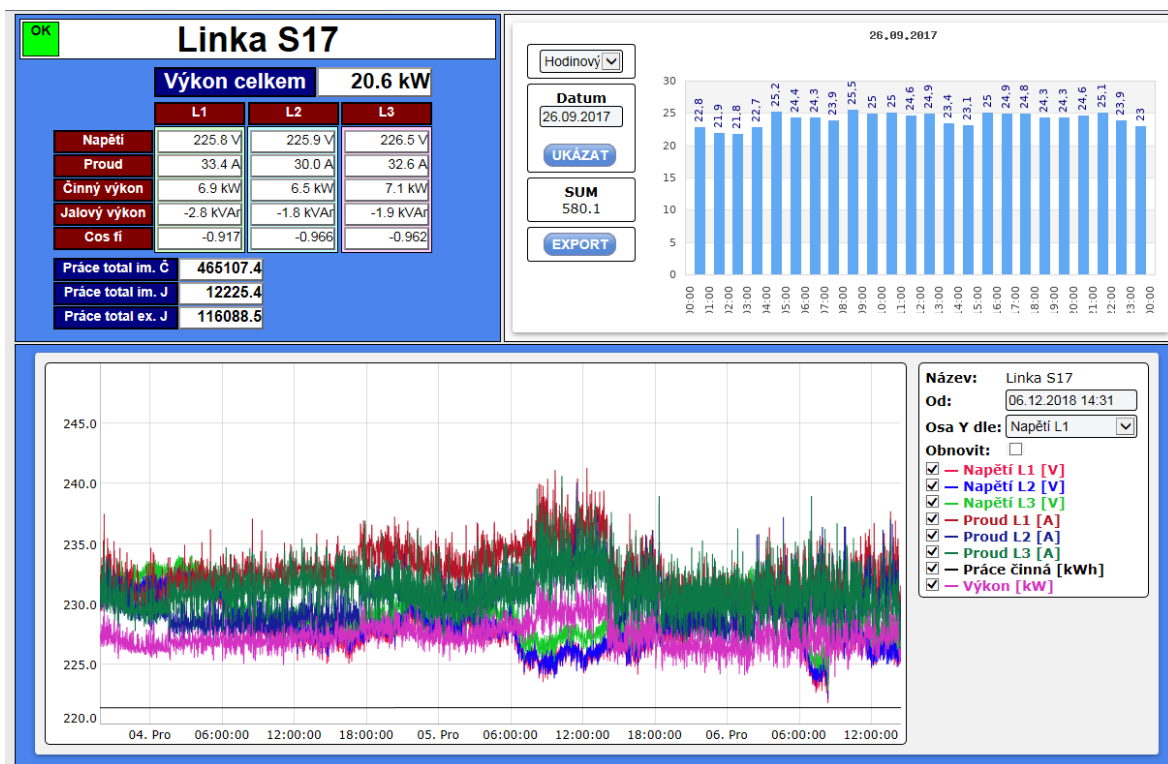


Obr. 3.1 - Vizualizace okamžitého elektrického příkonu linek

Hodnoty elektrických příkonů jednotlivých linek jsou monitorovány a ukládány. Účelem bylo z poskytnutých dat zjistit vzájemný souběh linek a na základě toho definovat průměrnou hodnotou vnitřních tepelných zisků od strojů v hale. K dispozici byla data průměrné spotřeby po jedné hodině vždy za úsek 24 hodin (viz Obr. 3.2). Z průběhu dat všech zbylých linek bylo patrné, že jejich příkon se výrazně přes den nemění. Linky běží téměř kontinuálně bez větších příkonových špiček. Z tohoto důvodu byla získána data elektrické spotřeby linek vždy za jeden měsíc, pro celý rok 2017. Jednotlivé spotřeby za měsíc byly vyděleny počtem dnů v měsíci a počtem hodin jednoho dne (24hod). Tím byl získán průměrný příkon každé linky za jednotlivé kalendářní měsíce roku 2017.

² Surface mount technology – technologie pro povrchovou montáž

³ Surface mount device – součástka pro povrchovou montáž plošných spojů



Obr. 3.2 - Vizualizace průběhu napětí, proudu, výkonů pro linku S17

Na Obr. 3.3 ve sloupci „1.-12.2017“ se nachází průměrné spotřeby linek pro rok 2017. Ty byly získány aritmetickým průměrem přes jednotlivé měsíce roku 2017. Pro kontrolu rozptylu dat byla spočtena výběrová směrodatná odchylka. Na základě zjištěného většího rozptylu (hodnota 4,2 u linky S20) byly výsledky znovu překontrolovány. Bylo zjištěno, že v měsíci prosinec je znatelně menší spotřeba, tudíž průměrný příkon linek. To bylo pravděpodobně způsobeno celozávodní dovolenou díky Vánočním svátkům. Pro přesnější interpretaci vnitřních tepelných zisků byl měsíc prosinec vyjmut z výpočtu (viz druhý sloupec „1.-11.2017“).

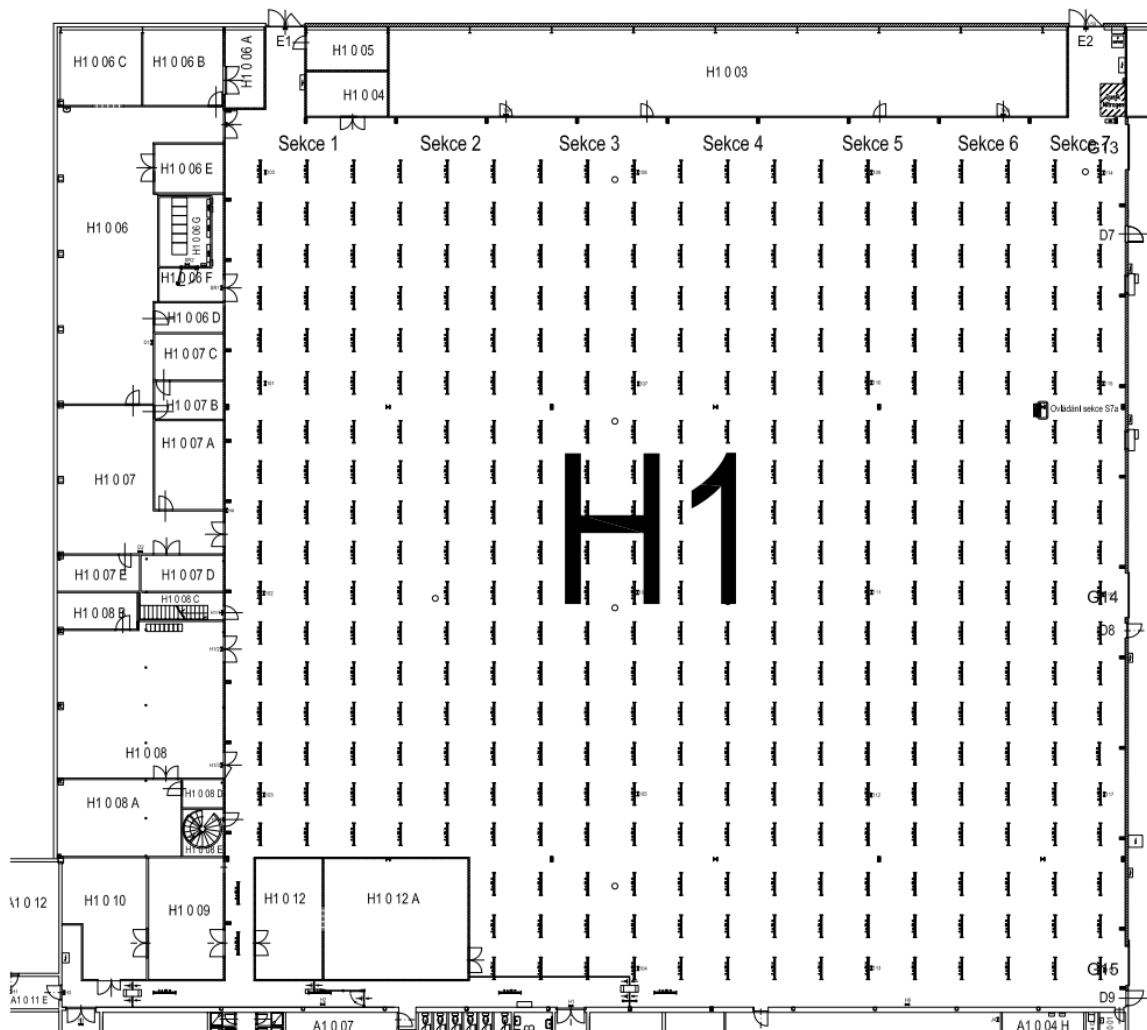
1.- 12.2017		1.- 11.2017		Název výrobní linky:	[kW]
[kW]	v. směrodatná odchylka	[kW]	v. směrodatná odchylka		
22,1	1,9	22,5	1,2	M.G.1_H1 SMT-S9	23,8
17,3	1,8	17,8	0,8	M.G.1_H1 SMT-S10	18,6
18,6	2,7	19,3	1,0	M.G.1_H1 SMT-11	20,5
17,9	3,3	18,8	1,1	M.G.1_H1 SMT-12	19,6
20,8	2,3	21,4	0,8	M.G.1_H1 SMT-S13	21,9
21,3	2,0	21,6	1,6	M.G.1H1 SMT-S17	23,5
20,1	1,3	20,4	0,9	M.G.1_H1 SMT-18	21,1
20,9	1,5	21,3	0,8	M.G.1_H1 SMT-S19	22,2
19,6	4,2	20,8	1,5	M.G.1_H1_SMT-S20	21,3
1,1	0,1	1,1	0,1	M.G.1_H1 BMW PL2	1,1
8,8	1,4	8,9	1,4	M.G.1_H1_Conforma	9,8
1,3	0,9	1,4	0,8	M.G.1_H1 Toyota	2,8
189,5 kW		195,3 kW			206,3 kW

Obr. 3.3 - Průměrné příkony linek v roce 2017

Tím bylo získáno číslo 195,3 kW. Při sečtení maxim jednotlivých linek pro rok 2017 bylo dospěno k výsledku 206kW. Lze konstatovat, že přibližné tepelné zisky od strojů se pohybují okolo 200kW, tyto zisky jsou v průběhu dne a roku přibližně stejné.

3.2.2 Tepelné zisky od osvětlení

Hala je osazena zářivkovými tělesy o celkovém příkonu 2x58W. V hale je instalováno celkem 371ks těles. Počet a pozice osvětlení je patrná z Obr. 3.4. Výroba v hale běží nepřetržitě. Lze tedy předpokládat, že je osvětlení neustále zapnuto. Osvětlení nemá instalované přímo odsávání tepla, tudíž celkové tepelné zisky od světel jsou 43kW.



Obr. 3.4 - Osvětlení haly H1

3.2.3 Tepelné zisky od lidí

Dle ČSN 730548 pro mírně pohybující lidi při teplotě okolí 25 °C je citelné teplo od jedné osoby rovno 85 W [4]. V hale se počet pracovníků mění. Bylo vypočítáno, že se zde nachází přibližně 50 pracujících osob. To odpovídá tepelnému zisku 4,3 kW.

3.2.4 Ostatní vnitřní tepelné zisky

Ostatní vnitřní tepelné zisky byly díky vysoké hodnotě tepelných zisků od výrobních linek zanedbány.

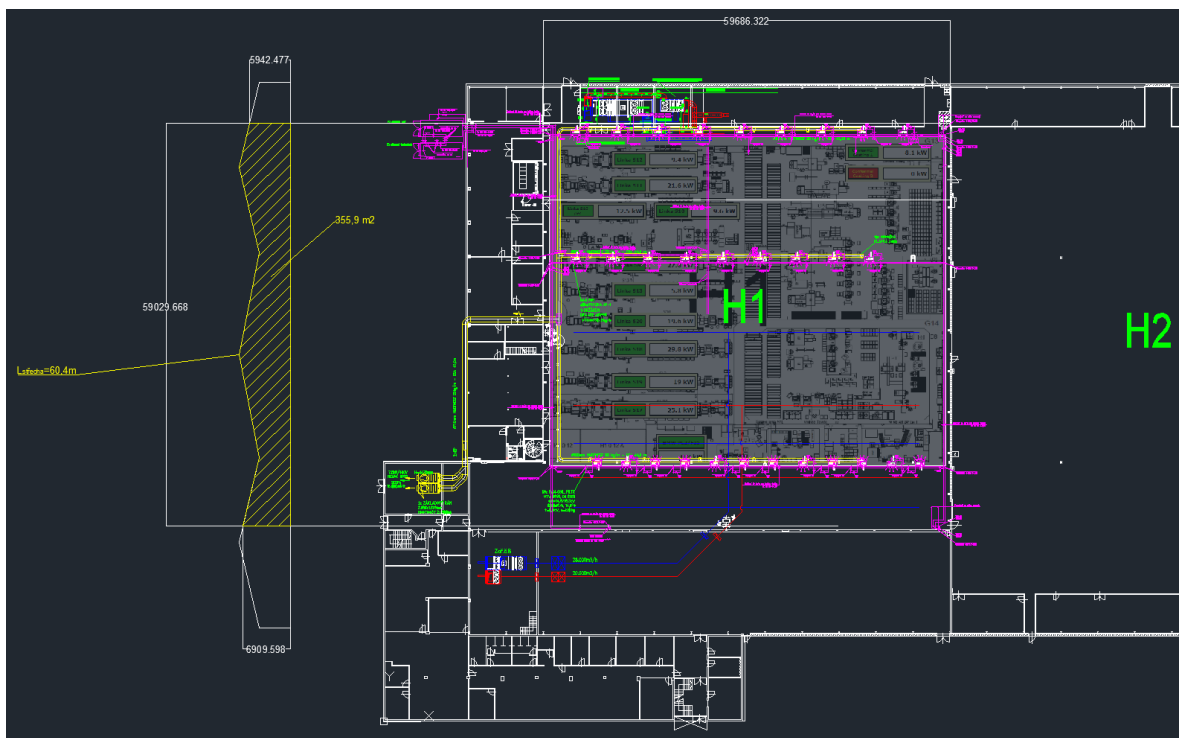
3.2.5 Shrnutí vnitřních tepelných zisků

Dle předchozích odstavců jsou vnitřní tepelné zisky následující:

- výrobní linky: 200 kW,
- osvětlení: 43 kW,
- zaměstnanci: 4,3 kW,
- celkově: 247,3 kW.

3.3 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy

Hala H1 je obklopena po obvodu klimatizovanými prostory. Zprava na halu H1 navazuje hala H2 (viz Obr. 3.5). Ostatní stěny sousedí s jídelnou, kancelářskými či jinými prostory. Žádaná teplota v sousedních prostorech je stejná jako v hale H1, nelze tudíž očekávat tepelný tok mezi prostory. Šíření tepla obálkou budovy nastává pouze přes konstrukci střechy a podlahou.



Obr. 3.5 - Výkres haly H1, Autodesk AutoCAD 2020 – Studentská verze

Vzhledem k tomu, že byl k dispozici pouze výkres půdorysu haly, a že hala nemá plochou střechu, bylo nutné plochu střechy haly změřit a dopočítat. Výška stropů jednotlivých lodí haly H1 byla změřena laserovým měřičem vzdálenosti (Würth WDM 8-14). Pomocí programu Autodesk AutoCAD byla dopočítána plocha střechy. Na Obr. 3.5 je profil střechy sklopen do levé části a plocha, kterou zabírá hala H1 je vyšrafována žlutou barvou. Plocha střechy je 3605 m², tedy přibližně o 90 m² větší než plocha podlahy haly H1 (3516 m²). Jak bylo zmíněno v odstavci 3.2 hala disponuje značnými vnitřními tepelnými zisky. Výpočet tepelného toku konstrukcí budovy byl proveden dle ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-2.

Přesná skladba střechy nebyla známa. Byla zvolena požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro střechu plochou a šikmou se klonem <45° dle ČSN 73 0540-2. Dle tabulky 3 je $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Jako návrhová letní teplota interiéru bylo zvoleno 26 °C [5].

Pro vnější stranu obálky (střechy) byla zvolena rovnocenná sluneční teplota pro plochu vodorovnou dle ČSN 73 0548 – Příloha 2. Dle normy je povrchová teplota vodorovné plochy v 13 hodin 61,8 °C [4].

Tepelný tok pro dané podmínky v létě je dán:

$$\dot{Q}_{O,H1} = S \cdot U \cdot \Delta t = 3605 \cdot 0,24 \cdot (61,8-26) \cong 31 \text{ kW} \quad (3.1)$$

kde: $\dot{Q}_{O,H1}$ = vnější tepelné zisky haly H1, šíření tepla konstrukcí [W]
 S = plocha střechy [m²]
 U = součinitel prostupu tepla [W/m²K]

V letním období lze očekávat, že hala bude ochlazována tepelným tokem směrem do zeminy. Vzhledem k umístění haly H1 uprostřed objektu, neznalosti skladby podlahy a předpokládanému relativně malému tepelnému spádu, byl tepelný tok podlahou zanedbán. Počítaná energetická bilance je čistě informativního charakteru a neslouží v práci pro podrobnější účely.

3.3.1 Shrnutí tepelných zisků haly H1

V odstavci 3.2.5 byly vyčísleny vnitřní tepelné zisky na 247,3 kW. Pokud k těmto ziskům přičteme zisky od šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy dostaneme celkové tepelné zisky haly H1 pro letní podmínky:

$$\dot{Q}_{C,H1} = \dot{Q}_{O,H1} + \dot{Q}_{I,H1} = 247,3+31 \cong \mathbf{278 \text{ kW}} \quad (3.2)$$

kde: $\dot{Q}_{C,H1}$ = celkové tepelné zisky haly H1 [W]
 $\dot{Q}_{O,H1}$ = vnější tepelné zisky haly H1, šíření tepla konstrukcí [W]
 $\dot{Q}_{I,H1}$ = vnitřní tepelné zisky haly H1 [W]

Tyto nemalé tepelné zisky je nutno z výrobního objektu odvádět. V následující kapitole budou popsány všechny klimatizační a větrací systémy, které se podílejí v hale H1 na udržení žádané kvality vnitřního prostředí.

4. Popis klimatizačních a větracích systému haly H1

V hale se nachází více nezávislých klimatizačních a větracích systémů. Jednotlivé systémy budou blíže identifikovány a popsány. V kapitole 5 bude provedena energetická bilance technologií s celkovými tepelnými zisky zmíněných v předchozí části práce.

Mezi instalované klimatizační, větrací systémy a technologie podílející se na regulaci teploty haly H1 patří:

- klimatizační jednotka VZT3,
- klimatizační jednotka VZT8,
- ventilátorové konvektory (30ks fan-coil),
- přímé chlazení technologie výrobních linek,
- technologický odtah z některých výrobních linek.

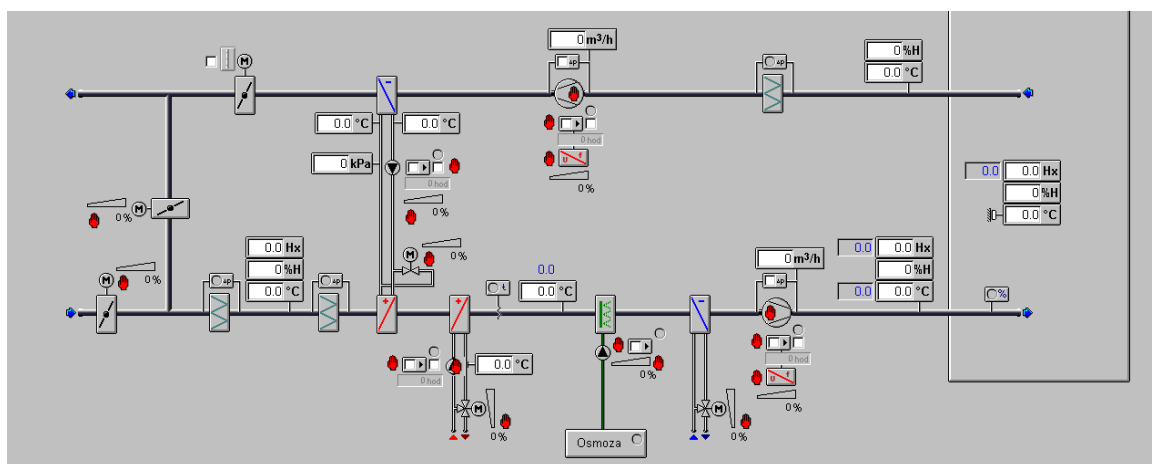
4.1 Klimatizační jednotky

Hlavním cílem obou klimatizačních jednotek je větrání a regulace vlhkosti ve výrobním prostoru. Do jaké míry se podílejí na regulaci teploty, zejména chlazení prostoru, bude zřejmé z energetické bilance všech zařízení na konci této kapitoly. Lze však předpokládat, že hlavním zařízením pro regulaci teploty budou ventilátorové konvektory fan-coil.

V obou případech se jedná o sestavné klimatizační jednotky. Svoji konfigurací jsou téměř identické, jediný značný rozdíl je, že zařízení VZT3 je vybaveno systémem ZT. Zařízení VZT8 zpětným získáváním tepla nedisponuje. Z tohoto důvodu bude popis klimatizačních jednotek proveden převážně na zařízení VZT3. Pro VZT8 budou zmíněny jen důležitá data pro potřeby energetické bilance.

4.2 Klimatizační jednotka VZT3

Pro přehlednost je na 4.1 uvedeno schéma zařízení VZT3, které slouží jako podklad pro vizualizační software. Ze schématu je patrná konfigurace zařízení VZT3.



Obr. 4.1 – Schéma klimatizační jednotky VZT3

Na následujících stránkách budou rozepsány jednotlivé funkční prvky klimatizační jednotky VZT3 a jejich návaznosti na akční členy pro měření a regulaci:

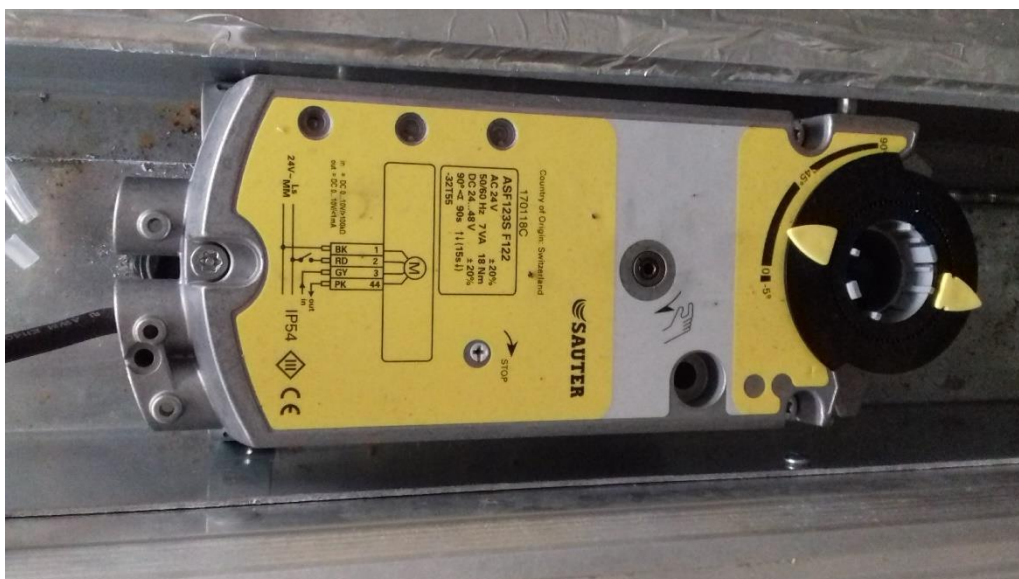
4.2.1 Základní informace o zařízení VZT3

- *Přívod: 26 000 m³/hod*
- *Odtah: 20 000 m³/hod*

Rám je tvořen hliníkovými profily (AlMgSi 0,5), vnitřní části zařízení jsou z galvanizovaných ocelových plechů. Vnější části jsou z aluzinkových plechů.

4.2.2 Klapky

Klimatizační jednotka má celkem tři regulační klapky. Jedná se o klapku na sání, cirkulaci a odtahu. Všechny klapky jsou provedením stejné. Listy klapky jsou hliníkové s EPDM těsněním. Dle výrobce je vyžadován servopohon s minimální momentovou hodnotou 15 Nm. Jsou instalovány servopohony Sauter ASF 123S. Tento pohon disponuje krouticím momentem 18 Nm. Řízen je spojitým výstupem 0 – 10 V. Pohon je vybaven vratnou pružinou, která zavře klapku v případě ztráty napájení. Klapky jsou se servopohonem spojeny ocelovou hřídelí a převodovým soukolím z polymeru PA6.



Obr. 4.2 - Servopohon ASF 123S

4.2.3 Filtry

Zařízení VZT3 je vybaveno dvoustupňovou filtrací. Jedná se o kapové filtry třídy G4 a F7 dle EN 779. Tlaková ztráta doporučená pro výměnu filtrů je 150 Pa pro G4 a 200 Pa pro F7. Je měřena regulátorem diferenčního tlaku Sauter DDL 103 F001. Sepnutí kontaktu je softwarově převedeno na alarmovou hlášku. Na dispečink přijde zpráva o nutnosti výměny daného filtru. Spínací hodnota regulátoru se nastavuje ručně, odklopením krytu IP54 a natočením požadované hodnoty vůči černé šipce. Vše je patrné na levé části Obr. 4.3.



Obr. 4.3 - Regulátor tlakové diference Sauter DDL 103 F001, nastaven na hodnotu 150 Pa

4.2.4 Zpětné získávání tepla

Vzhledem k atypickým dispozicím pro umístění klimatizační jednotky VZT3 byl zvolen hydraulický systém ZZT (s pomocnou tekutinou). Jedná se o dvojici víceřadých výměníků (viz Obr. 4.1). Z obecně známé rovnice výměníku tepla plyne, že tepelný tok závisí na rozdílu teplot a ploše výměníku. Při zpětném získávání tepla není velký teplotní spád, a proto musí být větší plocha výměníku. Pro daný průřez potrubí je jediné řešení použití víceřadých výměníků (podobně jako u chladiče). Hydraulický systém ZZT je doplněn oběhovým čerpadlem a možností zkratu přes dvojcestný ventil, jako možnost protimrazové ochrany výměníku. Účinnost hydraulického ZZT je dle podkladů 63 % dle EN13053/2012.

4.2.5 Ohříváč

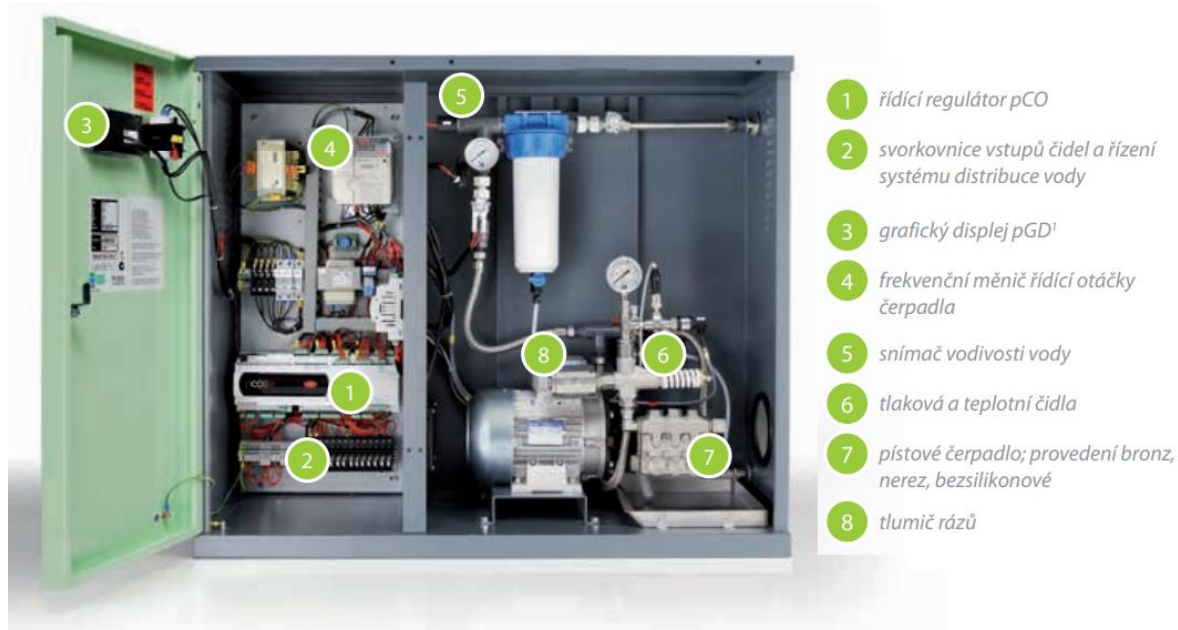
Ohříváč je vyroben z hliníkových lamel a měděných trubek. Maximální přenášený výkon pro dané podmínky je pro ohříváč 305,4 kW. Přenášený výkon je regulován kvalitativně, změnou teploty vody pomocí trojcestného ventilu. Protimrazová ochrana je řešena termostatem s kapilárovým čidlem Sauter TFL201F601. Je nastaven na hodnotu 5 °C. Další protimrazovou ochranou je měření teploty zpátečky pomocí stonkového snímače teploty (Ni1000) EGT346F102 uloženého v ochranné jímce LW7.



Obr. 4.4 - Termostat s kapilárovým čidlem

4.2.6 Zvlhčování

Klimatizační jednotka je osazena vysokotlakým adiabatickým zvlhčovačem Carel humiFog multiZone UA320HD410. Jednotka zvlhčovače je vyobrazena níže na Obr. 4.5.. Řídicí systém zvlhčovače dokáže regulovat výkon zvlhčování pomocí vysokotlakého čerpadla s kombinací s frekvenčním měničem a solenoidových ventilů⁴. Jednotlivé ventily postupně otevírají sekce s tryskami. Výkon zvlhčovače lze řídit externím spojitým signálem 0–10 V.



Obr. 4.5 - Jednotka zvlhčovače Carel UA320HDS410⁴

Zvlhčovací systém vyžaduje pro provoz pouze demineralizovanou vodu, dle výrobce není nutné přidávat chemické přísady⁴. Demineralizovaná voda se připravuje kompaktní úpravnou vody pomocí reverzní osmózy. Popis technologie je dle výrobce následující:

- „Je to technika, při které se čištěná voda čerpá pod vysokým tlakem a nuceně přes polopropustnou membránu s póry o průměru menším než 0,001 μm : většina rozpuštěných iontů je membránou odfiltrována, čímž se připravuje relativně čistá voda. Odstranění minerálů měřené v procentech původního minerálního obsahu se může pohybovat mezi 95 až 99 % a může být dokonce ještě vyšší⁵.“

Jednotka úpravy vody je zobrazena na obrázku na další stránce. Je připojena na zdroj pitné vody. Demineralizovaná voda se ukládá v modrém zásobníku, kde je osazen plovákový senzor hladiny, který spíná chod úpravy vody.

⁴ <https://www.carel.com/documents/10191/0/%2B3000007CS/0cc8a0c5-a77a-4140-aa3f-89a6827ae627?version=1.0>

⁵ <https://www.carel.cz/reverse-osmosis-systems>



Obr. 4.6 - Jednotka úpravny vody Carel

4.2.7 Chladič

Chladič je stejného konstrukčního provedení jako ohřívač. Hliníkové lamely s měděnými trubkami. Maximální přenášený celkový výkon chladiče pro dané podmínky je 297,1 kW. Citelný výkon je 183,3 kW. Výkon je regulován kvalitativně na straně vody, respektive směsi vody a 35 % glykolu. Pohon třicestného ventilu zajišťuje regulátor polohy AVM 234S F132. Dle podkladů od výrobce disponuje přestavnou silou až 2500 N.



Obr. 4.7 - Regulátor polohy AVM 234S F132

4.2.8 Ventilátor

Jsou instalovány ventilátory s volným oběžným kolem a motorem napřímo. Jedná se o tři kusy. Jejich celkový elektrický příkon je 15,73 kW. Měrný příkon ventilátorů je 1,93 kW/(m³/hod). Chod ventilátoru je indikován pomocí regulátorem diferenčního tlaku. Pohonem ventilátorů jsou elektronicky komutované motory.

4.2.9 Závěr popisu klimatizačních jednotek VZT3 a VZT8

Bylo zmíněno, že halu H1 obsluhují dvě klimatizační jednotky, konkrétně zařízení s názvy VZT3 a VZT8. Obě zařízení jsou identické kromě chybějícího systému ZZT pro jednotku VZT8. Proto byl popis dílčích funkčních prvků proveden na zařízení VZT3. Energetická bilance zařízení bude provedena v kapitole 5.

4.3 Ventilátorové konvektory

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly 4 hala je osazena celkem třiceti kusy ventilátorových konvektorů. Dle dostupných technických dokumentů haly pro dimenzování blokových chladících jednotek, je celkový chladicí výkon fan-coilů 420 kW. To znamená 14kW na jeden fan-coil. Jedná se o jednotky typu Aermec TS47⁶.



Obr. 4.8 - Ventilátorové konvektory Aermec série TS⁶

Ze spočtených vnitřních tepelných zisků v kapitole 3.2 je zřejmé, že chladicí výkon fan-coilů (420 kW) je vyšší než zjištěné celkové tepelné zisky (247,3 kW).

Regulace fan-coilů probíhá v režimu zapnuto/vypnuto (ventilátoru), na základě žádané hodnoty teploty a nastavené spínací hystereze. Hala je rozdělena celkem na osm sekcí. Každá sekce obsahuje jedno teplotní čidlo a skupinu 3-4 fan-coilů. Každá skupina reguluje na základě hodnoty teplotního čidla patřícího k dané sekci. Jedná se tedy o místní regulaci. Vlivem velkého objemu haly a celkem osm nezávislých sekcí, lze očekávat, že princip regulace zapnuto/vypnuto je dostatečný. Fan-coily jsou osazeny dýzami, celkem pět vyústku na jedno zařízení. Vyústky jdou ručně natáčet a směřovat v závislosti na okolních podmínkách a potřebě chladu.

4.4 Chlazení technologií

Některé výrobní linky jsou osazeny deskovými výměňky, kde dochází k přenosu tepla z chladicího okruhu linky do rozvodu chladu haly H1. Dle dostupných technických zpráv se jedná celkově o 60 kW. V energetické bilanci tedy jde o tepelnou ztrátu haly a může být přímo odečtena z tepelných zisků.

⁶ <https://www.aermec.co.uk/portfolio/ts/>

4.5 Technologický odtah a klimatizační jednotky VZT3 a VZT8

Při pájení SMD součástek dochází k výparu používaných tavidel, tyto výpary je třeba nuceně odvádět. Linky jsou přímo napojeny na technologický odtah. Technologický odtah se skládá ze dvou paralelních ventilátorů typu XPVR 450-224/160. V chodu je vždy jeden ze dvou ventilátorů, druhý slouží jako záložní. Chod ventilátorů se střídá z důvodu rovnoměrného opotřebení obou zařízení.

Průtok technologického odtahu je dle dat konstantních 15 000 m³/hod. Bilance přívodů a odvodu všech zařízení vypadá následovně:

- VZT3,
 - Přívod: 24 500 m³/hod (nominální průtok 26 000 m³/hod),
 - Odtah: 16 500 m³/hod (nominální průtok 20 000 m³/hod),
- VZT8,
 - Přívod: 28 000 m³/hod (nominální průtok 28 000 m³/hod),
 - Odtah: 20 000 m³/hod (nominální průtok 20 000 m³/hod),
- Technologický odtah,
 - Odtah: 15 000 m³/hod (nominální průtok 15 000 m³/hod).

Z bilance plyne, že do haly se přivádí o 1000 m³/hod více, než je celkový objemový průtok na odtahu. Tímto bude zajištěn mírný přetlak v hale.

Klimatizační jednotky VZT3 a VZT8 se na chlazení haly podílejí tím, že teplota větracího vzduchu na přívodu je nižší než teplota v prostoru haly. Z Příloha 4 a Příloha 3 plyne, že žádaná teplota vzduchu na přívodu je 16 °C pro obě klimatizační jednotky a teplota v prostoru se pohybuje kolem 25 °C. Tím je zajištěn následující odvod tepla z výrobního prostoru:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}_{A,hod}}{3600} \cdot \rho_A \cdot c_A \cdot \Delta t_m \quad (5.1)$$

kde:

- \dot{Q} = odváděný tepelný tok [W]
- $\dot{V}_{A,hod}$ = objemový průtok za jednu hodinu [m³/hod]
- ρ_A = hustota suchého vzduchu [m³]
- c_A = měrná tepelná kapacita suchého vzduchu [J/kg K]
- Δt_m = rozdíl teplot na přívodu a odtahu (místnosti) [K]

Pro zařízení VZT3 platí:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}_{A,hod}}{3600} \cdot \rho_A \cdot c_A \cdot \Delta t_m = \frac{24500}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (25 - 16) = 74\,235 \text{ W} \cong 74 \text{ kW} \quad (5.2)$$

Pro zařízení VZT8 platí:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}_{A,hod}}{3600} \cdot \rho_A \cdot c_A \cdot \Delta t_m = \frac{28000}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (25 - 16) = 84\,840 \text{ W} \cong 84 \text{ kW} \quad (5.3)$$

Tepelné zisky větráním nejsou zahrnuty do bilance haly, skutečný výkon chladičů klimatizačních jednotek je vyšší.

5. Energetická bilance haly H1

V této kapitole budou dány do souvislosti tepelné zisky haly popsané v kapitole 3.2 s klimatizačními a větracími systémy popsaných v odstavcích kapitoly 4.

Tepelné zisky:

– Výrobní linky:	200 kW
– Osvětlení:	43 kW
– Zaměstnanci:	4,3 kW
– Prostup tepla konstrukcí a obálkou budovy:	31 kW
– Celkově:	278,3 kW

Chladicí výkon větracích a klimatizačních zařízení:

– Klimatizační jednotka VZT3:	74 kW
– Klimatizační jednotka VZT8:	84 kW
– Ventilátorové konvektory:	420 kW
– Technologie chlazení:	60 kW
– Celkově:	618 kW

Z energetické bilance plyne, že chladicí výkon je více jak dvojnásobný. Je třeba zmínit následující souvislosti. I přes veškerou snahu zjistit co nejpřesněji tepelné zisky od výrobních linek, tak vypočtená hodnota 200 kW je pravděpodobně menší než ve skutečnosti. V ideálním případě by celkové vnitřní tepelné zisky šly přibližně určit na základě hodnoty spotřebované elektrické energie. Výrobní haly H1 a H2 mají však jeden společný elektroměr. Tato možnost tedy nepřipadala v úvahu.

Spotřeba linek byla určena na základě dat ze softwaru, který monitoruje jednotlivé výrobní linky (viz Obr. 3.2). Tento software však zahrnuje jen největší zařízení, co se týče příkonu. Hala H1 je osazena mnohou další technologií, ať jde o výpočetní techniku a podružné technologické systémy. Z důvodu omezené možnosti pohybu ve výrobních prostorech, však nešlo tyto systémy blíže identifikovat, případně odečíst štítkové hodnoty příkonu.

Dalším důvodem velkého rozdílu v energetické bilanci je fakt, že klimatizační jednotka VZT3 obsluhuje ve výrobním objektu i některé dodatečné kancelářské a výrobní prostory, její chladicí výkon tedy není distribuován pouze do výrobní haly H1. Poslední okolností je, že výrobní linky se v průběhu cyklu životnosti výrobní haly mohou rychle obměňovat. Tím by mohlo dojít i k výrazné změně vnitřních tepelných zisků. Chladicí systém haly může být navržen s dostatečnou rezervou pro tyto případy. Tato rezerva může také sloužit v případě poruchy některého z klimatizačního a větracího systému. Zastavení výroby by mělo pravděpodobně značný ekonomický dopad na chod podniku.

6. Měření a regulace:

Měření a regulace je nedílnou součástí většiny systému TZB. V dnešní době však nezajišťuje jen správnou funkčnost systému, často slouží i pro kontrolu opotřebením jednotlivých funkčních prvků zařízení nebo hlídání provozních, poruchových či alarmových stavů. Čím dál častěji se objevují aplikace energetického managementu budovy a s tím související monitoring spotřeby energií.

Na trhu existuje celá řada výrobků různých firem, spousta komponentů a variant architektury řízení. Tato práce se však převážně zabývá aplikací měření a regulace pro průmyslové odvětví, zejména na regulaci systémů HVAC⁷. V závislosti na komplexnosti řízeného systému jsou řídicí systémy rozděleny na centralizované nebo distribuované. U centralizovaného řídicího systému zpravidla jeden řídicí prvek, automatizační stanice (PLC⁸), obsluhuje celé zařízení. V průmyslu se však nejčastěji uplatňují distribuované decentralizované řídicí systémy, kdy jednotlivé automatizační stanice jsou propojené komunikační sběrnici. Chápeme-li systémy HVAC ve výrobním objektu (průmyslové hale) jako regulační celek, tak jednotlivé automatizační stanice obsluhují dílčí části systému (např. konkrétní klimatizační jednotku). Zpravidla každý dílčí systém má svoji příslušnou automatizační stanici. Ty si navzájem vyměňují potřebné informace. Nejčastěji se jedná o informace o chodu a stavu zařízení, hodnoty měřených veličin nebo různé podmínky sloužící k povolení/blokaci chodu jiných dílčích systémů. Zpravidla na komunikační sběrnici bývá napojen nadřazený ovládací a vizualizační systém (velín), kde dochází ke vzdálené kontrole a ovládní regulačního systému.

6.1 Popis systému měření a regulace

V popisovaném výrobním objektu, je převážná část automatizačních stanic, aktivních prvků, pohonů, snímačů, čidel od jednoho výrobce. Výrobce je švýcarská firma Fr. Sauter AG sídlící v Basileji.

Vzhledem k postupnému rozvoji výroby se v průmyslového objektu nachází více typů automatizačních stanic. Mezi nejčastější typy patří (seřazeno vzestupně dle data uvedení na trh):

- AS nova 220 řady EY3600
- AS modu225 řady modulo 2
- AS modu 525 řady modulo 5

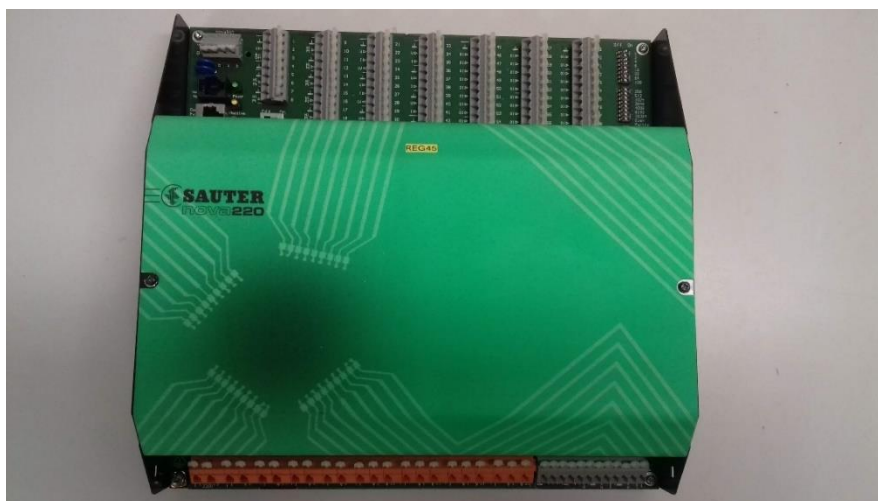
⁷ Heat, ventilation and air conditioning – vytápění, větrání a klimatizace

⁸ Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat

6.1.1 AS nova220 řady EY3600

Automatizační stanice vyrobena převážně pro potřeby řízení a automatizace budov. Slouží k ovládání regulace topení, vzduchotechniky a chlazení. Disponuje celkem 48 vstupy a 18 výstupy. Komunikace mezi jednotlivými stanicemi je provedena pomocí sběrnice novaNet, jiné komunikační protokoly toto zařízení nepodporuje. Fyzickou vrstvou sítě novaNet je kroucená dvoulinka. Programování a parametrování stanice probíhá pomocí PC s použitím softwaru CASE Suite (dle IEC 61131-3). Stanice má pevně hardwarové dané vstupy a výstupy⁹:

- *Digitální vstupy:* 32x
- *Digitální výstupy:* 4x (0-1)
4x (0-1-II dvoustupňový výstup)
- *Analogové vstupy:* 8x (Ni/Pt1000)
6x (U/I/R)
- *Analogové výstupy:* 6x (0-10 V)
2x (0...20 mA volitelně)
- *Čítače impulsu:* 2



Obr. 6.1 - Neosazená automatizační stanice nova220

6.1.2 AS modu225 řady modulo 2

Rokem výroby novější stanice než nova 220. Stanice modu225 je konstruována pro stejné použití jako předchozí nova220, komunikuje také pouze prostřednictvím sítě novaNet. Obsahuje menší množství vstupů a výstupů, konkrétně 28 vstupů a 14 výstupů. Počty vstupů a výstupů jdou rozšířit pomocí přídatných modulů. Stanice má také pevně hardwarové dané osazení vstupů a výstupů. Programování stanice probíhá obdobně jako u AS nova220 v softwaru Case. Je osazena ve svém základním provedení následovně.¹⁰:

⁹ https://www.sauter.cz/fileadmin/documents/sac/PDS_CZ/1_PDS/92520.pdf

¹⁰ https://www.sauter.cz/fileadmin/documents/sac/PDS_CZ/1_PDS/92810.pdf

- Digitální vstupy: 12x
- Digitální výstupy: 8x (0-1)
- Analogové vstupy: 8x (Ni/Pt1000)
6x (U/R)
- Analogové výstupy: 6 x 0-10 V
2 x 0...20 mA (volitelně)
- Čítače impulzu: 2

Dle typu rozšiřovacího modulu lze navýšit počet daných vstupů/výstupů:

- modLink170: 4 analogové výstupy
- modLink164: 4 digitální výstupy
 - o možno instalace dvou modulů, celkově max 8 digitálních výstupů
- modLink174: 16 digitálních vstupů
 - o možno instalace až tří modulů, celkově max 48 digitálních vstupů



Obr. 6.4 - AS modu225, tři kusy stanic v levé části rozvaděče, doplněno v pravé části o rozšiřovací moduly



Obr. 6.3 - Rozšiřovací moduly zleva moduLink170 a moduLink164



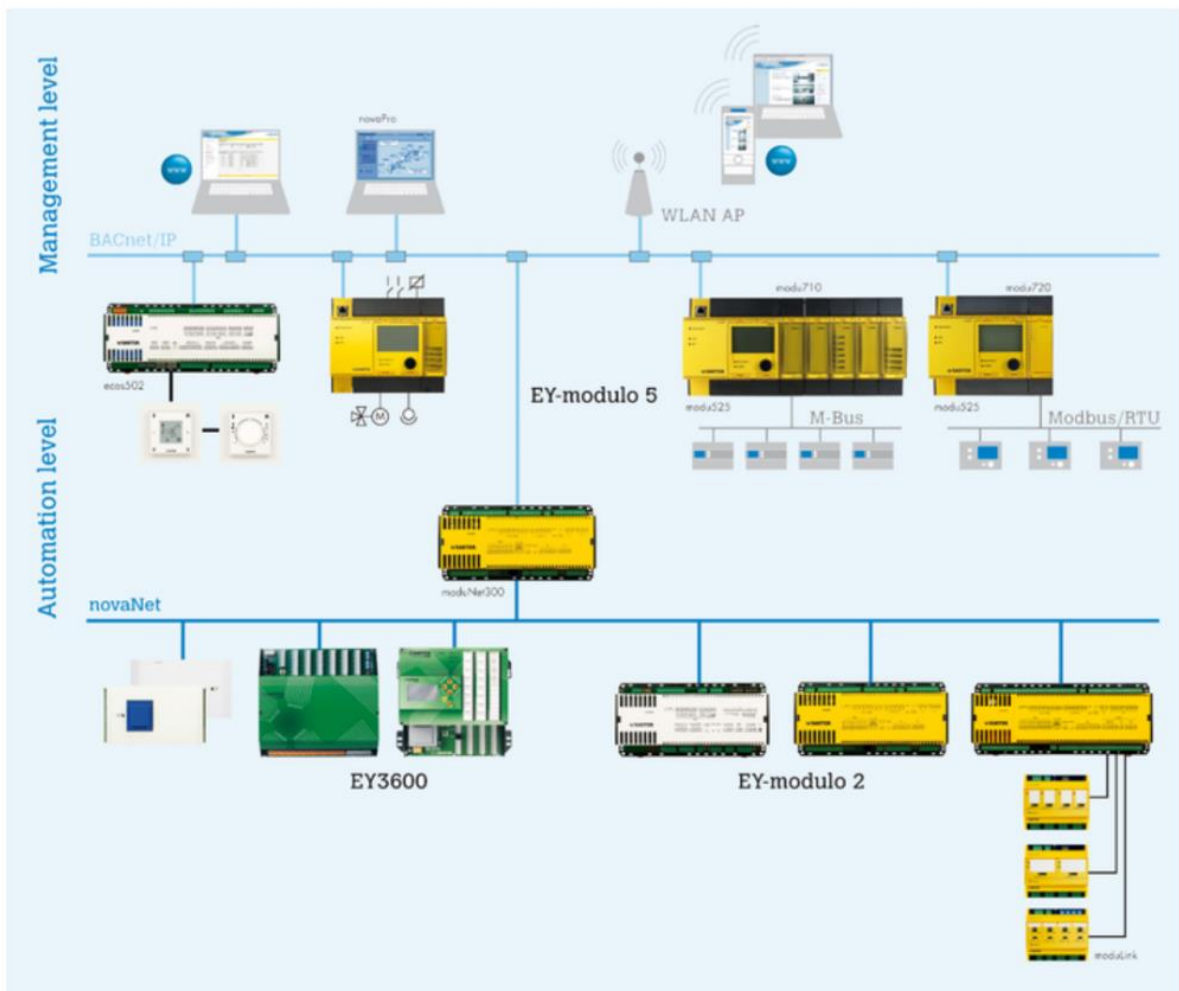
Obr. 6.2 - Rozšiřovací moduly 2x moduLink174

6.1.3 As modu525 řady modulo 5

Jedna z novějších automatizačních stanic výrobce Sauter. Jedná se o modulární automatizační stanici s podporou sběrnice BACnet/IP a webovým serverem. Stanici je možno rozšířit velkým počtem modulů, které zajišťují nejen rozšíření počtů vstupů/výstupů, ale také například možnosti komunikace s cizími systémovými rozhraními jako Modbus/RTU-master, EIA-232 a EIA-485 pro M-bus. Dalšími možnostmi je rozšíření o moduly místní ovládání a signalizace, jde například o externí signalizační panely s LCD displejem, přepínače, signalizace alarmových stavů apod ¹¹.

6.1.4 Vzájemná kompatibilita průmyslových sběrnic

Automatizační stanice modu525, a i ostatní stanice se série modulo 5 již nepodporují starší sběrnici novaNet. Pro vzájemnou komunikaci je nutné použít převodník moduNet300. Vzájemná kompatibilita, co se týče přenosu dat po sběrnici, je patrná z obrázku níže ¹²:



© Fr. Sauter AG



Obr. 6.5 - Automatizační stanice Sauter a podpora komunikačních sběrnic ¹²

¹¹ https://www.sauter.cz/fileadmin/documents/sac/PDS_CZ/1_PDS/92016.pdf

¹² <https://www.sauter.cz/cz/sluzby-a-kompetence-sauter/automatizace-v-budovach-sauter.html>

Z obrázku je rovněž patrné, jak komplikovaná může být struktura systému měření a regulace v případě, že se paralelně sejde více systémů. V tomto případě se jedná však o jednoho výrobce a různé stáří automatizačních stanic. I z tohoto důvodu je v dnešní době trendem podporovat nejrozšířenější používané sběrnice napříč výrobci. I systém Sauter nabízí modulární komponenty, díky nim lze podporovat následující sběrnice¹²:

- *DALI: Systém řízení osvětlení*
- *Modbus: Chladicí zařízení*
- *KNX: Elektrická zařízení*
- *SMI: Zastínění, žaluzie, rolety*
- *M-BUS: Měřiče spotřeby*
- *Profibus: Průmyslová automatizace*
- *OPC: Hotelové rezervační systémy, požární ústředny apod.*

6.1.5 Umístění automatizačních stanic

Automatizační stanice bývají nejčastěji umístěny v rozvaděčích na profilovou lištu dle ČSN EN 60715. Rozvaděče bývají standardně rozděleny na více částí. Silová část, jako jsou odpínače, pojistky, jističe je standardně umístěna v dostatečné vzdálenosti od obvodů pro měření a regulaci. U větších zařízení mohou být silové části umístěny ve svém vlastním rozvaděči. Skříň rozvaděčů bývají pro usnadnění obsluhy vybaveny přepínači se signálky chodu jednotlivých zařízení. Častou používanou signálkou je signálka poruchy zařízení, případně signálka sumární poruchy. Každé zařízení by mělo být vybavené hlavním vypínačem. Pro zapínání jednotlivých částí zařízení slouží často přepínače s možností výběru zapnuto/vypnuto/automat. V poloze „automat“ je zařízení řízeno na základě signálu z automatizační stanice. V případě ručního provozu je přepínač v poloze „zapnuto“. Na Obr. 6.6 se nachází zleva jeden silový rozvaděč s hlavním vypínačem a zbylé dva slouží pro měření a regulaci.



Obr. 6.6 - Rozvaděče

7. Nástroj pro analýzu a vyhodnocení dat:

7.1 Úvod kapitoly

Analýza stavů a trendů jednotlivých datových bodů, systému TZB, je důležitá z hlediska zpětné kontroly správné funkčnosti celého zařízení. Proto je nutné zaznamenávat vstupy a výstupy z automatizační stanice a reakci akčních členů na jednotlivé povely. Vhodným nástrojem pro analýzu dat je zpracovat všechna data do grafické podoby, kde hlavní porovnávací veličinou je časová osa. Porovnáním a rozborem grafů datových bodů lze identifikovat stavy, kdy trend některého z prvků TZB celku se vizuálně liší, od trendů uplynulých hodin, dnů, či týdnů. Většina technických zařízení má přímou či nepřímou vazbu na venkovní prostředí. Lze říci, že jeho chování bude závislé na změně venkovní teploty, tlaku, vlhkosti apod. Z předešlého plyne, že analýzu dat TZB je vhodné provádět pro typické provozní dny během roku. Mezi tyto dny patří:

- *provoz v letním období,*
- *provoz v zimním období,*
- *provoz v přechodném období, jaro nebo podzim.*

K zpětné analýze je třeba informace datových bodů ukládat. Kvůli často omezené kapacitě úložného prostoru a případné vytíženosti sítě je důležité volit vhodnou vzorkovací frekvenci. Dále není optimální využívat všechny dostupné datové body. Správná volba datových bodů, které se budou ukládat a které nikoliv hraje klíčovou roli v možnosti zpětné analýzy TZB celku. Přehledná a systematická archivace dat, je důležitá k hledání příčin poruch dlouhodobého charakteru, či k ekonomicko-provoznímu rozboru.

Cílem této práce bylo optimalizovat klimatizaci výrobní haly. Mezi stěžejní části byla právě komplexní analýza dostupných datových bodů pro zařízení, která se podílejí na kvalitě vnitřního prostředí haly H1. Jak bylo zmíněno v kapitole 4 požadavky na klimatizaci a větrání výrobní haly jsou zajišťovány pomocí těchto zařízení:

- *klimatizační jednotka VZT3,*
- *klimatizační jednotka VZT8,*
- *30x fan-coil,*
- *technologický odtah,*
- *další návaznost na výrobní linky, technologické chlazení apod.*

Mezi nejobsáhlejší zařízení z hlediska počtu datových bodů patří klimatizační jednotky VZT3 a VZT8. Postup zpracování a analýzy dat byl vysvětlen na zařízení VZT8. Vlastní analýza bude provedena v kapitole 8. Pro vysvětlení postupu zpracování dat jsou v následující tabulce uvedeny veškeré datové body a názvy, které jsou pro potřeby analýzy chodu a regulace VZT8. ukládány:

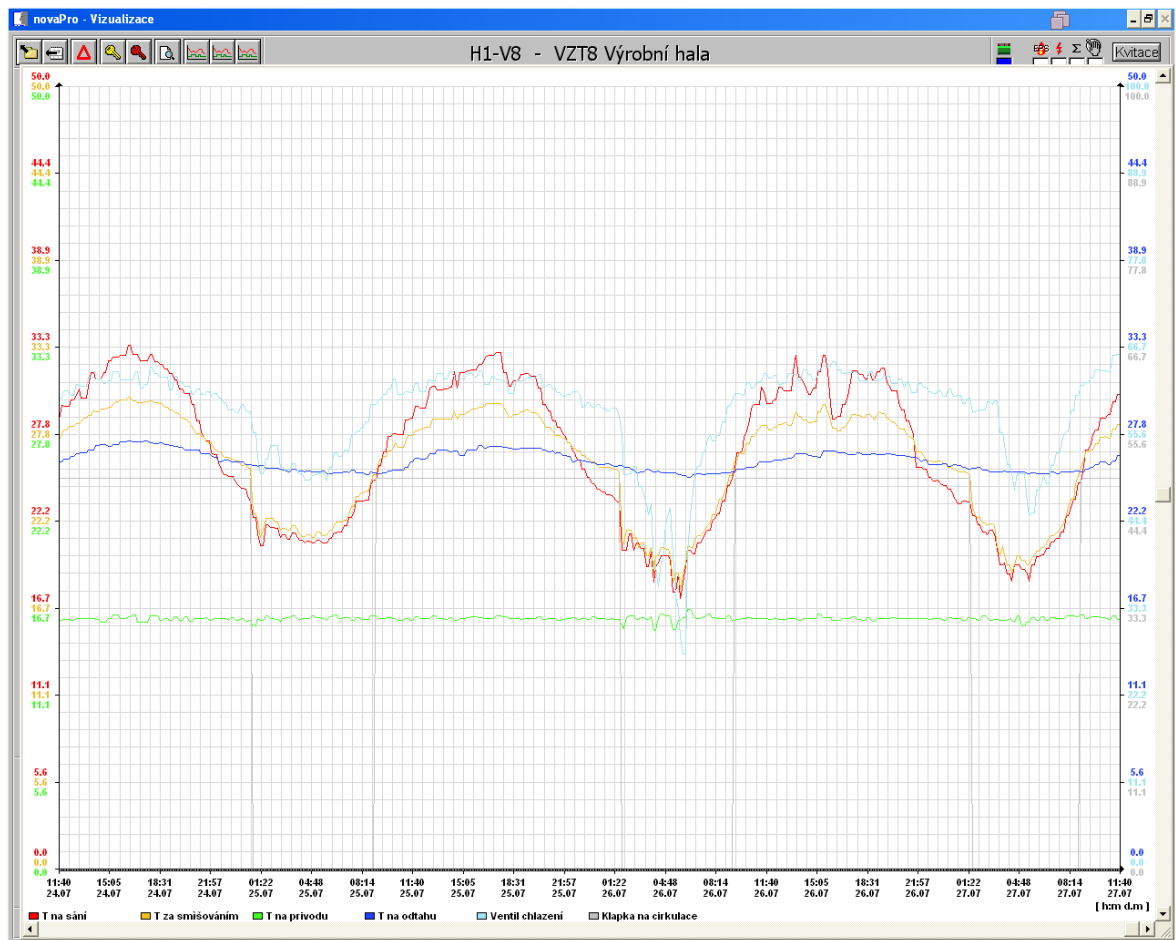
Tabulka 1 - Datové body VZT8

N043M006	T venkovní	N037M236	Množství na Vo
N037M005	T na sání	N037X134	XS množství na Vp
N037M000	T za směřováním	N037X234	XS množství na Vo
N037M003	T na vodě	N037X135	XS FM na Vp
N037M001	T na přívodu	N037X235	XS FM na Vo
N041M109	T v prostoru	N037R133	Volba reg Vp
N037M002	T na odtahu	N037R233	Volba reg Vo
N037M214	XSC T za ohřevem	N037M013	Přetlak prostoru
N037M121	XSC T na přívodu	N037M012	%H za směřováním
N037X116	XS T na přívodu	N037M010	%H za přívodem
N037X020	Ventil ohřevu	N048M142	%H v prostoru
N037X021	Ventil chlazení	N037M011	%H na odtahu
N037X022	Klapka na sání	N037X126	Xs %H v prostoru
N036X023	Klapka na cirkulaci	N037M213	Hx za směřováním
N036X024	Klapka odtah	N037M132	Hx na přívodu
N037S065	Chod Vp	N037M212	Hx v prostoru
N037S071	Chod Vo	N037M129	XS Hx na přívodu
N037S075	Chod Coh	N037M211	XS Hx v prostoru
N037X023	Výkon Vp	N037X025	Výkon RH
N037X024	Výkon Vo	N037R035	ZAP RH
N037M136	Množství na Vp	N037B124	ZAP VLH

7.2 Volba vhodného výpočetního software:

Vzhledem k velkému počtu zařízení v celém výrobním objektu (téměř 100 kusů automatizačních stanic) a technicko-ekonomických souvislostí, byla do konce roku 2018 veškerá vizualizace včetně metody ukládání datových bodů prováděna ve starém software NovaPro od firmy Sauter. Tento pro dnešní dobu starší software má jistá omezení. Je podporován pouze do verze operačního systému MS Windows XP (dále pouze Windows XP) a podporuje systémovou sběrnici novaNet, která využívá jako fyzickou vrstvu kroucenou dvoulinku (TP). Novější PLC řady Modulo 5 pro přenos a komunikaci používají rozšířený komunikační protokol BACnet. NovaNet již není podporován. Vše je podrobněji popsáno v kapitole 6.1.4.

Z tohoto důvodu byl přechod na novější software (NovaPro Open) nezbytný a bude realizován v průběhu roku 2019/2020, s tím i souvisí postupná náhrada za ethernetovou síť. V této práci byla však zpracovávána data z let 2017/2018, nešlo se vyhnout prostředí NovaPro. Software NovaPro obsahuje ve svém základu nástroj, kterým lze vizualizovat maximálně šest datových bodů najednou. Grafické prostředí je patrné z následujících obrázku:



Obr. 7.1 – NovaPro, vizualizace

Nastavení trendové křivky

Aktualizace

Zap

Zobrazení

Schod. průběh vert. přetáčecí pruh

Rastr Horiz. přetáčecí pruh

Osa X (čas)

Interval:

Čas:

Datum:

Osy Y

Barva	Element	Začátek	Konec
Y1	T na sání	0	50
Y2	T za směšováním	0	50
Y3	T na privodu	0	50
Y4	T na odtahu	0	50
Y5	Ventil chlazení	0	100
Y6	Klapka na cirkulaci	0	100

Osa X (hodnoty)

Začátek:

Konec:

Ok
Zruš
Archiv...
Originál
Tisk

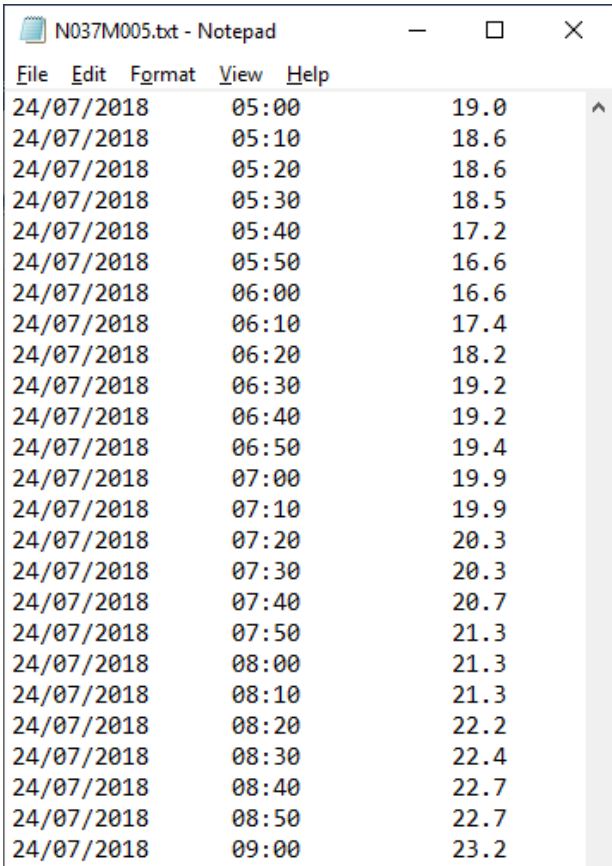
Obr. 7.2 – NovaPro, nastavení trendové křivky

Práci s ním však komplikoval již zmíněný fakt, že program lze spustit pouze do verze operačního systému Windows XP. Tento problém lze řešit pomocí virtuálního operačního systému. Nemožnost práce s číselnými daty či jejich exportu a omezená doba chodu programu na dvě hodiny díky demo-verzi vedla k nutnosti použití jiného nástroje pro analýzu dat.

Byl zvolen Microsoft Excel (dále pouze Excel), který splňuje požadavky, mezi které patří tvorba grafů s aktivními prvky, matematické operace, možnost vyhledávání přes řádky, sloupce pro konkrétní atributy apod. Důležitým bodem, proč bylo rozhodnuto zpracovávat data v jiném software byla možnost jejich následného číselného využití v dalších případných výpočtech potřebných pro optimalizaci.

7.3 Synchronizace dat:

NovaPro ukládá informace jednotlivých datových bodů do třech databázových typů souborů s příponami *.DB1*, *.DB2* a *.DB3*. V souborech s příponou *.DB2* a *.DB3* se nachází popis minim a maxim datového bodu pro jednotlivé dny. Soubor typu *.DB1* se skládá z tabulky o třech sloupcích (viz Obr. 7.3), v prvním sloupci se nachází datum, ve druhém čas a ve třetím hodnota sledované veličiny, v tomto případě teplota ve stupních Celsia. Pro další zpracování byly použity pouze soubory s příponou *.DB1*.



The screenshot shows a Notepad window titled "N037M005.txt - Notepad". The window contains a table with three columns: date, time, and temperature. The data is as follows:

Date	Time	Temperature
24/07/2018	05:00	19.0
24/07/2018	05:10	18.6
24/07/2018	05:20	18.6
24/07/2018	05:30	18.5
24/07/2018	05:40	17.2
24/07/2018	05:50	16.6
24/07/2018	06:00	16.6
24/07/2018	06:10	17.4
24/07/2018	06:20	18.2
24/07/2018	06:30	19.2
24/07/2018	06:40	19.2
24/07/2018	06:50	19.4
24/07/2018	07:00	19.9
24/07/2018	07:10	19.9
24/07/2018	07:20	20.3
24/07/2018	07:30	20.3
24/07/2018	07:40	20.7
24/07/2018	07:50	21.3
24/07/2018	08:00	21.3
24/07/2018	08:10	21.3
24/07/2018	08:20	22.2
24/07/2018	08:30	22.4
24/07/2018	08:40	22.7
24/07/2018	08:50	22.7
24/07/2018	09:00	23.2

Obr. 7.3 - Databázový soubor typu *.DB1* převedený do souboru typu *.txt*, N037M005 – Teplota na sání pro VZT8, měřeno za směšovací klapkou ZZT kompresorů

Kvůli rozdílné vzorkovací frekvenci jednotlivých datových bodů bylo potřeba vytvořit nástroj, který data synchronizuje přes společnou časovou osu. Požadavek na tento nástroj byla možnost editovat časovou osu tzn. možnost nastavení šířky kroku, data a času pro začátek synchronizace.

Za prvé bylo třeba definovat primární klíč, dle kterého se budou hodnoty datových bodů synchronizovat. Nezpracovaná data obsahovala informace o čase a kalendářním datu záznamu. Sečtením těchto dvou hodnot vznikla buňka, která byla vždy unikátní a se kterou šlo díky „kalendářnímu systému 1900“ v excelu pracovat jako s číslem. Vznikl tedy první excelový soubor (*Data_VZT8.xls*), který obsahoval všechna importovaná data potřebná k analýze VZT8. Soubor se skládal z více záložek, obsahoval vždy jeden datový bod na jednu záložku. V každé záložce k surovým datům byl přiložen jeden sloupec, který obsahoval zmíněný primární klíč ve formátu „DD/MM/YY_HH/MM“ tedy např. „27/1 na Obr. 7.4 se jedná o sloupec E.

	A	B	C	D	E
1	Datum	Čas		N043M006 T venkovní	Datum/Čas
2	15/04/18	01:26		10.8	15/4/18 1:26
3	15/04/18	01:28		10.8	15/4/18 1:28
4	15/04/18	01:30		10.8	15/4/18 1:30
5	15/04/18	01:32		10.8	15/4/18 1:32
6	15/04/18	01:34		10.8	15/4/18 1:34
7	15/04/18	01:36		10.8	15/4/18 1:36
8	15/04/18	01:38		10.8	15/4/18 1:38
9	15/04/18	01:40		10.7	15/4/18 1:40
10	15/04/18	01:42		10.7	15/4/18 1:42
11	15/04/18	01:44		10.7	15/4/18 1:44
12	15/04/18	01:46		10.7	15/4/18 1:46

Obr. 7.4 - Primární klíč, sloupec E

Následně byl vytvořen druhý excelový soubor (*VZT8.xls*), ve kterém byla vytvořena vlastní synchronizace. Byl definován synchronizační sloupec, který se skládal z primárního klíče. Primárnímu klíči (*DD/MM/YY_HH/MM*) bylo možno určit počátek a velikost časového přírůstku pomocí buněk A1 až F1 viz Obr. 7.5. Pomocí kombinací funkcí excelu byla vyhledána hodnota jednotlivých datových bodů, které odpovídaly buňce v synchronizačním sloupci. Pro příklad:

V synchronizačním sloupci se nacházela hodnota „1/7/18 9:00“. Excel vyhledal pro danou hodnotu času a data odpovídající hodnoty datových bodů v souboru „*Data_VZT8.xls*“. Pokud v tomto datu a čase neexistovala žádná hodnota díky odlišné vzorkovací frekvenci, byla přiřazena nejbližší vyšší, respektive nižší hodnota primárního klíče (dále jen PK) a jemu odpovídající hodnota datového bodu. Tedy například:

Kdyby pro hodnotu PK „1/7/18 9:00“. neměl datový bod *N043M006* (teplota venkovní) zaznamenanou žádnou teplotu, excel by vyhledal nejbližší vyšší, přiřadil by tedy hodnotu z např. „1/7/18 9:10“.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Hodina	0	Minuta	30	Sekunda	0	N043M006 T venkovní	N037M005 T sání	N037M000 T za směřováním	N037M003 T na vodě	N037M001 T na přívodu	N041M109 T v prostoru
2			1/7/18 0:00				15.2	15.6	16	18.0	15.7	25.7
3			1/7/18 0:30				13.8	15.6	16	17.7	15.7	25.7
4			1/7/18 1:00				14.2	15.2	15.5	17.2	16.0	25.7
5			1/7/18 1:30				13.8	14.6	15.3	17.2	15.9	25.7
6			1/7/18 2:00				12.8	14.5	14.4	16.6	15.9	25.6
7			1/7/18 2:30				12.0	13.6	13.8	16.1	15.8	25.5
8			1/7/18 3:00				11.7	13.1	13.5	15.6	15.9	25.4
9			1/7/18 3:30				11.6	13.0	13.7	14.8	15.9	25.3
10			1/7/18 4:00				11.0	11.9	12.7	15.4	15.9	25.4
11			1/7/18 4:30				11.3	11.2	12.7	15.6	15.9	25.3
12			1/7/18 5:00				11.8	13.0	13.8	15.8	16.0	25.3
13			1/7/18 5:30				11.8	13.5	14.3	15.9	16.1	25.3
14			1/7/18 6:00				12.3	13.5	14.3	16.0	16.0	25.2
15			1/7/18 6:30				12.8	13.5	14.3	16.0	16.0	25.2
16			1/7/18 7:00				13.9	13.8	13.8	16.0	16.0	25.2
17			1/7/18 7:30				14.7	13.5	14.3	15.9	15.9	25.2
18			1/7/18 8:00				16.3	14.6	14.9	15.9	16.4	25.3
19			1/7/18 8:30				16.5	14.4	14.9	16.1	16.0	25.3
20			1/7/18 9:00				16.8	16.6	22.3	16.2	15.9	25.4
21			1/7/18 9:30				17.0	17.7	22.5	20.8	16.9	25.5
22			1/7/18 10:00				17.7	17.7	20.5	20.8	15.2	25.6
23			1/7/18 10:30				17.6	18.2	22.1	20.7	15.9	25.7
24			1/7/18 11:00				18.1	18.7	21.6	20.7	15.8	25.7
25			1/7/18 11:30				18.0	18.8	19.7	20.9	15.8	25.8

Obr. 7.5 - Synchronizace dat

Tato operace byla provedena pro všechny datové body VZT8. Původní záměr bylo provést synchronizaci pro celý rok naráz. Data jedné sledované veličiny obsahují statisíce položek za rok. Pro potřeby analýzy je potřeba například přes 40 datových bodů. Vzhledem k omezené výpočetní paměti a v kombinaci s vyhledávacími funkcemi se stal excel nefunkční. Proto bylo nutné přistoupit k optimalizacím, k zajištění správného chodu programu.

První optimalizace byla nahrazení vyhledávací funkce `vlookup()` kombinací funkcí `index()` a `match()`. Dle zjištěných informací z internetových diskuzí je v určitých případech tato varianta mnohem vhodnější a méně výpočetně náročná¹³. Tato změna byla velice patrná a projevila se v rychlosti výpočtu. I přes to bylo nutné omezit synchronizaci na přibližně 4400 řádků. To odpovídá přibližně třem měsícům při velikosti intervalu 30 min. Tato doba je naprosto dostatečná pro analýzu chování v typických ročních obdobích (viz 7.1 Úvod kapitoly). Zde je uveden názorný příklad vyhledávací funkce pro VZT8 a datový bod `N037M000`:

– „=INDEX([Data_VZT8_léto.xlsx]N037M005!D:D;MATCH(A2;[Data_VZT8_léto.xlsx]N037M005!\$E:\$E;1);)“

Tento příkaz hledá v souboru „Data_VZT8_léto.xlsx“ v záložce `N037M005` přes celý sloupec E (PK) takovou hodnotu, která odpovídá hodnotě v buňce A2 (PK) souboru „VZT8_léto.xlsx“. V případě, že taková hodnota existuje např. v buňce E2718, bude vypsána hodnota nacházející se v sloupci D toho samého řádku, tedy D2718. V případě, že neexistuje přesná shoda, bude vypsána nejbližší vyšší hodnota ze sloupce D, respektive nejbližší nižší v závislosti na nastavení (0 nebo 1 na konci funkce).

¹³ Zdroj: <https://arstechnica.com/civis/viewtopic.php?t=1186057>

7.4 Tvorba grafu:

Záměrem bylo vytvořit grafický nástroj pro snadnou analýzu datových bodů. Cílem této práce však nebylo vytvořit univerzální nástroj pro analýzu dat, který bude pracovat bez větších zásahů ze strany uživatele. Excelový soubor měl sloužit pouze pro analýzu konkrétních zařízení. Největší překážkou pro univerzální použití by byl nutný ruční import datových bodů a rozdílné typy a počty datových bodů napříč jednotlivými zařízeními TZB.

7.4.1 Dynamizace grafu

Tlačítka, vysouvací okna, možnost posunu os, přiblížení grafu patří mezi některé z možností dynamizace grafu, které jsou v Excelu k dispozici. Při správném použití těchto dynamických prvků dojde k značnému usnadnění při práci s grafem. Obzvláště při větším objemu dat dokáže tato nadstavba ušetřit čas. Z tohoto důvodu byla implementace některých dynamických prvků do grafu předpokládána. Vstupní podmínka byla možnost posunu v čase pomocí jezdec či šipek. Vhodnou nastavbou se jevila schopnost zobrazit a skrýt jednotlivé datové body dle potřeby pomocí rozevíracího seznamu či jiného aktivního okna. Graf měl být tedy dynamizován dvěma prvky.

Jak bylo zmíněno na konci kapitoly 7.3, kvůli výpočetní náročnosti byla data omezena na 4400 řádků, tedy 3 měsíce při 30minutové vzorkovací frekvenci. Pro jednotlivá provozní období byly vytvořeny tři nezávislé soubory „VZT8_období.xlsx“. Ke každému souboru náležel právě jeden datový soubor „Data_VZT8_období.xlsx“. Dle dostupnosti datových bodů a chodu zařízení byly nadefinovány jednotlivé provozní období:

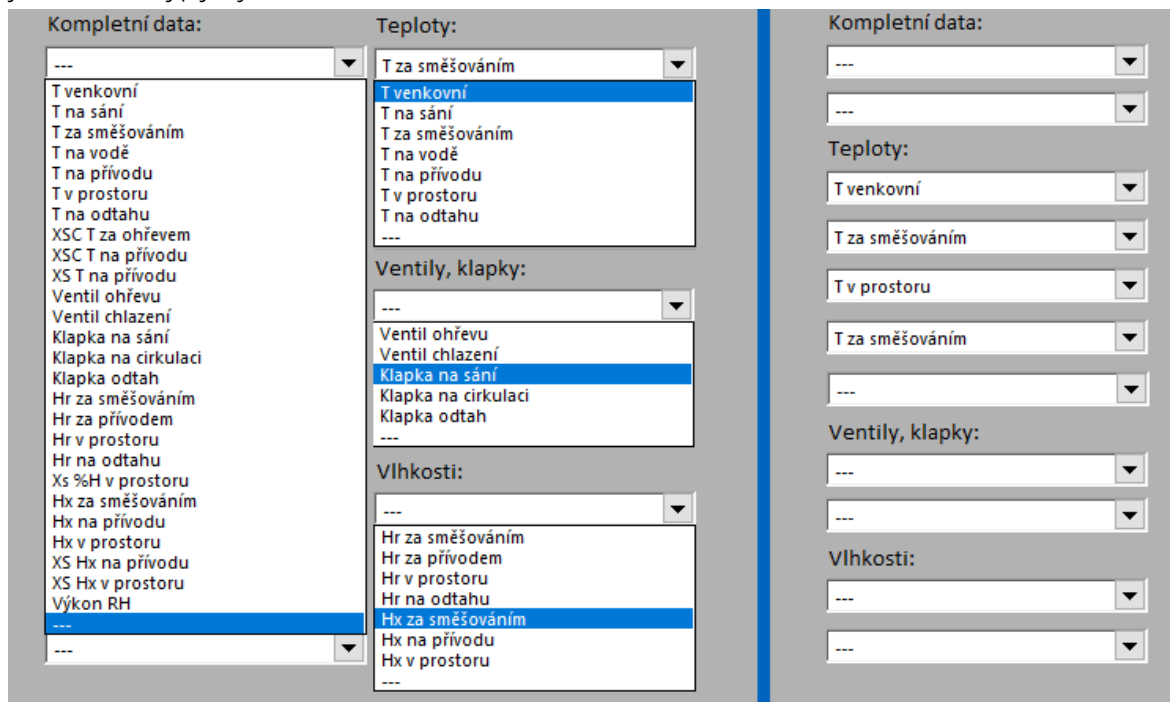
- *Zimní provoz: 1.1.2018 – 1.4.2018,*
 - o (VZT8_zima.xlsx; Data_VZT8_zima.xlsx),
- *Letní provoz: 1.7.2018 – 1.10.2018,*
 - o (VZT8_léto.xlsx; Data_VZT8_léto.xlsx),
- *Přechodné období: 1.10.2018 – 1.12.2018,*
 - o (VZT8_podzim.xlsx; Data_VZT8_podzim.xlsx).

Z důvodu Vánočních svátků a pravidelných celozávodních dovolených nebyla využita data z období měsíce prosinec, kdy některá zařízení byla dočasně vypnuta či v útlumovém režimu. Předchozí intervaly provozních období byly použity ve stejném rozsahu pro ostatní analyzované zařízení (VZT3). Pro potřeby podrobnějších analýz byly vytvořeny dodatečně i další soubory, např. s jinou vzorkovací frekvencí (VZT8_léto_10min.xlsx; Data_VZT8_léto_10min.xlsx).

Pro vlastní posun grafu v čase byly použity dvě šipky a jezdec. Pro jednotlivé šipky šlo nadefinovat velikost posunu na jedno kliknutí. Posun se prováděl v celém rozsahu kalendářního data vždy pro jednotlivá provozní období. Například pro letní provoz lze tedy graf posouvat v intervalu od 1.7.2018 až do 1.10.2018 včetně.

První dvě vysouvací okna obsahují kompletní dostupné datové boty. Následuje pět oken s možností výběru datových bodů, které obsahují teploty. Dále byla k dispozici dvě okna s možností výběru dat z polohy ventilů (poloha třicestného ventilu chladiče či ohřivače) či regulačních klapek. Poslední dvě okna skýtala možnost výběru informací ohledně vlhkosti (relativní nebo měrné). Jednotlivá vysouvací okna jsou znázorněna na Obr. 7.6. Některé excelové soubory měly k dispozici dodatečně přidaná vysouvací okna například s meteorologickými daty.

Obr. 7.6 je rozdělen modrou čarou na dvě části. V levé části jsou rozevřené jednotlivé typy vyskakovacích oken.



Obr. 7.6 - Aktivní vysouvací okna, dynamizace grafu

V pravé části se zobrazují okna tak, jak se nachází v originálním souboru pro analýzu dat. K dispozici bylo minimálně jedenáct rozevřacích seznamů. Kompletní data byla implementována pouze do dvou oken, jelikož jejich vytváření bylo velice zdlouhavé. I přes to možnost výběru dat byla dostačující pro analýzu a oproti vizualizaci NovaPro, kde bylo k dispozici pouze šest datových bodů (viz Obr. 7.2) se s nástrojem lépe pracovalo.

7.5 Shrnutí

Z důvodů zmíněných na začátku této kapitoly bylo nutno vytvořit vlastní nástroj pro analýzu dat. Jako software pro jeho tvorbu byl zvolen MS Excel. Byla vytvořena synchronizace všech datových bodů přes společnou časovou osu. Následovalo grafické zpracování, vizualizace. Přidáním dynamických prvků do grafu bylo docíleno jednodušší obsluhy v grafickém prostředí. Byl vytvořen posuv časové osy a bylo přidáno minimálně jedenáct vysouvacích seznamů pro výběr datových bodů.

Vlastní analýza s názorným použitím vytvořeného excelu bude popsána v následující hlavní kapitole 8. Analýza dat.

8. Analýza dat

8.1 Úvod do analýzy dat

Před vlastní analýzou bylo nutné se obeznámit s co nejvíce údaji, které byly k dispozici k danému TZB celku. Bylo dobré zjistit souvislosti s provozem daného zařízení, jeho údržby, odstávky apod. Veškeré podobné činnosti se projevily v zaznamenaných datech, a proto tyto informace bylo důležité znát pro rychlou a správnou interpretaci některých abnormálních stavů. Pro bližší analýzu příčin chybových stavů byly k dispozici informace o softwaru, který byl nahrán v jednotlivých automatizačních stanicích.

Pro každý TZB systém byl postup analýzy obdobný. Nejprve bylo nutné identifikovat stav, který můžeme nazvat stavem běžného provozu. Tento stav byl samozřejmě odlišný pro jednotlivá provozní období. První byl zvolen provoz v letních měsících. Tato doba byla předpokládána jako stabilnější a méně náročná pro regulaci, kde není třeba standardně počítat se stavy kdy může dojít k namrznání výměníku, okruh otopné vody pro ohříváče je často uzavřen, není třeba tolik zvlhčovat, jako v zimních měsících apod. Záměrem bylo vyhledat místa, která vizuálně, graficky se odlišují od zbývajících trendů dat. Cílem této kapitoly, bylo tyto místa identifikovat, popsat možnou předběžnou příčinu tohoto stavu. Podrobná analýza těchto bodů byla provedena až v kapitole 9. Optimalizace regulace. Podkapitoly odstavců 8.4 až 8.6 svým názvem přímo odkazují na přílohy uvedené na konci této práce.

8.2 Meteorologická stanice

Pro analýzu dat měl být vybrán vhodný interval 10-11 dní, který co nejlépe interpretoval dané provozní období. Pro výběr těchto dní bývají nejužitečnější data z meteorologických stanic, které zpravidla disponují přehledy denních teplotních maxim a minim a také informace o srážkových úhrnech. Jeden kilometr vzdušnou čarou od výrobního závodu se nachází meteorologická stanice, která má veřejně dostupná potřebná data¹⁴. Informace byly k dispozici i pro rok 2018 v příloženém archivu. Kromě možnosti grafického zobrazení zmíněných teplotních denních maxim a minim pro jednotlivé dny v měsíci, šel také zobrazit podrobnější průběh teplot za interval 24hod. Data pro jeden kalendářní den (24hod) se daly zobrazit v tabulce. Po vybrání konkrétního intervalu, reprezentující dané provozní období, byla exportována meteorologická data právě z této tabulky, a to do nástroje pro analýzu dat, například do souboru s názvem „VZT8_léto.xlsx“. Nakonec byla provedena synchronizace z již existujícími datovými body a vytvořilo se vyskakovací okno v grafu pod názvem „Meteo-data“.

Meteorologická stanice se nachází na adrese Výletní 1630, Brandýs nad Labem. Jedná se o stanici typu *WeatherDuino Pro2+*¹⁴. Dle dostupných informací je senzor teploty a vlhkosti umístěn v radiačním krytu s nuceným větráním.

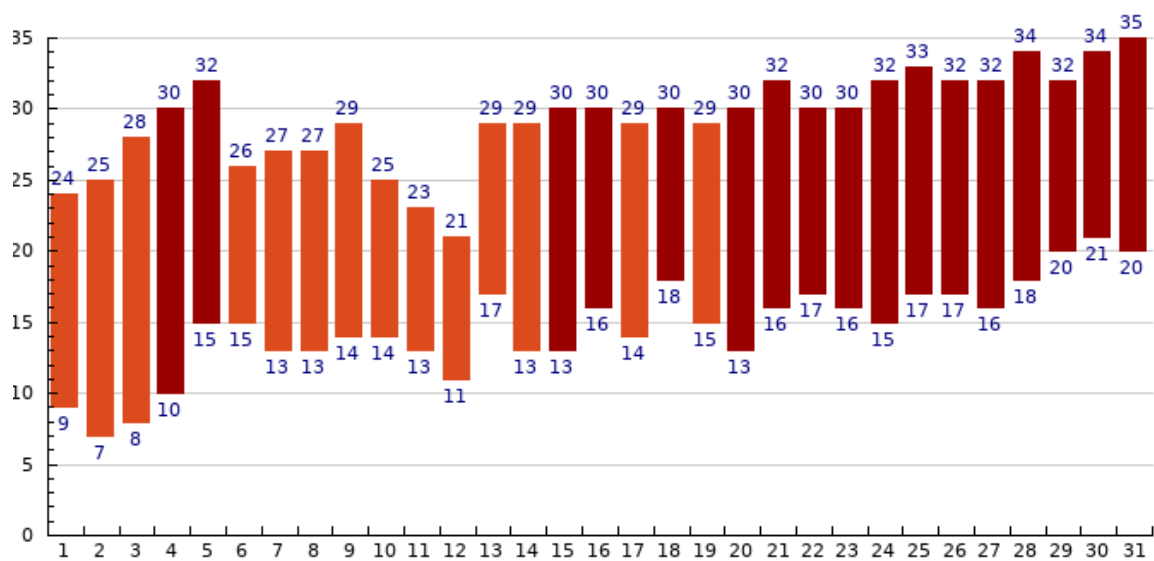
¹⁴ http://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/brandys_nad_labem/



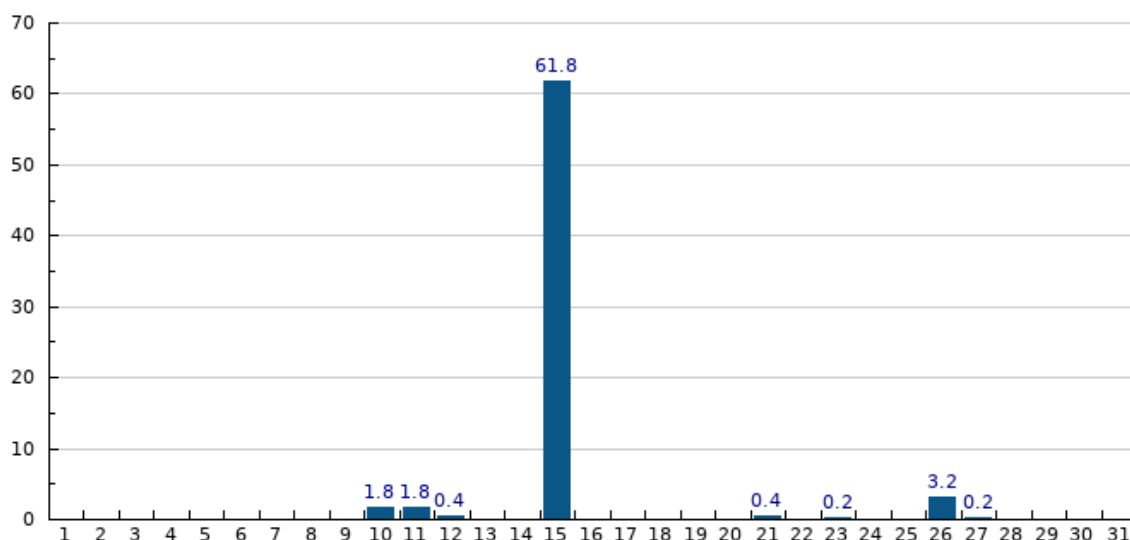
Obr. 8.1 - Meteorologická stanice, Brandýs nad Labem [6]

8.3 Letní provoz

Pro analýzu letního provozu byl zvolen interval dnů, kdy teploty dosahovaly letních maxim a kdy nedocházelo k velkým úhrnům srážek. Na základě následujících grafů byl vybrán interval 20.7.2018 – 30.7.2018. Denní maxima dosahovala 32 °C a srážkové úhrny byly v tomto období zanedbatelné. Lze tedy období považovat jako typické pro letní provoz.



Obr. 8.2 - Nejvyšší a nejnižší denní teploty, červenec 2018, meteostanice Brandýs nad Labem [6]
 X= Číslo dne v měsíci červenec [-], Y=Denní maxima a minima [°C]



Obr. 8.3 - Srážkové úhrny, červenec 2018, Brandýs nad Labem [6]
 X= Číslo dne v měsíci červenec [-], Y=Srážkové úhrny za jeden den [mm/24hod]

8.4 VZT3 – letní provoz

Analýza datových bodů probíhala postupně. Jako první byly zobrazeny následující datové body:

- venkovní teplota ($T_{\text{venkovní}}$),
- teplota na sání VZT3 ($T_{\text{na sání}}$),
- teplota na přívodu do haly H1 ($T_{\text{na přívodu}}$),
- vypočtená žádaná teplota na přívodu ($XSC T_{\text{na přívodu}}$).

8.4.1 Příloha 1 - VZT3, letní provoz

Při prvním pohledu na Příloha 1 jsou patrné dvě věci. Do kalendářního data 23.7.2018, 18:00 existovala značná regulační odchylka mezi vypočtenou žádanou teplotou na přívodu a skutečnou teplotou na přívodu. Vzhledem k tomu, že se jednalo o provoz v letním období tato odlišnost poukazuje na možnou souvislost s chladičem/chlazením VZT3. Druhou patrnou změnou v grafu byl opakovaný nárůst venkovní teploty v odpoledních hodinách (16:00 – 17:00).

Pro bližší porozumění první indikace byl zobrazen datový bod ventilu chlazení. Předpokládalo se, že na základě polohy otevření třicestného ventilu a na základě znalosti regulačního softwaru půjde určit důvod této regulační odchylky. K určení možné příčiny nárůstu venkovní teploty v odpoledních hodinách bylo potřeba tyto hodnoty porovnat s meteorologickými daty. Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, byla k dispozici data z meteorologické stanice v Brandýse nad Labem. Je třeba zmínit, že meteorologická stanice se zjevně nachází na jiném místě (viz 8.2) a teplota mohla být ovlivněna lokálními faktory, avšak trend teploty by měl zůstat přibližně stejný. Data ze stanice byla k dispozici po jednotlivých týdnech vždy v jedné tabulce. Tabulky byly zkopírovány, převedeny do excelu a data synchronizována dle časové osy. Převedena byla pouze nezbytná data pro analýzu, tedy konkrétně data z 20.7.2018 – 31.7.2018.

8.4.2 Příloha 2 - VZT3, letní provoz

Po doplnění informace o poloze ventilu chlazení bylo zřejmé, že ventil chladiče byl plně otevřen, tedy byl požadavek na nejvyšší stupeň chlazení. Z průběhu grafu je patrné, že přenášený výkon chladiče nebyl dostatečný k tomu, aby se dosáhlo žádané teploty na přívodu. Toto platilo pouze do data 23.7.2018, 18:00. Z předešlého plyne, že rozdíl chladicího výkonu mohl být ze dvou důvodů. Teplota chladicího média (vody) nebo její průtok. Vzhledem k faktu, že v létě 2018 probíhaly výměny a opravy některých BCHJ, lze předpokládat, že s největší pravděpodobností teplota chladiva byla vyšší z důvodu odstávky některých BCHJ. Zbývající BCHJ nemusely mít dostatečný výkon k pokrytí potřeby chladu. Jak bylo zřejmé z dat, tento jev byl dočasný. Od 23.7.2018, 18:00 se regulační odchylka žádané teploty na přívodu a skutečné přiváděné teploty minimalizovala. Jak bylo zmíněno v odstavci 4, chladicí výkon klimatizačních zařízení VZT3 a VZT8 je oproti ventilátorovým konvektorům malý. Hlavním chladícím prvkem jsou instalované Fan-coily. Z grafu je patrné, že tato odstávka chladu u VZT3 se nikterak neprojevila na průběhu vnitřní teploty. Potřeba chladu byla s největší pravděpodobností pokryta právě Fan-coily případně vzduchotechnikou VZT8. Je třeba zmínit, že tento jev nastal pravděpodobně v důsledku technického zásahu do systému chlazení a nejedná se tedy o námi hledaný stav, který by indikoval problém vlastní regulace. Tím pádem tento stav nebyl nadále řešen v kapitole 9.

Druhá indikace se týkala čidla venkovní teploty. Z průběhu grafu datových bodů pro venkovní teplotu, teplotu na sání a dat z meteorologické stanice bylo patrné, že jednotlivé trendy byly podobné, až na častý výkyv v pozdních odpoledních hodinách pro datový bod venkovní teploty. Toto mohlo být způsobeno nevhodným umístěním venkovního senzoru teploty. Lze předpokládat, že snímač byl ovlivněn solárními zisky od slunce. Bylo by vhodné zkontrolovat umístění senzoru a případně použít vhodná technická opatření k zabránění toho jevu.

Z porovnání datových bodů zkoumaných teplot šlo vyčíst, že hodnoty dat z meteorologické stanice byly obecně nižší (obzvláště v nočních hodinách) než hodnoty zbylých dvou datových bodů.

Ve výrobní hale je nepřetržitý provoz s velkými vnitřními tepelnými zisky. Lze tedy předpokládat tepelný tok z obálky budovy, obzvláště v noci. Toto mohlo být také důvodem rozdílu hodnot meteorologického měření a čidla venkovní teploty na opláštění haly. Vlastní kontrola čidla byla provedena v kapitole 9.1 (Kontrola umístění senzoru venkovní teploty).

8.4.3 Příloha 3 - VZT3, letní provoz

Z grafu v Příloha 3 je zřejmé, že regulovaná soustava reagovala v létě periodicky obdobně v jednotlivých dnech. Kromě předchozích dvou problému, popsanych výše, by bylo vhodné blíže identifikovat polohu čidla či výpočet teploty v prostoru. Je zřejmý posun hodnot teploty v prostoru a teploty na odtahu.

Prostor je rozdělen na jednotlivé sekce, kde ke každé sekci náleží jedno teplotní čidlo a skupina 3-4 fan-coilů (viz 4.3.). Skupina fan-coilů vždy reguluje na základě hodnoty lokálního čidla teploty. Bylo by vhodné zjistit, zda teplota prostoru je snímána samostatným čidlem, či se jedná o softwarovou hodnotu z více senzoru, podle kterých regulují jednotlivé skupiny fan-coilů. V ideálním případě by tato hodnota mohla být aritmetickým průměrem jednotlivých teplotních čidel, tím bychom získali hodnotu, která by přibližně interpretovala nehomogenní rozdělení teplot ve velké výrobní hale.

Dalším bodem k bližší analýze by mohla být přesnost otevírání cirkulační klapky.

8.5 VZT8 – letní provoz

8.5.1 Příloha 4 – VZT8, letní provoz

Příloha 4 zobrazuje datové body VZT8 ve stejném období, kdy VZT3 měla pravděpodobně snížený výkon chlazení (viz 8.4.2). Z dat je patrné, že u VZT8 je žádaná a skutečná hodnota bez větší regulační odchylky. Lze tedy předpokládat, že odstávka některé z BCHJ se této vzduchotechniky netýkala. Vyplývá to i z umístění jednotlivých zdrojů chladu pro jednotlivá technická zařízení. Datový bod venkovní teploty (N043M006) je společný pro obě vzduchotechnická zařízení. Z tohoto důvodu se možné špatné umístění čidla venkovní teploty projevuje i v datech pro VZT8. Při bližším porovnání dat VZT3 a VZT8, konkrétně datových bodů teploty na sání (viz Tabulka 2), je zřejmé, že jde o totožný datový bod (N037M005). To samé platí pro datový bod teploty za směřováním (N037M000). V případě hodnot teploty na sání by šlo předpokládat, že teplota na přívodním potrubí VZT3 a VZT8 bude přibližně stejná. Sací potrubí pro obě vzduchotechniky se nachází pár desítek metrů od sebe. U VZT8 je ale možný přehřev vzduchu pomocí odpadního vzduchu z výdechu chlazení kompresorů. Z tohoto důvodu je třeba mít dva nezávislé datové body pro teplotu v sání. Lze předpokládat že chyba nastala jen při definování datových bodů pro vizualizační software NovaPro. I přes to by bylo vhodné zkontrolovat samostatný regulační software a případně zjistit správné názvy datových bodů. Z číslování datových bodů plyne, že dva datové body, konkrétně N037M005 a N037M000 patří ke zařízení VZT8. Tato absence datových bodů komplikovala podrobnější analýzu zařízení VZT3. I z tohoto důvodu byly další analýzy prováděny přednostně na zařízení VZT8. Předpokladem bylo, že v případě provedení některých změn za účelem optimalizace zařízení VZT8, půjdou tyto kroky aplikovat ve stejné či obdobné podobě i pro zařízení VZT3. Obě zařízení budou mít téměř totožný regulační software.

Tabulka 2 - Datové body teplot pro VZT3 a VZT8

VZT8		VZT3	
N043M006	T venkovní	N043M006	T venkovní
N037M005	T na sání	N037M005	T na sání
N037M000	T za směřováním	N037M000	T za směřováním
N037M003	T na vodě	N045M004	T na vodě
N037M001	T na přívodu	N045M001	T na přívodu
N041M109	T v prostoru	N048M148	T v prostoru
N037M002	T na odtahu	N045M002	T na odtahu

8.5.2 Příloha 5- VZT8, letní provoz

Na obou grafech VZT8 (Příloha 4, Příloha 5), je na rozdíl od grafů připadajících k VZT3, velice malý rozdíl hodnot u datových bodů teploty v prostoru a teploty na odtahu. Datové body připadající pro tyto vzduchotechniky jsou následující:

- VZT3
 - N048M148 – *T v prostoru*
 - N045M002 – *T na odtahu*
- VZT8
 - N041M109 – *T v prostoru*
 - N037M002 – *T na odtahu*

Je zřejmé, že každé zařízení má právě jeden datový bod. Jak bylo zmíněno v odstavci 8.4.3 bylo by vhodné tyto datové body blíže zkontrolovat, nejvhodnější bude analyzovat přímo regulační software. Vše bude provedeno jak u zbývajících bodů v kapitole 9. Optimalizace regulace.

Na rozdíl od VZT3 je u VZT8 k dispozici datový bod teploty za směřováním. Na grafu (Příloha 5) je patrné, že cirkulační klapka v noci zavírá až při rozdílu teploty odtahu a teploty na sání přibližně 2,5 °C (odečteno z grafu). Lze předpokládat, že zde bude nastavena softwarová hystereze, aby nedocházelo ke častému otevírání a zavírání klapky (kmitání), obzvláště v jarních a podzimních měsících, kdy může venkovní teplota mít značně kolísavý průběh. Teoreticky by zde byl potenciál energetické úspory, a to konkrétně na spotřebě chladu, potažmo úspoře spotřebované elektrické energie BCHJ. Větší potenciál energetické úspory však skýtá v možnosti otevírání cirkulační klapky na více jak 50 %. Podmínky jsou však striktně zadané investorem. I přes nucený odtah z výrobních linek (viz odstavec 4.5) nelze pravděpodobně zaručit únik výparů tavidel z technologie SMT. Z tohoto důvodu byla nařízena minimální intenzita větrání. Hlavní potenciál úspory by byl ve zvlhčování a chlazení/ohřevu přiváděného vzduchu.

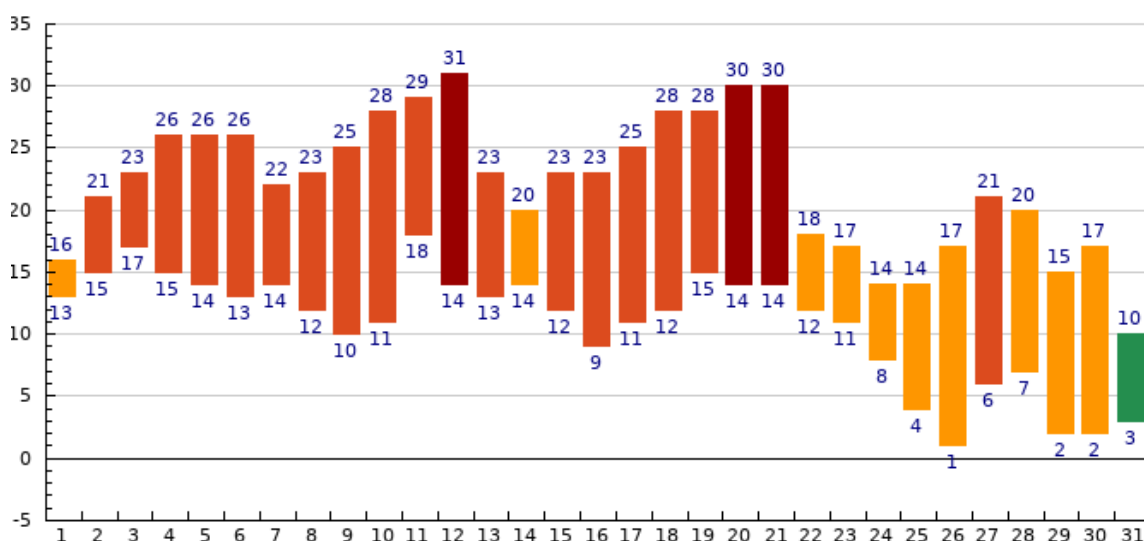
8.5.3 Příloha 6 - VZT8, letní provoz

Po odečtení hodnot z grafů je patrné, že žádaná hodnota měrné vlhkosti na přívodu je 9,5. Hodnota měrné vlhkosti na přívodu do haly je přibližně stejná jako žádaná. Kolem data 22/7/2018 0:00 je patrný malý nárůst přiváděné vlhkosti. Z těchto dat nelze podrobněji určit, čím je tento nárůst způsoben. Zvlhčování adiabatickou pračkou je obecně problematictější regulovatelné. Je závislé na počtu solenoidových ventilů, tím pádem počtů vypínatelných sekcí registrů vstříkovací trysek.

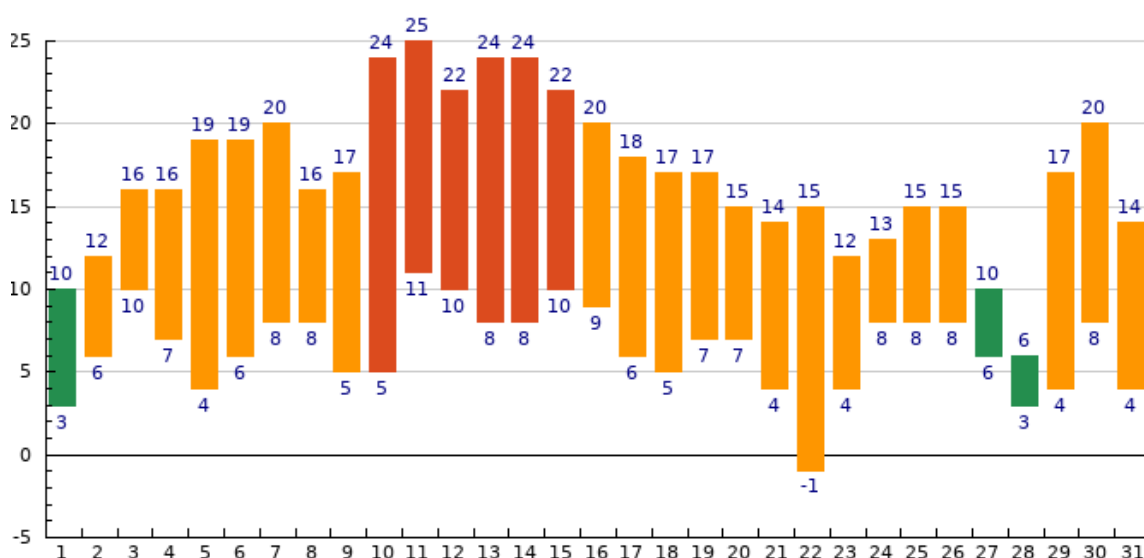
Relativní vlhkost je silně závislá na teplotě, a proto se bude tato práce nejdříve zabývat regulací teploty samotné. V případě zjištěných problémů s regulací teploty v prostoru, je nejdříve tyto problémy nutné odstranit a poté se zaměřit na regulaci relativní vlhkosti. To pravděpodobně nebude však předmětem této práce z důvodu rozsahu tématu.

8.6 Přechodné období

Podobně jako u kapitoly 8.5 bylo nutné najít interval, ve kterém bude analýza daných zařízení probíhat. Přechodné období (jaro či podzim) je na rozdíl od letního období nestálé, co se týče venkovních podmínek. V této době dochází často k velkým výkyvům teplot, obvyklé jsou velké rozdíly mezi denními a nočními teplotami. Z tohoto důvodu patří přechodné období mezi obtížnější, co se týče nároků na regulaci. Hledaný termín měl reprezentovat začátek podzimu, kdy již noční teploty klesají k nule, avšak denní teploty se můžou vyšplhat nad 20 °C. Tyto teplotní výkyvy nejlépe reprezentoval interval od 22.9.2018 do 1.10.2018, kde jsou patrné velké teplotní rozdíly maxim denních a nočních teplot (průměrně 10,3 °C). V těchto dnech lze očekávat, chod nejen chladiče, ale také ohříváče vzduchotechniky. Z důvodů absence některých datových bodů (viz 8.5.1) byla provedena předběžně jen analýza na zařízení VZT8.



Obr. 8.5 - Nejvyšší a nejnižší denní teploty, září 2018, meteostanice Brandýs nad Labem [6]
X= Číslo dne v měsíci září [-]; Y=Denní maxima a minima [°C];



Obr. 8.4 - Nejvyšší a nejnižší denní teploty, říjen 2018, meteostanice Brandýs nad Labem [6]
X= Číslo dne v měsíci září [-]; Y=Denní maxima a minima [°C];

8.6.1 Příloha 7 - VZT8, přechodné období

Z grafu je patrné, že venkovní podmínky druhého podzimního dne vyžadovaly již otevření třicestného ventilu ohřivače. Na první pohled je vidět, že ventil otevírá na téměř 40 % rozsahu (24.9.18; 23:00). Tento skok ovlivní skokově teplotu na přívodu. Obdobná situace je patrná v čase 25.9; 7:30. Důležitý je fakt, že excel pro analýzu dat měl nastavenou synchronizaci v intervalu 30 min. Originální data bodu N037X020 (Ventil ohřevu) se sbírají po intervalu 10 min. Tento zdánlivě okamžitý skok na 40 % by bylo vhodnější zkontrolovat v co nejmenší vzorkovací frekvenci (10 min), kvůli zkreslení.

V intervalu od 3:00 do 7:30 na Příloha 7 je patrný ustálený stav. Ventily chladiče i ohřivače jsou zavřené. V 7:30 přijde povel k ohřevu, ventil opět otevře na 40 %. V tomto samém okamžiku se teplota za směřováním skokově sníží. Při bližším pohledu na teplotu za směřováním je patrné, že teplota značně kmitá. Tento fakt vede k nutnosti zkontrolovat funkci cirkulační klapky.

8.6.2 Příloha 8 - VZT8, přechodné období

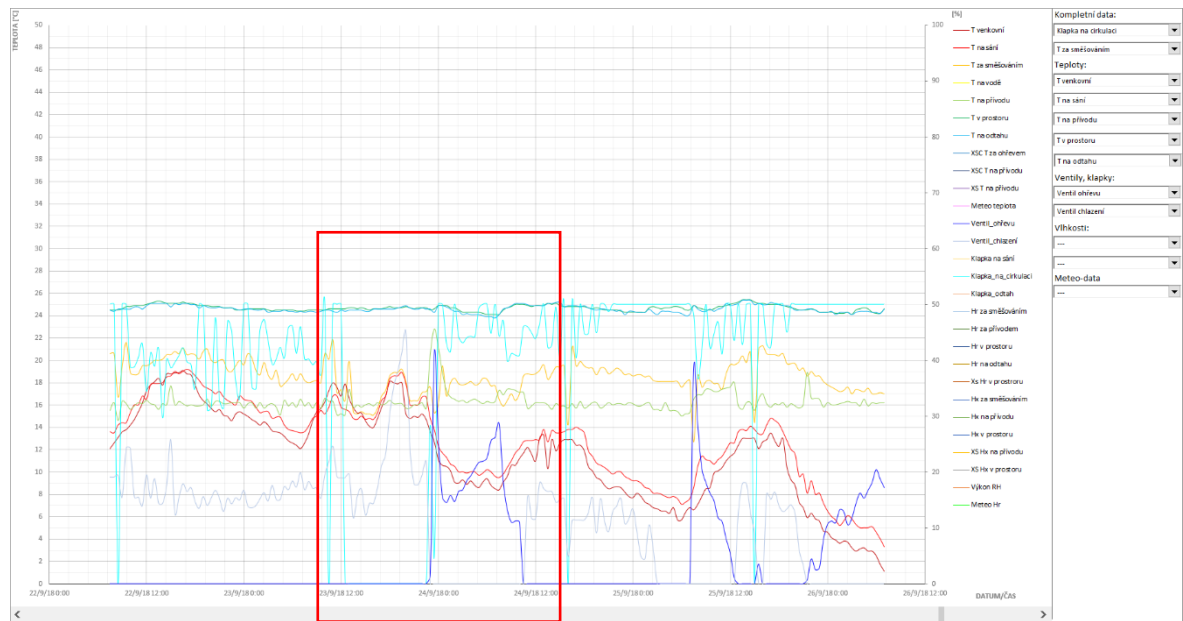
Po zobrazení cirkulační klapky je na grafu vidět značně kmitající průběh tohoto datového bodu. Pro podrobnější kontrolu by bylo vhodné snížit vzorkovací frekvenci. Z datového bodu N036X023 (Klapka na cirkulaci) je zřejmé, že surová data se ukládají po intervalu 10 min, viz Obr. 8.6.

	A	B	C	D	E
40027	22/09/2018	10:30		38,8	
40028	22/09/2018	10:40		35,0	
40029	22/09/2018	10:50		40,8	
40030	22/09/2018	11:00		40,5	
40031	22/09/2018	11:10		41,5	
40032	22/09/2018	11:20		33,9	
40033	22/09/2018	11:30		42,9	
40034	22/09/2018	11:40		34,1	
40035	22/09/2018	11:50		35,7	
40036	22/09/2018	12:00		34,4	
40037	22/09/2018	12:10		33,6	
40038	22/09/2018	12:20		39,7	

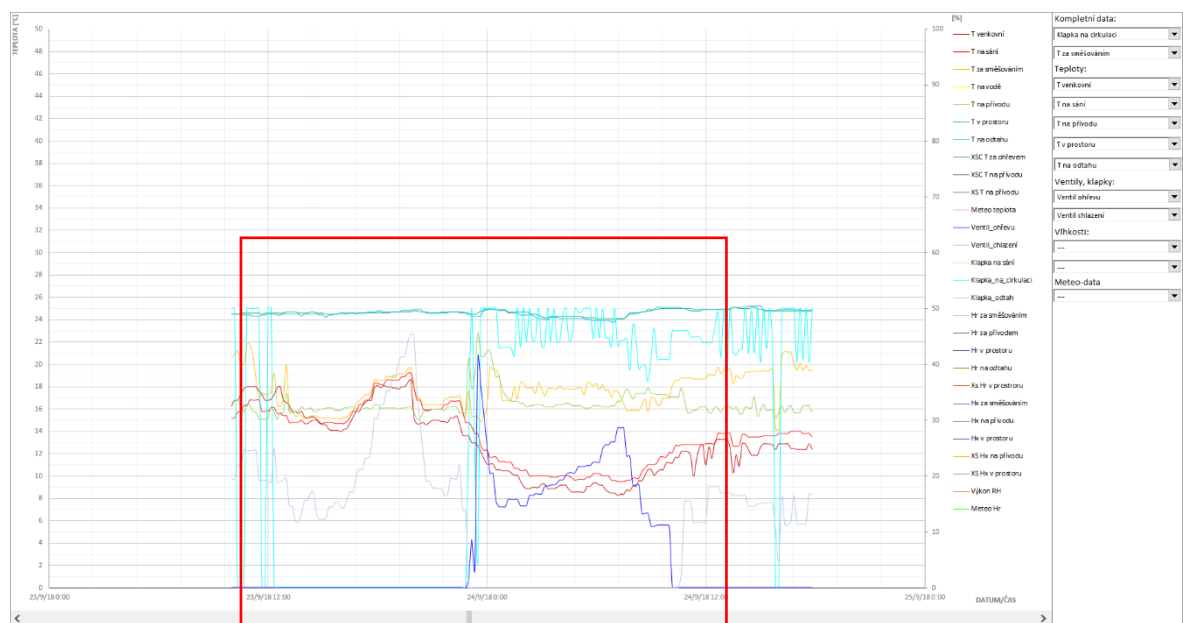
Obr. 8.6 - Surová data, N036X023 – Cirkulační klapka, datum/čas/hodnota natočení (max 100 %)

Jak bylo zmíněno v kapitole 7.3 kvůli omezené výpočetní paměti, byla data v excelu omezena na konkrétní počet řádků. Půlhodinová vzorkovací frekvence byl kompromis mezi možnostmi obsáhnout co nejvíce dní do jednoho souboru (3 měsíce) a možnostmi dostatečně přesně vizualizovat průběhy datových bodů. Obecně u klapky a ventilů byl problém, že regulují často v řádu minut, tím pádem by byla nejvhodnější co nejmenší vzorkovací frekvence. Z tohoto důvodu bylo přechodné období pro určité dny převedeno na interval po 10 min, podrobněji byly zkontrolovány datové body právě

cirkulační klapky a ventilu ohřevu/chlazení. Na následujících obrázcích je znázorněné, jak se liší jednotlivé zobrazení datových bodů pro různě nastavení vzorkovací frekvence. Vždy na každém obrázku je znázorněn v červeném rámečku ten samý časový úsek dat. Na první obrázku je vzorkovací frekvence nastavena na 30 min, na druhém je 10 min.



Obr. 8.7 - VZT8, přechodné období, 30 min vzorkovací frekvence



Obr. 8.8 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence

8.6.3 Příloha 9 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence

Na grafu je patrné, že průběh otevření ventilu ohřevu, se výrazně neliší od průběhu na Příloha 7, kde byla nastavená vzorkovací frekvence 30 min. Z průběhů datových bodů je vidět, že náhlé otevření ventilu ohřevu značně ovlivní teplotu na přívodu. Vznikla větší regulační odchylka mezi žádanou teplotou na přívodu (16 °C) a skutečnou. Na tento fakt pravděpodobně reaguje cirkulační klapka, která se snaží teplotu snížit tím, že zavírá. Vzhledem k tomu, že teplota na sání je nižší než na odtahu z prostoru, tak klapka reaguje sice správně, ale bude mít pravděpodobně nevhodně nastavené PI konstanty. Proto mohlo dojít k jejímu rozkmitu. Bude třeba zkontrolovat nastavení proti mrazové ochrany u ohřívače a nastavení hodnot regulátoru pro cirkulační klapku a v jakém vztahu co se týče regulace jsou.

8.6.4 Příloha 10 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence

Stav v této příloze byl popsán v odstavci 8.6.1, zde byla opět zvolena nižší vzorkovací frekvence, pro lepší přehlednost datových bodů. Z průběhu otevření ventilu na ohřívači je patrný obdobný stav, který byl popisován v předchozím odstavci. V tomto grafu je navíc zobrazena teplota na zpátečce (T na vodě, žlutá). Při náhlém otevření ventilu ohřívače se pohybovala teplota na zpátečce téměř na 16°C. To by v zimních měsících mohla být bezpečná hodnota pro povel k otevření ventilu, jako ochrana proti případnému zamrznutí ohřívače. Následuje opětné rozkmitání cirkulační klapky. K podrobnější analýze bude potřeba kontrola regulačního software, obzvláště tedy kontrola nastavení a principu ochrany proti zamrznutí ohřívače. Další veličinou, která ovlivňuje teplotu na přívodu je rovněž nastavení klapky pro předehřev vzduchu na sání VZT8. Tento bod by bylo rovněž vhodné zanést do grafu, pokud bude dostupný v databázi. Dalším vhodným datovým bodem byla teplota na sání před klapkou pro předehřev vzduchu, pokud tento bod bude dostupný. Lze předpokládat, že pro regulaci otevírání klapky je měření této teploty potřebné.

8.7 Zimní období

V předchozích odstavcích bylo popsáno chování klimatizačních jednotek VZT3 a VZT8 pro letní a přechodné období. Z důvodu rozsahu práce a absence některých důležitých datových bodů vlivem chyby ukládání dat, nebylo zimní období analyzováno. Lze však očekávat, že případně chyby v regulaci se v tomto období projeví obdobně jako při nízkých teplotách přechodného období. Vhodně by bylo do budoucna analyzovat chování klimatizačních jednotek v extrémních mrazech. Zde by mohly být nalezeny dodatečné stavy, které by vyžadovali zásah do regulačního software.

8.8 Shrnutí analýzy dat

V předchozích odstavcích kapitoly 8 byly analyzovány klimatizační jednotky VZT3, VZT8 a jejich návaznosti. Každý graf (Příloha 1až Příloha 10) na konci práce byl okomentován. Cílem analýzy bylo najít problematická místa. Tato místa byla charakterizována a popsána. Nebyla však provedena podrobnější kontrola. Důkladnou kontrolou a rozбором popsaných míst, se zabývá následující kapitola č.9. Pro přehlednost jsou pod tímto odstavcem zopakovány body, kterých se podrobnější analýza bude týkat:

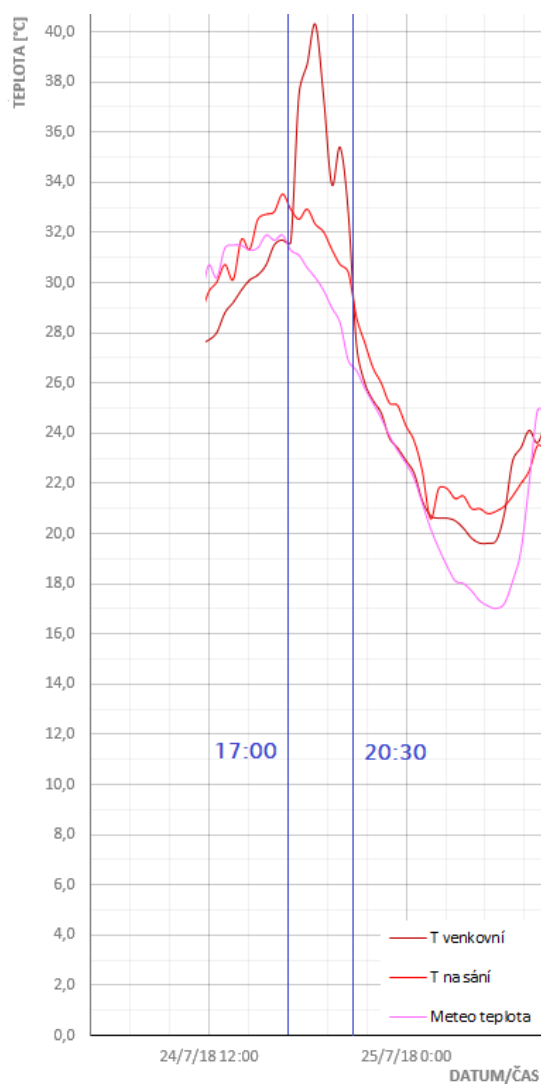
- *kontrola umístění senzoru venkovní teploty (N043M006),*
- *kontrola hardwarového, případně softwarového řešení teploty prostoru a odtahu pro VZT3, porovnání s VZT8,*
- *zkontrolovat logiku otevírání cirkulační klapky (VZT3/VZT8),*
- *kontrola směšovací klapky, předeřev od kompresorů (VZT8),*
- *zkontrolovat logiku ventilu ohřevu, protimrazová ochrana.*

9. Optimalizace regulace

Rozbor problematických míst, byl proveden ve stejném pořadí, jak byly zmíněny v odstavci 8.8.

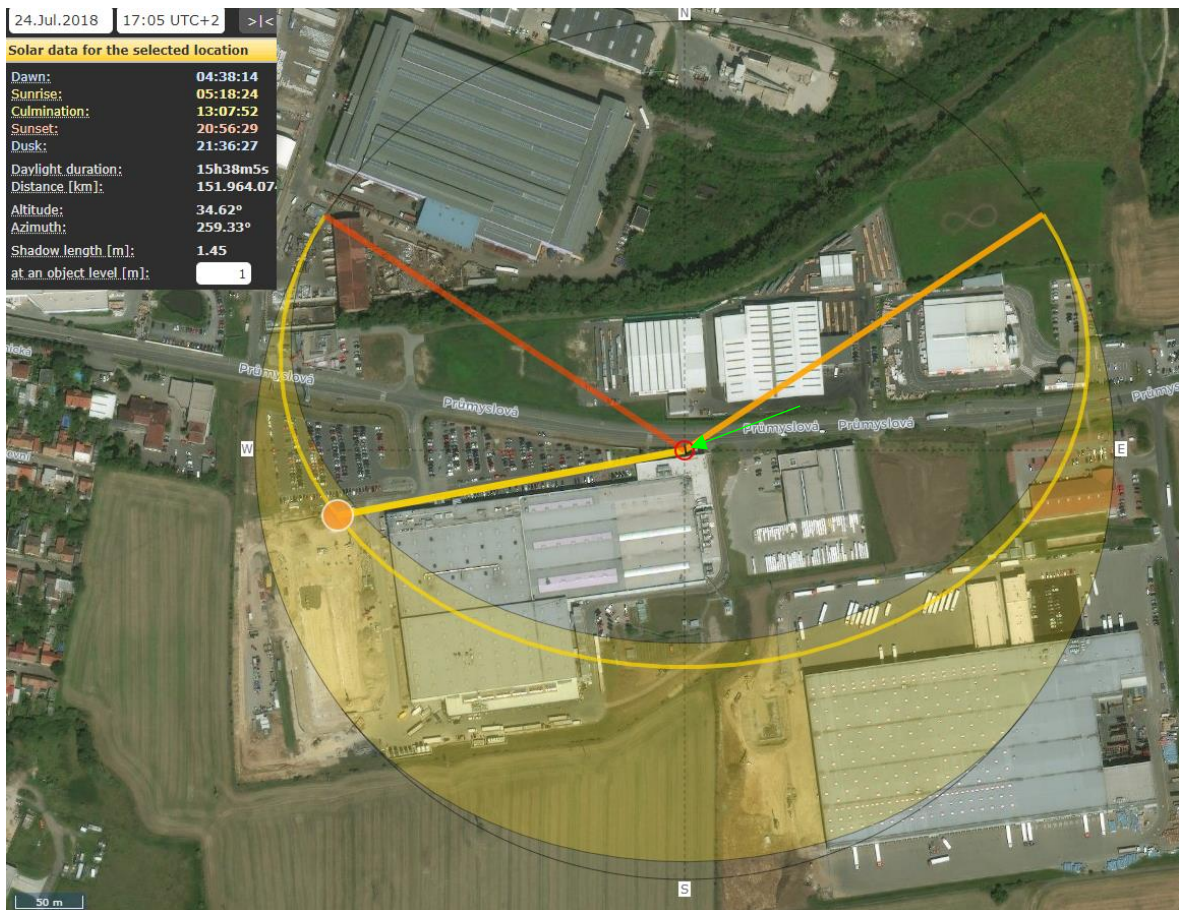
9.1 Kontrola umístění senzoru venkovní teploty

Dle zjištěných dat, byl senzor venkovní teploty (datový bod *NO43M006*) patrně ovlivňován solárními zisky od Slunce. Tento stav měl nastávat pozdní odpoledne okolo 16:00-17:00 letního času (červenec 2018). Jako nástroj pro vizualizaci pohybu slunce vůči umístěnému čidlu nám poslouží volně dostupný program SunCalc¹⁵. Tento velice silný nástroj umožňuje s velkou přesností vizualizovat polohu slunce pro jakékoliv zeměpisné souřadnice, téměř libovolného data a času (od roku 1499 př. n. l. do 3000 n. l.). Jako referenční datum bylo zvoleno 24.7.2018 (viz. Příloha 1a Příloha 2), kde je patrný velký nárůst měřené teploty v čase 17:00 – 20:30. Čas byl odečten podobněji dle datových bodů z excelu. Vše je patrné na následujícím obrázku:



Obr. 9.1 - Nárůst měřené venkovní teploty, 24.7.2018

¹⁵ <https://www.suncalc.org>



Obr. 9.2 - Poloha slunce, měření venkovní teploty [7]

Červeným středem na Obr. 9.2 je přibližně definována poloha senzoru pro měření venkovní teploty. Obrázek znázorňuje dráhu oběhu slunce dne 24.7.2018, kde světle oranžová čára vpravo reprezentuje východ slunce, žlutá čára aktuální polohu slunce v čase (17:05 UTC+2) a tmavě oranžová označuje západ slunce. Z průběhu slunce po obloze je patrné, že po 17:00 vyjde slunce zpoza rohu výrobní haly a jeho paprsky začínají dopadat na čidlo venkovní teploty. Tento jev trvá až téměř do západu (20:30), kdy je Slunce nízko nad obzorem a patrně zajde za přilehlou stodolu. Z obrázku je též patrné, že by sluneční paprsky mohly ovlivnit měřenou venkovní teplotu i při východu. Při bližším pohledu na data je občas zřejmý opakovaný nárůst teploty v ranních hodinách (viz Příloha 11, modré šipky). Z dat z průběhu roku je zřejmé, že nárůst měřené teploty v odpoledních hodinách díky solárním ziskům může být až o 10°C. Vzhledem k zeměpisné poloze lze tento jev dle dostupných dat ze softwaru SunCalc očekávat od druhé poloviny měsíce března do začátku října.

9.1.1 Závěr kontroly umístění senzoru venkovní teploty

V této kapitole byla provedena kontrola umístění senzoru měřící venkovní teplotu. Poloha čidla je patrná z Obr. 9.4, snímek je focen ve směru zelené šipky na Obr. 9.2. Z naměřených a zpracovaných dat vyplynulo, že senzor teploty je v pozdních odpoledních hodinách ovlivňován solárními zisky. Na základě zjištěných faktů by bylo vhodné opatřit čidlo radiačním zákrytem či zvolit jinou koncepci umístění čidla. Základní typ radiačního zákrytu je na Obr. 9.3.¹⁶ Správnou instalací krytu by byl vliv solárních zisků značně kompenzován. Z Obr. 9.4 je také patrné nevhodné umístění osvětlení v blízkosti senzoru teploty. Lze předpokládat, že toto osvětlení většího výkonu svítí převážně v noci, kdy může mít vliv na měřenou teplotu (viz 8.4.2, třetí odstavec).



Obr. 9.4 – Umístění venkovního čidla;
6.4.2019; 16:32



Obr. 9.3 – Radiační zákryt¹⁶

¹⁶ <https://www.meteostanice.cz>

9.2 Kontrola teploty prostoru a odtahu pro VZT3 (VZT8)

Jak bylo zmíněno v 8.5.2 teploty v prostoru a na odtahu jsou pro VZT3 a VZT8 samostatné datové body:

- VZT3
 - N048M148 – T v prostoru
 - N045M002 – T na odtahu
- VZT8
 - N041M109 – T v prostoru
 - N037M002 – T na odtahu

Bylo zjištěno, že teplota v prostoru (N048M148) u zařízení VZT3 byla rozdílná přibližně o 1 °C od teploty na odtahu (N045M002). U VZT8 se tyto dva datové body měly přibližně desetkrát menší diferencí (cca 0,1 °C) a dají se považovat za shodné, pro danou potřebu použití.

Vše je názorné na následujících dvou obrázcích, kde po porovnání byla vybrána pouze data teploty v prostoru a teploty na odtahu. Jako poslední datový bod, který slouží k vizuální synchronizaci je zobrazena venkovní teplota z meteorologické stanice. Oba grafy níže zobrazují shodný interval, první náleží zařízení VZT3, kde je patrný popisovaný posun hodnot teplot. Druhý zobrazuje zařízení VZT8, kde, jak bylo zmíněno, lze teploty brát za shodné.:



Obr. 9.5 - Porovnání teploty v prostoru a na odtahu, VZT3



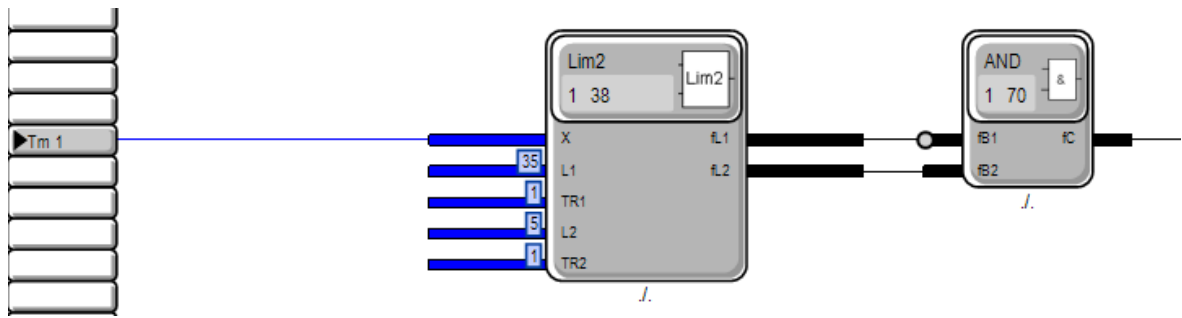
Obr. 9.6 - Porovnání teploty v prostoru a na odtahu, VZT8

9.2.1 Kontrola teploty prostoru VZT8

Pro zjištění této příčiny, bylo nutné blíže analyzovat regulační software. Jako první bylo zkontrolováno zařízení VZT8, u kterého se předpokládalo, že datové body teplot, byly správně. Bylo zjištěno, že teplota na odtahu (NO37M002) je měřena odporovým teplotním čidlem PT1000. Odporové čidlo bylo napojeno přímo do automatizační stanici (AS37) na svorky č.5 a 6. Nemělo nastavený žádný násobitel ani korekci nulového bodu. Lze předpokládat, že toto čidlo měří správně.

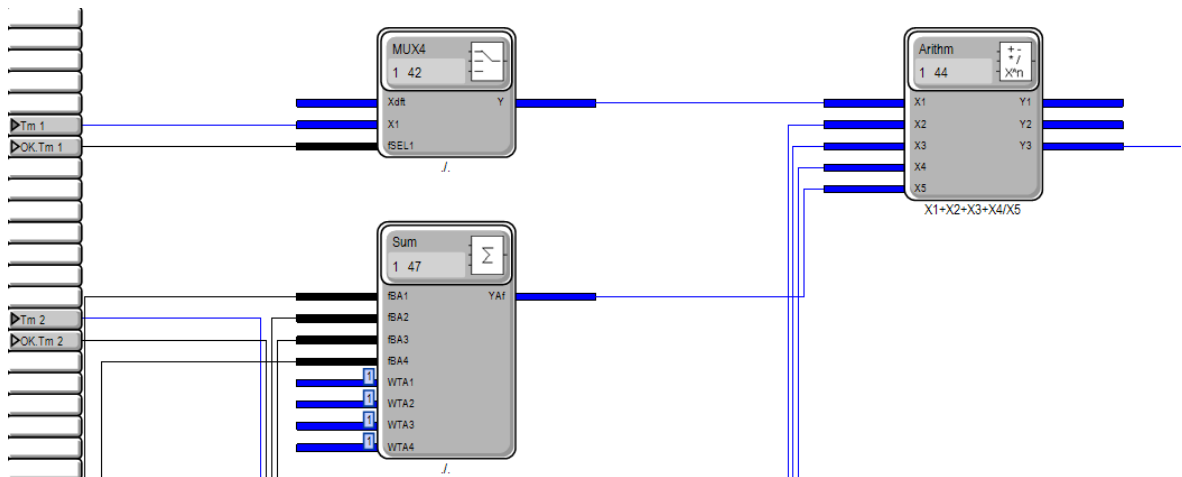
Následovala kontrola teploty v prostoru (NO41M109). Datový bod NO41M109 nelze dohledat ve stejné automatizační stanici (AS37). Toto je patrné i z názvu datového bodu, kde tři číslice za písmenem „N“ označují číslo automatizační stanice. Teplota v prostoru příslušící VZT8 se nachází v automatizační stanici AS41. Tato automatizační stanice ovládá primárně chod Fan-coilů pro sekce 1-4. Hala je rozdělena na celkem 8 sekcí. Každou sekci reprezentuje právě jedno teplotní čidlo a k němu je přidělena skupina Fan-coilů (podrobněji viz 4.3). Z těchto teplotních, konkrétně odporových senzorů Ni1000 pro sekce 1-4, je vytvořen zmiňovaný aritmetický průměr. Tato hodnota je definována jako datový bod NO41M109.

V případě, že by jedno či více z teplotních čidel neměřilo správně, mohlo by dojít k tomu, že tato nesprávně naměřená hodnota (např. 300 °C) by značně ovlivnila výsledek aritmetického průměru. S tímto faktem je třeba při používání této matematické operace počítat. Regulační software má následující mechanismus, který z velké části toto eliminuje. Před vlastním blokem aritmetického průměru je následující logika (Obr. 9.7 a Obr. 9.8).



Obr. 9.7 - Logika, teplota v prostoru,

Hodnota teploty ze sekce 1 ($Tm1$) je zavedena do bloku $Lim2$. Mezní hodnoty $L1$ a $L2$ jsou nastaveny na 35 (°C) respektive 5 (°C). V tomto případě software nepracuje s jednotami, číselné hodnoty však reprezentují teplotu v °C. V případě překročení teploty nad 5 dojde ke změně hodnot na výstupu $fL2$ z 0 na 1. To samé platí pro výstup $fL1$ pro hodnotu 35. Následný logický blok AND má vstup $fB1$ negovaný (šedé kolečko). Tato logika zapříčiní, že na výstupu fC bloku AND bude jednička v případě, že čidlo ukazuje v rozmezí teplot 5-35°C.



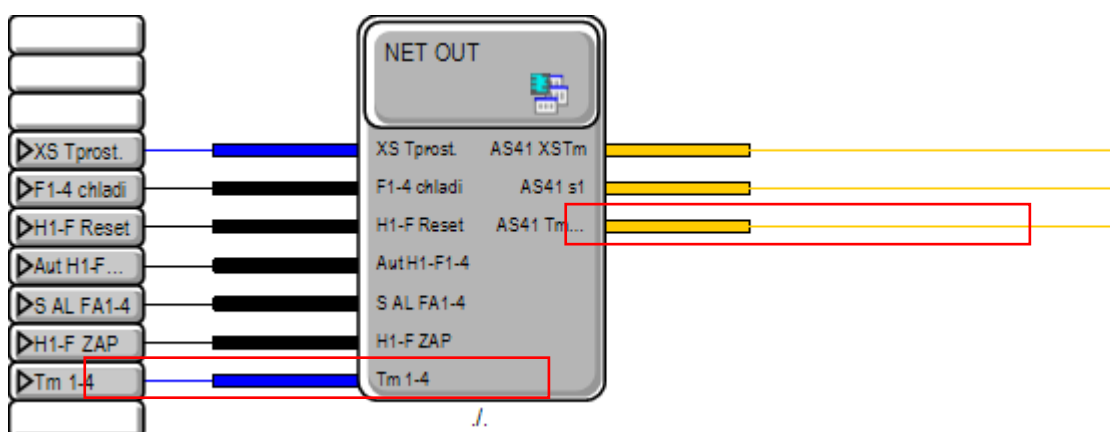
Obr. 9.8 - Logika, teplota v prostoru

Výstup fC z bloku AND (Obr. 9.7) je pojmenován jako „OK $Tm 1$ “. Na následujícím obrázku je hodnota použita a zavedena do bloku přepínače $MUX4$. Jestliže je na svorku $fSEL1$ bloku $MUX4$ přivedena logická 1, přepínač je přepnut do polohy svorky $X1$, kde je zavedena měřená teplota $Tm1$. V případě, že na svorce $fSEL1$ nastane logická 0, tedy v případě, že měřená teplota není v rozsahu hodnot 5-35, přepínač $MUX4$ přepne do výchozí svorky $Xdft$. Tato svorka je nastavena na hodnotu 0. Na výstupní svorce Y u bloku $MUX4$, nastanou tedy dvě možnosti. V případě že čidlo měří v rozsahu, na svorce bude aktuální měřená teplota. V případě, že čidlo je mimo rozsah, na výstupu bude 0. Tato logika je provedena stejně u všech ostatních měřených teplot ($Tm2$, $Tm3$, $Tm4$).

Všechny výstupy ze čtyř přepínačů typu $MUX4$, jsou zavedeny do bloku s názvem $Arithm$ na svorky $X1-X4$. Tento blok provádí aritmetický průměr. V případě nefunkčnosti některého z čidel, přijde na danou svorku hodnota 0 a v čitateli pro výpočet aritmetického průměru se toto čidlo nezapočítá. Ve jmenovateli aritmetického průměru, je však toto nefunkční čidlo třeba také odečíst. Toto je ošetřeno blokem pro

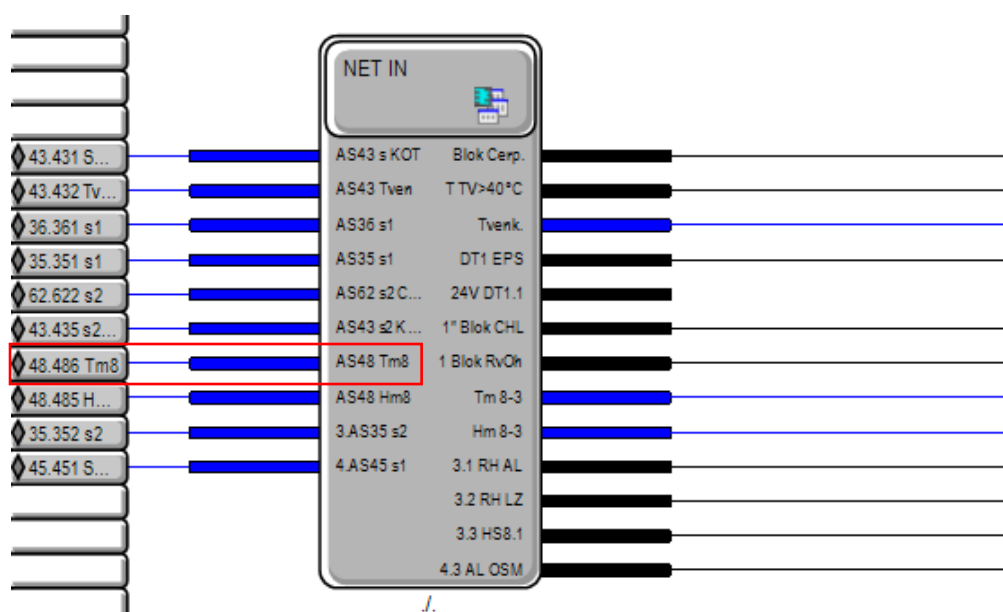
součet *SUM*, kde jsou sečteny logické stavy (0 nebo 1) všech funkčních čidel. Suma z tohoto bloku je přivedena na poslední pátou svorku *X5* bloku *Arithm*. Pátá svorka je hodnota jmenovatele pro výpočet aritmetického průměru. Výstupem z bloku *Arithm* je průměrná hodnota teploty ve stupních Celsia všech funkčních teplotních čidel ze sekcí 1-4. Funkčním čidlem se rozumí čidlo, jehož odpor odpovídá 5-35 °C. Tato logika nezabraňuje stavu, když by jednotlivé čidlo bylo posunuté o jednotky stupně Celsia.

Výstupem z logického schéma popsaného výše je teplota s názvem „*Tm1-4*“. Tato hodnota je poslána na síť, pomocí bloku *NET OUT*, aby byla k dispozici ostatním automatizačním stanicím, je poslána pod názvem „*AS41 Tm1-4*“ (viz Obr. 9.9).



Obr. 9.9 - Distribuce datového bodu *Tm1-4* na síť

Předpokladem bylo, že datový bod *N041M109 (AS41 Tm1-4)* půjde dohledat v automatizační stanici *AS37* pro regulaci *VZT8*. Jak bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, do *AS37* je přímo zapojena pouze teplota na odtahu (*N037M002*), informaci o teplotě v prostoru musí tedy získávat ze sítě, z jiné automatizační stanice. Při kontrole datových bodů, které *AS37* získává ze sítě (viz Obr. 9.10) zde žádný datový bod nebyl z *AS41*.



Obr. 9.10 - *AS37*, datové body získávané ze sítě

Při následné analýze bylo zjištěno, že pro vlastní regulaci je použita hodnota z AS48 pod názvem *Tm8* (viz červený rámeček na Obr. 9.10). Tato hodnota je získávána aritmetickým součtem teplotních čidel, které byly dříve součástí systému vlhčení. Tento systém, se v hale již nepoužívá, avšak některé jeho části nebyly doposud demontovány. Tento datový bod má číslo *N48M147*. Dle nastavení analogového vstupu se jedná o odporové senzory typu *PT1000*. Aritmetický součet je proveden ze tří teplotních čidel se stejnou logikou popsanou pro datový bod *N041M109*. Tento bod bohužel není ukládán do databáze, nelze tedy porovnat jeho rozdíl od ostatních datových bodů.

Bylo zjištěno, že datový bod teploty prostoru pro VZT8 (*N041M109*), je používán jako hodnota pro vizualizaci, nikoliv pro vlastní regulaci. Tento datový bod je zároveň ukládán do databáze a je získáván aritmetickým průměrem z teplotních čidel, které se používají pro regulaci fan-coilů, konkrétně pro sekce 1-4 haly H1. Pro vlastní regulaci systému VZT8 se používá datový bod *N48M147*. Tento bod reprezentuje teplotu prostoru na základě aritmetického průměru z čidel starého systému vlhčení haly. Důvod proč se používá právě tento datový bod může být následující. Pro regulaci VZT8 je nezbytné i měřit vlhkost v hale. Čidla, které zbyla po starém systému vlhčení dokáží měřit teplotu, ale zároveň i vlhkost. Dále vzhledem k faktu, že se datový bod *N48M147* neukládá do databáze, nelze říci, které čidlo teploty by bylo vhodnější pro regulaci.

9.2.2 Kontrola teploty prostoru VZT3

Teplota na odtahu pro VZT3 je měřena stejným typem čidla jako u VZT8 (*PT1000*). Tento senzor je připojen přímo do automatizační stanice pro VZT3 (*AS45*). Teplota v prostoru (*N048M148*) je použita pro regulaci a na rozdíl od VZT8 i pro vizualizaci. To může být důvod, proč je u VZT3 a VZT8 patrný rozdíl teploty v prostoru a teploty na odtahu. Datový bod teploty v prostoru *N048M148* je získáván stejným způsobem jak datový bod *N048M147* pro VZT8.

9.2.3 Závěr kontroly teplot prostoru VZT3 a VZT8

Pro určení nejlepšího možného řešení by bylo vhodné vytvořit nový datový bod *N041Mxxx*, který by reprezentoval aritmetický průměr z teplotních čidel fan-coilů pro sekce 5-8. Dále by bylo třeba povolit ukládání do databáze pro datové bod *N48M147* a vytvořeného *N041Mxxx*:

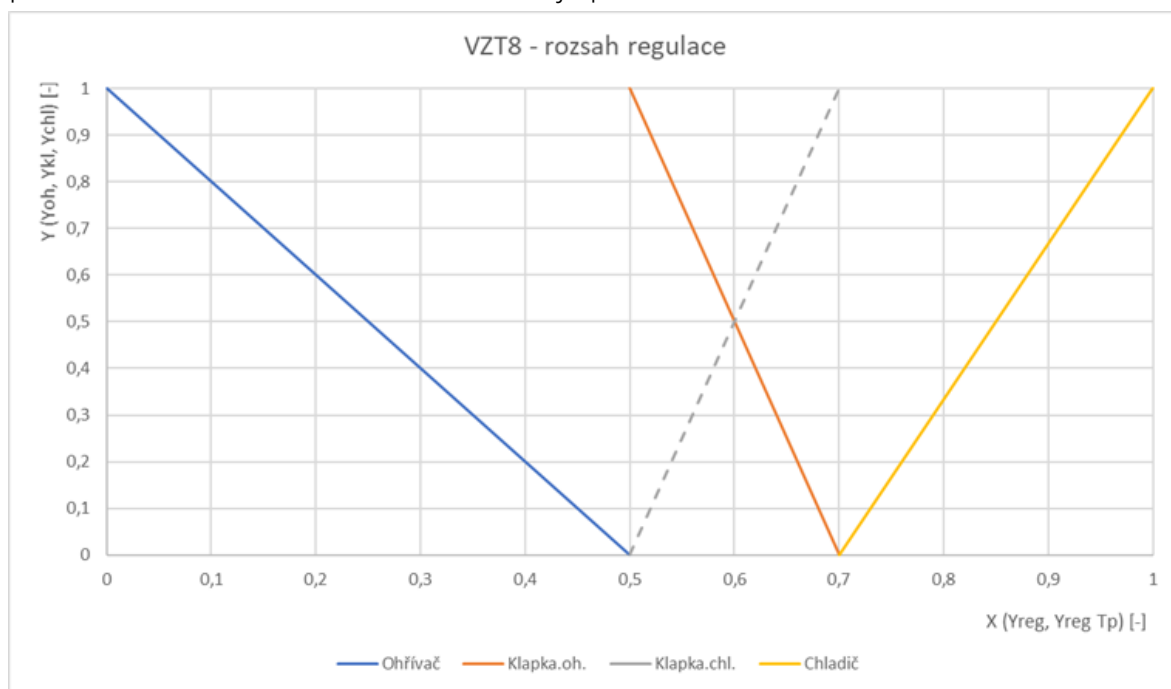
- VZT3
 - *N048M148* – *T* v prostoru (průměr z teplot čidel FCU),
 - *N041Mxxx* – *T* v prostoru (průměr z čidel, staré chlazení),
 - *N045M002* – *T* na odtahu,
- VZT8
 - *N48M147* – *T* v prostoru (průměr z teplot čidel FCU),
 - *N041M109* – *T* v prostoru (průměr z čidel, staré chlazení),
 - *N037M002* – *T* na odtahu.

Porovnáním předešlých datových bodů a nezávislým kalibrovaným měřením v hale, by se definoval neoptimálnější datový bod, pro měření teploty v prostoru. V případě, že by nejlépe vyšly datové body teplot z čidel od fan-coilů, stačilo by přepsat pouze adresy v regulačním software a v software pro vizualizaci. Kombinovaná čidla teploty a vlhkosti ze starého systému vlhčení by zůstala pouze pro měření vlhkosti. Tato úprava by tedy nevyžadovala žádné finanční zásahy ze strany investora.

9.3 VZT3/VZT8 – Kontrola logiky otevírání cirkulační klapky

Cílem kapitoly byla kontrola logiky otevírání cirkulační klapky (klapky na přívodu a odtahu) a jejich celkového nastavení, ochrana proti zamrznutí, předešlých od kompresorů (VZT8).

Kontrola byla provedena u zařízení VZT8, kde byly k dispozici veškeré datové body všech tří klapek (cirkulační, přívod, odtah). Pro obecnější přehled byla nejdříve dána cirkulační klapka v souvislosti s ohříváčem a chladičem, vzhledem k tomu, že se jedná o prvek, kterým lze regulovat teplotu, případně vlhkost. Z regulačního software byla patrna následující závislost výstupu ze softwarového regulátoru (osa X) na analogové povely jednotlivých akčních členů (osa Y). V případě ohříváče a chladiče se jednalo o otevření třicestného ventilu (viz Obr. 9.11), tím pádem regulaci přenášeného výkonu (tepla/chladu). Pro případ cirkulační klapky šlo o úhel natočení. U cirkulační klapky lze také měnit softwarově směrnici přímky z kladné na zápornou, a naopak v závislosti na podmínkách popsanych níže v odstavci. V případě, že na výstupu regulátoru je hodnota 0, jedná se o potřebu nejvíce ohřívát vzduch, v ideálním případě je plně otevřen ventil ohříváče, cirkulační klapka je plně zavřena/otevřena a ventil chladiče je zavřen. Naopak při výstupu hodnoty 1, je potřeba nejvíce chladu. Analogicky je ventil ohříváče plně zavřen (v ideálních podmínkách), cirkulační klapka je plně zavřena/otevřena a ventil chladiče je plně otevřen.

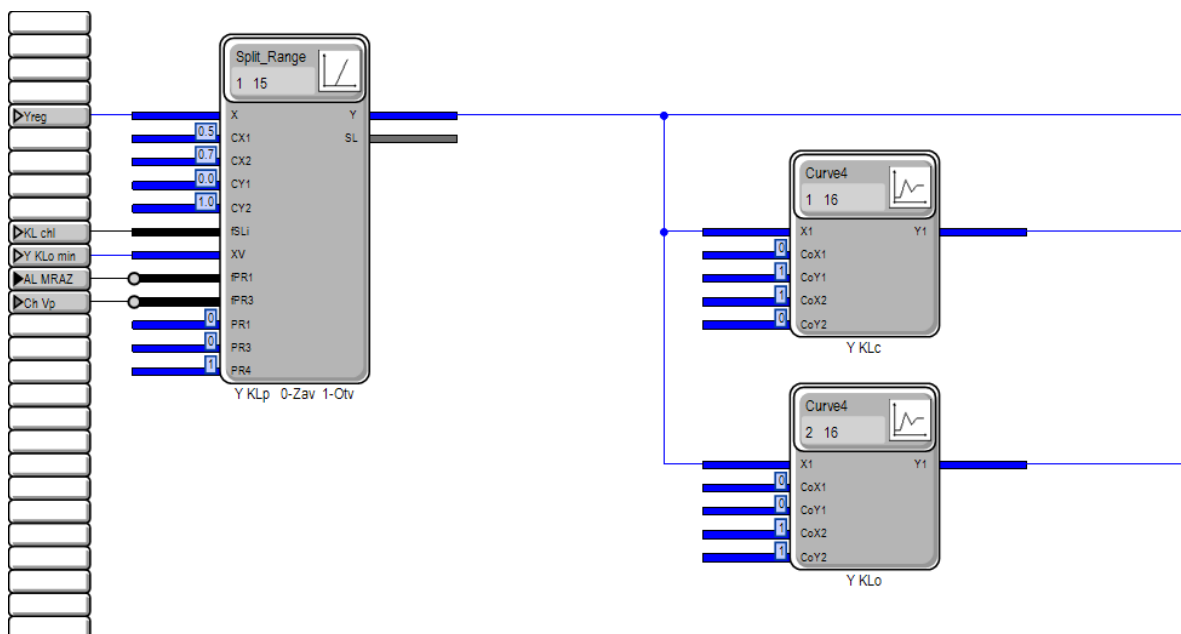


Obr. 9.11 - Regulace teploty, VZT8

Nejprve byla zkontrolována vlastní regulace klapek a jejich podmínky otevření/zavření. Na následujícím obrázku (Obr. 9.12) se nachází blok *Split_Range*. Vstupem do bloku je výstup z předešlého regulátoru Yreg, kontrola vlastní logiky regulátoru byla případně provedena později. Výstupem z bloku *Split_Range* je spojitá hodnota, dle které jsou regulovány pohony klapek. Analogová hodnota může být na konci upravena v závislosti na typu pohonu (standartně 0–10 V (0–100 %) na výstupu z AS, zatímco software pracuje s bezrozměrnými hodnotami 0-1). Datové body klapek mají následující adresy:

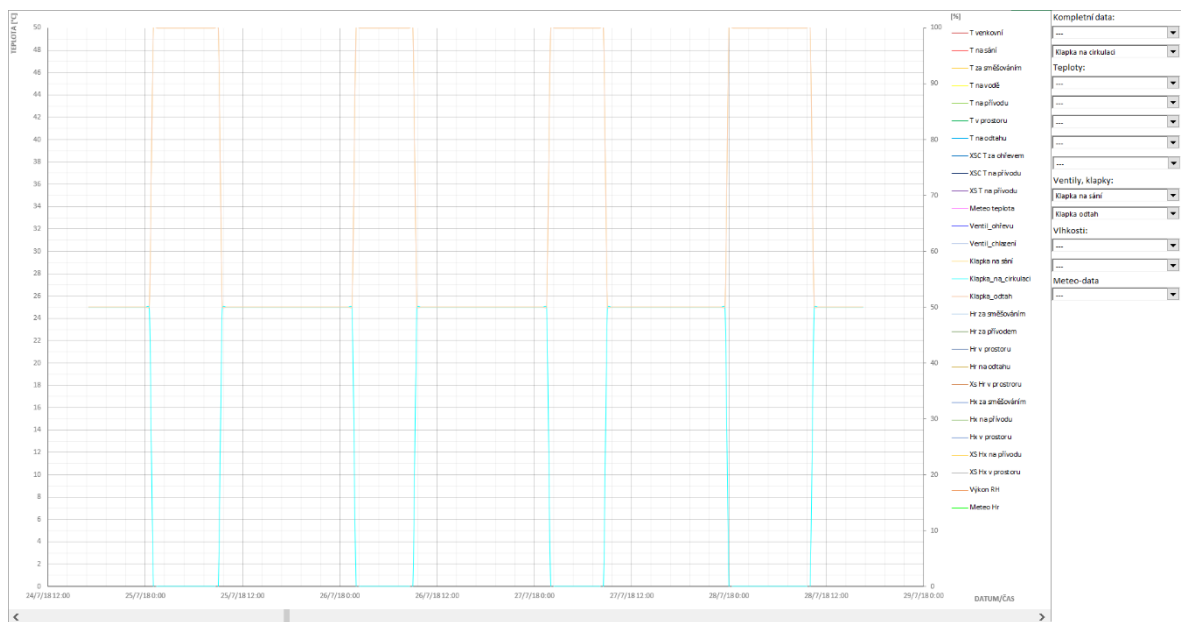
- o N037M022 – klapka na sání,
- o N036X023 – klapka na cirkulaci,
- o N036X024 – klapka na odtahu.

Z názvu datových bodů je zřejmé, že pouze klapka na sání je přímo zapojena na automatizační stanici, která ovládá VZT8 (AS37). Zbylé dvě jsou napojeny na AS36. Důvod je zřejmý z regulačního software pro VZT8. Dle popisu AS37, se jedná o stanici typu *nova220 EY3600* od firmy Sauter. Tato na dnešní dobu stará stanice má pevné, hardwarově dané osazení vstupů a výstupů. Pro analogové signály jsou k dispozici čtyři napěťové výstupy (0–10 V) a dva kombinované výstupy (0–10 V; 0–20 mA), celkem tedy šest analogových výstupů. Vzhledem k tomu, že těchto šest výstupů již bylo plně obsazeno ostatními potřebnými komponenty pro VZT8, tak bylo potřeba využít jinou automatizační stanici. Data od klapek na cirkulaci a odtahu, jsou poslána na síť obdobně jako na Obr. 9.9. Následně jsou zpracována stanicí AS36, která měla pravděpodobně neobsazené alespoň dva výstupy. Právě tyto dva volné výstupy jsou použity pro regulaci klapek patřící zařízení VZT8.



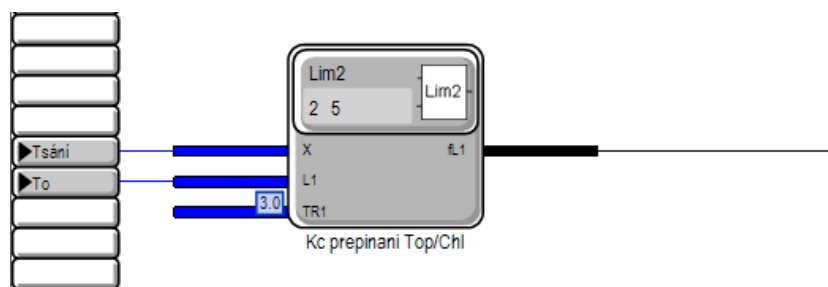
Obr. 9.12 - Regulace klapek VZT8

Výstup z bloku *Split_Range* je rozdělen na tři softwarové větve (Obr. 9.12). První shora jde přímo na výstup *AO22* datového bodu *NO37X022*, jedná se o klapku na sání. Na druhé větvi od shora je vřazen blok *Curve4*. Tento blok převrací hodnoty pomyslně zrcadlově vůči ose X (případně hodnotě, na kterou je nastaveno zavření klapky). Třetí regulační větev má opět vřazen blok *Curve4*, který je však zde nepotřebný, bude se pravděpodobně jednat o univerzální schéma. Jeho nastavení hodnot s danou křivkou nic nemění. Lze konstatovat, že všechny tři klapky jsou regulovány spolu. Pouze u klapky na cirkulaci je otočen smysl vůči klapkám na sání a odtahu. Vše je názorné na obrázku níže, datové body klapky na sání a odtahu se překrývají a klapka na cirkulaci se otevírá a zavírá v opačném smyslu. Tímto je dosaženo stejného průtoku vzduchu na přívodu (při konstantní hustotě vzduchu).



Obr. 9.13 - Klapky VZT8

Na svorkách *CX1*, *CX2*, *CY1* a *CY2* bloku *Split_Range* (Obr. 9.12), je omezení regulačního rozsahu. Klapka mění polohu pouze v intervalu výstupu regulátoru 0,5–0,7 (*CX1*–*CX2*). Povelový výstup na pohon klapky je v rozsahu 0–1 (*CY1*–*CY2*). Vše je patrné z Obr. 9.11. Svorka *fSLi* slouží k otáčení smyslu (znaménka směrnice) přímky. Na Obr. 9.11 mají série „Ohříváč“ a „Klapka.oh“ inverzní smysl (zápornou směrnici). Definice podmínek a jejich nastavení, kdy klapka otáčí svoji funkci, může mít vliv na případné kmitání klapky, a proto bude vstup *KL chl* na svorku *fSLi* zkontrolován podrobněji.

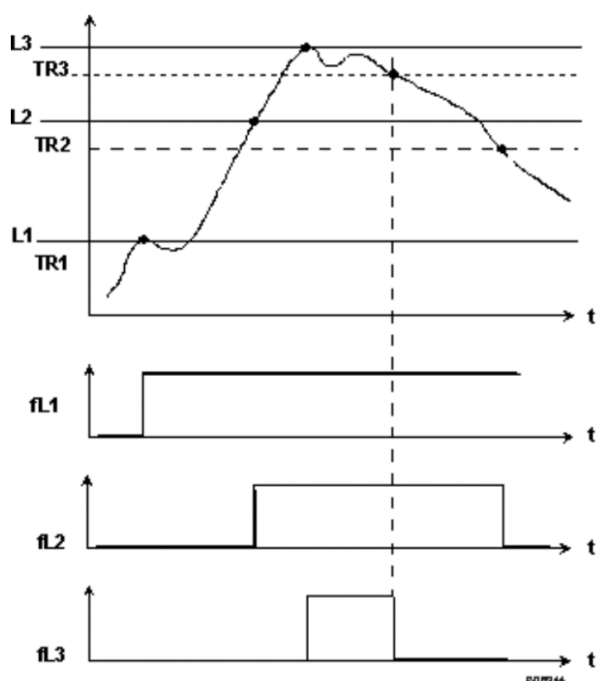


Obr. 9.14 - Logika přepínání smyslu cirkulační klapky

Půjdeme-li zpátky proti směru svorky *KL chl.* narazíme na blok *Lim2* (Obr. 9.14). Funkce bloku *Lim2* byla popisována již pod Obr. 9.7. V případě že teplota na sání bude vyšší než teplota na odtahu, příznak limity *L1*, svorka *fl1*, změní logickou hodnotu na 1. Tato jednička je pod názvem *KL chl* přivedena na již popisovaný blok *Split_Range* na svorku *fSLi*, tímto dojde ke změně strmosti. Smysl otáčení funkce klapky je tedy závislý pouze na teplotě na sání a teplotě na odtahu. Teplota na odtahu je datový bod *NO37M002* (viz 9.2.3) a teplota na sání je datový bod *NO37M005*. Jak bylo zmíněno VZT8 má možnost předeřevu odpadním vzduchem z chlazení kompresoru. Senzor teploty na sání se nachází až za směšovací klapkou od ZZT, pro účel změny strmosti, je tedy na správném místě. Vlastní kontrola směšovací klapky ZZT od kompresorů proběhne v kapitole 9.4.

Na bloku *Lim2* (Obr. 9.14) je nastavena hystereze *TR1* na hodnotu 3. V případě, že by *TR1* byla nastavena na hodnotu 0, tedy funkce hystereze by byla vypnutá, tak by při každé změně nerovnosti mezi teplotou sání a odtahu klapka obracela svoji strmost. To by vedlo s největší pravděpodobností k častému kmitání klapky.

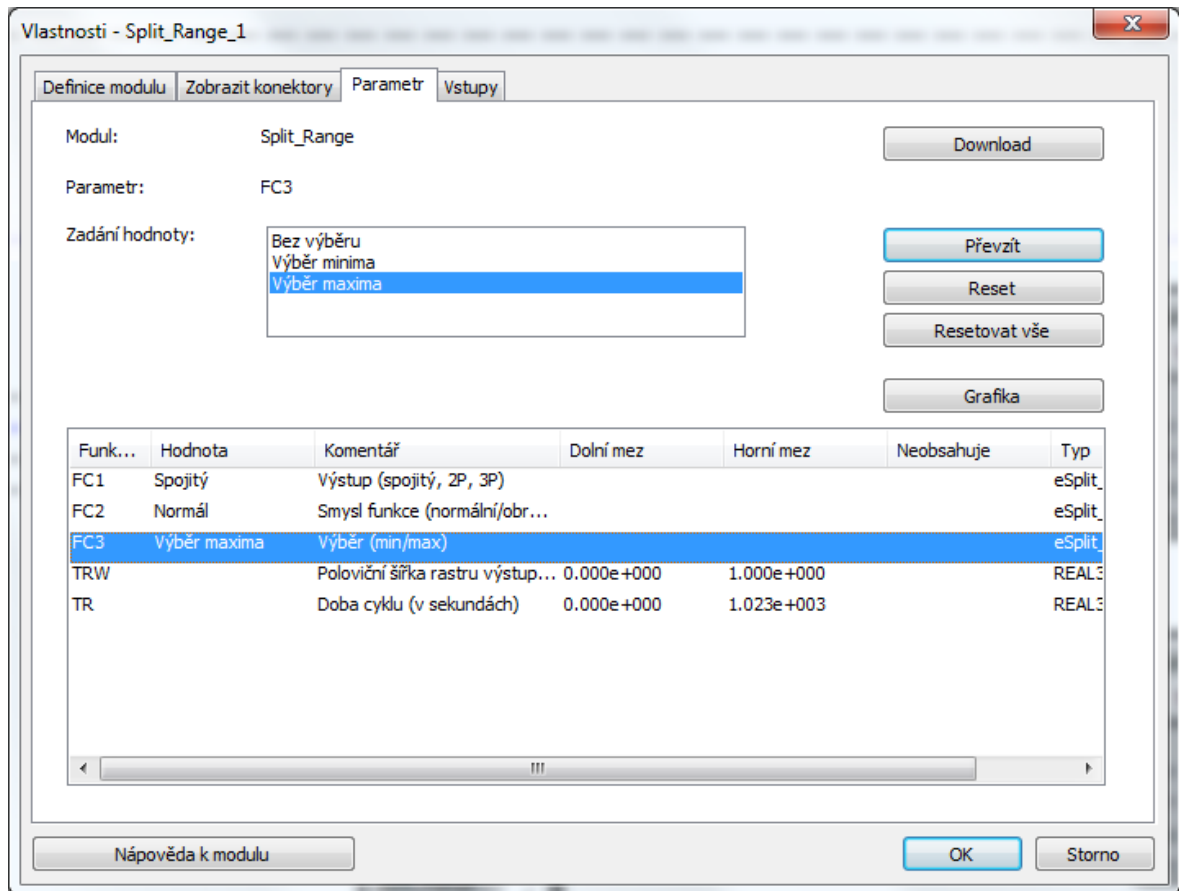
V případě, že teplota na sání je vyšší než teplota odtahu, změní se výstup *fl1* na hodnotu 1, jak bylo zmíněno. Reset této funkce, tedy přechod zpátky na logickou 0 nastane až v případě, že teplota na sání by byla o tři stupně Celsia nižší než teplota na odtahu. Tímto je vymezeno pásmo necitlivosti, aby se předešlo kmitání klapky. Funkce hystereze je znázorněna na následujícím obrázku (Obr. 9.15¹⁷). Ve zmiňovaném případě je limitou nikoliv konstanta, ale měnící se spojitá hodnota, princip však zůstává stejný.



Obr. 9.15 - Princip funkce hystereze

¹⁷ www.sauter.cz

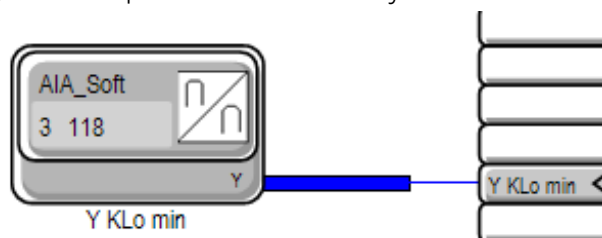
Dalším vstupem do bloku *Split_Range*, který ovlivňuje chování klapky je vstup XV. Tento vstup je druhým možným analogovým vstupem bloku *Split_Range*. Vzájemnou souvislost analogových vstupů X a XV lze definovat v nastavení daného bloku pod definicí parametru FC3 (viz Obr. 9.16).



Obr. 9.16 - Nastavení parametru FC3 pro svorku XV

Na výběr jsou tři možnosti. Zde byla použita možnost výběru maxima. To znamená, že blok *Split_Range* porovnává oba dva vstupy X a XV a používá tu analogovou hodnotu, která je aktuálně číselně vyšší.

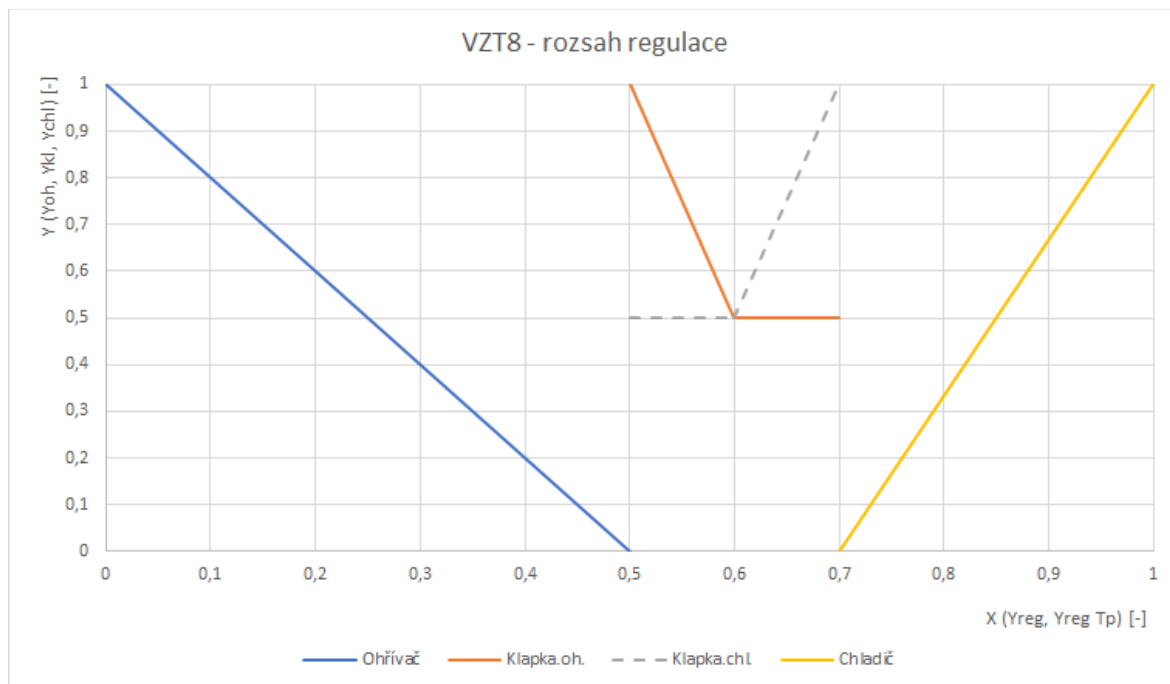
Na svorku XV je přivedena hodnota ze svorky s názvem *Y Klo min*. Hodnota, pod názvem této svorky reprezentuje požadavek na omezení maximální cirkulace vzduchu, respektive požadavek na minimální přívod čerstvého vzduchu do objektu. Nastavení hodnoty může být zadáváno přímo v regulačním software v bloku *AIA_Soft* (viz Obr. 9.17) nebo přes případný vizualizační software, použitím softwarové adresy datového bodu *AIA_Soft* a implementací hodnoty do aktivního okna.



Obr. 9.17 - Blok nastavení hodnoty minimálního otevření/zavření klapky VZT8

V tomto případě je hodnota vstupu XV nastavena na konstantní hodnotu 50. Toto číslo vychází z požadavků na přívod čerstvého vzduchu do objektu, respektive požadavek na maximální 50% cirkulaci vzduchu. Lze tedy říci, že klapky na sání a odtahu se nezavřou pod 50 %, naopak klapka na cirkulaci se neotevře nad 50 %.

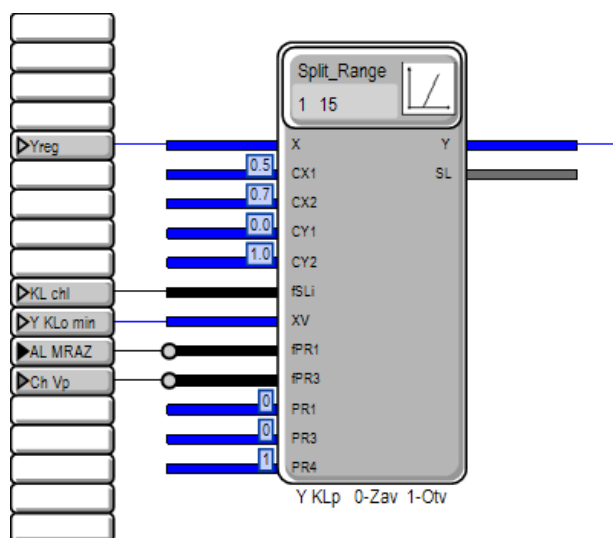
Po zahrnutí podmínky minimálního přívodu čerstvého vzduchu a po zohlednění takto upravených výstupu, povelů na akční členy klapek dostáváme následující upravené schéma:



Obr. 9.18 - Rozsah regulace, zahrnuta podmínka minimálního přívodu čerstvého vzduchu (50 %)

Z Obr. 9.18 je patrné, že výstupy na pohon klapek, jsou omezeny zespodu zmíněnými 50 %. Pro vlastní regulaci klapek tedy zůstává rozsah pro výstup z regulátoru pouze 0,5-0,6 respektive 0,6-0,7, tedy jedna desetina pro dané nastavení klapky. Pro výstup na ventil ohřivače je k dispozici celých pět desetin a tři desetiny pro ventil chladiče. Tento poměrně přesný požadavek na výstup z regulátoru pro regulaci klapek, může mít podstatný vliv na jejich případné kmitání v přechodném období. Nabízí se zde úprava s cílem rovnoměrného zastoupení jednotlivých výstupů akčních členů v rámci rozsahu 0-1 osy X (Yreg, Yreg Tp). Výstup pro pohon ohřivače by mohl odpovídat rozsahu 0-0,3 na ose X. Tím by pro klapky zbyl rozsah v hodnotě 0,4. Jednalo by se o dvojnásobnou hodnotu, než je stávající. Tato úprava by byla pouze softwarová, je tedy jednoduše proveditelná v rámci celého zařízení. Nevyžaduje žádný zásah do hardwaru soustavy, jednalo by se tedy o lehce proveditelnou změnu. Verifikace této změny by musela probíhat na základě dlouhodobého sběru dat. V tomto intervalu by nebylo vhodně měnit jakékoliv jiné nastavení klapek, které by mohlo mít vliv na jejich možnost případného kmitání. Lze však vyslovit hypotézu, že tato úprava by pro regulaci klapek přinesla s největší pravděpodobností změnu k lepšímu, co se týče jejich kmitání. Bylo by nutné však zkontrolovat vliv této změny na regulaci ventilu ohřivače.

Na zbylých vstupních svorkách bloku *Split_Range* pro regulaci klapky se nachází již prvky bezpečnostní (alarmové stavy). Pro přehlednost je zde znovu uveden obrázek bloku *Split_Range* s použitými vstupy pro regulaci VZT8:



Obr. 9.19 - Blok *Split_Range*

Svorka *fPR1* je příznak svorky *PR1* (priority 1). Jedná se o digitální vstup, při jehož změně z logické 0 na logickou 1 se nastaví výstup z bloku *Split_Range* na analogovou hodnotu svorky *PR1*. Tato analogová hodnota může být přivedena z jiného bloku nebo případně definována jako konstanta. Tato logika lze pro blok *Split_Range* provádět až u čtyř priorit *PR1* – *PR4*, respektive příznaků *fPR1* – *fPR4*. Priorita číslo 1 má přednost před zbylými třemi *PR2-PR4*. Takto jsou přednosti odstupňovány číselně až do priority s nejnižší předností (*PR4*). Změnu logiky spínacího (*NO*) či rozpínacího (*NC*) kontaktu svorky *fPR1* provádíme pomocí negace před vstupem. Na Obr. 9.19 se jedná o šedé kolečko u svorek *fPR1* a *fPR3*.

Pro regulaci VZT8 je na prioritu *PR1* přiveden digitální vstup kontaktu protimrazová ochrany. Jedná se o kapiláru umístěnou za ohřívačem, která slouží jako poslední mechanismus zabránění zamrznutí výměníku. Zpravidla bývá nastavena na teplotu 5 °C (viz 4.2.5). U alarmových stavů se zpravidla používá logický stav OK=1 a Alarm=0. Tato logika vychází z toho, že v případě ztráty napájení, většina aktivních prvků přejde do logické 0, neprochází-li pomocnou cívkou stykače proud, je rozepnut kontakt a zpravidla dané zařízení neběží. A právě i ztráta napájení je často brána jako alarmový stav. V případě použití čistě mechanického zařízení, které nemá možnost zapojení spínacího i rozpínacího kontaktu, je někdy nutné softwarově logický stav otočit. Termostat protimrazové ochrany je nastaven, aby sepnul/rozepnul, pokud bude naměřena teplota pod 5 °C. V případě, že tato situace nastane, na svorku *fPR1* přijde logická 1 (negovaná 0) a výstup bloku *Split_Range* bude dle nastavení *PR1*=0. To znamená, že klapka na sání a odtahu se plně zavřou a klapka na cirkulaci se naopak plně otevře. Tímto je zajištěna co nejvyšší přívodní teplota na ohřívač. Nepředpokládá se v tomto typu provozu, že teplota v prostoru bude nižší než venkovní teplota v zimních měsících.

Dalším příznakem priority, která je zavedena do bloku *Split_Range* je svorka *fPR3*. Zde je přivedena logická digitální hodnota chodu přívodního ventilátoru VZT8. V případě, že přívodní ventilátor je vypnut, klapka na sání a odtahu se zavřou a klapka na cirkulaci se plně otevře. Je třeba zmínit, že funkce priority má přednost před analogovými vstupy X a XV. V případě zavření klapky tedy dojde k úplnému zavření na 0 % polohy a nezáleží na nastavení vstupu svorek X ani XV.

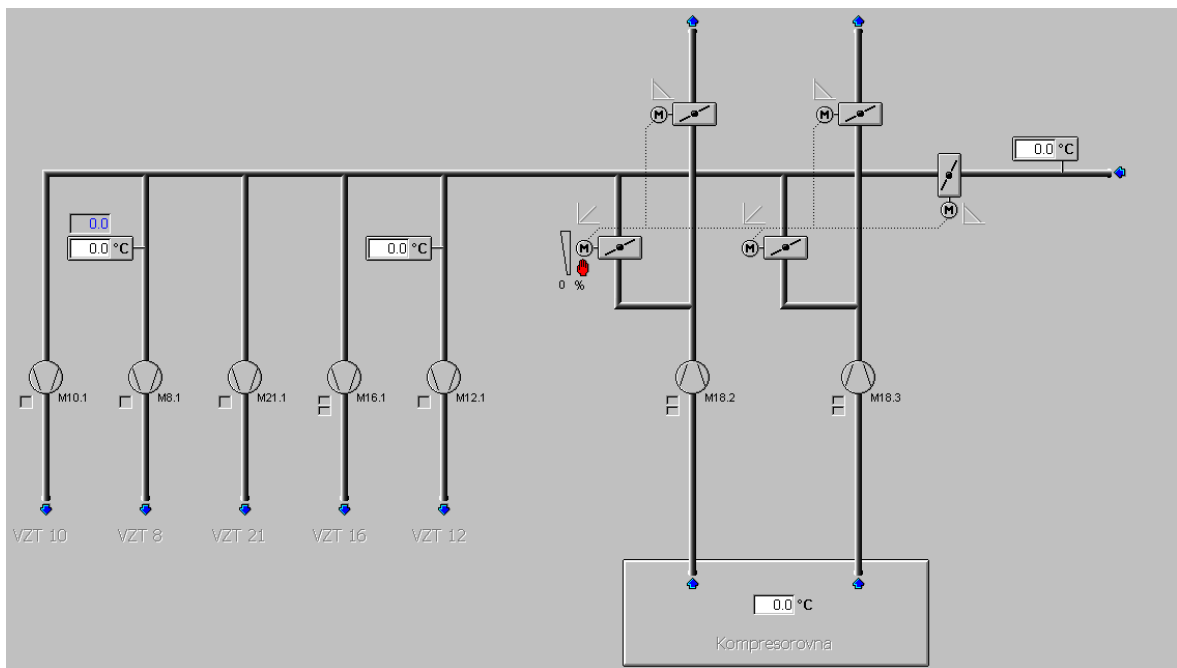
9.3.1 Závěr kontroly logiky otevírání cirkulační klapky

V kapitole 9.3 byla provedena analýza softwaru pro regulaci klapek u zařízení VZT8. Bylo zjištěno, že klapky jsou regulovány na základě jednoho povelu, který je softwarově upraven, aby klapky otevíraly/zavíraly v daném smyslu. Bylo podrobně zaměřeno na cirkulační klapku, kde byly popsány závislosti, které mají vliv na změnu jejího smyslu otáčení (strmosti). Byla vysvětlena a graficky znázorněna funkce hystereze. Na Obr. 9.11 a Obr. 9.18 byly graficky zpracovány závislosti výstupu z regulátorů na analogové povely pro jednotlivé akční členy VZT8. Názorně bylo ukázáno, co nastane při omezení zavírání/otevírání cirkulační klapky na 50 %. Z toho vyplynul fakt, že pro regulaci klapek je k dispozici interval velikosti jedné desetiny hodnoty výstupu z regulátoru (0,5-0,6 nebo 0,6-0,7). Bylo doporučeno tuto hodnotu zvýšit dvojnásobně posunutím rozsahu regulačních křivek. Po provedení této optimalizace bylo doporučeno zkontrolovat správnou funkci ventilu ohřivače. Výhodou této optimalizace je, že lze velice snadno vyzkoušet a v případě nějakých komplikací lze ihned vrátit software do původního stavu. Dalším doporučením bylo zkontrolovat funkci směšovací klapky pro předešlý systém VZT8. Kontrola je provedena v následující kapitole.

9.4 Kontrola návaznosti VZT8 na předešlý systém od kompresorů

Jak bylo zmíněno v předešlých odstavcích, VZT8 má možnost předešlému vzduchu na sání pomocí odpadního vzduchu od chlazení kompresorů. Lze předpokládat, že tato možnost je využívána převážně v zimě, kde se šetří potřeba tepla. Je však nutno zkontrolovat logiku otevírání směšovací klapky. Tato klapka může značně ovlivnit teplotu na sání a tím i celý systém VZT8, co se týče regulace. Obzvláště v zimních měsících, kdy teplota venkovní a teplota odpadního vzduchu od chlazení kompresorů se mohou lišit řádově o desítky stupňů.

Schéma na Obr. 9.20 pochází z vizualizace daného zařízení v software NovaPro. Ze schématu je vidět, že směšovací klapky předešlému vzduchu pro celkem pět vzduchotechnických zařízení. Jednotlivé klapky jsou řízeny pomocí jednoho signálu. Tímto signálem je datový bod *N036X022*. Jejich smysl zavírání/otevírání vůči sobě je nastaven hardwarově. Toto lze provést buď přepínačem přímo na pohonu klapky (záleží na typu pohonu), případně změnou zapojení přívodních ovládacích kabelů na svorkovnici pohonu. Lze předpokládat že klapky na výfuku odpadního vzduchu mají opačnou strmost než směšovací klapky, které slouží pro předešlý systém vzduchotechnických zařízení.

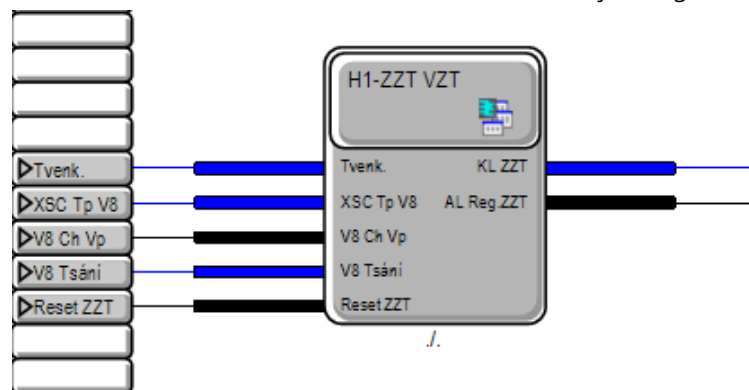


Obr. 9.20 - Schéma ZTT od kompresorů

Pro lepší přehlednost zde budou uvedeny datové body, které dané zařízení obsahuje a které souvisí také s VZT8:

- N036M000 – Teplota na sání do kompresorovny
- N040M001 – Teplota v prostoru kompresorovny
- N037M000 – Teplota na sání VZT8
- N036X022 – Směšovací klapka ZTT
- N040S071 – Chod M18.2
- N040S077 – Chod M18.3

Z datových bodů lze odhadnout, že regulace směšovací klapky bude prováděna z automatizační stanice AS36. Pro bližší pochopení principu regulace bylo třeba otevřít regulační software. V softwaru v AS36 se nacházel následující regulační blok:

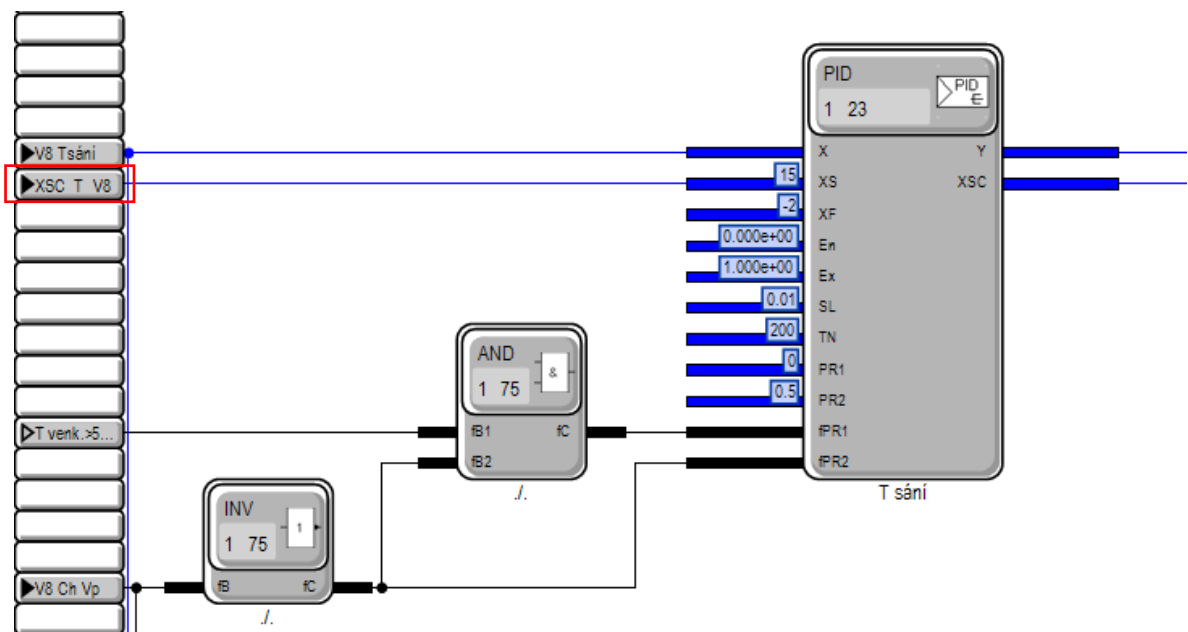


Obr. 9.21 - Blok pro regulaci směšovací klapky ZTT

Z regulačního bloku je patrné, že poloha otevření směšovací klapky je závislá na analogových vstupech teploty venkovní, teploty na sání VZT8 a vypočtené teploty

přívodu do prostoru z VZT8. Digitálními vstupy do bloku jsou chod ventilátoru přívodu pro VZT8 a svorka s názvem Reset ZZT. Výstupy z bloku jsou analogový signál pro pohon klapky (N036X022) a digitální výstup (alarm poruchy regulace). Pro podrobnější informace byla analyzováno vnitřní logické schéma popisovaného bloku *H1-ZZT VZT* (Obr. 9.21). Jádrem bloku je PID (PI) regulátor viz Obr. 9.22. Pro lepší porozumění budou zde popsány jednotlivé svorky, které jsou zobrazeny v tomto konkrétním regulátoru:

- *X* – Skutečná hodnota
- *XS* – Žádaná hodnota
- *XF* – Posun žádané hodnoty
- *En* – Minimální omezení pro *Y*
- *Ex* – Maximální omezení pro *Y*
- *SL* – Strmost
- *TN* – Integrační čas
- *PR1* (*PR2*) – Priorita 1 (2)
- *fPR1* (*fPR2*) – Příznak priority 1 (2)



Obr. 9.22 - PID (PI) regulátor pro směšovací klapku ZZT z kompresorů

PID regulátor vypočítává řídicí analogový signál (svorka *Y*) na základě hodnot svorek skutečné hodnoty, žádané hodnoty a posunu žádané hodnoty (svorky *X*, *XS*, *XF*). Tento analogový signál je v případě potřeby přizpůsoben požadavkům daných akčních členů (pohonů klapky) tím, že softwarová hodnota (0-1) je převedena násobitelem například na výstup 0-100 %, čemuž odpovídá 0-10 V na svorkách automatizační stanice. Výstup je definován jako datový bod *N036X022* a slouží právě pro ovládání klapky viz Obr. 9.20. Následuje popis daného regulátoru, za účelem bližšího porozumění regulace a hledání souvislostí s možným kmitáním klapky popisované v odstavci 8.6.4.

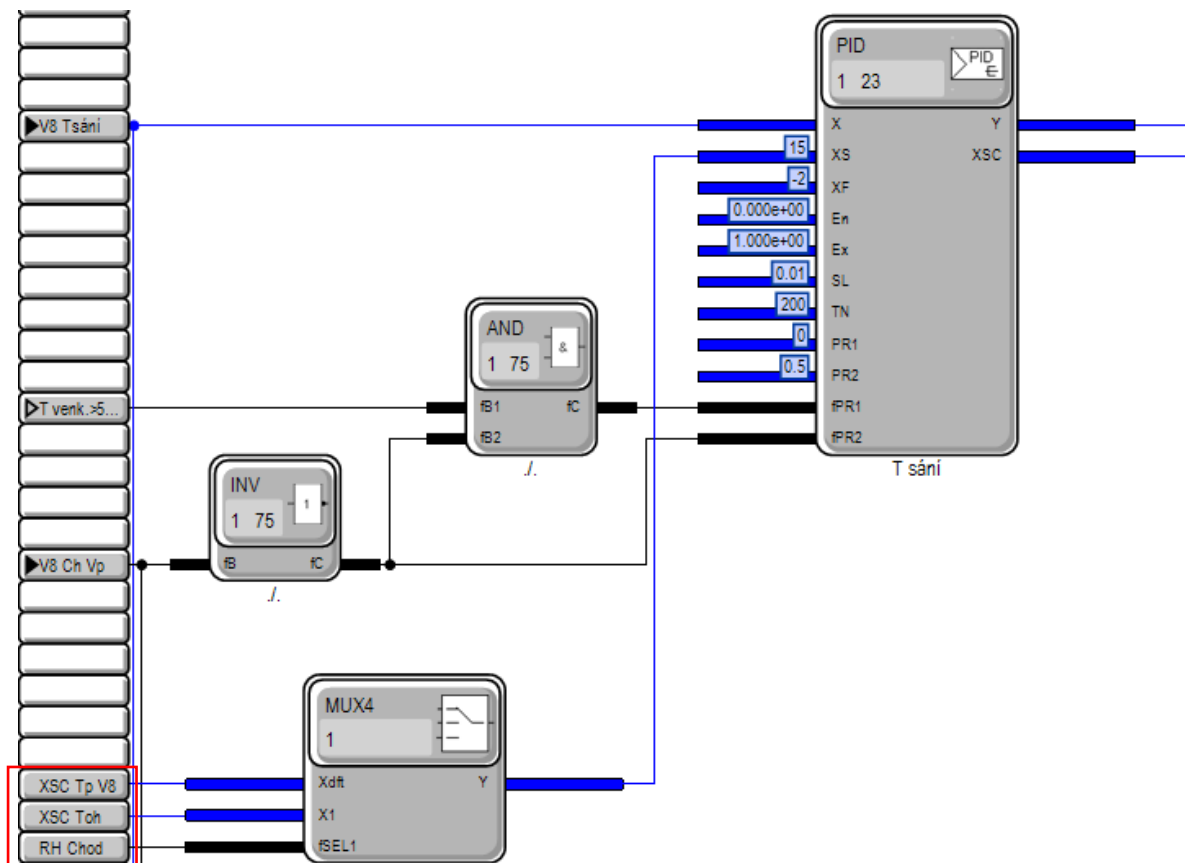
Na svorku X je přivedena hodnota teploty sání pro VZT8. Dle schématu na Obr. 9.20 lze předpokládat, že teplota měřená v sání pro VZT8 bude stejná pro všechny zbylé vzduchotechniky, zanedbáme-li možné tepelné zisky, či ztráty ve vedení do ostatních vzduchotechnických zařízení. Lze říci, že právě VZT8 slouží jako reference pro ostatní zařízení. Zařízení VZT8 bylo pravděpodobně vybráno jako referenční, protože obsluhuje nejdůležitější část výrobního závodu, a to přímo výrobní halu. Zbylé klimatizační jednotky ze schématu na Obr. 9.20 obsluhují prostory typu kanceláře, šatny apod., kde se v případě potřeby teplota vzduchu upraví ohříváním/chlazením pro dané zařízení. Dalším důvodem pro výběr VZT8 jako referenční je její průtok (28 000 m³/hod), který je až desetinásobně vyšší, než je potřeba na jednotlivých zbylých klimatizačních jednotkách.

Svorka XS slouží pro zadávání žádané hodnoty. Otázkou je, na jakou žádanou hodnotu by se mělo regulovat. Žádanou hodnotou pro VZT8 by měla být teplota, která se v daném okamžiku má přivádět do haly H1. Toto by však platilo pouze v případě, že VZT8 by neobsahovala adiabatickou pračku, případně by zvlhčování nebylo v chodu. V případě chodu adiabatické pračky vzduchotechniky VZT8 by bylo vhodnější jako žádanou hodnotu použít datový bod N037M214. Jedná se o vypočtenou teplotu před adiabatickým zvlhčováním. Tato teplota respektuje fakt, že při adiabatickém zvlhčování dojde ke snížení teploty. Dle softwaru je zřejmé, že je s chodem adiabatické pračky počítáno a na svorku XSC T V8 (Obr. 9.22) je přivedena následující hodnota, která je patrná z obrázku Obr. 9.23.

Rozdíl mezi Obr. 9.22 a Obr. 9.23 je pouze ve svorce XSC T V8 (Obr. 9.22), která je na Obr. 9.23 podrobněji rozepsána do tří svorek a doplněna o regulační logiku přepínače MUX4. V originálním software je tato logika (přepínač MUX4) umístěna v jiném regulačním bloku, ale pro účel této práce byl software vizuálně upraven. Je patrné, že žádaná hodnota (XS) PID regulátoru je přepínána blokem MUX4 mezi hodnotami svorek:

- XSC Tp V8 – Vypočtená žádaná teplota na přívodu haly H1 pro VZT8,
 - N037M121,
- XSC Toh – Vypočtená žádaná teplota před zvlhčováním,
 - N037M214.

Mezi těmito hodnotami blok MUX4 vybírá na základě digitální hodnoty chodu adiabatické pračky (svorka fSEL1). V případě, že zvlhčování je vypnuto, směšovací klapka by měla svým natočením předehřát vzduch ideálně na požadovanou teplotu na přívodu.



Obr. 9.23 - Upravená logika PID (PI) regulátoru pro směšovací klapku ZZT z kompresorů

Na svorkách En a Ex je možnost nastavení omezení výstupu Y pro regulátor. Zde jsou použity hodnoty 0-1, tedy výstup z regulátoru není omezen a je použit v celém svém možném rozsahu. Pro následující svorku SL (strmost) platí následující vztah:

$$S_p = \frac{1}{X_p} \quad (6.1)$$

kde: S_p = strmost [-]
 X_p = pásmo proporcionality [-]

Z rovnice 6.1 a hodnoty $S_p=0,01$ vyplývá, že $X_p=100$. Pro svorku TN je nastavena na 200. Priority výstupu regulátoru (PR1 a PR2) jsou závislé na chodu ventilátoru a venkovní teploty (viz logika před svorkami fPR1 a fPR2). V případě rozborů grafů byl však ventilátor vždy zapnut, tedy podmínky pro prioritu 1 nebo 2 nebyly splněny.

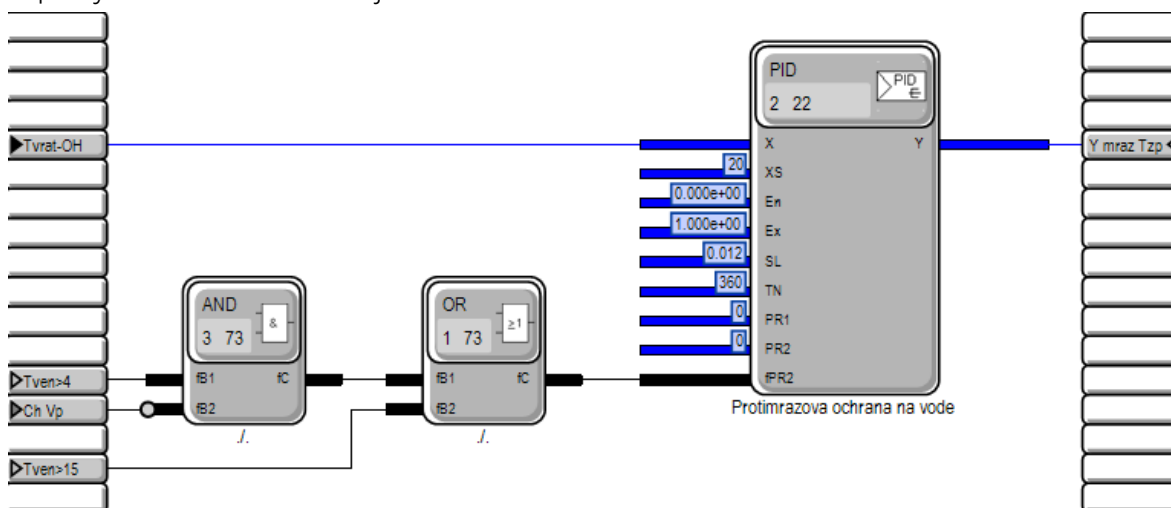
9.4.1 Závěr kontroly návaznosti VZT8 na přehřevu od kompresorů

Z regulačního softwaru, nebyla patrná žádná chyba. PI regulátor klapky reguluje na hodnotu XSC Tp V8 nebo XSC Toh dle chodu adiabatické pračky. Klapka pro přehřev vzduchu VZT8 byla kontrolována jako důsledek kmitání cirkulační klapky popisované v odstavci 8.6.4., zda se, že by neměla mít podstatný vliv na toto chování. Možným kmitáním cirkulační klapky může být nevhodné nastavení PI konstant pro její vlastní regulátor, to však vyžaduje hlubší a často empirické znalosti regulovaného systému.

9.5 Ventil ohřevu – protimrazová ochrana

Dalším prvkem ke kontrole bylo nastavení protimrazové ochrany pro ohřivač VZT8. Z dat popisovaných v kapitole 8 plyne, že byl v některých případech patrný skokový nárůst otevření třicestného ventilu ohřivače, tedy skokový nárůst přenášeného tepelného výkonu (viz Příloha 9). Z dat nešlo přesně identifikovat důvod tohoto nárůstu. Vzhledem k chování ostatních datových bodů, obzvláště vysoký nárůst teploty na přívodu a její zpětné snižování pomocí cirkulační klapky však vedlo k tomu, že se muselo jednat o bezpečnostní zásah, nikoliv regulační. Proto bylo přistoupeno ke kontrole softwaru. Předpokladem bylo, že na základě znalosti softwaru a analýzy dat bude zjištěna možná příčina skokovému otevírání ventilu ohřivače.

Stejně jako většina komponentů pro VZT8 je i regulace ohřivače a logika protimrazové ochrany provedena v automatizační stanici AS37. V bloku pro regulaci teploty se nachází následující schéma:

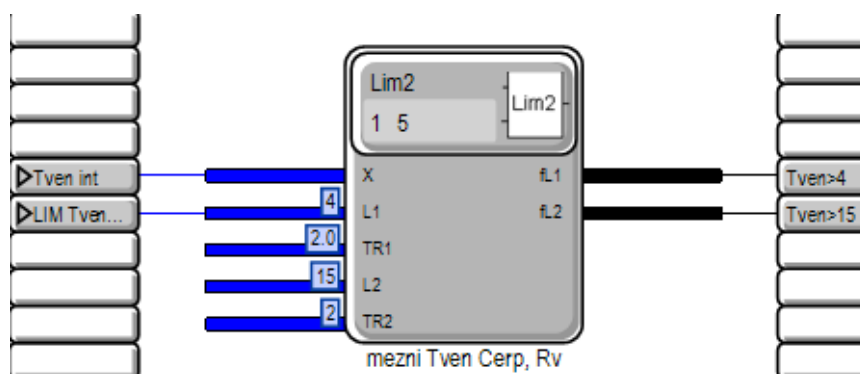


Obr. 9.24 - Protimrazová ochrana na vodě, PID regulátor

Jádrem logiky protimrazové ochrany je PID (PI) regulátor. Skutečnou měřenou hodnotou na svorce X je teplota vody na zpátečce ohřivače. Hodnota pro žádanou teplotu je nastavena na 20 °C (svorka XS). Následuje nastavení pásma proporcionality, respektive strmosti (svorka SL) a integrační konstanty (svorka TN). V tomto případě se nebudeme podrobně zabývat nastavením PI konstant. Lze předpokládat, že jejich nastavení nemělo podstatný vliv na chování popisované v úvodu kapitoly. Dalším faktorem je, že nastavení těchto konstant vyžaduje často empirické znalosti, vzhledem k faktu, že je velice obtížné zjistit odezvu daného systému během provozu. Lze tedy shrnout, že regulátor řídí trojcestný ventil ohřivače tak, aby na zpátečce byla teplota vody 20 °C. Hledaný problém by se mohl nacházet v poslední svorce fPR2, příznaku priority 2. V případě, že na svorku fPR2i přijde logická 1, výstup z regulátoru se nastaví na hodnotu 0 (svorka PR2=0). Lze říci, že regulátor má na výstupu hodnotu nula pro případy kombinací logických funkcí bloků AND a OR. Do těchto bloku jsou přivedeny svorky s názvy Tven>4, Ch Vp a Tven>15. Z názvů svorek lze předpokládat jejich význam, ale pro jistotu byly zkontrolovány, jaké datové informace obsahují.

Svorka *Tvrat OH* odpovídá datovému bodu *N037M003*, jedná se o teplotu vody na zpátečce ohřívače pro VZT8. Dle dostupných informací ze softwaru NovaPro je tento datový bod správný. Dále byly zkontrolovány svorky *Tven>15* a *Tven>4*. Těmto svorkám předchází regulační blok *Lim2*, který byl již popisován v odstavci pod Obr. 9.7. Regulační logika je zobrazena na následujícím obrázku:

Svorka s názvem *Tven>4* z Obr. 9.24 odpovídá digitálnímu výstupu *fl1* z bloku



Obr. 9.25 - Protimrazová ochrana, svorky *Tven>15* a *Tven>4*

Lim2 na Obr. 9.25. Toto platí obdobně pro svorku *Tven>15*, jenž odpovídá výstupu *fl2*. Na vstupu do bloku *Lim2* je přivedena hodnota teploty venkovní. Jedná se o datový bod *N043M006* čidla venkovní teploty. Problematika s umístěním čidla byla popsána v odstavci 9.2.1. Zde je názorně vidět, jak může špatně měřená hodnota ovlivnit rozhodování regulační logiky.

Pro zopakování funkce bloku *Lim2*. Na digitálním výstupu svorky *fl1* se změní logická 0 na 1 v případě, že teplota bude vyšší než 4 °C. To samé platí pro teplotu 15 °C. Pokud bude například venku 20 °C na svorkách *fl1* a *fl2* bude hodnota 1. V případě teploty např. 11 °C bude logická 1 pouze na výstupu *fl1*, na svorce *fl2* bude 0. Hodnotu limity *L1* (4 °C) lze nastavovat vzdáleně, například přes vizualizační software. Toto není aktuálně však důležité. Pro oba limitní stavy *L1* a *L2* jsou nastaveny hystereze ($TR1=2$; $TR2=2$). Funkce hystereze byla popsána v odstavci nad Obr. 9.15. Pro svorku *Tven>4* tedy platí, pokud je venkovní teplota vyšší než 4 °C, bude nastavena logická 1. Obdobně pro svorku *Tven>15* avšak pro teplotu 15 °C.

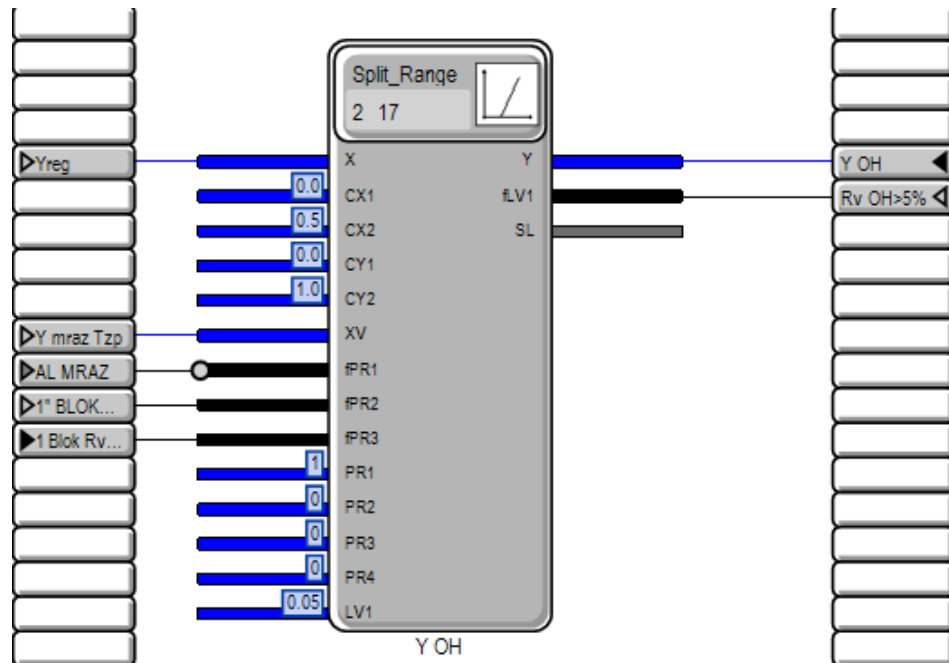
Poslední svorkou z Obr. 9.24, která nebyla popsána je svorka *Ch Vp*. Jedná se o digitální hodnotu chodu ventilátoru (1=zapnuto/chod, 0=vypnuto/stop). Tato digitální hodnota je však na vstupu do bloku *AND* negována (šedé kolečko).

Z předchozích odstavců a z matematických bloků *AND* a *OR* na Obr. 9.24 plyne, že výstup PI regulátoru z Obr. 9.24. je nulový pro tyto případy:

- Teplota venkovní > 15 °C
- Teplota venkovní > 4 °C a přívodní ventilátor VZT8 je vypnutý (negace *Ch Vp*)

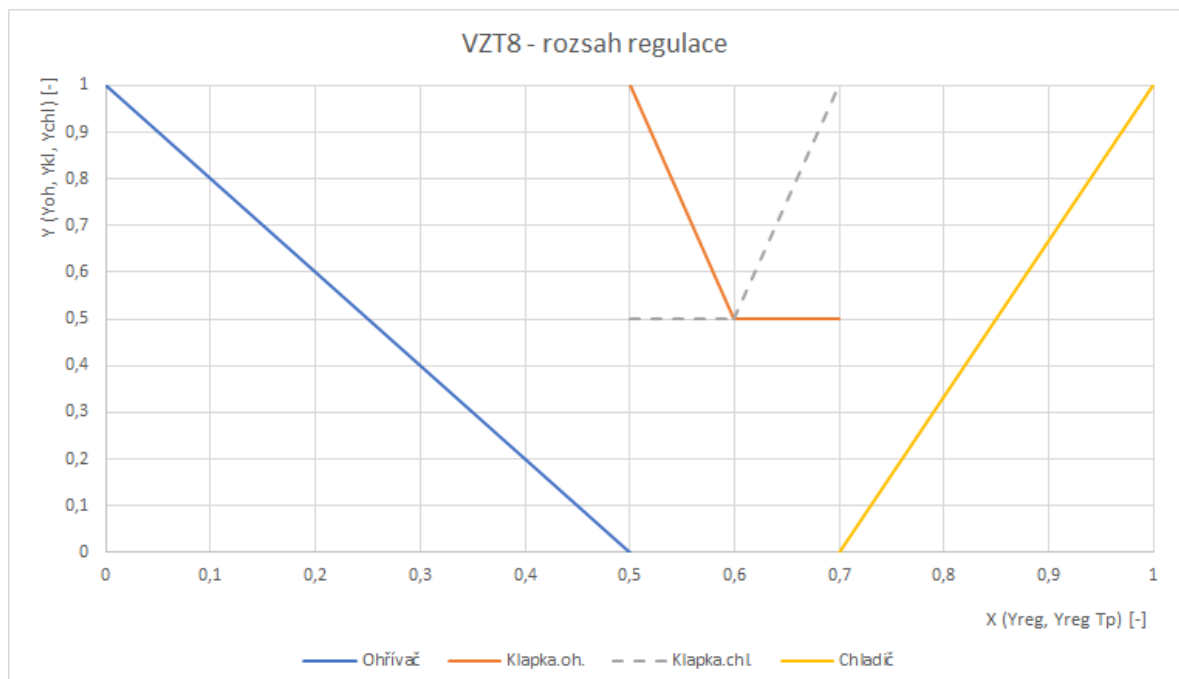
Chování PI regulátoru bylo analyzováno a pro další informace je nutné postupovat softwarově po směru výstupu z regulátoru (doprava od svorky *Y*)

Hodnota výstupu z regulátoru je pod názvem $Y_{mraz} T_{zp}$ přivedena do bloku $Split_Range$ na svorku XV.



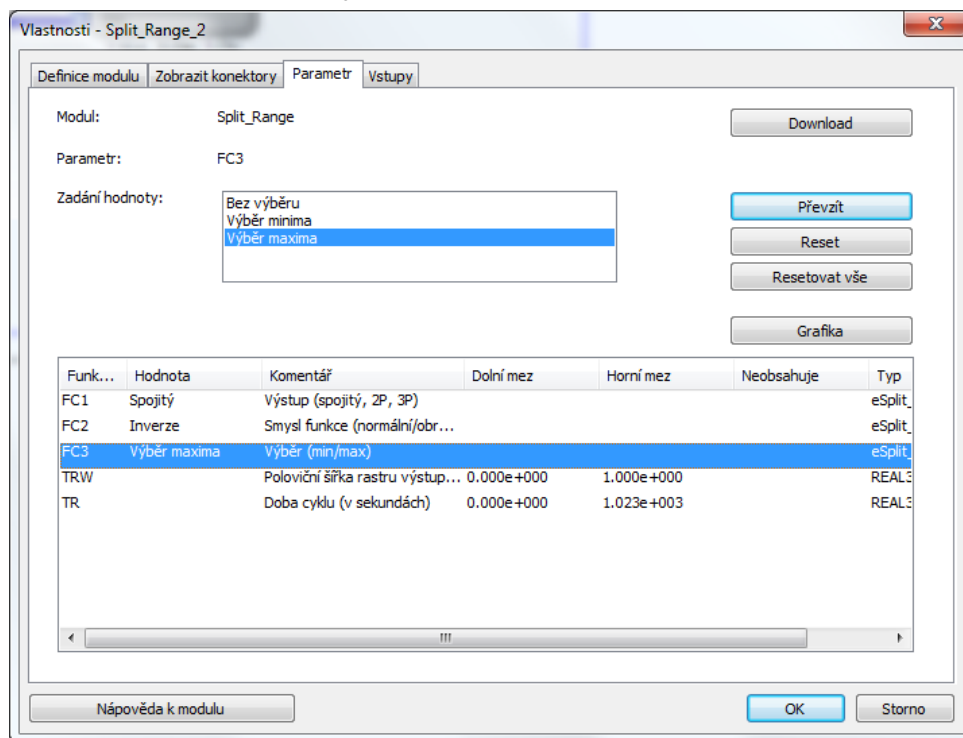
Obr. 9.27 - Protimrazová ochrana, $Split_Range$ pro ventil ohřevu

Blok $Split_Range$ s názvem $Y OH$ slouží k regulaci ventilu ohřevu. Jeho výstup na svorce Y je přímo analogovou hodnotou, která slouží pro řízení pohonu ventilu ohřevu. Nastavením svorek $CX1$, $CX2$, $CY1$ a $CY2$ dostáváme lineární závislost vstupu (svorky X a XS) na výstupu (svorka Y) z bloku. Tato závislost je zobrazena na Obr. , jedná se o modrou sérii s názvem „Ohříváč“. Tento obrázek již byl použit v kapitole 9.3., kde byl rozebírán rozsah regulace pro cirkulační klapku. Bylo taktéž doporučeno zmenšit hodnoty $CX1$ - $CX2$ (z $0-0,5$ na $0-0,3$).



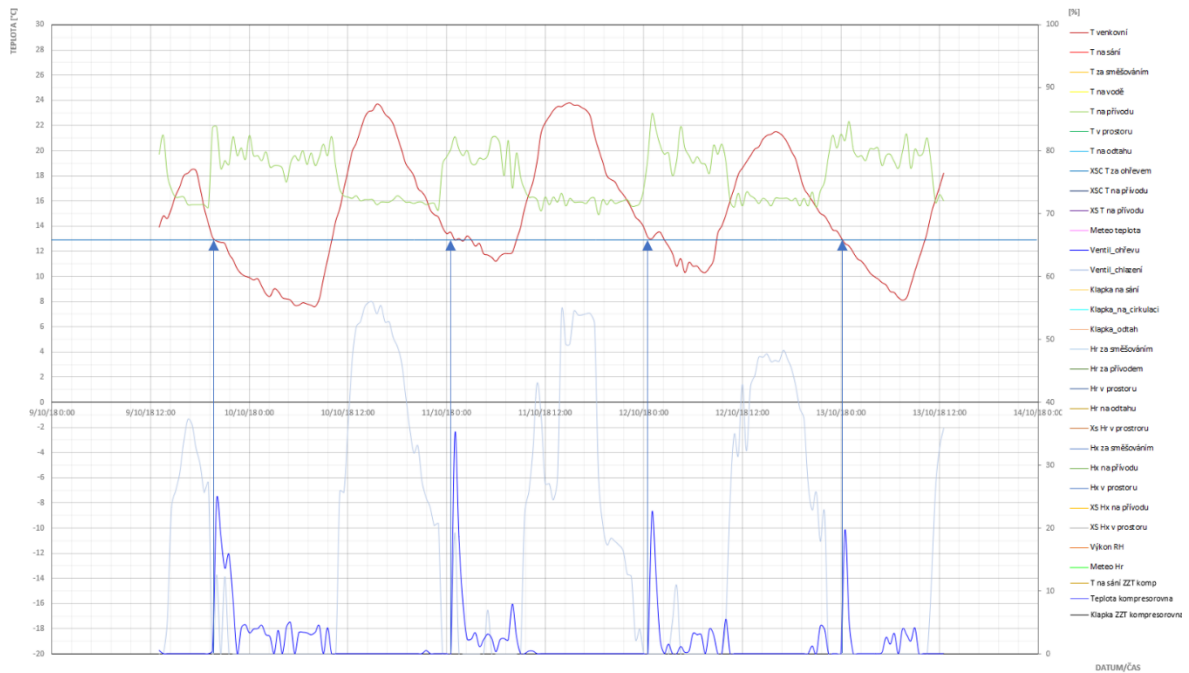
Obr. 9.26- Protimrazová ochrana, VZT8 – rozsah regulace ohříváče

V tomto případě však budeme uvažovat původní hodnoty, tedy $CX1=0$ a $CX2=0,5$, jak je na Obr. 9.27. Blok Split_Range tedy na základě analogového vstupu a definice závislosti pomocí svorek CX a CY vygeneruje hodnotu Y na výstupu. V tomto případě jsou do bloku však přivedeny dvě analogové hodnoty X a XV. Dle nastavení bloku viz Obr. 9.28 je funkce FC3 nastavena na hodnotu „Výběr maxima“. To znamená, že blok porovnává analogové vstupy na obou svorkách X a XV a vybírá tu vyšší, obdobně jako pro nastavení klapek popisovaných v kapitole 9.3.



Obr. 9.28 - Nastavení bloku Split_Range, funkce FC3

Z předchozí analýzy softwaru plyne, že na svorce XV je hodnota nula, pokud je venková teplota vyšší než 15 °C, respektive 13 °C při započtení nastavené hystereze ($TR2=2$ na Obr. 9.25). Lze říci, že právě teplota 15 °C je limitní stav, kdy může nastat situace, že na svorce XV se objeví hodnota, která bude vyšší než na svorce X. A to může mít skokový vliv na výstup z bloku Split_Range. Na následujících Obr. 9.29 (podrobněji Příloha 12) se tato domněnka potvrzuje. Vlivem nastavení hystereze na hodnotu 2 (viz Obr. 9.25) je limitní teplota směrem dolů pro funkci protimrazové ochrany nastavena na 13 °C. Při této teplotě přestane platit jedna z podmínek blokace protimrazové ochrany. Dojde k změně logického stavu z hodnoty 1 na 0 u vstupu do bloku OR viz Obr. 9.24. To zapříčiní změnu logického stavu na svorce $fPR2$ bloku PID. Tím dojde k porušení podmínky pro funkci priority 2 (svorka PR2) regulátoru PID (Obr. 9.24). V tuto chvíli se skokově změní výstup z PID regulátoru a tato skoková změna se projeví na svorce XV bloku Split_Range viz Obr. 9.27. Vzhledem k přísné podmínce nastavení teploty vody na zpátečce (20 °C) dojde k tomu, že hodnota na svorce XV je vyšší než na vstupu X bloku Split_Range a díky nastavení (viz Obr. 9.28) převezme blok vyšší číselnou hodnotu a svůj výstup skokově upraví.



Obr. 9.29 - Limitní teplota pro protimrazovou ochranu 13 °C

Z Obr. 9.29 (podrobněji Příloha 12) jsou tyto skokové změny při teplotě 13 °C patrné na otevření třicestného ventilu ohřivače. Tato změna se projeví v nárůstu teploty na přívodu. V kombinaci s možným špatným nastavením regulátoru pro cirkulační klapku vede k tomu, že se teplota ustálí, až v tu chvíli, kdy začne opět platit podmínka pro blokaci protimrazové ochrany. Díky nastavení hystereze se jedná o venkovní teplotu 15 °C.

9.5.1 Závěr kontroly regulace ventilu ohřevu, protimrazové ochrany

Na základě analýzy dat bylo přistoupeno ke kontrole regulace ventilu ohřevu. Obzvláště bylo zaměřeno na logiku protimrazové ochrany ohřivače na straně vody. Na základě zkoumání regulačního software a analýzy dalších grafů se přišlo na to, že v určitých případech může nastat skoková změna na výstupu z regulační logiky. Tímto výstupem, který je ovlivněn je analogový povel na pohon trojcestného ventilu ohřivače. Bylo dokázáno, že limitní hodnota pro změnu je teplota venkovní a to konkrétně 13 °C a 15 °C. Vše je názorně zobrazeno na Obr. 9.29. kde je patrný opakovaný nárůst změny polohy trojcestného ventilu při překročení teploty 13 °C směrem dolů.

Protimrazová ochrana je důležitým bezpečnostním prvkem. V tomto případě její nastavení má však podstatný vliv na kvalitu regulace. Pro optimalizaci by byl vyžadován zásah do regulačního software. Nabízí se úprava podmínky pro blokaci protimrazové ochrany v kombinaci se změnou hodnoty mezní teploty na zpátečce ohřivače. Konkrétně by se podmínka blokace pro 15 °C mohla zrušit, to by vedlo k odstranění skokové změny, ale také k častějšímu otevírání trojcestného ventilu. Vhodným snížením (na straně bezpečnosti) žádané hodnoty teploty vratné vody pro PID regulátor z Obr. 9.24 by se toto otevírání mohlo optimalizovat na minimum. Také se nabízí žádanou hodnotu pro regulátor vypočítávat podle závislosti na venkovní teplotě, to však není v rozsahu této práce.

10. Závěr:

Diplomová práce měla za cíl optimalizovat regulaci větracího a klimatizačního systému na základě analýzy dat. Pro účely optimalizace byla vybrána jedna konkrétní výrobní hala z průmyslového objektu v Brandýsu nad Labem. Před vlastní analýzou byla výrobní hala popsána z hlediska tepelně technických vlastností, byly identifikovány větrací a klimatizační systémy instalované v ní. Bylo zjištěno, že objekt disponuje značnými tepelnými zisky (278 kW, viz odstavec 3.3.1), a že celková koncepce klimatizačního systému je založena na odvodu těchto zisků.

Mezi hlavní klimatizační a větrací zařízení v hale patří dvě sestavné klimatizační jednotky VZT3 a VZT8 spolu s ventilátorovými konvektory typu fan-coil (30 kusů). Vzhledem k tomu, že ventilátorové konvektory regulují formou vypnuto/zapnuto na základě hodnoty teplotního čidla pro danou sekci, tak bylo zaměřeno primárně na regulaci klimatizačních jednotek. Ty mají za úkol přívod čerstvého vzduchu, regulaci vlhkosti a částečně se podílejí také na odvodu tepelných zisků.

Další odstavce diplomové práce byly zaměřeny na analýzu dat z jednotlivých zařízení. V kapitole 7 byla odůvodněna potřeba vytvoření vlastního nástroje pro analýzu dat. Jako výpočetní nástroj byl použit Microsoft Excel, kde byla data synchronizována přes jednu časovou osu. Dále byl vytvořen graf s aktivními prvky, tzv. s možností posuvu osy v čase, s možností nezávislého výběru až patnácti datových bodů pomocí vyskakovacích seznamů. Tento nástroj byl poté použit pro analýzu klimatizačních jednotek VZT3 a VZT8. Dle rozboru a analýzy dat, uvedených v přílohách na konci práce, bylo dospěno k nutnosti se zaměřit na následující body:

- kontrola umístění senzoru venkovní teploty (N043M006),
- kontrola hardwarového, případně softwarového řešení teploty prostoru a odtahu pro VZT3, porovnání s VZT8,
- zkontrolovat logiku otevírání cirkulační klapky (VZT3/VZT8),
- kontrola směšovací klapky, předeřev od kompresorů (VZT8),
- zkontrolovat logiku ventilu ohřevu, protimrazová ochrana ohřivače.

Kontrola probíhala na základě znalosti regulačního softwaru nahraného v automatizační stanici obsluhující klimatizační jednotky VZT3 a VZT8. Bylo dospěno k následujícím závěrům, pro konkrétní funkční prvky klimatizačních zařízení:

10.1 Senzor venkovní teploty

Senzor měřící venkovní teplotu je ovlivňován solárními zisky od Slunce, a to v období od druhé poloviny měsíce března do začátku října. Bylo doporučeno použití radiačního zákrytu, jako vhodného technického opatření k minimalizaci tohoto jevu (viz kapitola 9.1.1).

10.2 Teplota v prostoru a na odtahu zařízení VZT3 a VZT8

Datový bod teploty v prostoru pro zařízení VZT8, který se ukládá a slouží pro vizualizaci není shodný s datovým bodem, který je použit v regulačním software, tato chyba lze lehce odstranit úpravou ve vizualizačním softwaru.

Teplota v prostoru pro klimatizační jednotky VZT3 a VZT8 je počítána na základě aritmetických průměru z čidel starého systému chlazení. Tyto čidla jsou umístěny výše, než je odtah jednotlivých zařízení. Vlivem nerovnoměrného teplotního profilu haly, je měřená teplota v prostoru vyšší než teplota na odtahu. Vzhledem k tomu, že se jedná o kombinované senzory měřící také měrnou vlhkost a jsou použity pro výpočet relativní vlhkosti, tak nebyl doporučen jednoznačný postup vedoucí k optimalizaci. Nabízí se více variant řešení, jako je posunutí stávajících teplotních čidel starého systému chlazení nebo využití teplotních čidel pro regulaci ventilátorových konvektorů pro měření teploty v prostoru. V tom případě by však výpočet relativní vlhkosti byl proveden na základě měření teploty a měrné vlhkosti na odlišných místech.

Problém popisovaný v tomto odstavci však nemá značný vliv na kvalitu regulace.

10.3 Cirkulační klapka

Z dat z přechodného období vyplynulo, že cirkulační klapka občasně kmitá. Na základě analýzy regulačního softwaru bylo doporučena úprava, která spočívala v zvětšení intervalu regulačního rozsahu pro cirkulační klapku. Podrobněji se tímto zabývá odstavec pod Obr. 9.18. Tato úprava může ovlivnit funkci ventilu ohříváče, bylo doporučeno ho zkontrolovat na základě zpětné analýzy dat.

Výhodou této optimalizace je, že lze velice snadno vyzkoušet a vyžaduje pouze softwarový zásah do systému, který lze kdykoliv vrátit zpět.

V souvislosti s cirkulační klapkou byla také kontrolována u klimatizační jednotky VZT8 směšovací klapka předeřevu odpadního tepla z kompresorovny. Ze softwaru nevyplývaly žádné souvislosti, které by měly značný vliv na kmitání cirkulační klapky. Bylo doporučeno se kromě první zmiňované úpravy regulačního rozsahu, také zaměřit na nastavení PI regulátoru cirkulační klapky, konkrétně pásma proporcionality a integrační konstanty.

10.4 Protimrazová ochrana ohříváče, teplota vody na zpátečce

Kombinace nastavení vysoké žádané teploty na zpátečce (20 °C), s nastavením blokace protimrazové ochrany pro venkovní teplotu 15 °C respektive 13 °C (vlivem hystereze), vedlo k častému spínání protimrazové ochrany. To mělo za následek značného otevření ventilu ohříváče, skokové změny teploty na přívodu a následné rozkmitání cirkulační klapky. Byla doporučena úprava podmínky pro blokaci protimrazové ochrany či její úplné zrušení v kombinaci se snížením žádané teploty vody na zpátečce v závislosti na venkovní teplotě. Tato úprava by mohla být sice více energeticky náročná, zároveň by mohla značně prospět ke kvalitě regulace. Je však třeba dbát na důležitosti protimrazové ochrany jako bezpečnostního prvku ohříváče.

11. Seznam použité literatury

1. Chyský, J., Hemzal, K. a kol. *Větrání a klimatizace. Technický průvodce*. Brno : Bolit-B press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
2. Drkal, František, a další. *Klimatizace a průmyslová vzduchotechnika*. Praha : Evropský sociální fond, 2009.
3. František, Drkal a Vladimír, Zmrhal. *Větrání*. Praha : Česká technika, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
4. ČSN 730548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
5. ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
6. InMeteo, s.r.o. In-Počasí. <https://www.in-pocasi.cz>. [Online] InMeteo, s.r.o., 2019.
7. Hoffmann, Torsten. SunCalc.org. <https://www.suncalc.org>. [Online] HOFFIsoft software, 2015-2019.
8. ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

12. Přílohy

Seznam příloh na konci práce:

- Příloha 1 - VZT3, letní provoz,
- Příloha 2 - VZT3, letní provoz,
- Příloha 3 - VZT3, letní provoz,
- Příloha 4 – VZT8, letní provoz,
- Příloha 5- VZT8, letní provoz,
- Příloha 7 - VZT8, přechodné období,
- Příloha 8 - VZT8, přechodné období,
- Příloha 9 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence,
- Příloha 10 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence,
- Příloha 11 - Průběh venkovní teploty, vliv solárních zisků,
- Příloha 12 - Protimrazová ochrana ohřívače, mezní teplota 13 °C.

Elektronické přílohy, obsaženy na CD:

Složka: *Příkony výrobních linek*

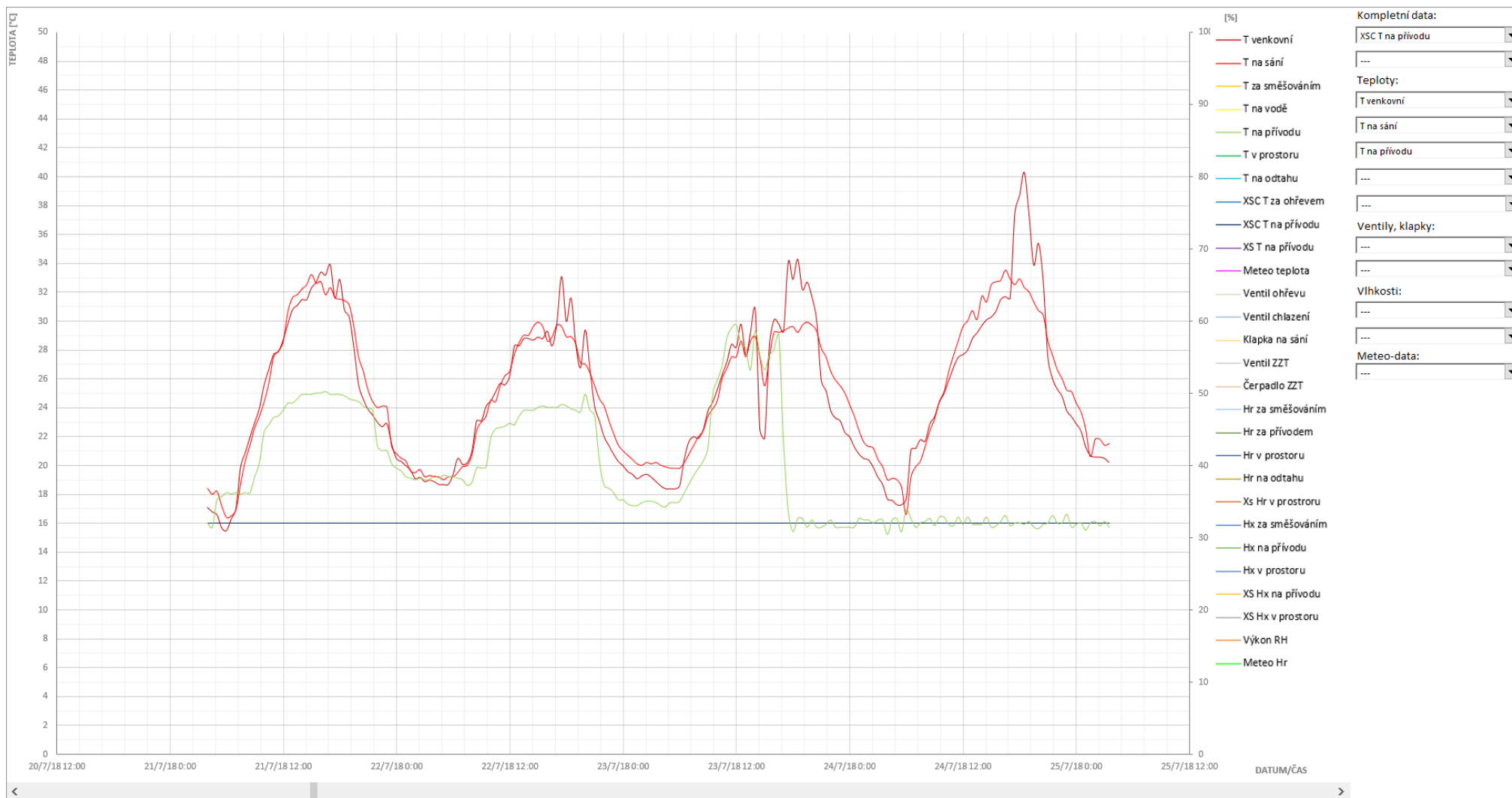
- *Příkon_výrobních_linek.xls*

Složka: VZT3

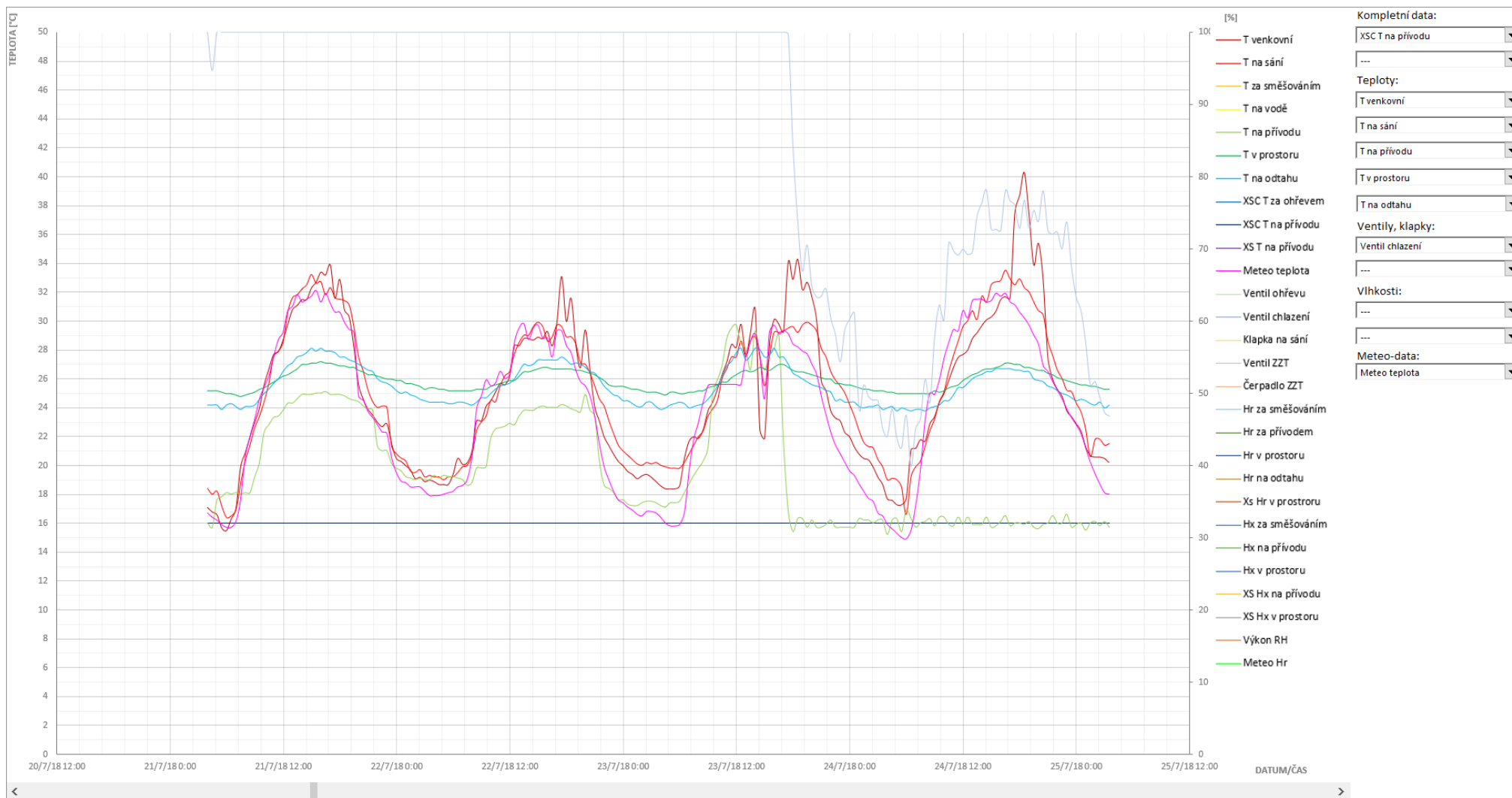
- *VZT3_léto.xls*
 - *Data_VZT3_léto.xls*
- *VZT3_podzim.xls*
 - *Data_VZT3_podzim.xls*
- *VZT3.bmp* (schéma klimatizační jednotky VZT3)

Složka: VZT8

- *VZT8_léto.xls*
 - *Data_VZT8_léto.xls*
- *VZT8_podzim.xls*
 - *Data_VZT8_podzim.xls*
- *VZT8.bmp* (schéma klimatizační jednotky VZT8)



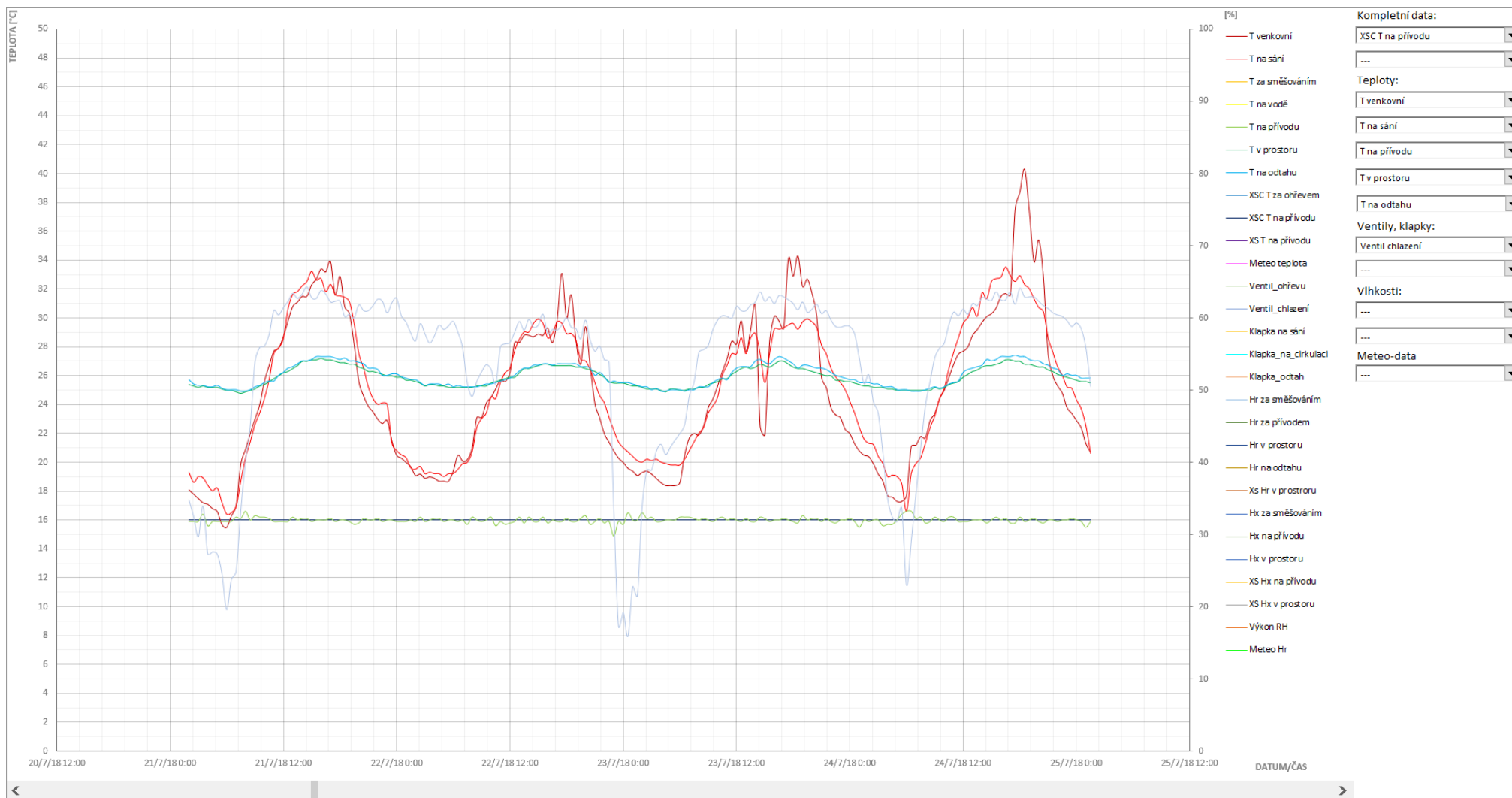
12.1 Příloha 1 - VZT3, letní provoz



12.2 Příloha 2 - VZT3, letní provoz



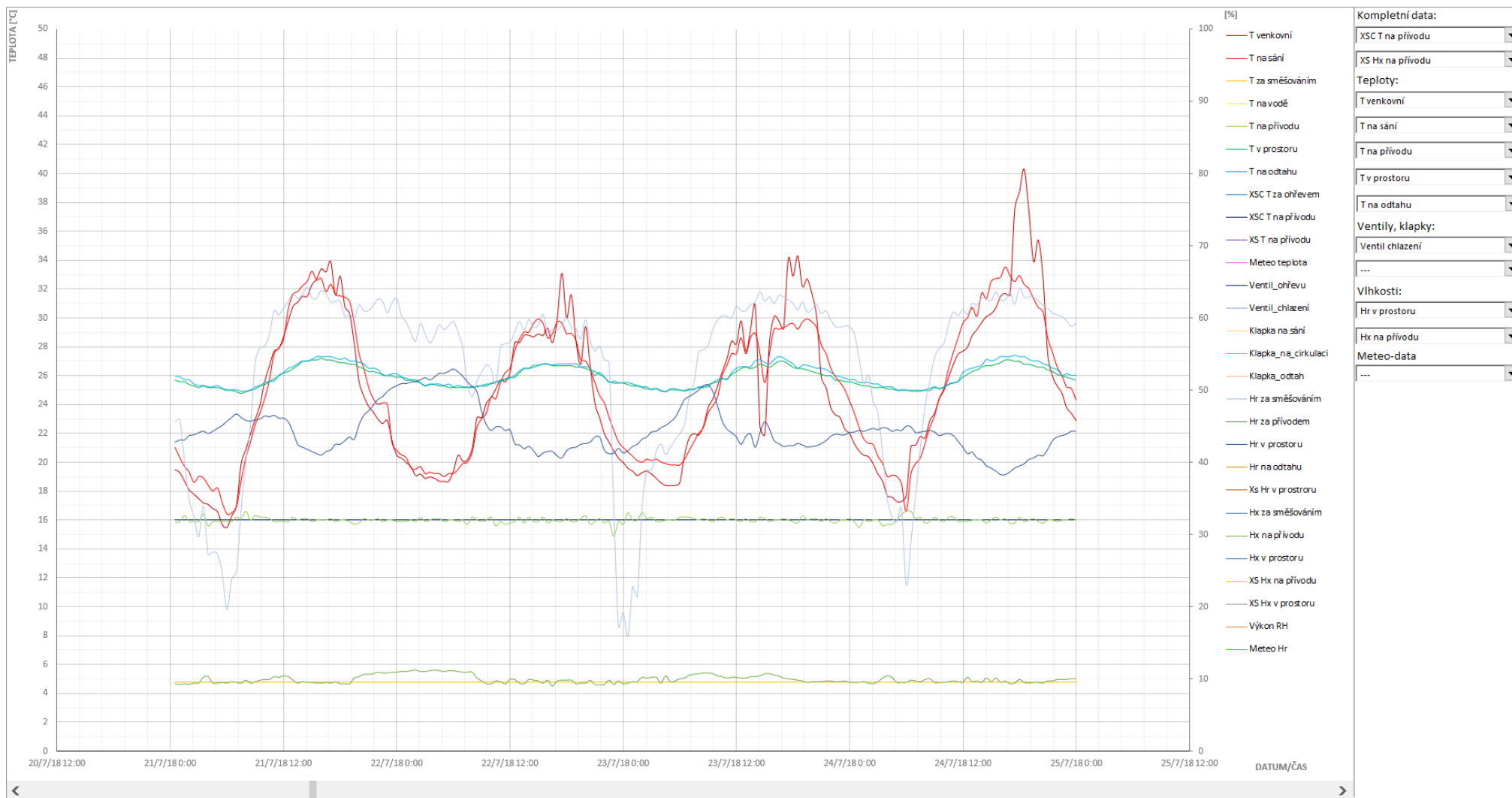
12.3 Příloha 3 - VZT3, letní provoz



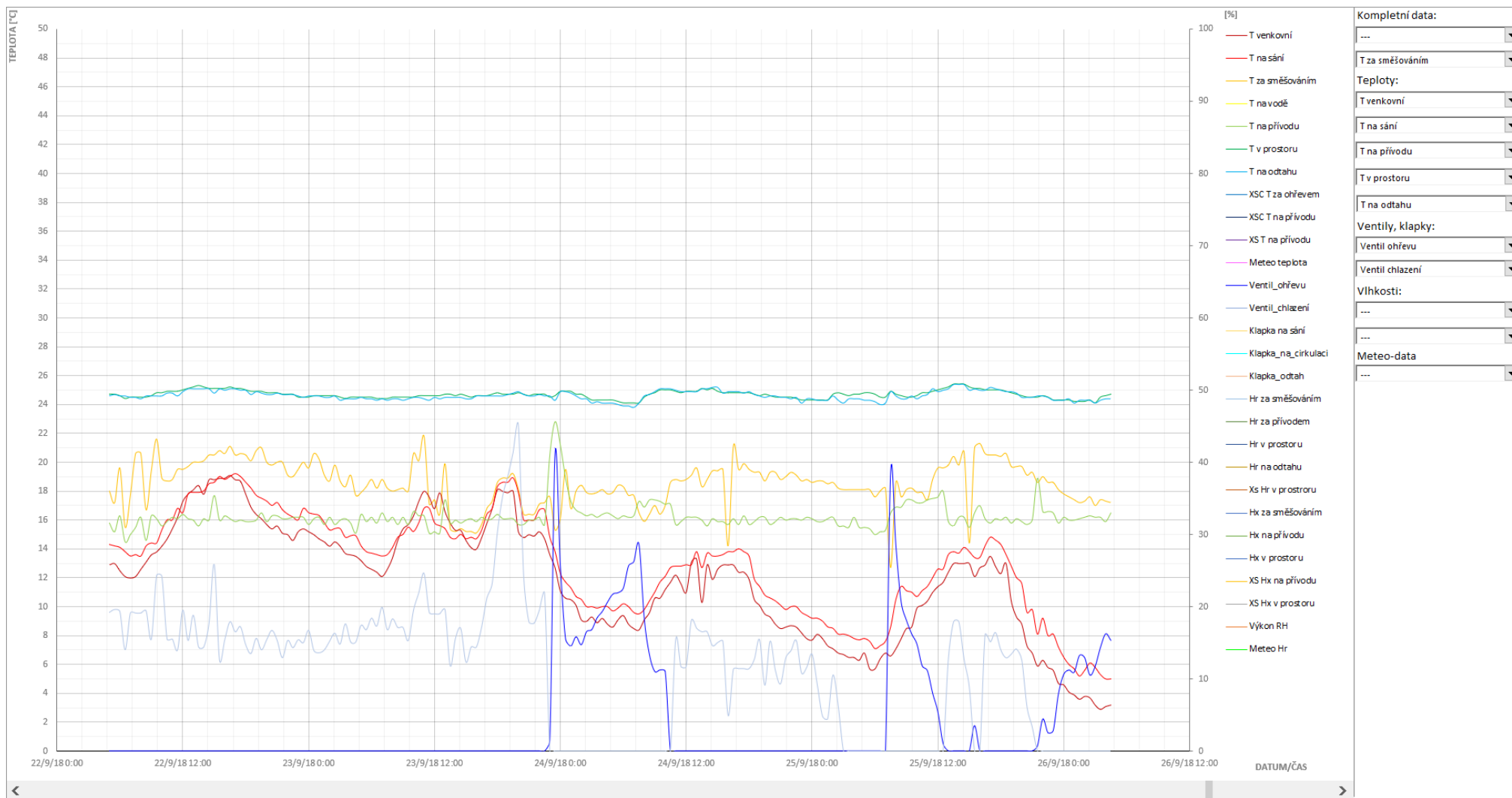
12.4 Příloha 4 – VZT8, letní provoz



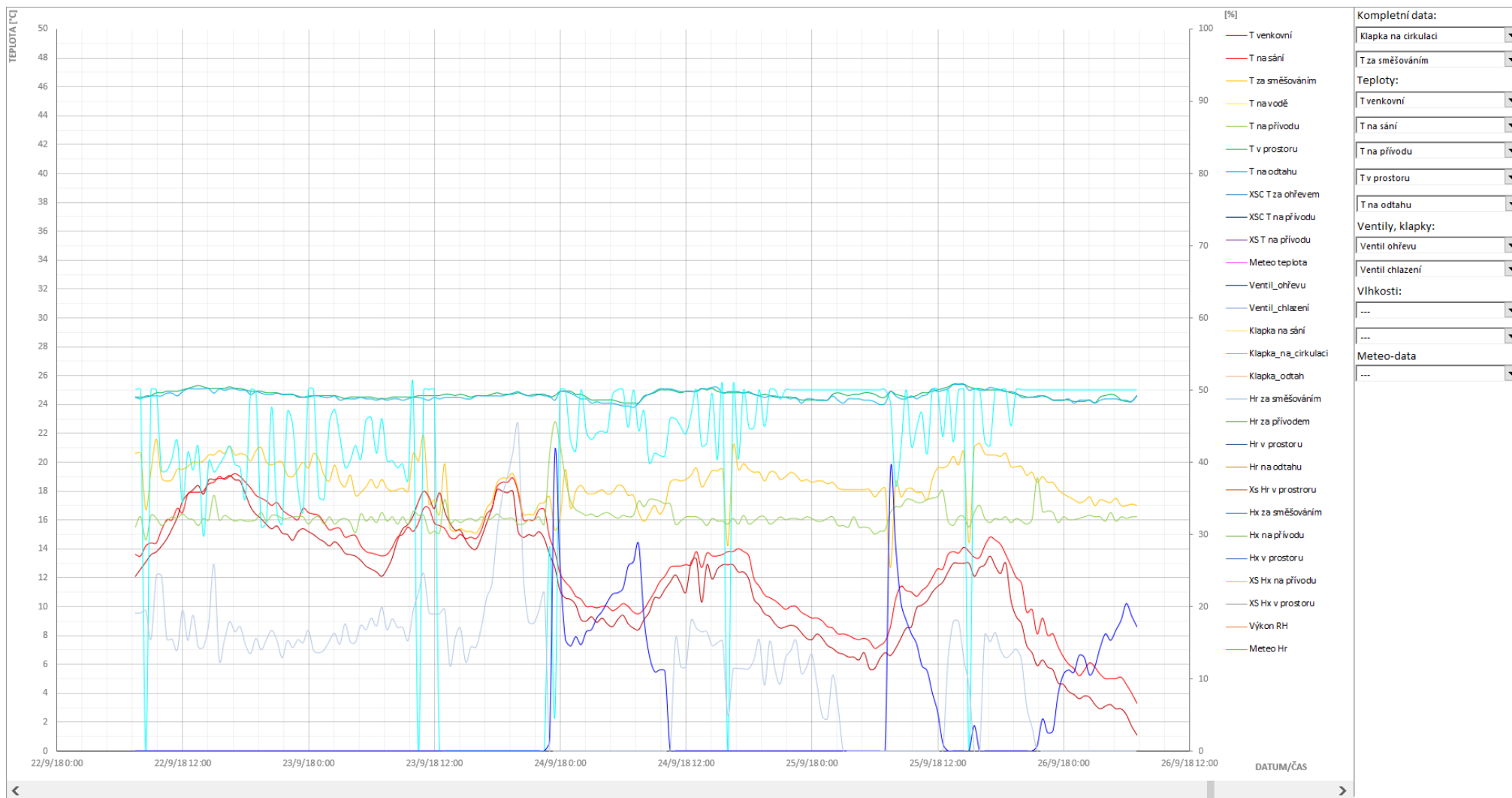
12.5 Příloha 5- VZT8, letní provoz



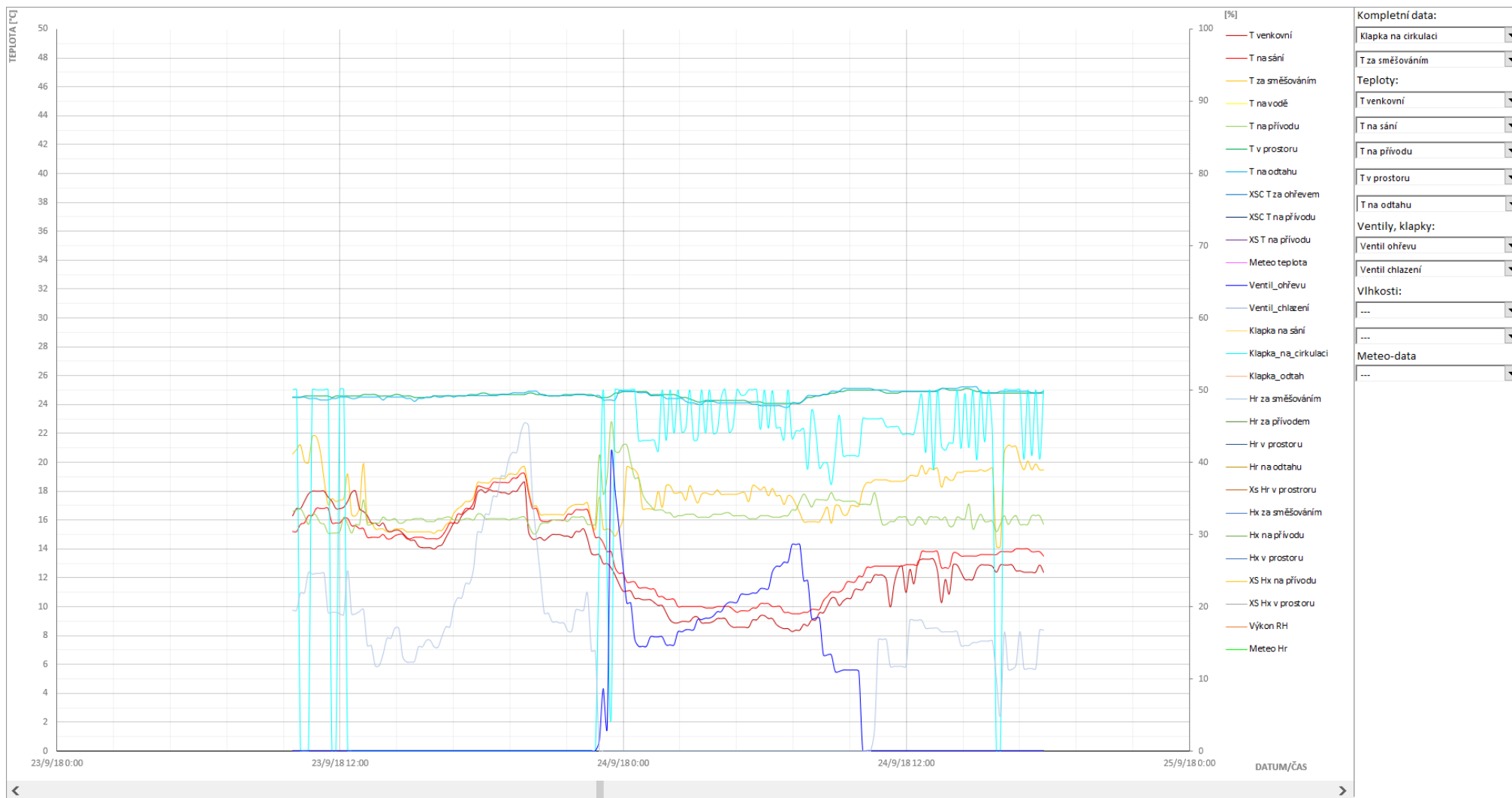
12.6 Příloha 6 - VZT8, letní provoz



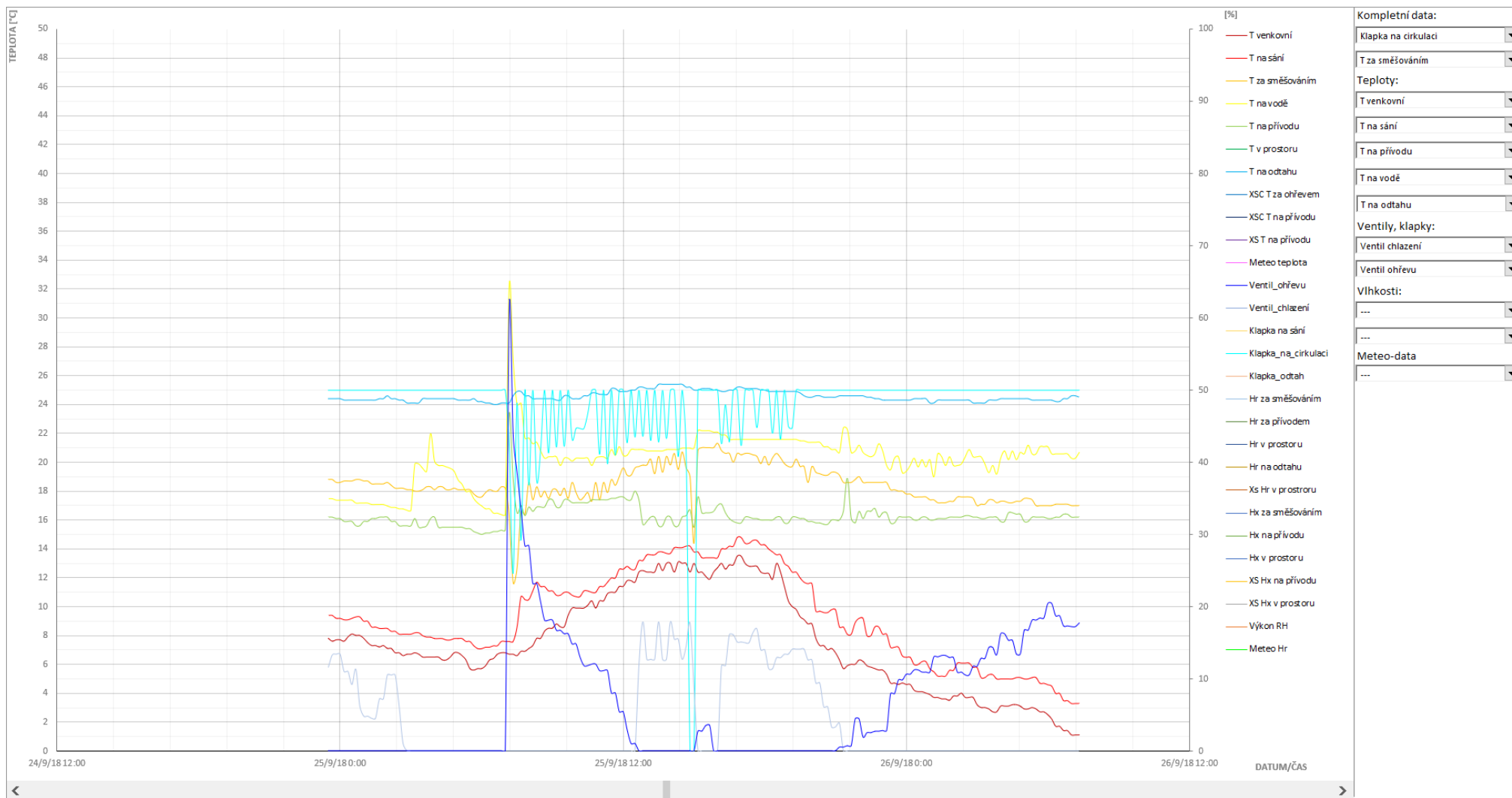
12.7 Příloha 7 - VZT8, přechodné období



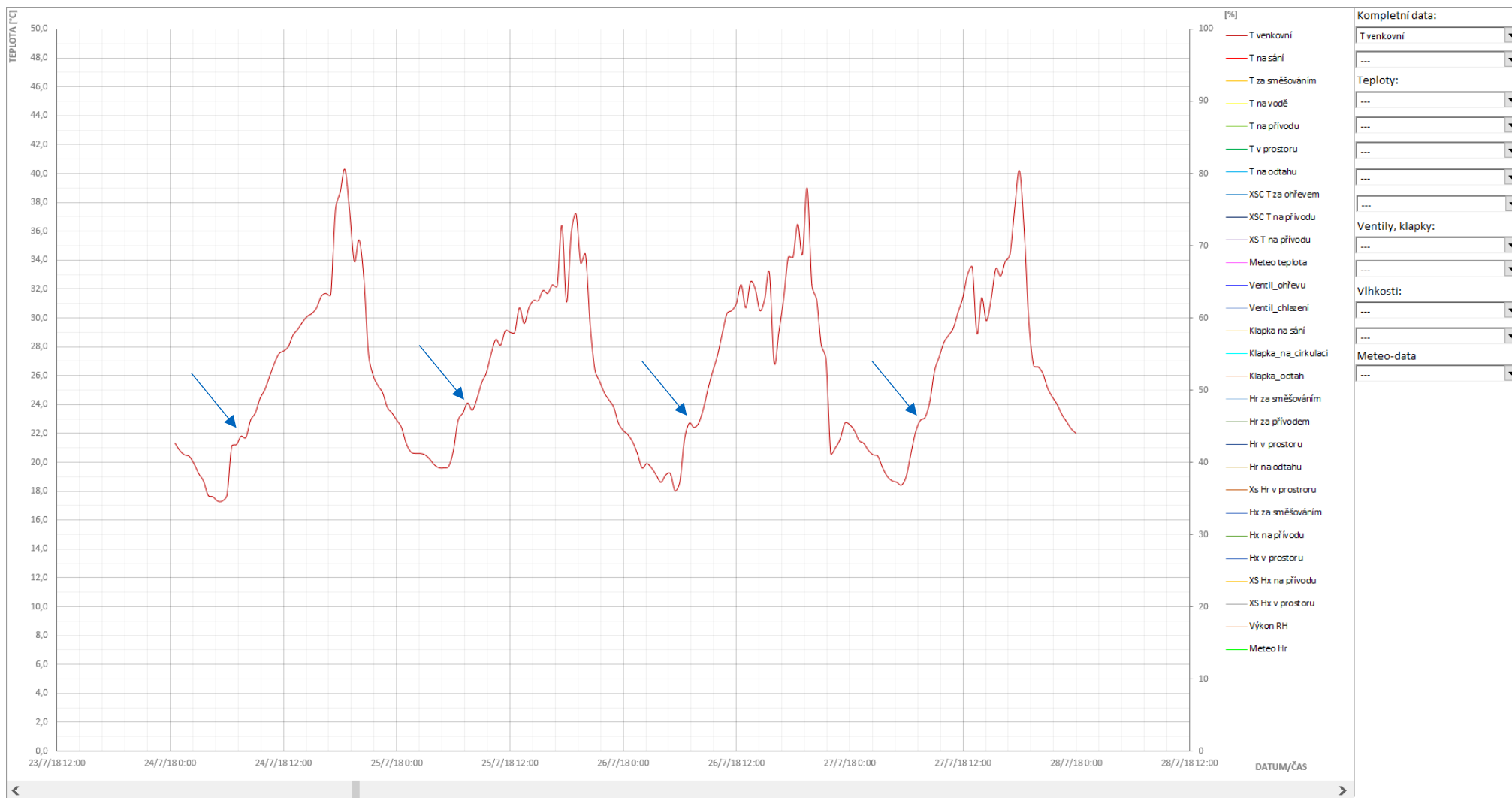
12.8 Příloha 8 - VZT8, přechodné období



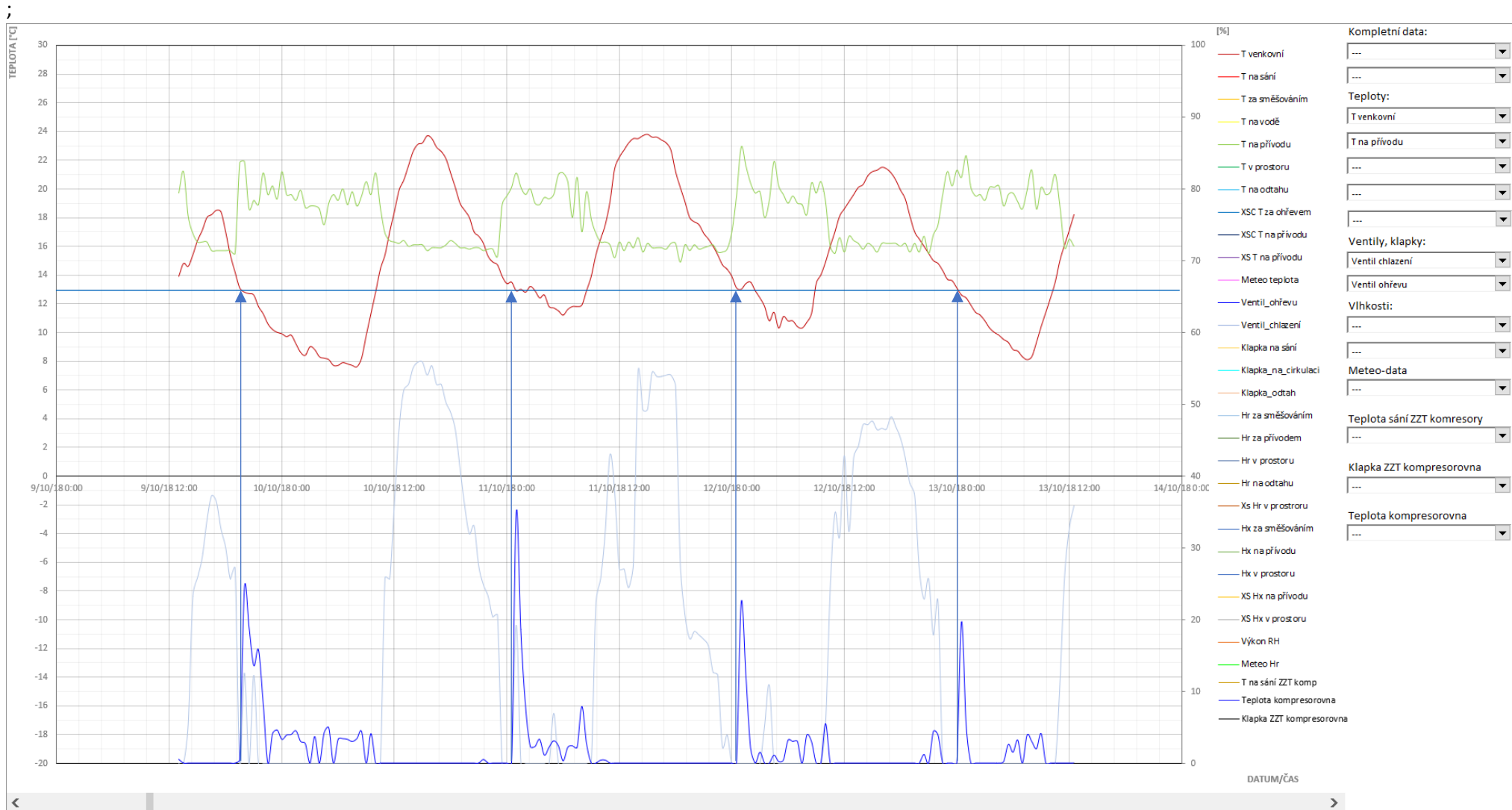
12.9 Příloha 9 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence



12.10 Příloha 10 - VZT8, přechodné období, 10 min vzorkovací frekvence



12.11 Příloha 11 - Průběh venkovní teploty, vliv solárních zisků



12.12 Příloha 12 - Protimrazová ochrana ohřivače, mezní teplota 13 °C