

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Vyhodnocení účinnosti detekčního algoritmu
chybových stavů vzduchotechnických jednotek**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Tereza Luňáková

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2019/2020

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 5. ledna 2020

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala panu Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. za jeho odborné vedení a věcné připomínky k mé diplomové práci a panu Ing. Ondřejovi Nehasilovi, Ph.D. za seznámení s touto problematikou, za jeho odborné rady a poskytování informací.

Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Janu Širokému, Ph.D. ze společnosti Energocentrum Plus, s.r.o. za poskytnutí přístupu do systému Mervis SCADA a programu RcWare SoftPLC a panu Janu Plškovi za pomoc při testování poruch.

Poděkování patří i mé rodině za podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Automatizovaná diagnostika a detekce poruch v budovách.....	10
2.1	Základní princip automatizované detekce a diagnostiky poruch.....	10
2.2	Důvody používání automatizované detekce a diagnostiky poruch.....	11
2.3	Základní kroky automatizované detekce a diagnostiky poruch.....	11
2.4	Dělení automatizované detekce a diagnostiky poruch.....	12
2.4.1	Metody založené na kvantitativním modelu.....	12
2.4.2	Metoda založená na kvalitativním modelu.....	13
2.4.2.1	Model na základě pravidel.....	13
2.4.2.1.1	Expertní systém.....	13
2.4.2.1.2	Technika založena na prvních principech.....	13
2.4.2.1.3	Limity a alarmy.....	13
2.4.2.1.4	Fuzzy logika.....	14
2.4.3	Metoda založená na modelech odvozených z historie procesů.....	14
2.4.3.1	Gray-box model.....	14
2.4.3.2	Black-box model.....	14
2.4.4	Zhodnocení metod.....	14
2.5	Příklad automatizované detekce a diagnostiky poruch v budovách.....	15
2.5.1	Metoda zjednodušeného postupu energetické analýzy pro detekci poruch na úrovni celé budovy.....	16
3	Automatizovaná detekce a diagnostika poruch u vzduchotechnických jednotek.....	18
3.1	Popis vzduchotechnické jednotky.....	18
3.2	Poruchy vzduchotechnický jednotek.....	18
3.2.1.1	Komponenty vzduchotechnické jednotky a jejich základní poruchy.....	18
3.3	Příklady AFDD u VZT jednotek.....	20
3.3.1	Pravidla pro hodnocení výkonu AHU - APAR.....	20
3.3.2	Detekce a diagnostika poruch navržená v Pražské laboratoři Honeywell.....	23
3.3.3	Metoda pro detekci poruchy testované na reálné budově v Egyptě.....	26
3.3.3.1	Pravidla:.....	26
3.3.3.2	Experimenty.....	26
4	Expertní systém automatické diagnostiky VZT jednotek.....	28
4.1	Testy.....	28
4.2	Testování systému.....	34
4.2.1	Testované jednotky.....	34
4.2.2	Poruchy vzduchotechnických jednotek.....	39
4.2.2.1	Porucha 1 – Uzavření klapky, režim vytápění.....	41
4.2.2.2	Porucha 2 – Uzavření klapky, režim chlazení.....	46

4.2.2.3	Porucha 3 – Uzavření klapek, režim větrání	50
4.2.2.4	Porucha 4 – Uzavřen ventil na ohřivači, režim vytápění.....	53
4.2.2.5	Porucha 5 – Uzavřen ventil na chladiči, režim chlazení	56
4.2.2.6	Porucha 6 – Čerpadlo vytápění vypnuto při zapnuté jednotce, režim vytápění	60
4.2.2.7	Porucha 7 – Zapnuto čerpadlo vytápění, režim větrání.....	62
4.2.2.8	Porucha 8 – Zapnuto čerpadlo chlazení, režim vytápění.....	64
4.2.2.9	Porucha 9 – Trvale otevřen ventil vytápění, režim větrání	68
4.2.2.10	Porucha 10 – Ventil na ohřivači zaseknut v mezipoloze, režim vytápění.. ..	72
4.2.2.11	Porucha 11 – Trvale otevřen ventil ohřevu, režim vytápění	76
4.2.2.12	Porucha 12 – Vypnutí ventilátorů, režim vytápění.....	78
4.2.2.13	Porucha 13 – Odpojení obou trubiček snímače diferenčního tlaku.....	79
4.2.2.14	Porucha 14 - Odpojení jedné trubičky snímače diferenčního tlaku (Negativní tlak)	81
4.2.2.15	Porucha 15 – Cyklování režimů	82
4.2.2.16	Porucha 16 – Zapnuto čerpadlo ohřevu + plně otevřen ventil ohřevu, režim větrání	87
4.2.2.17	Porucha 17 – Vypnuto čerpadlo ohřevu, režim vlhčení	88
4.2.2.18	Porucha 18 – Uzavřen ventil ohřevu, režim vlhčení	89
4.2.2.19	Porucha 19 – Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu -20°C ..	91
4.2.2.20	Porucha 20 – Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu 150°C..	93
4.2.2.21	Porucha 21 – Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu -20°C ...	95
4.2.2.22	Porucha 22 – Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu 150°C ..	97
4.2.2.23	Porucha 23 – Zavřený rekuperační výměník.....	100
4.2.2.24	Porucha 24 - Ventil chlazení zaseknutý v mezipoloze, režim chlazení	104
4.2.2.25	Porucha 25 - Ventil chlazení trvale otevřen, režim chlazení.....	107
4.3	Celkové zhodnocení detekčního systému	109
4.3.1	Detekované vs nedetekované poruchy.....	109
4.3.2	Detekované vs nedetekované testy	110
5	Závěr	112
6	Citovaná literatura.....	113
7	Přílohy.....	119

Anotace:

Cílem této diplomové práce je ověření účinnosti detekčního algoritmu chybových stavů vzduchotechnických jednotek. Pro ověření účinnosti byly stanoveny poruchy vzduchotechnických jednotek, které byly postupně uměle vyvolány a následně byly prozkoumány a porovnány výsledky detekčního systému s předpokládanými výsledky.

V první části diplomové práce je obecně popsána automatická detekce a diagnostika poruch, včetně jejího rozdělení a uvedení několika příkladů již navržených metod.

V druhé části je představen testovaný expertní systém pro detekování poruch vzduchotechnických jednotek, včetně popsání prováděných poruch a vyhodnocení jejich výsledků.

Klíčová slova:

Automatická detekce a diagnostika poruch, vzduchotechnická jednotka, porucha, test

Abstract:

The aim of this diploma thesis is to verify the efficiency of detection algorithm of air-handling units' faults. In order to verify the efficiency, defects in air handling units were determined, which were gradually artificially induced. Afterwards, the results of the detection system were compared with the expected results.

In the first part of the diploma thesis, the automated fault detection and diagnosis is described, including its division and a few examples of proposed methods.

In the second part there is introduced a tested expert system for fault detection of air handling units including description of performed failures and evaluation of its results.

Keywords:

Automated fault detection and diagnosis, air handling unit, fault, test

Seznam použitých symbolů a zkratk:

AFDD	[-]	Automated fault detection and diagnosis – Automatická detekce a diagnostika poruch
HVAC	[-]	Heating, ventilation and air conditioning – Vytápění, větrání a klimatizace
AHU	[-]	Air handling unit – Vzduchotechnická jednotka
VZT	[-]	vzduchotechnická jednotka
EMCS	[-]	Energy management and controlling system - Systémy pro hospodaření a řízení energie
CAV	[-]	constant air volume – konstantní průtok vzduchu
VAV	[-]	variable air volume – variabilní průtok vzduchu
ZZT	[-]	zpětné získávání tepla
APAR	[-]	AHU performance assessment rules - pravidla posuzování výkonu jednotky AHU
MT_{max}	[-]	maximální počet změn režimů za hodinu
T_{sa}	[°C]	teplota přiváděného vzduchu
T_{ma}	[°C]	teplota smíšeného vzduchu
T_{ra}	[°C]	teplota odváděného vzduchu
T_{oa}	[°C]	venkovní teplota vzduchu
T_{co}	[°C]	přechod. teplota vzduchu pro přechod z režimu 3 na režim 4
$T_{sa,s}$	[°C]	požadované teplota přiváděného vzduchu
ΔT_{sf}	[°C]	nárůst teploty přechodem přes přívodní ventilátor
ΔT_{rf}	[°C]	nárůst teploty přechodem přes odvodní ventilátor
ΔT_{min}	[°C]	práh min. teplotního rozdílu mezi odváděným a venkovním vzduchem
Q_{oa}/Q_{sa}	[m ³ /h]	množství venkovního vzduchu
$(Q_{oa}/Q_{sa})_{min}$	[m ³ /h]	práh minimálního množství venkovního vzduchu
u_{hc}	[-]	normalizovaný řídicí signál ventilu ohřevu
u_{cc}	[-]	normalizovaný řídicí signál ventilu chladiče
u_d	[-]	normalizovaný řídicí signál klapky směšovací skříně
ε_t	[°C]	práh pro chyby v měření teploty
ε_f	[m ³ /h]	prahový parametr zohledňující chyby související s prouděním vzduch
ε_{hc}	[-]	prahový parametr pro řídicí signál ventilu ohřevu
ε_{cc}	[-]	prahový parametr pro řídicí signál ventilu chladiče
ε_d	[-]	prahový parametr pro řídicí signál klapky směšovací skříně
U_{CC}	[-]	řídicí signál pro polohu chladícího ventilu
U_{HC}	[-]	řídicí signál pro polohu ventilu ohřevu
U_D	[-]	řídicí signál pro polohu klapky
OA	[°C]	venkovní teplota vzduchu
MA	[°C]	teplota smíšeného vzduchu
SA	[°C]	teplota přiváděného vzduchu
RA	[°C]	teplota vratného vzduchu
EA	[°C]	teplota výstupního vzduchu
SA_{set}	[°C]	požadované teplota přiváděného vzduchu
P_s	[Pa]	tlak přiváděného vzduchu
ε_p	[Pa]	prahová hodnota přiváděného tlaku
C_h	[-]	režim vytápění

c_v	[-]	režim vytápění
c_c	[-]	režim chlazení
T_s	[-]	perioda vzorkování naměřených dat
CO_2	[-]	Oxid uhličitý
MaR	[-]	měření a regulace
RH	[%]	relativní vlhkost

1 Úvod

U systému vytápění, větrání a klimatizace budov dochází často k poruchám, které nemusejí být na první pohled viditelné a zůstávají bez povšimnutí (1). Díky těmto poruchám a nesprávné údržbě zařízení může docházet ke zbytečně vysoké spotřebě energie. V Evropské unii je využíváno 50 % konečné spotřeby energie právě na systémy vytápění a chlazení (2). V kancelářských prostorech je využíváno více než 40 % spotřeby energie na systémy HVAC (3). Přitom při správném chodu HVAC by se dalo ušetřit 15 až 30 % ze spotřeby energie. Jednou z možností jak tuto energii ušetřit je využití automatizované detekce a diagnostiky poruch systémů HVAC. (4) (5)

Automatizovaná detekce a diagnostika poruch (AFDD) je oblast vyšetřující detekci poruch a diagnostikování jejich příčin. AFDD je již dlouho využívána v automobilovém průmyslu, letectví, v kosmickém průmyslu, jaderné obraně a obraně státu. V budovách se tato oblast pomalu rozvíjí až v posledních třech desetiletích. Mezi první aplikace patří zařízení na principu parního cyklu jako jsou ledničky, klimatizace, tepelná čerpadla a chillery. Později se AFDD zaměřilo i na vzduchotechnické jednotky. (4) (6)

Cíle práce

- Sestavení testů pro ověření funkčnosti vybraných testů detekčního systému AFDD vytvořeného na UCEEB ČVUT v Praze
- Provedení testů na vzduchotechnických jednotkách v Univerzitní centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze
- Vyhodnocení účinnosti detekčního systému AFDD a případné navržení jeho vylepšení

2 Automatizovaná diagnostika a detekce poruch v budovách

2.1 Základní princip automatizované detekce a diagnostiky poruch

Cílem AFDD je včas detekovat chyby zařízení a diagnostikovat jejich příčinu, která by mohla vést k trvalému poškození zařízení nebo ovlivnit vnitřní mikroklima v budově.

Abychom mohli chybu detekovat, musí být systém nebo zařízení neustále sledováno. Tím se detekují abnormální stavy, které jsou poté diagnostikovány. Následuje vyhodnocení významu poruch, např. jaký bude mít porucha dopad na spotřebu energie, jaké budou náklady a jaký bude mít další vliv na výkon systému nebo zařízení. Poté se rozhodne, jaká bude reakce na poruchu. (4)

AFDD tedy obsahuje tři procesy: detekci, izolaci a identifikaci poruchy. Dle Ding (1) je účelem detekce poruch „detekce výskytu poruch ve funkčních jednotkách procesu, které vedou k nežádoucímu nebo netolerovatelnému chování celého systému“ (1). Do izolace poruchy je zahrnuto rozlišení druhu poruchy a její umístění včetně doby výskytu. Identifikace poruchy určuje právě velikost poruchy a její změny v čase. Tyto dva procesy izolace a identifikace poruchy jsou nazývány jako diagnostika poruchy. (4) (7)

Jako zdroj dat pro systém AFDD nám slouží sensorová a řídicí data ze systému automatizace a řízení budov. Tyto data jsou posílána do systému a ten pak provede detekci, případně i diagnostiku poruch. (5)

2.2 Důvody používání automatizované detekce a diagnostiky poruch

Mezi důvody proč používat AFDD nepatří pouze snížení spotřeby energie a tím snížení nákladů, ale i zlepšení kvality vnitřního prostředí. Dále zefektivnění údržby systému HVAC. Například 20 VZT jednotek bývá spravováno pouze jednou osobou, a proto se údržba provádí pouze v případě, že si konečný uživatel začne stěžovat. Proto se mohou některé poruchy bez povšimnutí rozvíjet, až dojde k úplnému znehodnocení zařízení. AFDD by na tuto poruchu upozornilo například správce budovy a mohlo by se tak předejít úplnému znehodnocení zařízení. (6)

2.3 Základní kroky automatizované detekce a diagnostiky poruch

- 1) Návrh a instalace senzorové sítě
V první fázi je důležité si rozmyslet, jaké typy poruch a s jakou přesností mají být detekovány a podle toho umístit senzory. Následně senzory zapojit do sběru dat. (8)
- 2) Předběžné zpracování sensorových dat
Před zpracováním dat se data musejí filtrovat, aby došlo k odstranění špatných signálů a poté se vyčištěná data vzorkují, ukládají a zaznamenávají. Vše probíhá po předem stanovených frekvencích. (8)
- 3) Detekce poruch
Filtrovaná a uložená data jsou analyzována a určuje se, zda se nevychýlila od očekávaného stavu (8).
- 4) Diagnostika poruch
Po detekci chyby se izoluje chybová část a určí se její velikost a závažnost (8).
- 5) Vyhodnocení poruch
V tomto kroku se posuzuje jaký dopad má porucha na výkon systému a jaké budou náklady na opravu poruchy (8).
- 6) Zahájené akce
Pokud by porucha způsobovala těžké poškození zařízení nebo ohrožovala lidský život, bylo by následujícím krokem vypnout celý systém. Další poruchy by se opravovaly v době, jakmile bude jednotka vypnuta např. po pracovní době nebo v noci. (8)

Ke správnému fungování infrastruktury je potřeba:

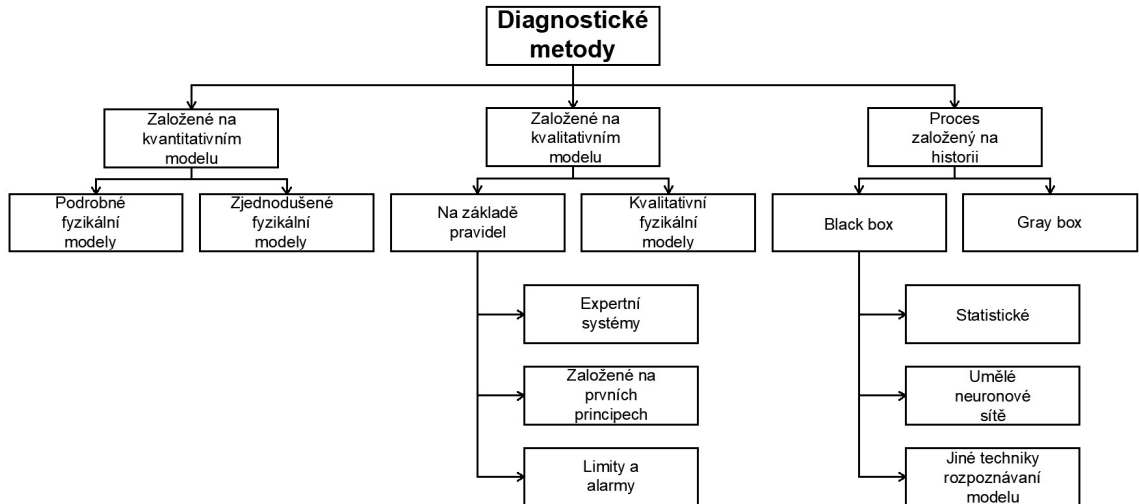
- 1) Dostatek snímacích komponentů
- 2) Spolehlivá síť
- 3) Vhodné výpočetní zdroje

Právě nedostatek nebo rozsah senzorů je častým problémem AFDD. Z důvodu vysokých počátečních nákladů při pořizování senzorů bývají pořizovány senzory s nižší přesností. K problémům také patří vhodné označování dat. Měly by být sjednoceny názvy senzorů budovy, vybavení a řídicích proměnných, aby byla usnadněna implementace pokročilého řízení budov a diagnostické aplikace. Dalším problémem je kalibrace senzoru, čištění dat a eliminace šumu. (5) Také se musí brát ohled na kybernetickou bezpečnost, ta závisí především na účelu budovy (9).

Důležitým problémem je stanovení prahů pro odchylky naměřeného a předpokládaného výkonu. Musí se nastavit takové prahy, aby byla detekce přesná, ale aby nebyla příliš přísná a nevyskytovaly se falešné poplachy. Pokud se nastaví příliš přísné prahy, bude se vyskytovat více falešných poplachů a to by mohlo vést k úplnému vypnutí systému uživatelem. (8)

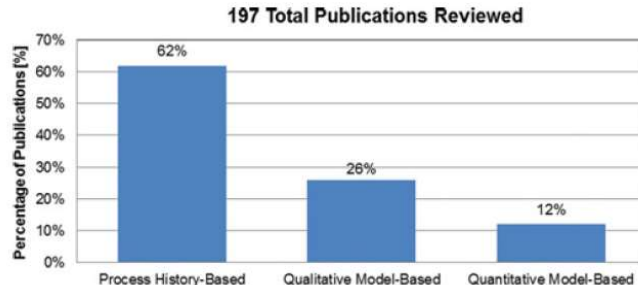
2.4 Dělení automatizované detekce a diagnostiky poruch

Pro detekci a diagnostiku poruch bylo vyvinuto několik různých metod. Metody se rozdělují podle toho, zda jsou založeny na fyzikálních a analytických modelech nebo na analýze historických dat. Metody založené na fyzikálních a analytických modelech se dále rozdělují na modely založené na kvantitativním modelu a modely založené na kvalitativním modelu. (6)



Obr. 1: Schéma rozdělení AFDD metod (4)

Woohyun Kim a Srinivas Katipamula prostudovali 197 studií z toho 62 % používalo metodu modelu založeného na historických procesech, 26 % metodu založenou na kvalitativním modelu a 12 % používalo metodu založenou na kvantitativním modelu (10).



Obr. 2: Procentuální porovnání metod AFDD (10)

2.4.1 Metody založené na kvantitativním modelu

Tato metoda je složena z matematických vztahů, odvozených ze základních fyzikálních principů. Je tedy nutná znalost fyzikálních principů, podle kterých se systém řídí. Modeluje se chování systému a předvídané nebo odhadované hodnoty výstupů pro parametry modelu a pro měřené vstupy jako je průtok, tlak, teplota, vlhkost atd. Tyto hodnoty jsou poté porovnávány s naměřenými hodnotami. Metoda se rozděluje na podrobné fyzikální modely a na zjednodušené fyzikální modely. (4) (10)

Jak vyplývá z názvu, podrobné modely používají podrobné znalosti fyzikálních vztahů a je nutné podrobně znát i vlastnosti jednotlivých komponentů v systému. Podrobné modely umožňují modelovat nejen normální, ale i vadný provoz a také přechodné chování systému. Kvantitativní metoda umožňuje nejpresnější přechodné chování systému v porovnání s ostatními modelovacími systémy. (4) (10)

Zjednodušené fyzikální modely se zaměřují na hlavní faktory, které mají vliv na výkon systému. Místo složitých parciálních časoprostorových diferenciálních rovnic v hmotě, hybnosti a energii se používají obyčejné diferenciální a algebraické rovnice. (4)

Data, která jsou zapotřebí pro modelování nebývají často dostupná a nelze je zobecnit. Pro tuto metodu jsou nutné také kvalitní senzory pro sběr dat, které bývají drahé. Z tohoto důvodu se kvantitativní modely v budovách moc nepoužívají. Jsou vhodné spíše do průmyslových systémů. (6) (10)

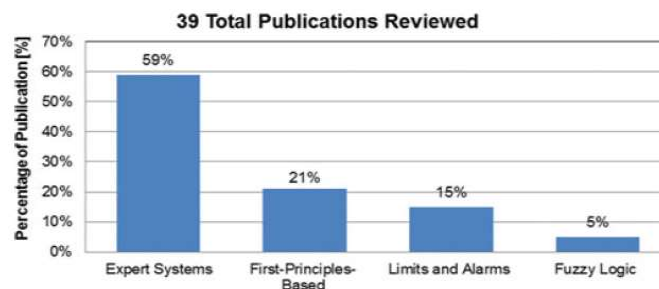
2.4.2 Metoda založená na kvalitativním modelu

Kvalitativní metody se rozdělují na modely na základě pravidel a kvalitativní fyzikální modely. Nejčastěji se používá model na základě pravidel, kde se používají apriori znalosti, neboli znalosti dostupné předem, pro určení sady pravidel a inferenčního mechanismu. Tento mechanismus prohledává pravidla a podle nich identifikuje poruchy. (10) Kvantitativní modely využívají kvantitativní vstupy jako je teplota, tlak a vlhkost, ale většinou jsou před použitím předzpracovány na kvalitativní vstupy (4).

2.4.2.1 Model na základě pravidel

Model na základě pravidel se sestavuje pomocí expertních systémů, technik založených na prvních principech, pomocí limitů a alarmů a fuzzy logikou. Model se provádí pro konkrétní systém. Nastavují se prahy nebo alarmy podle analýzy historických dat ze senzorů. (10)

Z 39 studií o modelech na základě pravidel používá 59 % expertní systémy, 21 % techniky založené na prvních principech, 15 % používá metodu založenou na limitech a alarmech a pouhých 5 % používá „fuzzy logic“ metodu (10).



Obr. 3: Procentuální porovnání metod používajících model na základě pravidel (10)

2.4.2.1.1 Expertní systém

Expertní systémy mají poměrně snadný vývoj. Pro jejich modelování se používají dvě metody a to buď mělké znalosti nebo hluboké znalosti. U mělkých znalostí systémy používají typová pravidla IF-THEN. Ta jsou konstruována podle velkého souboru empirických pozorování. Používat by se měla v případě, že jsou dobře známé možnosti selhání. V opačném případě je lepší použít systémy s hlubokými znalostmi. Hluboké znalosti jsou znalosti odborníka v dané oblasti, který rozumí problémům, které by mohly nastat. (11)

2.4.2.1.2 Technika založena na prvních principech

Model chování systému je u prvních principů vytvářen na základě hmotnostní a energetické bilance, pomocí které se vytvářejí statické a dynamické modely (12).

2.4.2.1.3 Limity a alarmy

Tato metoda porovnává výstupy ze senzorů s očekávanými hodnotami. Pokud hodnoty výstupu překročí nastavený limit je detekována chyba systému. K této metodě je tedy zapotřebí velké množství dat a senzorů. (10)

2.4.2.1.4 Fuzzy logika

Fuzzy logika je matematická disciplína, která spočívá v přidání stupně příslušnosti prvku k množině. Stupeň příslušnosti nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$. U klasické teorie množin buď prvek do množiny patří nebo nepatří. (13) To znamená, že v případě použití fuzzy metody jsou k jednotlivým proměnným přiřazeny stupně jejich členství, neboli hodnota vyjadřující velikost podílu na dané poruše. A podle toho se nachází nejpravděpodobnější původ chyby. Tímto způsobem se dá zabránit velkému množství falešných alarmů. (10)

U fuzzy metody se používá sada vstupů, která je převedena na fuzzy reprezentace a ty se porovnávají s fuzzy pravidly IF-THEN. Oproti ostatním metodám s pravidly používá fuzzy logika mnohem méně pravidel. Několik klasických pravidel, lze totiž nahradit pouze jedním fuzzy pravidlem. (10)

2.4.3 Metoda založená na modelech odvozených z historie procesů

Tato metoda využívá historii procesů k vytvoření modelu. Vstupy i výstupy jsou tedy známé a matematicky se propojují. Existují dva druhy modelu odvozeného z historie procesů. Rozlišují se podle toho, zda mají funkce nebo parametry fyzikální význam. V případě, že fyzikální význam nemají, jedná se o model black-boxu. V opačném případě, kdy jsou parametry modelu tvořeny prvními principy, které mají fyzikální význam, se nazývá model gray-boxu. (4)

2.4.3.1 Gray-box model

Tento model používá pro odhad parametrů modelu lineární nebo vícenásobné lineární regrese z měřených historických údajů. Údaje je možné obdržet například od výrobce, z laboratorních zkoušek nebo z provozu. Při použití modelu gray-boxu je nutné dobře znát principy systému, ať už kvůli vhodné formulaci rovnice nebo pro odhadování modelu. Oproti modelům black-boxu bývají modely gray-boxu robustnější, a proto mohou být přesnější. Pro použití gray-boxu je nutné znát velké množství historických dat, které by mělo obsahovat minimum chybných dat, aby nedocházelo ke změnám fyzikálních parametrů. U tohoto modelu je možná extrapolace provozních podmínek na jiné systémy nebo zařízení. (4) (10)

2.4.3.2 Black-box model

Model černého boxu je tvořen pomocí statických či nestatických metod. Nestatické metody jsou metody umělé neuronové sítě a další metody rozpoznávání vzorů nebo fuzzy logic metoda. Tento model je sice rychlejší na vývoj a méně namáhavý, ale tomu i odpovídá nižší přesnost modelu oproti modelu šedého boxu. (4) (5)

Umělé neuronové sítě (ANNs) jsou sady uzlů, které jsou vzájemně propojeny a uspořádány do více vrstev. Uzly si mezi sebou předávají data. ANNs dokáže modelovat nelineární chování systému, je však závislé na velkém množství naměřených dat. (4) (10) V případě nedostatečného množství naměřených dat jsou sítě nepřesné a dochází ke špatné diagnostice (6).

2.4.4 Zhodnocení metod

Při výběru metody AFDD se musí brát ohled na typ systému, stupeň automatizace, musí se předem stanovit požadovaná podrobnost diagnostiky a tolerance falešných poplachů. Dále jaké množství vstupních dat bude zapotřebí, jaký je počet a umístění přítomných senzorů a jaké budou náklady na implementaci. (6)

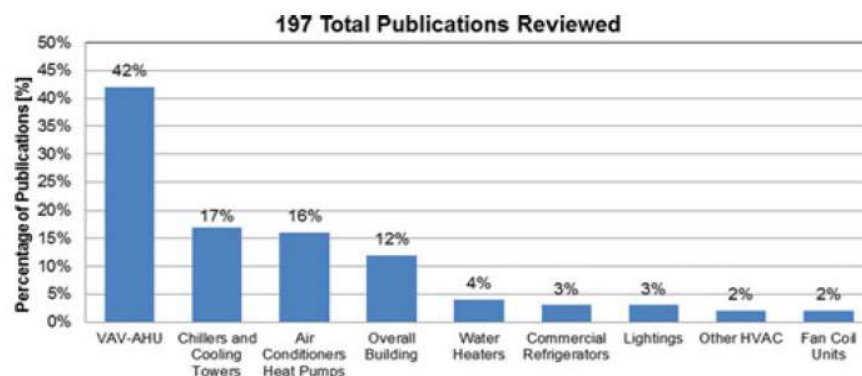
AFDD založené na kvantitativním modelu jsou sice nepřesnější a modelují i vadný provoz, ale musí se dodávat přesný model, který je složitý a nelze ho jednoduše převzít na jiné systémy. Také potřebují velké množství bezporuchových dat, která jsou těžko dostupná. V některých případech jsou provozní data pouze uložena po určitou dobu, a poté jsou smazána. Někdy také dojde k selhání síťové komunikace, a proto nejsou uložena všechna data. Z tohoto důvodu je složité sehnat velké množství bezporuchových dat. (4) (14) (15)

AFDD založené na kvalitativním modelu již nepotřebují tolik dat, jelikož jsou založeny na znalostech odborníků a mají snadný vývoj a užívání, ale také ho lze použít převážně pouze pro jeden systém. Kvalitativní modely jsou méně přesné oproti modelům založeným na datech. Systémy založené na historii procesů také většinou není možné využít pro více systémů a vyžadují velké množství dat, ale nejsou u nich zapotřebí žádné odborné znalosti. Aby nebylo za potřeby takto velké množství dat, je možné metody AFDD kombinovat. Tím by se metody staly co neúčinnější a daly by se použít na více zařízení. (4) (6) (14)

Nově navrhované metody AFDD by tedy měly brát ohled na to, že většina systémů nemá dostatek senzorů, a že použité senzory mají nízkou přesnost a měly by být navrženy tak, aby se daly použít i do jiného zařízení (15).

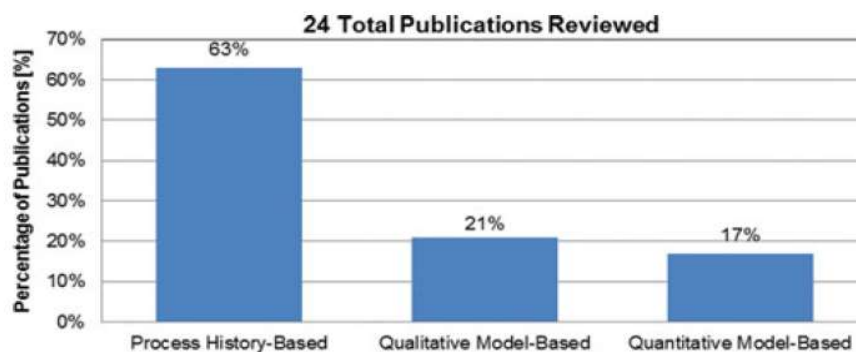
2.5 Příklad automatizované detekce a diagnostiky poruch v budovách

V dnešní době je již navržené velké množství technik detekce a diagnostiky pro systémy HVAC. Woohyun Kim a Srinivas Katipamula prostudovali 197 studií s AFDD z toho pouze 12 % se zaměřovalo na budovu jako celek, zbytek byl zaměřen na jednotlivé komponenty např. VZT jednotky, tepelná čerpadla atd. (10).



Obr. 4. Klasifikace literatury AFDD na základě stavebního systému (10)

AFDD celé budovy se zaměřuje na problém se spotřebou energie na úrovni budovy. Nejvíce se využívá metoda na základě historie procesu, z 24 studií používá tuto metodu 63 % studií. 21 % studií využívá kvalitativní metodu a zbylých 17 % používá kvantitativní metodu (10).



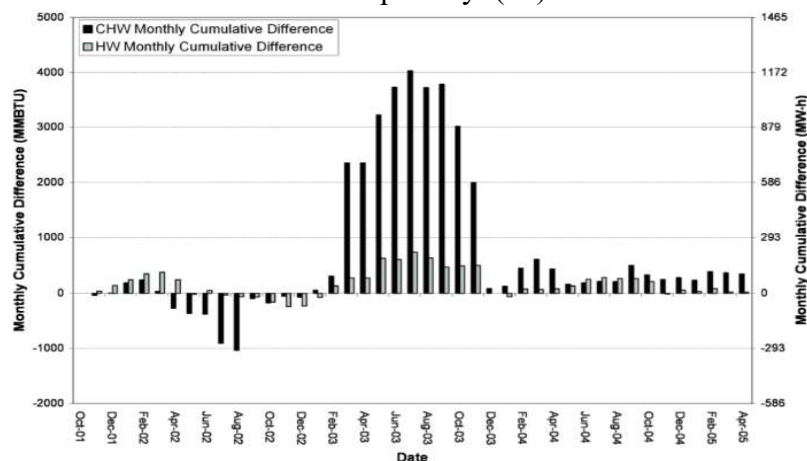
Obr. 5: Metody použité pro celou budovu (10)

2.5.1 Metoda zjednodušeného postupu energetické analýzy pro detekci poruch na úrovni celé budovy

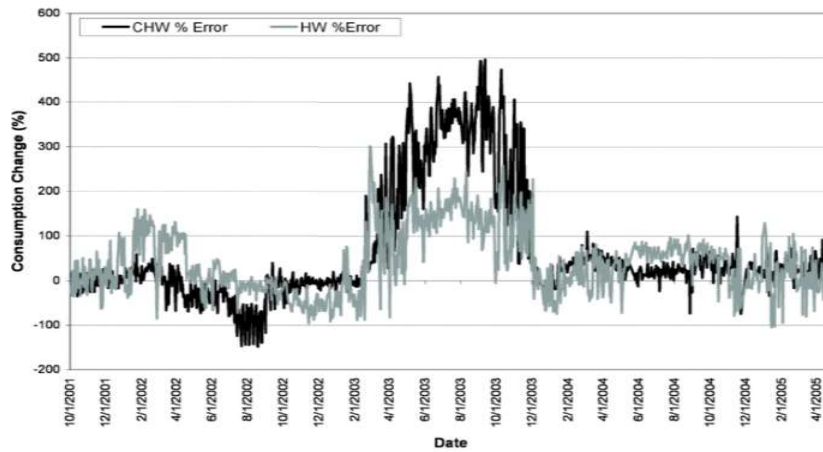
Seung Uk Lee, PE sepsal spolu s Frankem I. Painterem a Davidem E. Chlaridgem, Ph.D., PE studii zjednodušeného postupu energetické analýzy pro detekci poruch na úrovni celé budovy. Jedná se o techniku, která vizuálně porovnává naměřená data pomocí kalibrované simulace. Tato technika pro detekci poruch vizuálně porovnává výsledky ze simulace a naměřené údaje o spotřebě energie v budově. Jedná se o metodu, která dokáže detekovat jak náhlé tak postupné poruchy. Aby byla tato technika přesná musí se nejdříve shromáždit informace o budově, jako je skladba stěn, orientace budovy, umístění budovy, vnitřní zatížení, plány obsazenosti a údaje o zařízení, údaje o spotřebě a data o počasí. Za pomocí těchto dat se kalibruje simulace. Kalibrace se provede tak, že se nejdříve upraví profil spotřeby chladicí energie. Profil se upravuje tak, aby se podobal měřenému profilu spotřeby. Upravuje se vstupy jako je složení stěn, součinitel prostupu tepla, poměr prosklených ploch a ploch stěn, teplota venkovního vzduchu, vnitřních zisků apod. To samé se provede pro spotřebu tepla. Následně se kalibrovaná simulace chlazení a vytápění upraví tak, aby celková spotřeba energie odpovídala naměřeným hodnotám. Poté se přejde ke sběru naměřených dat chlazení, vytápění a dat venkovního prostředí. Dále se porovná simulovaná a změřená spotřeba energie a vyhodnotí se jejich rozdíly. Pokud překračují stanovaný práh chyby, chyba bude detekována. (16)

Tato metoda byla testovaná na skutečné budově v Texasu. Jednalo se o budovu jídelny na místní univerzitě. U této budovy byla v roce 1999 vyměněna převážná část VZT jednotek. Senzory a virtuální senzory jsou monitorovány a řízeny systémem řízení a kontroly energie (EMCS), kde se zaznamenává spotřeba energií. Informace o systému HVAC byly převzaty z výkresů skutečného provedení stavby a přímo ze stavby. Dále se získal plán provozu budovy. Poté se provedla kalibrovaná simulace spotřeby energie a následně byla opravena tak, aby byla stejná s celkovou naměřenou spotřebou. Poté se shromáždily data spotřeby energie z EMCS. Byly však zjištěny v určitých bodech rozdíly mezi simulovanými a naměřenými hodnotami. Zjistilo se, že bylo rozbité čidlo pro venkovní vlhkost a teplotu a byly převzaty hodnoty z Národní meteorologické služby. Poté s porovnaly výstupy simulace s naměřenými daty spotřeby energie chladu a tepla a vizuálně se vyhodnotily rozdíly. Byly však zjištěny velké rozdíly mezi naměřenými daty a výstupy ze simulace. Rozdíly ve spotřebě byly způsobeny zásahy do vytápění a chlazení. Například během Vánočních svátků byl změněn provoz, v lednu až dubnu 2002 byl rozbitý ventil ohřevu, v létě 2002 byla uzavřena kavárna apod. (16)

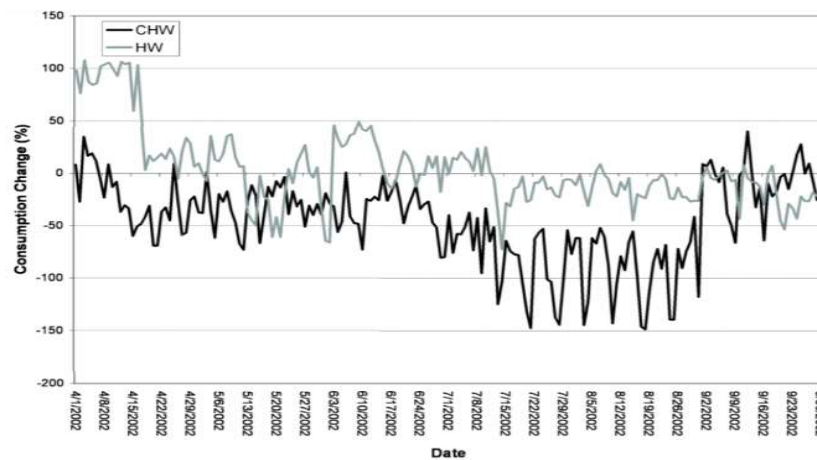
Výstupy byly znázorněny ve třech typech grafů. Jako první je znázornění měsíčního kumulativního rozdílu spotřeby tepla a chladu. Poté ve formě procentuální změny spotřeby a následně grafem kumulativního rozdílu spotřeby. (16)



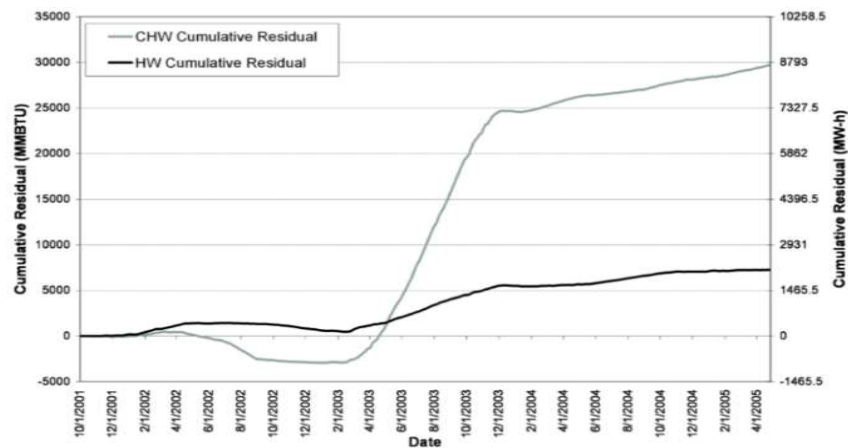
Obr. 6: Měsíční kumulativní rozdíl spotřeby tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16)



Obr. 7: Denní procentuální spotřeba tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16)



Obr. 8: Denní procentuální spotřeba tepla a chladu mezi 1. dubnem a 30 říjnem (16)



Obr. 9: Kumulativní rozdíly spotřeby tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16)

Jako nejlepší znázornění se jeví graf kumulativního rozdílu spotřeby, který je nejpřehlednější.

3 Automatizovaná detekce a diagnostika poruch u vzduchotechnických jednotek

3.1 Popis vzduchotechnické jednotky

Vzduchotechnické jednotky (AHU) se používají na úpravu vzduchu a zajišťují přívod čerstvého vzduchu do objektu a případně odvod znehodnoceného vzduchu z objektu. Přiváděný vzduch se v jednotce upravuje na požadované vlastnosti. Jedná se o úpravu vlhkosti, teploty a čistoty vzduchu. VZT jednotky mohou pracovat s konstantním objemem nebo proměnným objemem vzduchu. Při použití konstantního průtoku se systém nazývá CAV. V případě proměnného průtoku vzduchu se nazývá VAV systém, který mění průtok vzduchu podle aktuálních požadavků v budově, zatímco CAV přivádí stále stejné množství, bez ohledu na zatížení objektu. VZT jednotky mohou být jednokanálové nebo dvoukanálové. Jednokanálové jednotky obsahují jedno potrubí, které slouží buď pro přívod nebo pro odvod vzduchu z prostoru. Dvoukanálové jednotky mají potrubí jak pro přívod, tak pro odvod vzduchu z prostoru. (17)

3.2 Poruchy vzduchotechnický jednotek

Klasická rovnotlaká dvoukanálová VZT jednotka je složena z dvojice ventilátorů, ohřívače, chladiče, komory pro směšování vzduchu, komory s výměníkem pro zpětné získávání tepla, zvlhčovače, filtrů vzduchu a uzavíracích a regulačních klapek (18). Poruchy VZT jednotky lze rozdělit do tří kategorií. Konstruktivní poruchy, poruchy hardwaru a poruchy řídicího systému. Do konstruktivních poruch patří poruchy způsobené při instalaci zařízení, například prohozením senzorů, nebo špatně nainstalovaný ventilátor apod. Poruchy hardwaru jsou dvojího druhu: náhlé a postupné. Do náhlých poruch patří zaseknutý ventil ohřevu a chladu nebo zaseknutá klapka. Postupná porucha je například degradace. Do poruch řídicího systému se zařazují vadné senzory, nevhodné nastavení regulátorů apod. (19)

3.2.1.1 Komponenty vzduchotechnické jednotky a jejich základní poruchy

a) Klapky

K poruchám většinou dochází u servopohonu klapek nebo může docházet k netěsnosti klapek.

b) Filtry

Poruchy u filtrů jsou způsobeny ucpáním filtru nebo rozbitým snímačem diferenčního tlaku.

c) Výměník pro zpětné získávání tepla

Poruchy u výměníků jsou způsobeny netěsnostmi nebo rozbitým servopohonem u klapky. Dále může docházet k znečištění ploch výměníku. A v případě rotačního výměníku může dojít k poruše elektromotoru a pohonu pro regulaci otáček kotouče (20).

d) Směšovací komora

Poruchy ve směšovací komoře jsou způsobené stejně jako u výměníku ZZT rozbitým servopohonem klapky nebo netěsností klapky.

e) Ohřívač

Ohřívače ve vzduchotechnických jednotkách jsou buď elektrické, vodní či glykolové. V této práci jsou vždy použity jednotky s vodním ohřívačem. Mezi poruchy u vodních

ohřivačů může patřit porucha ventilu. Ventil může mít rozbitý servopohon, může být mechanicky zaseknutý v jedné poloze nebo může být netěsný a může docházet k částečnému průtoku i při zavřeném ventilu. Další poruchou může být rozbité čerpadlo ohřevu nebo může docházet k úniku otopné vody do jednotky. Dále může být zanesený výměník jak z vnější tak z vnitřní části. V obou případech dochází ke snížení výkonu ohřivače (20). Také může být předimenzovaný či poddimenzovaný výměník.

f) Chladič

Chladiče ve vzduchotechnických jednotkách mohou být vodní či glykolové. V této práci jsou k ověření účinnosti detekčního algoritmu použity vodní chladiče. Mezi poruchy vodního chladiče patří rozbitý ventil chladu, kde může být stejně jako u ohřivače rozbitý servopohon, zaseklý ventil nebo netěsný ventil. Další poruchou je rozbité čerpadlo chlazení nebo předimenzovaný či poddimenzovaný výměník. U chladiče může také docházet k úniku chladicí vody do jednotky a k zanesení výměníku chladu.

g) Zvlhčovač

U parního zvlhčovače může být rozbité čerpadlo. U vodního vlhčení může také docházet k rozbití čerpadla, ale i k rozbití ventilu, tzn. rozbitý servopohon ventilu, zaseknutý ventil či netěsný ventil. Dále může dojít k zanesení distribučních prvků a tím ke snížení výkonu zvlhčovače (20).

h) Ventilátory

Nejčastějšími poruchami ventilátorů jsou poruchy elektromotoru, mechanické závady oběžného kola nebo převodů a selhání některého ze senzorů (např. na měření diferenčního tlaku).

i) Sensory

Pomocí senzorů se měří proměnné v systému. Sensory posílají zpětné signály do řídicí jednotky a ta udržuje požadované hodnoty proměnných. Pokud tedy nastane porucha senzoru, například senzor bude měřit o 2°C méně u teploty v interiéru, regulátor otevře ventil ohřevu, aby se vzduch dohřál na požadovanou teplotu. Výsledná teplota ve skutečnosti bude o 2°C vyšší než je požadované teplota v interiéru. (12) U senzorů jsou dva typy chyb, náhlé a postupné. Do náhlých chyb patří odlehle hodnoty či úplně chybějící hodnoty, postupné chyby jsou zmrazené senzory nebo posun senzorů. Velkým problémem řídicích signálů je oscilace, jelikož může dojít ke skrytí skutečné poruchy. Naopak při chybách senzorů dochází k falešným poplachům a diagnostikuje se porucha, i když žádná nenastala. (19)

3.3 Příklady AFDD u VZT jednotek

3.3.1 Pravidla pro hodnocení výkonu AHU - APAR

U metodiky APAR je sestaveno 28 expertních pravidel pro hodnocení výkonu vzduchotechnické jednotky odvozených pomocí kvalitativních modelů. Používá se pro VZT jednotky s proměnným i konstantním průtokem vzduchu. Tyto pravidla jsou zaměřena na regulaci teploty, jelikož VZT jednotka upravuje teplotu přiváděného vzduchu. Proto jsou pravidla sestavena pro čtyři provozní režimy jednotky, které udržují teplotu vzduchu podle nastavených požadavků. (21) (22)

Tyto provozní režimy jsou:

- Režim 1: Vytápění
- Režim 2: Chlazení s venkovním vzduchem
- Režim 3: Strojní chlazení se 100 % venkovního vzduchu
- Režim 4: Strojní chlazení s minimem venkovního vzduchu
- Režim 5: Neznámý stav

Je zde navíc režim 5, který se objevuje v případě, že se jednotka chová jinak, než by se předpokládalo. Například jednotka vytápí a chladí zároveň (21).

Režim 1: Vytápění

Při tomto režimu je otevřen ventil ohřevu a zapnuto čerpadlo ohřevu, ventil chlazení je uzavřen. Klapka ve směšovací komoře je otevřena tak, aby bylo přiváděno minimální požadované množství čerstvého venkovního vzduchu. (21)

Režim 2: Chlazení venkovním vzduchem

Tento režim se používá v případě, že již není potřeba vytápět. Dochází k přechodu z režimu vytápění na režim chlazení venkovním vzduchem. Uzavírá se tedy ventil ohřevu a klapky ve směšovací komoře jsou nastaveny tak, aby byla udržena požadovaná hodnota teploty přiváděného vzduchu. Ventil chlazení je při tomto režimu stále uzavřen. (21)

Režim 3: Strojní chlazení se 100 % venkovního vzduchu

Se zvyšující se venkovní a vnitřní teplotou se začíná otevírat ventil chlazení a klapky ve směšovací komoře se nastavují tak, aby nedocházelo ke směšování odváděného a přiváděného vzduchu. Ventil ohřevu je uzavřen. (21)

Režim 4: Strojní chlazení s minimálním množstvím venkovního vzduchu

V případě, že bude vnitřní teplota podstatně nižší než teplota venkovního vzduchu bude klapka ve směšovací komoře nastavena tak, aby bylo přiváděno minimální množství požadovaného čerstvého venkovního vzduchu. Ventil chlazení bude otevřen tak, aby udržoval teplotu přiváděného vzduchu na požadované hodnotě. Ventil ohřevu bude uzavřen. (21)

Pravidla jsou sestavena na základě zákona o zachování hmoty a energie. Aby bylo možné použít tyto pravidla, musí být v jednotce umístěny senzory, které jsou potřebné pro řízení jednotky. Musí být známa (21):

- Požadovaná teplota přiváděného vzduchu
- Teplota přiváděného vzduchu
- Stav obsazenosti
- Teplota odváděného vzduchu
- Teplota smíšeného vzduchu

- Venkovní teplota vzduchu
- Řídící signál ventilu chlazení
- Řídící signál ventilu ohřevu
- Ovládací signál směšovací klapky
- Relativní vlhkost odváděného vzduchu
- Relativní vlhkost venkovního vzduchu

Je možné umístit ještě další senzory a tím rozšířit sadu pravidel. Naopak pokud budou některé senzory chybět, dojde k vyřazení některých pravidel (21).

Kromě těchto údajů musí být určena minimální a maximální hodnota regulačních signálů ventilu ohřevu a chlazení a směšovací klapky. Dále minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu, teplota pro přechod z režimu 3 - mechanické chlazení se 100 % venkovního vzduchu na režim 4 – mechanické chlazení s minimálním množstvím venkovního vzduchu. (21)

V APAR pravidlech se uvažuje i zvýšení teploty při průchodu vzduchu přes ventilátor. Uvažuje se cca 1,1°C. Dále musí být pro každé pravidlo stanovená prahová hodnota. V případě překročení této hodnoty je označena chyba a došlo tedy k poruše. (21)

Jednotlivá pravidla mají svůj seznam možných příčin (22).
Např. u pravidla č. 5

$$T_{oa} > T_{sa,s} - \Delta T_{sf} - \varepsilon_t$$

Pokud je teplota venkovního vzduchu vyšší než požadovaná teplota přiváděného vzduchu po odečtení tepla získaného na ventilátoru a odečtení prahu pro chyby v měření teploty, došlo k poruše a je nutné přiřadit její příčinu.

Seznam pravidel:

Režim vytápění

- Pravidlo 1 $T_{sa} < T_{ma} + \Delta T_{sf} - \varepsilon_t$
- Pravidlo 2 $Pro |T_{ra} - T_{oa}| \geq \Delta T_{min}: \left| \frac{Q_{oa}}{Q_{sa}} - \left(\frac{Q_{oa}}{Q_{sa}} \right)_{min} \right| > \varepsilon_f$
- Pravidlo 3 $|u_{hc} - 1| \leq \varepsilon_{hc} a T_{sa,s} - T_{sa} \geq \varepsilon_t$
- Pravidlo 4 $|u_{hc} - 1| \leq \varepsilon_{hc}$

(22)

Režim chlazení venkovním vzduchem

- Pravidlo 5 $T_{oa} > T_{sa,s} - \Delta T_{sf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 6 $T_{sa} > T_{ra} - \Delta T_{rf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 7 $|T_{sa} - \Delta T_{sf} - T_{ma}| > \varepsilon_t$

(22)

Režim mechanického chlazení se 100 % venkovního vzduchu

- Pravidlo 8 $T_{oa} < T_{sa,s} - \Delta T_{sf} - \varepsilon_t$
- Pravidlo 9 $T_{oa} > T_{co} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 10 $|T_{oa} - T_{ma}| > \varepsilon_t$
- Pravidlo 11 $T_{sa} > T_{ma} + \Delta T_{sf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 12 $T_{sa} > T_{ra} - \Delta T_{rf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 13 $|u_{cc} - 1| \leq \varepsilon_{cc} a T_{sa} - T_{sa,s} \geq \varepsilon_t$
- Pravidlo 14 $|u_{cc} - 1| \leq \varepsilon_{cc}$

(22)

Režim mechanického chlazení s minimem venkovního vzduchu

- Pravidlo 15 $T_{oa} < T_{co} - \varepsilon_t$
- Pravidlo 16 $T_{sa} > T_{ma} + \Delta T_{sf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 17 $T_{sa} > T_{ra} - \Delta T_{rf} + \varepsilon_t$
- Pravidlo 18 $Pro |T_{ra} - T_{oa}| \geq \Delta T_{min}: \left| \frac{Q_{oa}}{Q_{sa}} - \left(\frac{Q_{oa}}{Q_{sa}} \right)_{min} \right| > \varepsilon_f$
- Pravidlo 19 $|u_{cc} - 1| \leq \varepsilon_{cc} \ a \ T_{sa} - T_{sa,s} \geq \varepsilon_t$
- Pravidlo 20 $|u_{cc} - 1| \leq \varepsilon_{cc}$ (22)

Neznámý režim

- Pravidlo 21 $u_{cc} > \varepsilon_{cc} \ a \ u_{hc} > \varepsilon_{hc} \ a \ \varepsilon_d < u_d < 1 - \varepsilon_d$
- Pravidlo 22 $u_{hc} > \varepsilon_{hc} \ a \ u_{cc} > \varepsilon_{cc}$
- Pravidlo 23 $u_{hc} > \varepsilon_{hc} \ a \ u_d > \varepsilon_d$
- Pravidlo 24 $\varepsilon_d < u_d < 1 - \varepsilon_{hc} \ a \ u_{cc} > \varepsilon_{cc}$ (22)

Všechny režimy

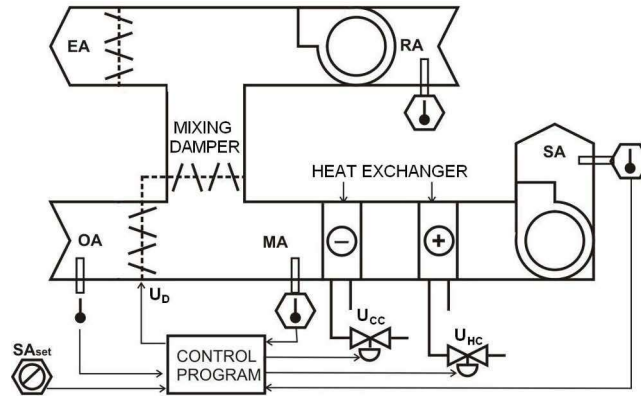
- Pravidlo 25 $|T_{sa} - T_{sa,s}| > \varepsilon_t$
- Pravidlo 26 $T_{ma} < \min(T_{ra}, T_{oa}) - \varepsilon_t$
- Pravidlo 27 $T_{ma} > \max(T_{ra}, T_{oa}) + \varepsilon_t$
- Pravidlo 28 počet přechodů režimu za hodinu $> MT_{max}$ (22)

Kde:

- u_{hc} $u_{hc} = 0$ ventil ohřevu je uzavřen, $u_{hc} = 1$ ventil je 100% otevřený
- u_{cc} kde $u_{cc} = 0$ ventil chlazení je uzavřen a $u_{cc} = 1$ ventil je 100% otevřený
- u_d kde $u_d = 0$ klapka venkovního vzduchu u směšovací skříně je zavřená a $u_d = 1$ znamená, že je 100% otevřená (22)

3.3.2 Detekce a diagnostika poruch navržená v Pražské laboratoři Honeywell

V Pražské laboratoři Honeywell navrhli vylepšení detekce a diagnostiky poruch pro vzduchotechnické jednotky inspirovanou metodou APAR. AFDD navrhli pro dvoukanálovou vzduchotechnickou jednotku znázorněnou na obr. č 14. (19)



Obr. 10: Schéma VZT jednotky (19)

Navržená AFDD

Tato metoda je rozdělena na čtyři části (19):

1) Čistění dat

Aby nedocházelo k nezpracovaným chybám, byla navržena metoda čistění dat tak, že se naměřené údaje kontrolují a rozdělují na platné a neplatné. Tím je zmenšena pravděpodobnost nesprávné diagnózy. Čistění dat je v této metodě navrženo pro data senzorů a řídicí signály. Jak bylo řečeno v předchozí části, při chybách senzorů by mohlo docházet k falešným poplachům a naopak u chyb řídicích systémů k oscilaci a tím ke skrytí skutečné poruchy. Čistění hodnot používá techniku exponenciálně vázaného klouzavého průměru EWMA. Vypočítají se meze a ty signály, které jsou v těchto mezích, se uvažují jako platné signály. (19)

2) Detekce provozního režimu

Oproti APAR tato metoda obsahuje pouze 4 režimy. Režimy strojního chlazení jsou sloučeny do jednoho. Přechod z jednoho režimu do druhého trvá u VZT jednotky poměrně dlouhou dobu, proto byl zaveden parametr $d=30$ min pro období pro stabilizaci režimu. (19)

$$O_m = \begin{cases} 1 & c_h(t_i) > d \quad (\text{vytápění}) \\ 2 & c_c(t_i) > d \quad (\text{chlazení}) \\ 3 & c_v(t_i) > d \quad (\text{větrání}) \\ 4 & \text{jinak} \quad (\text{neznámý stav}) \end{cases} \quad (19)$$

Definice režimů:

$$c_h(t) = \begin{cases} c_h(t-1) + T_s & \text{když } U_{HC}(t_i) > \varepsilon_c \wedge (U_{CC}(t_i) < \varepsilon_c) \\ 0 & \text{V opačném případě} \end{cases} \quad (19)$$

$$c_c(t) = \begin{cases} c_c(t-1) + T_s & \text{když } U_{CC}(t_i) > \varepsilon_c \wedge (U_{HC}(t_i) < \varepsilon_c) \\ 0 & \text{V opačném případě} \end{cases} \quad (19)$$

$$c_v(t) = \begin{cases} c_v(t-1) + T_s & \text{když } U_{HC}(t_i) < \varepsilon_c \wedge (U_{CC}(t_i) < \varepsilon_c \\ 0 & \text{V opačném případě} \end{cases} \quad (19)$$

Vysvětlení:

Režim vytápění v čase t = režimu vytápění v čase (t-1) + perioda vzorkování naměřených dat

Pokud: Řídící signál na ventil ohřevu v čase t_i je větší než konstanta pro minimální hodnotu řídicího systému a současně je řídicí signál pro ventil chlazení v čase t_i menší než konstanta pro minimální hodnotu řídicího systému

Zde byla zvolena hodnota $\varepsilon_c=2\%$

V opačném případě je režim vytápění 0.

3) Porovnání systému

Aktuální stav systému VZT je definován pomocí měřených proměnných hodnot. Pro rozpoznání stavu VZT jednotky se používá systémové pozorování. Zde je stav sestaven ze tří pozorování, pomocí 5 měřených hodnot. Měření jsou označena jako μ , kde $\mu = (MA, SA, SA_{set}, U_{hc}, U_{cc})$. (19)

$$o_1(\mu) = \begin{cases} 1 & \text{když } SA > MA + \varepsilon_T \\ 0 & \text{když } SA = MA \pm \varepsilon_T \\ -1 & \text{když } SA < MA - \varepsilon_T \end{cases}$$

$$o_2(\mu) = \begin{cases} 1 & \text{když } SA > SA_{SET} + \varepsilon_T \\ 0 & \text{když } SA = SA_{SET} \pm \varepsilon_T, \text{ kde } \varepsilon_T = 1,2^\circ\text{C} \\ -1 & \text{když } SA < SA_{SET} - \varepsilon_T \end{cases}$$

$$o_3(\mu) = \begin{cases} 0 & \text{když } U_c \in < \varepsilon_c, 1 \\ 1 & \text{když } U_c = 1 \end{cases}, \text{ kde } U_c = \begin{cases} U_{HC} & \text{když } O_m = 1 \\ U_{CC} & \text{když } O_m = 2 \end{cases} \quad (19)$$

pozorování o1 – vztah mezi teplotou smíšeného vzduchu a teplotou přiváděného vzduchu

pozorování o2 – vztah mezi teplotou přiváděného vzduchu a jeho požadovanou hodnotou

pozorování o3 – množství regulačních signálů pro ventil ohřevu nebo chlazení

Na základě pozorování je sestavena tabulka stavů. Stav s01 a s02 je normální stav VZT jednotky při režimu vytápění. Chybné chování jednotky při vytápění představují stavy s03 až s018. V případě režimu chlazení je normální stav s07 a s08 a ostatní stavy opět představují chybný stav. K režimu větrání se vztahuje pouze 9 stavů, jelikož se nepoužívá řídicí signál na ventily. Tím vypadáva pozorování o3. Celkem je tady 45 stavů, které se nemohou vyskytovat současně. Je možné detekovat vždy pouze jeden ze stavů. (19)

Tab. 1: Tabulka stavů (19)

0\S	s01	s02	s03	s04	s05	s06	s07	s08	s09
o1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
o2	0	0	-1	-1	1	1	0	0	-1
o3	0	1	0	1	0	1	0	1	0
0\S	s10	s11	s12	s13	s14	s15	s16	s17	s18
o1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
o2	-1	1	1	0	0	-1	-1	1	1
o3	1	0	1	0	1	0	1	0	1

4) Izolace poruchy a identifikace

Tato metoda využívá k izolaci poruch binární diagnostickou matici, kde pozorované stavy jsou mapovány na poruchy (19).

Matrice je definována jako:

$$M_{FS} \wedge F \times S$$

Kde:

F – porucha; $F = \{f_k: k = 1, 2, \dots, K\}$, $K = 7$

S – pozorované stavy; $S = \{s_j: j=1, 2, \dots, J\}$, $J = 45$

Tab. 2: Matice (19)

Pozorovaný stav	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Svytápění – 03,05,06	1	0	0	0	0	0	1
Svytápění – 04	1	1	0	1	0	0	1
Svytápění – 07,08	1	0	0	0	0	0	1
Svytápění – 07,10,11,12	1	0	0	0	0	0	0
Svytápění – 13,14,15,17,18	0	1	0	1	0	0	0
Svytápění – 16	1	1	0	1	0	0	0
Schlazení – 01,02	0	1	0	0	0	0	1
Scooling – 03,04,05,06	0	1	0	0	0	0	0
Scooling – 09,10,11	0	1	0	0	0	0	1
Scooling – 12	0	1	1	0	0	0	1
Scooling – 13,14,15,16,17	1	0	1	0	0	0	0
Scooling – 18	1	1	1	0	0	0	0
Světrání – 01	0	1	0	0	0	1	0
Světrání – 03,05	0	1	0	0	0	0	0
Světrání – 07	1	0	0	0	1	0	0
Světrání – 09,11,15,17	1	0	0	0	0	0	0

F1 – zaseknutý nebo netěsný ventil chlazení

F2 – zaseknutý nebo netěsný ventil ohřevu

F3 – porucha chlazení – např. porucha čerpadla, potrubí nebo chladiče

F4 – porucha vytápění – např. porucha čerpadla, potrubí nebo kotle

F5 – porucha komunikace při chlazení – řídicí signál není odeslán do diagnostického procesu

F6 – porucha komunikace při vytápění – řídicí signál není odeslán do diagnostického procesu

F7 – porucha ventilátoru – nefunkční ventilátor nebo s nízkou účinností

(19)

Pokud je v tabulce 1, chyba byla izolována. Pokud 0 chyba nebyla izolována.

Všechny prvky této tabulky jsou definovány jako:

$$m(f_k, s_j) = \begin{cases} 0 & \Leftrightarrow \langle f_k, s_j \rangle \notin M_{FS} \\ 1 & \Leftrightarrow \langle f_k, s_j \rangle \in M_{FS} \end{cases} \quad (19)$$

Pomocí kumulativního součtu grafu lze vyřešit současný výskyt více chyb najednou.

Tato metoda nezaznamená všechny chyby jednotky, jako například zaseknuté klapky. Dále může docházet k deaktivování pravidla při přepnutí z jednoho režimu na druhý. Výhodou je čištění dat, díky kterému se vyloučí poruchy senzoru. Další výhodou je, že tuto metodu lze zobecnit pro jednotku, která pouze vytápí nebo pouze chladí. (19)

3.3.3 Metoda pro detekci poruchy testované na reálné budově v Egyptě

Mohmoud S. Ahmed, M. Adbullah Eissa a kolektiv z Helwanské univerzity v Egyptě použili pro detekci chyb na reálné budově v Egyptě soubor pravidel pro detekci chyb snímače teploty, poruchu napájecího ventilátoru, poruchu chladicího ventilu a klapky na přívodu čerstvého vzduchu. (23)

Pravidla testovali na jednotce skládající se z přívodního ventilátoru, chladicího ventilu, filtru, klapky na přívodu čerstvého vzduchu a snímačů teploty a tlaku. (23)

3.3.3.1 Pravidla:

1) Chladicí ventil:

Pravidlo 1 - v případě uvíznutí ventilu v poloze v téměř otevřeném stavu:

$$T_{sa} - T_{sa,s} \geq \varepsilon_T \quad (23)$$

Pravidlo 2 – v případě uvíznutí ventilu v poloze v téměř uzavřeném stavu:

$$T_{sa,s} - T_{sa} \geq \varepsilon_T \quad (23)$$

2) Přívodní ventilátor

Pravidlo 3 a pravidlo 4 by měly být zkontrolovány dohromady.

Pravidlo 3

$$T_{sa,s} - T_{sa} \geq \varepsilon_T \quad (23)$$

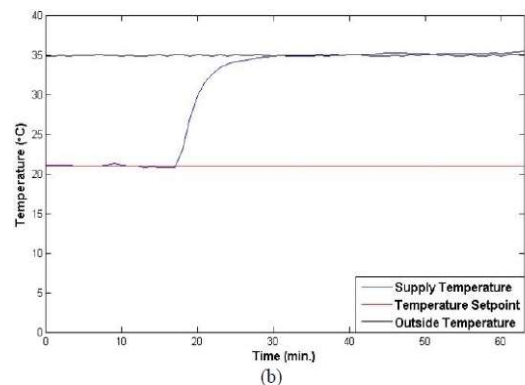
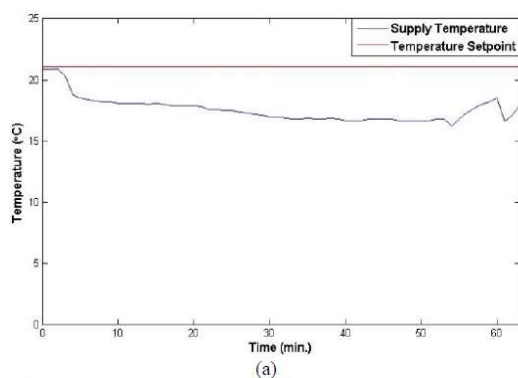
Pravidlo 4

$$P_S < (P_S)_{min.Occupied} - \varepsilon_P \quad (23)$$

3.3.3.2 Experimenty

1) Porucha chladicího ventilu

Poruchy byly způsobeny nastavením ventilu na 0 % a poté na 100 %.

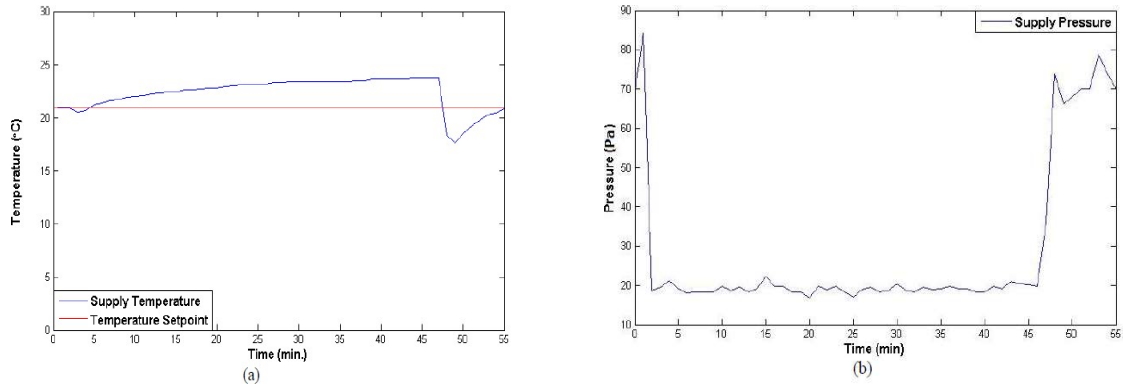


Obr. 11: a) chladicí ventil nastaven na 100 % v $T=1$ min; b) chladicí ventil nastaven na 0 % v $T = 18$ min (23)

Při nastavení ventilu na 100 % byla porucha detekována Pravidlem 1 a u nastavení na 0 % Pravidlem 2 (23).

2) Porucha ventilátoru

Porucha byla způsobena vypnutím přívodního ventilátoru.



Obr. 12: a) teplota přiváděného vzduchu při poruše ventilátoru; b) tlak vzduchu při poruše ventilátoru při $T=2 - T=47$ min (23)

Z grafu lze vidět, že došlo k nárůstu teploty, protože přes chladič neproudí žádný vzduch a došlo ke snížení tlaku vzduchu. Porucha byla zachycena Pravidlem 3 a 4 (23).

4 Expertní systém automatické diagnostiky VZT jednotek

Ve spolupráci společnosti ENERGOCENTRUM PLUS s.r.o. a Univerzitním výzkumným centrem energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB) byl navržen expertní systém pro automatickou detekci a diagnostiku poruch vzduchotechnických jednotek. Tento systém lze použít jak na jednodukálové VZT jednotky sloužící pouze pro přívod vzduchu, tak pro dvoukanálové rovnotlaké VZT jednotky se ZZT. Metoda vychází z metody APAR, používá tedy sadu pravidel, podle kterých detekuje chyby.

Expertní systém je napsaný v programovém prostředí Matlab a celkově obsahuje 16 testů. Ke každému testu jsou napsaná pravidla pro jednotlivé provozní režimy jednotky. Tyto pravidla ověřují, zda v systému došlo k poruše. Celkově je napsáno 68 pravidel. Vstupní data pro diagnostiku se získávají ze systému Mervis SCADA v pěti minutových intervalech. Tyto data mohou být u každé jednotky pod jiným názvem, a proto se před importováním do prostředí Matlabu musejí otagovat¹, aby se sjednotily názvy jednotlivých datových bodů. U VZT jednotek mohou některé datové body chybět, a proto se nahrazují jinými nebo se dopočítávají. Například teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem není u většiny jednotek měřena, a proto se dopočítává dle nasávané venkovní teploty, teploty odváděného vzduchu z místnosti a účinnosti rekuperačního výměníku. Dále často není měřena teplota vzduchu v místnosti a nahrazuje jí teplota odváděného vzduchu z místnosti.

4.1 Testy

Test 1 – Kontrola provozu jednotky v pracovní době

Tímto testem se ověřuje, zda jednotka běží v pracovní době a naopak, zda je vypnutá mimo pracovní dobu. Pokud bude jednotka v pracovní době vypnutá nebo bude v jiném stavu než je vypnuto mimo pracovní dobu, test spustí alarm. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není jednotka v manuálním režimu, nebo zda není trvale zapnutá či vypnutá
- Funguje MaR
- Je správně nastavena pracovní doba jednotky
- Jsou parametry vnitřního prostředí v požadovaných limitech

Test 2 – Citlivost chodu na MaR

Test citlivosti chodu na MaR ověřuje, že se jednotka rozběhne, když jí dá MaR povel. Tento test bude pozitivní pokud jednotka bude zapnutá, aniž by jí k tomu MaR dala pokyn nebo naopak bude vypnutá, i přestože jí k tomu MaR dala pokyn. Popřípadě pokud dá MaR pokyn ke spuštění, i když jsou parametry prostředí v předepsaných limitech, to platí pouze u jednotek, které se spínají pouze v případě, že jsou překročeny požadované parametry prostředí. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není jednotka trvale zapnutá
- Není některý z komponentů VZT jednotky v manuálním režimu
- Jsou správně nastaveny limity pro vnitřní prostředí
- Fungují čidla kvality vzduchu: CO₂/ vlhkosti apod.

¹ Otagování – „označení“; přiřazení jednotného názvu

Test 3 – Cyklování režimů

Tímto testem se ověřuje, zda nedochází k cyklování režimů. Pokud je jednotka v režimu vytápění nebo vlhčení a v předchozích 20ti minutách byla v režimu chlazení, test zahlásí chybu. Stejně tak pokud je jednotka v režimu chlazení a v posledních 20ti minutách byla v režimu vytápění nebo vlhčení. Dále pokud jednotka cykluje mezi stavy ON/OFF. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není setpoint nastaven příliš přísně, tzn. že se režim přepíná i při malé změně teploty
- Je vhodně nastaven PID regulátor

Test 4 – Kontrola klapek

V tomto testu se kontroluje poloha uzavíracích klapek. Test bude pozitivní pokud bude jednotka vypnutá, ale budou otevřené uzavírací klapky nebo pokud bude v jakémkoli jiném provozním režimu (vytápění, větrání s obtokem nebo rekuperací, vlhčení či chlazení) a zároveň budou uzavírací klapky uzavřené. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Nejsou rozbité pohony klapek
- Je nastaveno správné řízení klapek
- Nejsou klapky ovládány manuálně

Test 5 – Kontrola vybavení

Tento test kontroluje stav ohřívače, chladiče, zvlhčovače a výměníku zpětného získávání tepla. Test bude pozitivní pokud bude zapnutá některá z částí jednotky, která by v daném režimu měla být vypnutá. Například pokud bude jednotka v režimu vypnuto, ale bude zapnuté čerpadlo ohřevu/chlazení/vlhčení, nebo otevřené ventily apod. Nebo pokud bude jednotka v režimu vytápění a bude zapnuté čerpadlo ohřevu atd. (24)

Pokud se tento test spustí při režimu vytápění s rekuperací, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není porouchaný ventil ohřevu či chladu
- Není porouchaná signalizace polohy ventilu ohřevu či chladu
- Je správně nastaveno řízení spínání čerpadla ohřevu/chladu či vlhčení
- Zda je zapnuté ZZT
- Je uzavřena klapka bypassu
- Je ventil v glykolové smyčce plně otevřen a čerpadlo běží na plný výkon

Pokud se tento test spustí v režimu větrání s rekuperací/větrání obtokem, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není porouchaný ventil ohřevu či chladu
- Není porouchaná signalizace polohy ventilu ohřevu či chladu
- Je správně nastaveno řízení spínání čerpadla ohřevu či chladu

Pokud se tento test spustí v režimu chlazení, mělo by se zkontrolovat zda (24):

- Není porouchaný ventil ohřevu či chladu
- Není porouchaná signalizace polohy ventilu ohřevu či chladu
- Je správně nastaveno řízení spínání čerpadla ohřevu/chladu či vlhčení
- Zda je zapnuté ZZT, zda je uzavřena klapka bypassu v případě chlazení s rekuperací
- Je ventil v glykolové smyčce otevřen a je zapnuté čerpadlo v případě chlazení s rek.
- Je plně otevřená klapka bypassu v případě chlazení s bypasssem

Test 6 – Vhodnost režimu

Vhodnost režimu zkoumá, zda teplota a vlhkost v interiéru a přiváděného vzduchu odpovídají požadavkům. Práh pro teplotu v interiéru je nastaven na $\pm 2\text{K}$ od požadované teploty a pro vlhkost $\pm 5\%$. Test bude pozitivní, pokud bude jednotka v jakémkoliv jiném režimu než je vypnuto (větrání s obtokem nebo rekuperací, vytápění, chlazení s obtokem, chlazení se ZZT, vlhčení) a teplota či vlhkost v prostoru nebo přivodním kanále bude mimo požadovaný limit. (24)

Pokud se tento test spustí v režimu větrání rekuperací/bypasssem, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje tepla/chladu
- zda čerpadlo ohříváče/chladiče není přepnuto do manuálního režimu nebo trvale vypnuto
- zda nedošlo k poruše ventilu vytápění
- čidlo teploty a vlhkosti v prostoru a v kanále jednotky

Pokud se tento test spustí v režimu vytápění, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda čerpadlo ohříváče není přepnuto do manuálního režimu nebo trvale vypnuto
- stav zdroje tepla
- zda nedošlo k poruše čerpadla ohříváče
- zda nedošlo k poruše ventilu vytápění
- čidlo teploty a vlhkosti v prostoru
- čidla teploty a vlhkosti v kanále jednotky
- zda nedošlo k zanesení výměníku

Pokud se tento test spustí v režimu chlazení s rek./bypasssem, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje chladu
- zda čerpadlo chladiče není přepnuto do manuálního režimu nebo trvale vypnuto
- čidlo teploty a vlhkosti v prostoru
- čidla teploty a vlhkosti v kanále jednotky
- nastavení řízení výměníku ZZT

Pokud se tento test spustí v režimu vlhčení, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda čerpadlo ohříváče/zvlhčovače není přepnuto do manuálního režimu nebo trvale vypnuto
- zda nedošlo k poruše čerpadla ohříváče
- zde nedošlo k poruše ventilu vytápění
- zda nedošlo k poruše čerpadla zvlhčovače
- zda nedošlo k poruše ventilu zvlhčovače
- čidlo teploty a vlhkosti v prostoru
- čidla teploty a vlhkosti v kanále jednotky

Test 7 – „Flow“ – spojitost

Tento test zkoumá, zda při průtoku jednotkou AHU nedochází k nekontrolovanému předávání tepla, chladu nebo vlhkosti do proudu přiváděného vzduchu. Test bude pozitivní pokud jednotka bude v režimu větrání, ale rozdíl mezi teplotou za rekuperačním výměníkem a teplotou přiváděného vzduchu bude větší než $\pm 2\text{K}$ plus teplo získané na ventilátoru. Dále test bude pozitivní pokud jednotka bude v režimu vytápění, ale teplota přiváděného vzduchu

bude nižší nebo stejná jako je teplota za rekuperačním výměníkem. V případě režimu chlazení bude test pozitivní pokud teplota přiváděného vzduchu bude nižší nebo stejná jako je teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem a při režimu vlhčení, pokud bude do prostoru přiváděn vzduch s nižší vlhkostí, než bude vlhkost za rekuperátorem. (24)

Pokud se tento test spustí v režimu větrání s rek./bypasssem, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda není trvale zapnuto čerpadlo chladiče/ohřívače
- zda nedošlo k otevření ventilu chladiče/ohřívače
- stav teplotních čidel vzduchu v kanále jednotky
- zda nedochází k úniku páry do jednotky nebo do potrubí
- zda není trvale zapnuto čerpadlo zvlhčovače

Pokud se tento test spustí v režimu vytápění, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda není vypnuto čerpadlo ohřívače
- zda nedošlo k poškození tepelné izolace potrubí
- teplotní čidla vzduchu v kanále jednotky
- zda není trvale zapnuto čerpadlo chlazení
- zkontrolujte těsnost potrubí topné vody

Pokud se tento test spustí v režimu chlazení s rek./bypasssem, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda není vypnuto čerpadlo chlazení
- zda nedošlo k poškození tepelné izolace potrubí
- teplotní čidla vzduchu v kanále jednotky
- zda není trvale zapnuto čerpadlo ohřívače
- těsnost potrubí chladičí vody

Pokud se tento test spustí v režimu vlhčení, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda nedochází k úniku páry do jednotky nebo do potrubí
- zda není trvale vypnuto čerpadlo zvlhčovače
- stav čidel vlhkosti vzduchu v kanále jednotky

Test 8 – Teplotní spád média

Test posuzuje rozdíl teplot vody před a za ohřívačem či chladičem. Test bude pozitivní, pokud bude jednotka v režimu vytápění a teplota vody před ohřívačem bude nižší než za ohřívačem. Dále pokud jednotka bude v režimu chlazení, ale teplota vody před chladičem bude vyšší než teplota vody za chladičem. (24)

Pokud se tento test spustí v režimu vytápění, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje tepla
- zda nedošlo k poruše čerpadla vytápění
- zda nedošlo k poruše ventilu vytápění
- zda nedošlo k poruše senzoru teploty vody ohřívače

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje chladu
- zda nedošlo k poruše čerpadla chlazení
- zda nedošlo k poruše ventilu chlazení
- zda nedošlo k poruše senzoru teploty vody chladiče

Test 9 – Teplotní spád výměníku

Tento test ověřuje, zda teplotní spád na straně vody odpovídá teplotnímu spádu na straně vzduchu. Test bude pozitivní pokud bude jednotka v režimu vytápění nebo vlhčení a teplota vody před ohřivačem bude nižší než teplota vzduchu za ohřivačem nebo pokud bude teplota vody za ohřivačem nižší než teplota vzduchu před ohřivačem. Test bude také pozitivní pokud jednotka bude v režimu chlazení a teplota vody před chladičem bude vyšší než teplota vzduchu za chladičem nebo pokud bude teplota vody za chladičem nižší než teplota vzduchu před chladičem. (24)

Pokud se tento test spustí v režimu vytápění, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje tepla
- zda nedochází k úniku topné vody
- senzory teploty vody výměníku a senzor teploty vzduchu před/za výměníkem

Pokud se tento test spustí v režimu chlazení s rek./bypasssem, mělo by se zkontrolovat (24):

- stav zdroje chladu
- zda nedochází k úniku chladicí vody
- senzory teploty chladicí vody výměníku a senzor teploty vzduchu za chladičem

Test 10 – Oscilace

Test zkoumá, zda vybrané veličiny neoscilují. Test bude pozitivní pokud bude docházet k přepínání mezi stavy častěji než jednou za 10 minut. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat (24):

- nastavení regulační smyčky, parametry PID regulátoru nebo meze hystereze

Test 11 – Nedostatečný výkon

Test kontroluje, zda není ohřivač a chladič poddimenzovaný. Test bude pozitivní pokud bude jednotka v režimu chlazení a teplota přiváděného vzduchu nebo vzduchu v prostoru bude vyšší než je požadovaná teplota. Jednotka tedy bude chladit, ale teplota přiváděného vzduchu nebo vzduchu v prostoru nebude klesat a bude se držet nad povoleným limitem. Nebo naopak pokud bude jednotka v režimu vytápění a teploty budou nižší než požadované. Jednotka tedy bude vytápět, ale teploty budou pod povolenou minimální hodnotu. (24)

Test 12 – Ventilátory

Tento test zkoumá, zda se přívodní a odvodní ventilátory spínají společně a zda se i společně vypínají. V případě jednokanálových jednotek pouze s přívodním kanálem se snaží test odhalit zaseknutý snímač diferenčního tlaku. Test bude pozitivní, pokud jednotka bude v neznámém režimu a bude zapnutý pouze jeden ventilátor a v případě jednokanálové jednotky pouze s přívodním kanálem test hlásí chybu, pokud nesouhlasí požadavek na chod jednotky a signalizace chodu. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se v obou případech zkontrolovat (24):

- zda není porouchaný snímač diferenčního tlaku
- zda nedošlo k poruše ventilátoru
- zda jednotka neběží v nestandardním režimu

Test 14 – Ohrožení komfortu

Test ověřuje, zda jsou všechny veličiny v požadovaném stavu. Test bude pozitivní, pokud bude přiváděný vzduch teplejší nebo chladnější než nastavený limit pro vytápění nebo chlazení. Dále pokud RH přiváděného vzduchu je nižší než nastavené minimum nebo bude vzduch v zóně chladnější či teplejší než nastavený limit nebo pokud RH vzduchu v zóně bude nižší než nastavené minimum. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda čerpadlo ohříváče/chladiče není přepnuto do manuálního režimu nebo trvale vypnuto
- stav zdroje tepla/chladu
- zda nedošlo k poruše čerpadla ohříváče/chladiče
- zda nedošlo k poruše ventilu vytápění/chlazení
- čidlo teploty a vlhkosti v prostoru
- čidla teploty a vlhkosti v kanále jednotky
- zda nedošlo k zanesení výměníku

Test 15 – Neznámý stav („Unknown“)

Tento test zkoumá, zda je jednotka v neznámém stavu. Tzn. v jiném stavu než je: větrání s bypassem/s rekuperací; vytápění; chlazení s bypassem/s rekuperací; vlhčení.

Neznámý stav nastává u jednotky, která např. chladí a vytápí zároveň nebo je zapnutý pouze jeden ventilátor apod. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by se zkontrolovat (24):

- zda není současně v provozu ohříváč a chladič
- zda jsou přívodní i odvodní ventilátory spínány společně
- zda jednotka neběží v nestandardním režimu

Test 16 – „Low air flow“

Test 16 zkoumá, zda není jednotka provozována s příliš nízkým průtokem vzduchu, protože při nízkém průtoku vzduchu mají ventilátory malou účinnost, regulace dodávky tepla/chladu se stane příliš agresivní a může cyklovat. Také se nadměrně opotřebovávají pohony a regulační elementy. Test bude pozitivní pokud bude jednotka v jakémkoliv provozním režimu kromě vypnuto a neznámém režimu a pokud bude průtok vzduchu menší než je nastavený práh. Většinou 40 %. (24)

Pokud se tento test spustí, mělo by dojít k (24):

- úplnému vypnutí jednotky
- změně regulace na cyklické zapínání v dvouhodinových intervalech
- zvýšení požadavku na větrání

Test 17 – Předimenzování výkonu komponent

Test zkoumá, jestli procento výkonu ohříváče nebo chladiče odpovídá venkovní teplotě. Test bude pozitivní pokud bude jednotka v režimu chlazení používat příliš nízký výkon chladiče vzhledem k venkovní teplotě a nebo v režimu vytápění bude používat příliš nízký výkon ohříváče vzhledem k venkovní teplotě. (24)

V expertním systému chybí Test 13. V době testování ještě nebyl tento test napsaný. Proto zde není rozepsaný a není dále rozebírán.

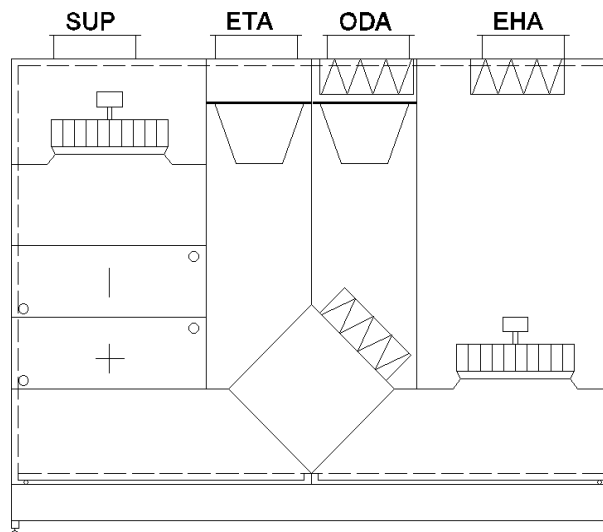
4.2 Testování systému

4.2.1 Testované jednotky

Pro vyhodnocení účinnosti detekčního algoritmu chybových stavů vzduchotechnických jednotek bylo zvoleno testování šesti vzduchotechnických jednotek ve výzkumném centru UCEEB. Jedná se o šest rovnotlakých dvoukanálových vzduchotechnických jednotek, které obsahují deskový výměník zpětného získávání tepla s bypassem, ohříváč, chladič a jedna z jednotek obsahuje i zvlhčovač vzduchu.

Testované jednotky se nazývají: AHU1, AHU2, AHU8, AHU18, AHU23 a AHU24.

AHU1:



Obr. 13: Schéma jednotky AHU1

Tab. 3: Komponenty jednotky AHU1

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Manžeta	Manžeta
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr F5 - 500	Deskový rekuperátor s bypassem
Deskový rekuperátor s bypassem	Ventilátor s volným oběžným kolem
Vodní ohříváč	- průtok vzduchu: 7320 m ³ /h
Vodní chladič	Manžeta
Ventilátor s volným oběžným kolem	Klapka
- průtok vzduchu: 7850 m ³ /h	
Manžeta	

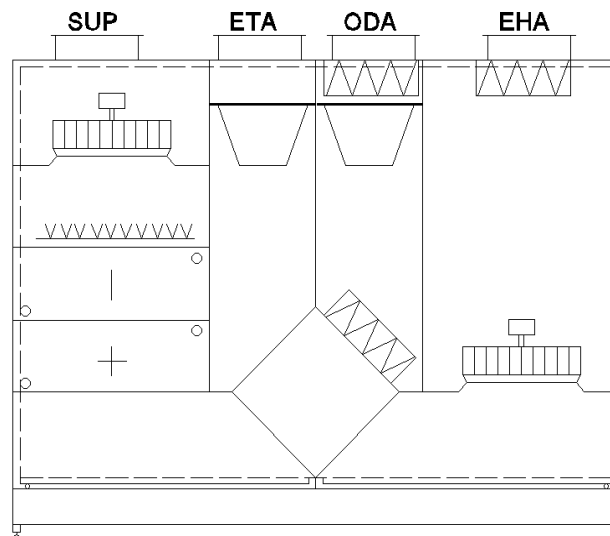
Obsluhované místnosti:

- Učebna, zasedací místnosti

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 35°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 21°C

AHU2:



Obr. 14: Schéma jednotky AHU2

Tab. 4: Komponenty jednotky AHU2

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Manžeta	Manžeta
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr F5 - 500	Deskový rekuperátor s bypasse
Deskový rekuperátor s bypasse	Ventilátor s volným oběžným kolem
Vodní ohřívač	průtok vzduchu: 4210 m ³ /h
Vodní chladič	Manžeta
Parní zvlhčovací komora	Klapka
Ventilátor s volným oběžným kolem	
průtok vzduchu: 4560 m ³ /h	
Manžeta	

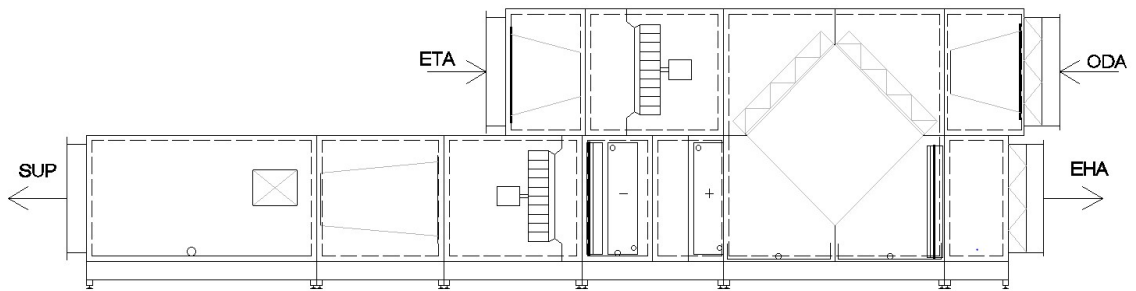
Obsluhované místnosti:

- Kanceláře, chodby, kuchyňka, WC, úklid, šatna

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 26°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 21°C

AHU8:



Obr. 15: Schéma jednotky AHU8

Tab. 5: Komponenty jednotky AHU8

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Koncový panel s velkým otvorem	Koncový panel s velkým otvorem
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr G4 - 360	Ventilátor s volným oběžným kolem
Deskový rekuperátor s bypassem	- průtok vzduchu: 2770 m ³ /h
Vodní ohřivač	Deskový rekuperátor s bypassem
Vodní chladič	Volná komora
Ventilátor s volným oběžným kolem	Koncový panel s velkým otvorem
- průtok vzduchu: 3680 m ³ /h	Klapka
Kapsový filtr F7 – 630	
Parní zvlhčovací komora (Nefunkční)	
Koncový panel s velkým otvorem	

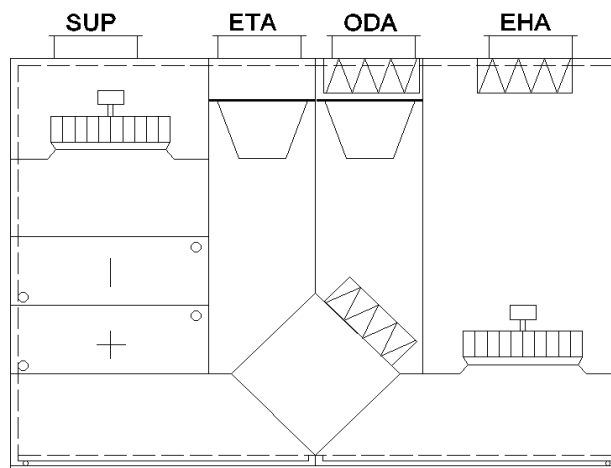
Obsluhované místnosti:

- Laboratoře

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 26°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 18°C

AHU18:



Obr. 16: Schéma jednotky AHU18

Tab. 6: Komponenty jednotky AHU18

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Manžeta	Manžeta
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr F5 - 500	Deskový rekuperátor s bypassem
Deskový rekuperátor s bypassem	Ventilátor s volným oběžným kolem
Vodní ohřivač	- průtok vzduchu: 4630 m ³ /h
Vodní chladič	Manžeta
Ventilátor s volným oběžným kolem	Klapka
- průtok vzduchu: 4420 m ³ /h	
Manžeta	

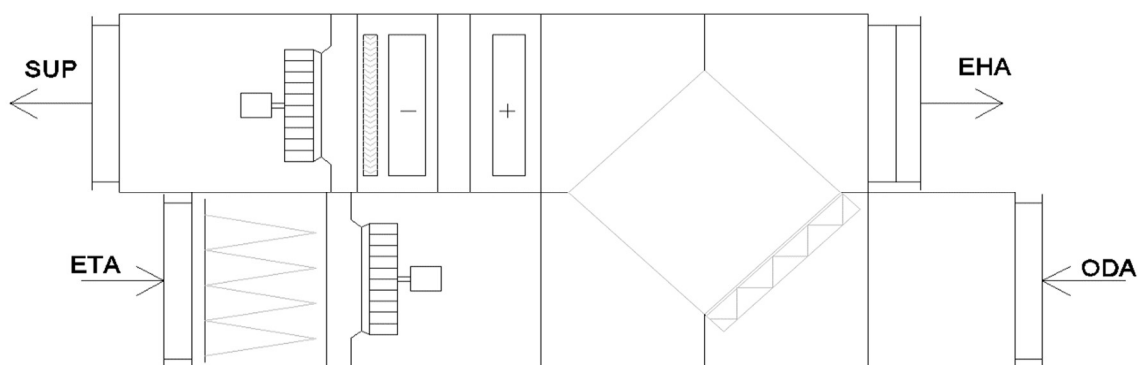
Obsluhované místnosti:

- Laboratoře, Dílny – sklad

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 32°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 22°C

AHU23:



Obr. 17: Schéma jednotky AHU23

Tab. 7: Komponenty jednotky AHU23

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Koncový panel s velkým otvorem	Koncový panel s velkým otvorem
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr F5 - 500	Ventilátor s volným oběžným kolem
Deskový rekuperátor s bypassem	- průtok vzduchu: 4050 m ³ /h
Vodní ohřivač	Deskový rekuperátor s bypassem
Vodní chladič	Koncový panel s velkým otvorem
Ventilátor s volným oběžným kolem	Klapka
- průtok vzduchu: 4050 m ³ /h	
Manžeta	

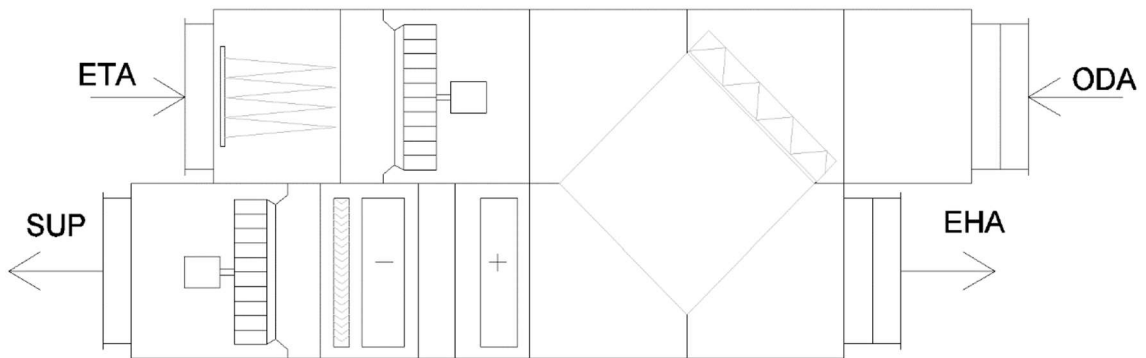
Obsluhované místnosti:

- Laboratoře

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 26°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 19°C

AHU24:



Obr. 18: Schéma jednotky AHU24

Tab. 8: Komponenty jednotky AHU24

Komponenty VZT jednotky	
Přívodní část	Odvodní část
Koncový panel s velkým otvorem	Koncový panel s velkým otvorem
Klapka	Kapsový filtr G4 - 360
Kapsový filtr F5 - 500	Ventilátor s volným oběžným kolem
Deskový rekuperátor s bypassem	- průtok vzduchu: 2270 m ³ /h
Vodní ohřivač	Deskový rekuperátor s bypassem
Vodní chladič	Koncový panel s velkým otvorem
Ventilátor s volným oběžným kolem	Klapka
- průtok vzduchu: 2270 m ³ /h	
Manžeta	

Obsluhované místnosti:

- Požární komora

Nastavené teplotní limity:

- Maximální povolená teplota přiváděného vzduchu: 32°C
- Minimální povolená teplota přiváděného vzduchu: 15°C

4.2.2 Poruchy vzduchotechnických jednotek

Pro otestování expertního systému bylo stanoveno 25 poruch vzduchotechnických jednotek, které byly postupně prováděny na každé jednotce. Pokud to bylo možné, poruchy byly spuštěny na všech šesti jednotkách. U některých jednotek však nebylo vždy možné provést poruchu z důvodu nefunkční jednotky nebo v případě, že by mohl být ohrožen komfort zaměstnanců v budově. Některé jednotky měly v době testování již jinou známou poruchu. Dále poruchy zaměřené na režim vlhčení bylo možné provést pouze u jednotky AHU2, jelikož ostatní jednotky neobsahují zvlhčovač vzduchu nebo je zvlhčovač v nefunkčním stavu.

Tyto poruchy mají ověřit správnost expertního systému. Na vzduchotechnických jednotkách v Univerzitním centru však nebylo možné otestovat všechny testy. Nebyl otestován Test 8, jelikož jednotky neobsahují senzory měřící teplotu vody za ohřivačem a chladičem. Také nebyl otestován Test 10 a Test 16. Test 16 nebyl testován, protože systém Mervis Scada v Univerzitním centru již hlásí poruchu při nastavení výkonu jednotek pod 40 %.

Tab. 9: Seznam poruch

Porucha		Způsob provedení poruchy
Číslo	Název	
1	Uzavření klapky, režim vytápění	Program RcWare
2	Uzavření klapky, režim chlazení	Program RcWare
3	Uzavření klapky, režim větrání	Program RcWare
4	Uzavřen ventil na ohřivači, režim vytápění	Program RcWare
5	Uzavřen ventil na chladiči, režim chlazení	Program RcWare
6	Čerpadlo vytápění vypnuto při zapnuté jednotce, režim vytápění	Program RcWare
7	Zapnuto čerpadlo vytápění, režim větrání	Program RcWare
8	Zapnuto čerpadlo chlazení, režim vytápění	Mervis SCADA
9	Trvale otevřen ventil ohřevu, režim větrání	Program RcWare
10	Ventil na ohřivači zaseknutý v mezipoloze, režim vytápění	Program RcWare
11	Trvale otevřen ventil ohřevu, režim vytápění	Program RcWare
12	Vypnutí ventilátorů, režim vytápění	Program RcWare
13	Odpojení obou trubiček snímače diferenčního tlaku	Mechanicky
14	Odpojení trubičky snímače diferenčního tlaku (Neg. tlak)	Mechanicky
15	Cyklování režimů	Mervis SCADA
16	Zapnuto čerpadlo ohřevu + plně otevřený ventil ohřevu, režim větrání	Program RcWare
17	Vypnuto čerpadlo ohřevu, režim vlhčení	Program RcWare
18	Uzavřen ventil ohřevu, režim vlhčení	Program RcWare
19	Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu -20 °C	Program RcWare
20	Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu 150 °C	Program RcWare
21	Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu -20°C	Program RcWare
22	Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu 150°C	Program RcWare
23	Zavřený rekuperační výměník	Program RcWare
24	Ventil chlazení zaseknutý v mezipoloze, režim chlazení	Program RcWare
25	Ventil chlazení trvale otevřen, režim chlazení	Program RcWare

Do každé jednotky byly před zahájením testování umístěny čidla pro měření teploty a vlhkosti vzduchu. V jednotkách již byly stávající čidla, proto tyto nová čidla byly použity pouze na ověření správnosti měření stávajících čidel.

K provádění poruch byly použity tři metody. První a nejvíce používanou metodou bylo spouštění poruch pomocí programu RcWare SoftPLC. Jedná se o přístupové rozhraní, kterým lze řídit výstupní signály PLC po odeslání do systému SCADA. Tento program pracuje s analogovými a digitálními výstupy, které byly při způsobované poruše nastaveny na pevnou hodnotu. Například při nastavení uzavření klapky byl výstup nastaven na 0 %. Jelikož se signály řídí až po odeslání, není způsobená porucha nikde viditelná. V systému Mervis Scada se tedy bude klapka jevit jako stále otevřená. Chyba se tedy projeví jako kdyby skutečně nastala. Druhým způsobem bylo nastavení poruch přímo v systému Mervis SCADA a třetí bylo ruční způsobování poruchy.

K vyhodnocení účinnosti detekčního systému bylo zde zvoleno následující okomentování:

- Reakce expertního systému:
 - Očekávaná – alespoň půlka předpokládaných testů byla pozitivní
 - Jiná – méně než půlka předpokládaných testů byla pozitivní nebo byla chyba detekována jinými testy než se předpokládalo
 - Žádná – chyba nebyla detekována ani jedním testem

Mervis SCADA systém

Systém Mervis Scada se používá ke sledování a ovládání dané technologie. SCADA znamená „Supervisory Control And Data Acquisition“, což lze přeložit jako dispečerské řízení a sběr dat. Jedná se o cloudovou službu. Pro každý objekt je definován datový soubor. Ten určuje, jakým způsobem se bude komunikovat s koncovým zařízením a jak se budou data zobrazovat. Data mohou být zobrazena formou seznamu datových bodů, zobrazením grafických schémat a zobrazením historických grafů. (25)

4.2.2.1 Porucha 1 – Uzavření klapek, režim vytápění

U této poruchy byly pomocí programu RcWare na dvě hodiny uzavřeny klapky na přívodu vzduchu a na odtahu vzduchu v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje mechanické uzavření kapek nebo selhání servopohonů klapek.

Očekávalo se detekování chyby:

- a) v případě těsného uzavření klapek Testem:
 - 1 – Kontrola provozu jednotky v pracovní době
 - 2 – Citlivost chodu na MaR
 - 4 – Kontrola klapek
 - 5 – Kontrola vybavení
- b) v případě těsného uzavření pouze jedné klapky Testem:
 - 12 – Ventilátory
 - 14 – Ohrožení komfortu
 - 15 – Neznámý stav
- c) pokud budou obě klapky netěsné, tak bude chyba detekována Testem:
 - 6 – Vhodnost režimu
 - 14 – Ohrožení komfortu

Předpokládalo se, že při uzavření obou klapek se bude dle expertního systému jevit jednotka jako vypnutá, jelikož budou diferenční snímače tlaku, z důvodu vyrovnání tlaků u ventilátorů hlásit vypnutí ventilátorů. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 1, neboli kontrola provozu jednotky v pracovní době. Test 2 by měl být pozitivní, jelikož bude jednotka vypnutá v době, kdy podle MaR má být jednotka zapnutá. Dále se předpokládalo, že bude pozitivní Test 4, neboli kontrola klapek, jelikož se jednotka bude jevit jako vypnutá, ale klapky jako otevřené. Jednotka bude ve skutečnosti v režimu vytápění, a proto bude mít zapnuté čerpadlo vytápění a otevřen ventil vytápění, proto bude pozitivní Test 5.

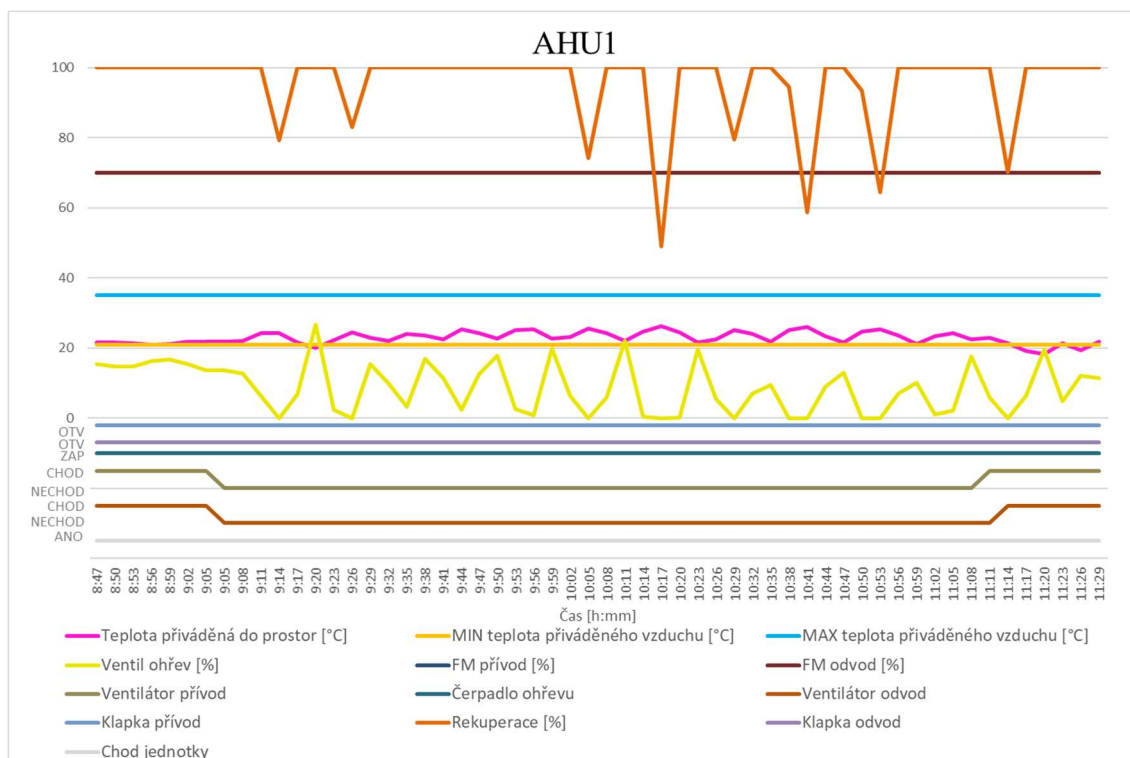
V případě těsného uzavření pouze jedné z klapek bude expertní systém hlásit neznámý stav jednotky – Test 15, protože bude dle snímačů diferenčního tlaku zapnutý pouze jeden ventilátor. A proto bude pozitivní i Test 12. Pokud dojde k překročení maximální teploty přiváděného vzduchu do interiéru nebo odváděného vzduchu z interiéru, bude pozitivní Test 14. K tomu může dojít, jelikož budou ve skutečnosti klapky uzavřené a ventilátory a ohřívač zapnutý. Vzduch se tedy může ohřát na ventilátorech a ohřívači.

Pokud nebude těsná ani jedna z klapek, bude pozitivní Test 6 a Test 14, protože jednotka bude v režimu vytápění a bude ohřívat přiváděný vzduch. Teplota přiváděného vzduchu tedy bude příliš vysoká, a proto dojde k aktivování těchto testů.

Tab. 10: Testy u Poruchy 1

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	2, 4, 5	1	-
AHU2	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 15	14	-
AHU8	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 15	14	-
AHU18	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	2, 4, 5	1	-
AHU23	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	2, 12, 14, 15	-	2
AHU24	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	2, 4, 5	1	-

AHU1:



Obr. 19: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU1

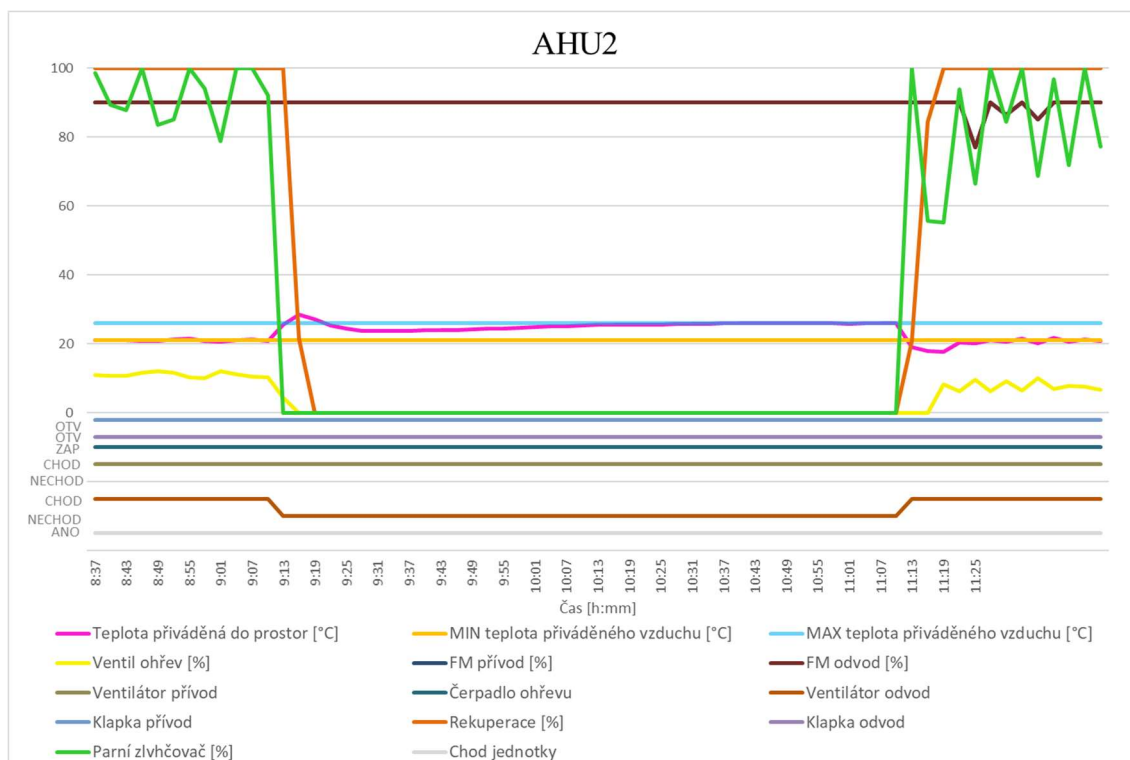
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že v systému Mervis SCADA se klapky opravdu i po uzavření jeví jako otevřené (Klapka odvod, Klapka přívod – OTV). U obou ventilátorů hlásil systém vypnutí ventilátorů (Nechod). To bylo způsobeno těsným uzavřením klapek a tím došlo ke vzniku podtlaku v místě měření diferenčního tlaku. Proto diferenční snímač naměřil diferenční tlak 0 a systém pak hlásil vypnutí ventilátorů (Nechod), i když ventilátory byly ve skutečnosti stále zapnuté na 70 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu vytápění. Ventil ohřevu osciloval, jelikož se snažil udržet teplotu přiváděného vzduchu na požadované hodnotě. A protože vzduch v jednotce neproudil, docházelo k ohřátí vzduchu a následně ke snížení otevření ventilu, po vychladnutí vzduchu došlo opět k otevření ventilu a ohřátí stejného vzduchu.

Expertní systém:

Jednotka se dle expertního systému přepnula do režimu vypnuto, jelikož se systém řídí podle diferenčních snímačů tlaku. Jednotka tedy byla v režimu vypnuto, ale stále měla podle systému otevřené klapky, a proto byl pozitivní Test 4. Ventil ohřevu a čerpadlo ohřevu zůstalo zapnuté, jelikož jednotka byla dle systému Mervis v režimu vytápění. Proto byl pozitivní Test 5, protože expertní systém uvažoval jednotku jako vypnutou a čerpadlo a ventil ohřevu by tedy měly být vypnuté/uzavřené. Jednotka měla být dle MaR zapnutá, ale dle expertního systému byla vypnutá, proto byl pozitivní Test 2. Test 1 nebyl pozitivní, jelikož se tento test řídí podle signálu „FM přívod“ ze systému Mervis SCADA. Jak lze vidět v grafu, jednotka dle signálu byla zapnutá, a proto tento test zůstal negativní.

AHU2:



Obr. 20: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU2

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze opět vidět, že v systému Mervis SCADA se klapky opět i po uzavření jeví jako otevřené (Klapka odvod, Klapka přívod – OTV). U odvodního ventilátoru hlásil snímač diferenční tlaku vypnutí ventilátoru (Nechod). Přívodní ventilátor zůstal dle snímače zapnutý (Chod). Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 90 % svého výkonu (FM přívod, FM odvod). Jednotka byla na začátku testu ve stavu vytápění. Hned po zapnutí poruchy se přepnula do režimu větrání bypassem, jelikož došlo ke zvýšení teploty přiváděného vzduchu. Příčinou bylo omezení proudu vzduchu a jeho ohřátí na ohříváči a na ventilátoru. Došlo tedy k uzavření ventilu ohřevu a uzavření rekuperačního výměníku a všechny čerstvý vzduch proudil bypassem. Čerpadlo ohřevu zůstalo zapnuté z důvodu protimrazové ochrany, která je na této jednotce nastavena tak, že je čerpadlo ohřevu zapnuté až do té doby, než teplota venkovního vzduchu překročí 10°C. Také došlo k vypnutí parního zvlhčovače, jelikož jeho chod se řídí podle snímače diferenčního tlaku.

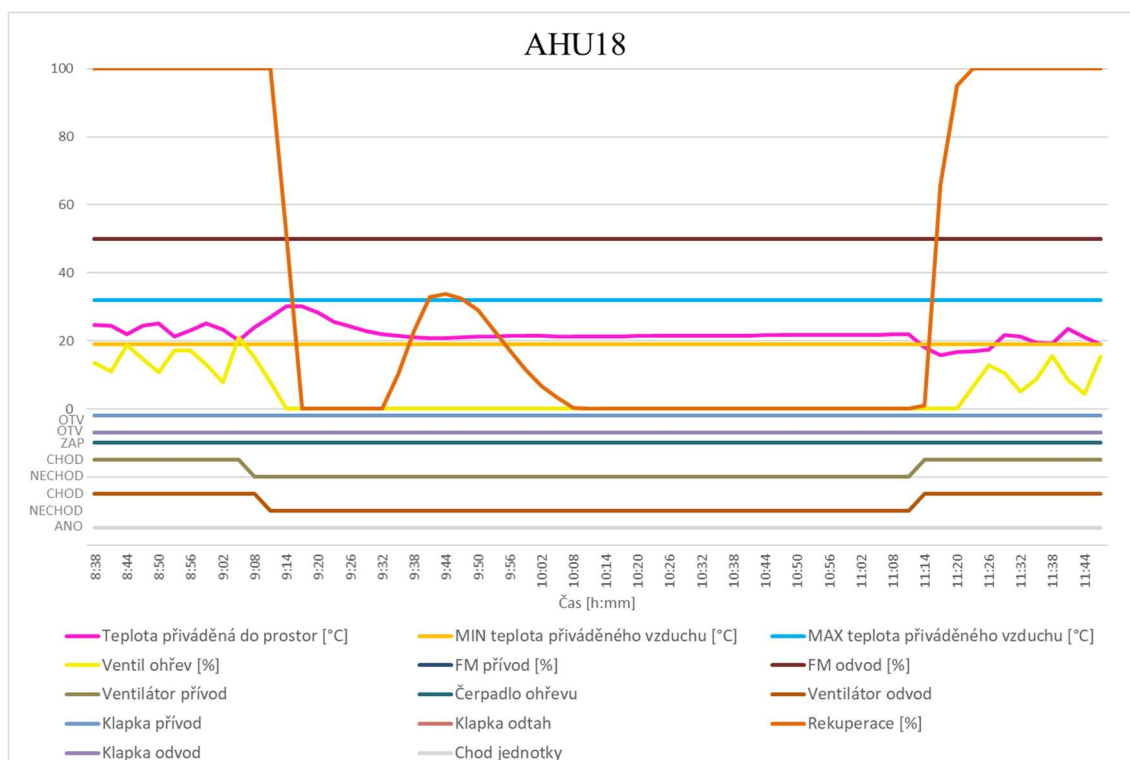
Expertní systém:

Jednotka měla dle expertního systému odvodní ventilátor vypnutý, a proto se přepnula do neznámého režimu. Proto došlo k aktivování Testu 12 a zároveň i k Testu 15. Tím, že byl přívodní ventilátor stále zapnutý, ale klapka byla uzavřená, docházelo k ohřívání vzduchu u ventilátoru a ke zvýšení přívodní teploty, nedošlo však k překročení limitní hodnoty teploty přiváděného vzduchu, a proto Test 14 zůstal negativní.

AHU8:

Jednotka AHU8 se chovala stejným způsobem jako AHU2.

AHU18:



Obr. 21: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU18

Systém Mervis SCADA:

Obě klapky se opět jeví jako otevřené. Ventilátory byly podle systému Mervis vypnuté, i když ve skutečnosti byly stále zapnuté na 50 % svého výkonu. Jednotka se dále chovala stejně jako AHU2.

Expertní systém:

Jednotka měla oba ventilátory dle expertního systému vypnuté, proto byly pozitivní stejné testy jako u jednotky AHU1.

AHU23:

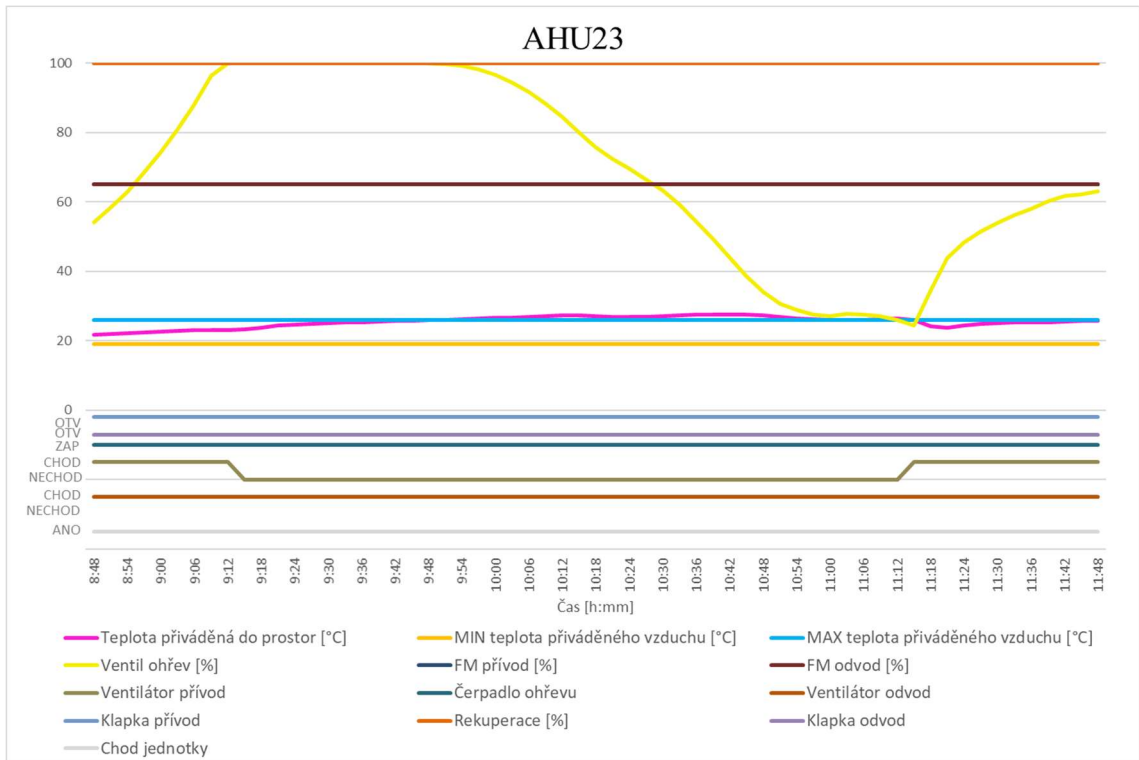
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze opět vidět, že v systému Mervis SCADA se klapky i po uzavření jeví jako otevřené (Klapka odvod, Klapka přívod – OTV). U odvodního ventilátoru hlásil diferenční snímač tlaku vypnutí ventilátoru (Nechod). Přívodní ventilátor zůstal dle snímače diferenčního tlaku zapnutý (Chod). Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 65 % svého výkonu. Jednotka byla po celou dobu testu v režimu vytápění. Zůstalo tedy zapnuto čerpadlo ohřevu a otevřený ventil ohřevu. Ventil ohřevu se otevřel na 100 %, jelikož teplota odváděného vzduchu byla nižší než je požadovaná teplota v interiéru. Došlo tedy k nárůstu teploty přiváděného vzduchu.

Expertní systém:

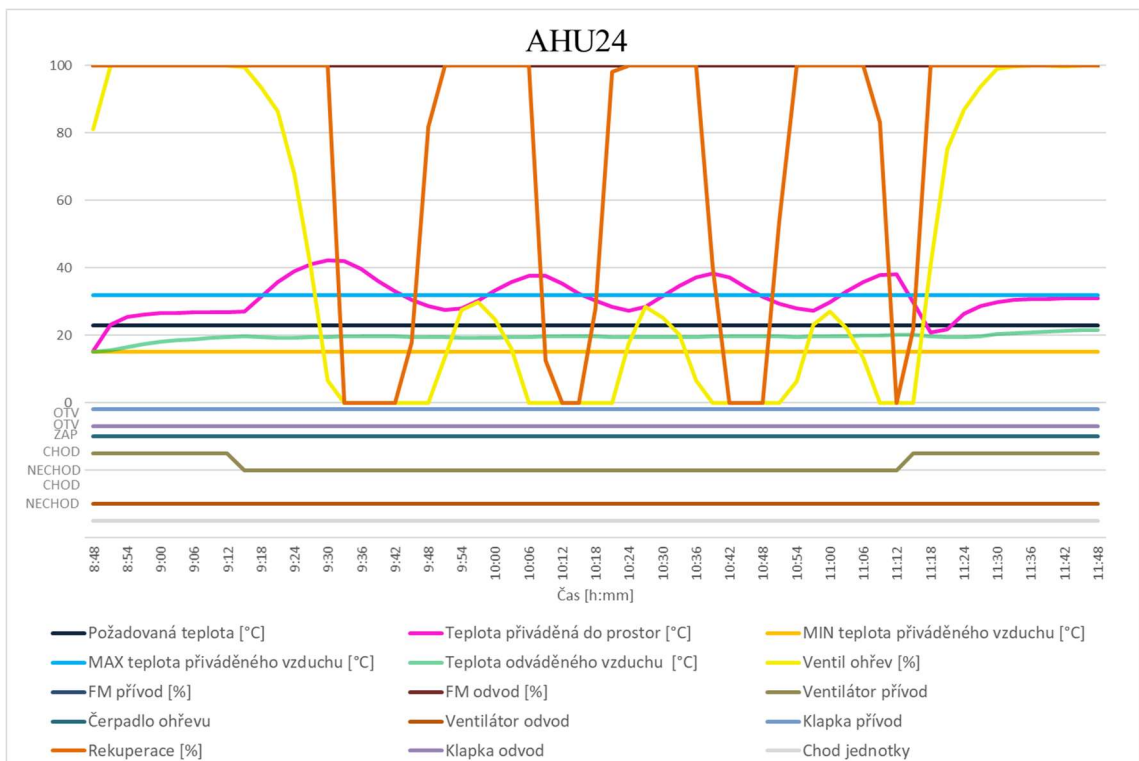
Jednotka měla dle expertního systému odvodní ventilátor vypnutý a přívodní ventilátor zapnutý, proto se přepnula do neznámého režimu. Proto došlo k aktivování Testu 12 a zároveň i k Testu 15. Ventil i čerpadlo ohřevu byly stále zapnuté a docházelo tak k ohřívání přiváděného vzduchu, až přesáhl maximální povolenou teplotu přiváděného vzduchu a byl pozitivní Test 14. Byl zde navíc pozitivní Test 2. Tento test určuje, zda je

jednotka zapnutá podle přívodního ventilátoru. V tomto případě byl přívodní ventilátor dle expertního systému vypnutý. MaR tedy dala pokyn ke spuštění, ale jednotka byla vypnutá, a proto byl tento test pozitivní.



Obr. 22: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU23

AHU24:



Obr. 23: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU24

Systém Mervis SCADA:

Jednotka měla již před testem rozbitý snímač diferenčního tlaku u odvodního ventilátoru. Z tohoto důvodu systém hlásil vypnutí ventilátoru (Nechod) již před způsobovanou poruchou. Dále lze vidět, že přírodní ventilátor byl dle snímače diferenčního tlaku v době poruchy také vypnutý (Nechod). Jednotka byla v režimu vytápění. Teplota odváděného vzduchu byla nižší než je požadovaná teplota v interiéru, proto se ventil ohřevu otevřel na 100 %. Tím však došlo k velkému zvýšení teploty přiváděného vzduchu až na 42°C. Proto došlo k uzavření ventilu ohřevu a uzavření rekuperačního výměníku. Poté teplota přiváděného vzduchu klesla, ale teplota odváděného vzduchu byla stále nízká. Proto se tento děj opět opakoval.

Expertní systém:

Jednotka měla pozitivní stejné testy jako AHU1 a AHU18.

Zhodnocení Poruchy 1:

Test 1 nebyl ani u jedné z jednotek pozitivní, jelikož jednotka zůstala dle systému Mervis zapnutá. Jednotky AHU2 a AHU8 neměly pozitivní Test 14, jelikož nedošlo k překročení teplotních limitů. U AHU23 byl navíc pozitivní Test 2, protože jednotka měla dle systému vypnutý právě přírodní ventilátor, podle kterého se u této poruchy určuje, zda je jednotka zapnutá nebo vypnutá. Proto se jednotka v expertním systému jevila jako vypnutá v době, kdy MaR vysílala požadavek na běh jednotky. Tento test je tedy pozitivní oprávněně. Z výsledků lze vidět, že u jednotky AHU2, AHU8 a AHU23 nebyla jedna z klapek 100 % těsná. Klapka byla zřejmě netěsná a pronikal skrz ní vzduch. Proto snímač diferenčního tlaku naměřil nenulovou hodnotu diferenčního tlaku a nehlásil vypnutí ventilátoru. I přes chybějící Test 1 byla chyba u všech jednotek systémem detekována.

Tab. 11: Výsledky Poruchy 1

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

4.2.2.2 Porucha 2 – Uzavření klapek, režim chlazení

Pomocí programu RcWare byly na dvě hodiny uzavřeny klapky na přívodu vzduchu a na odtahu vzduchu v době, kdy byla jednotka v režimu chlazení.

Tato porucha simuluje mechanické uzavření kapek nebo selhání servopohonů klapek.

Očekávalo se detekování chyby stejnými testy jako u Poruchy 1. Rozdíl byl pouze v předpokladu, že v případě, že budou těsné obě klapky bude také pozitivní Test 5. Rozdíl bude v tom, že jednotka bude ve skutečnosti v režimu chlazení a bude mít zapnuté čerpadlo chlazení a otevřen ventil chlazení.

Test 14 bude v případě těsného uzavření pouze jedné klapky oproti Poruše 1 pozitivní, z důvodu překročení minimální povolené teploty přiváděného vzduchu, jelikož budou ve skutečnosti klapky uzavřené a chladič zapnutý. Vzduch se tedy může ochladit na chladiči.

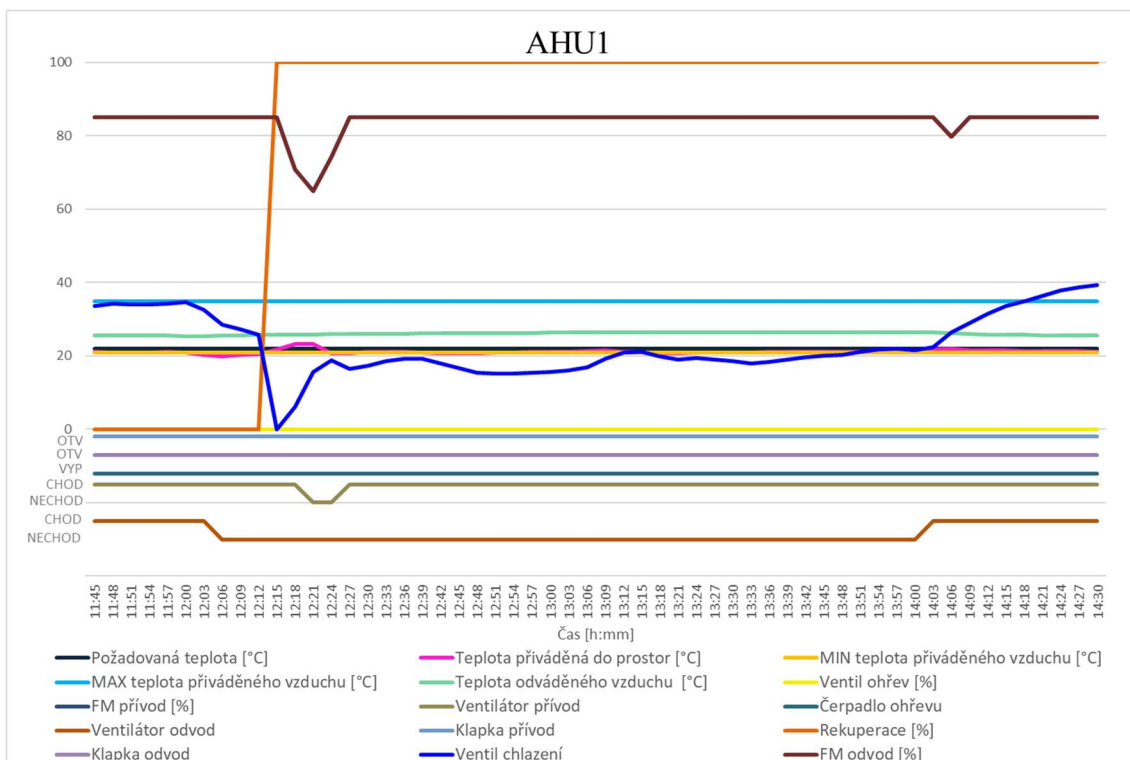
Pokud nebude těsná ani jedna z klapek, bude pozitivní Test 6 a Test 14, protože jednotka bude v režimu chlazení a bude ochlazovat přiváděný vzduch. Teplota přiváděného vzduchu tedy bude příliš nízká, a proto dojde k aktivování těchto testů.

Jednotka AHU2 a AHU8 byla v době testování mimo provoz.

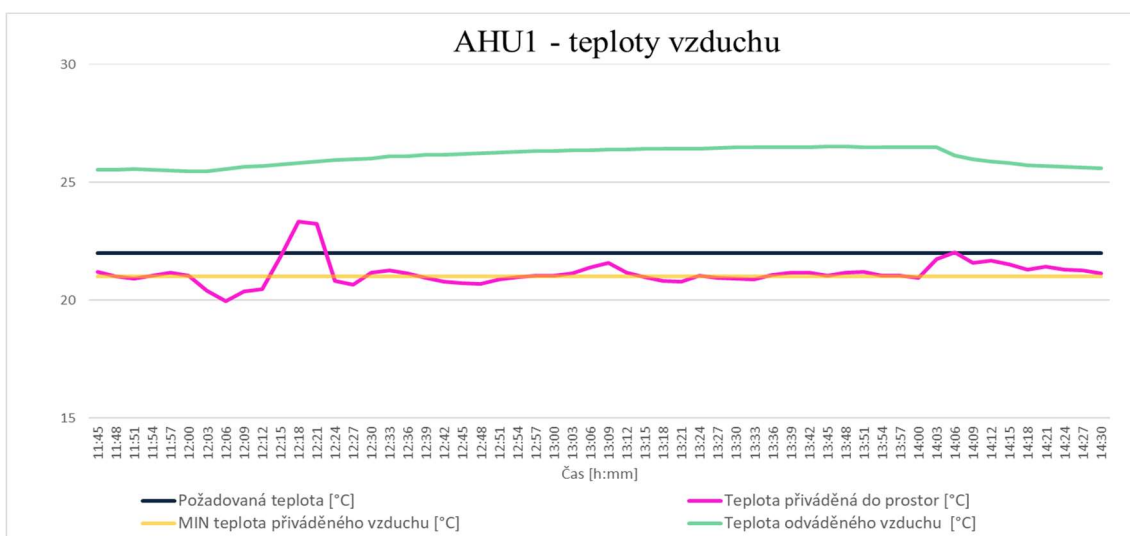
Tab. 12: Testy u Poruchy 2

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 14, 15	-	-
AHU18	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 14, 15	-	-
AHU23	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 14, 15	-	-
AHU24	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 14)	12, 15, 2	14	2

AHU1:



Obr. 24: Graf Poruchy 2 u jednotky AHU1



Obr. 25: Graf teplot vzduchu při Poruše 2 u jednotky AHU1

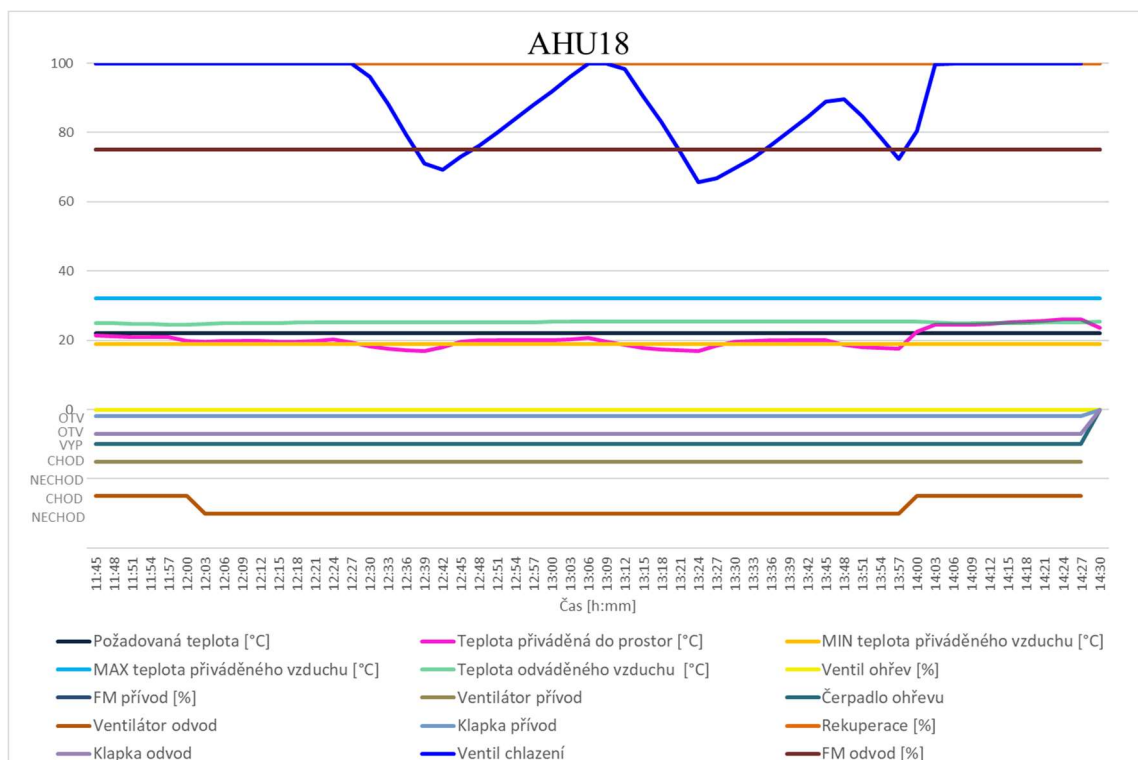
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že klapky se podle systému Mervis SCADA opět jeví jako otevřené. U odvodního ventilátoru hlásí diferenční snímač tlaku vypnutí ventilátoru (Nechod). Přívodní ventilátor zůstal dle snímače diferenčního tlaku zapnutý (Chod), pouze cca ve 12:18 došlo dle snímače diferenčního tlaku ke krátkému vypnutí ventilátoru. Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 85 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu chlazení. Po zapnutí poruchy došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu, a proto došlo k uzavření ventilu chlazení. Jelikož byla teplota odváděného vzduchu příliš vysoká cca 25,5-26,5°C, byl ventil chlazení opět otevřen. Dále došlo k otevření rekuperačního výměníku, jelikož teplota venkovního vzduchu byla vyšší než teplota odváděného vzduchu z prostoru.

Expertní systém:

Jednotka měla dle expertního systému odvodní ventilátor vypnutý a přívodní ventilátor zapnutý, proto se přepnula do neznámého režimu. Proto došlo k aktivování Testu 12 a zároveň i k Testu 15. Teplota odváděného vzduchu z místnosti byla o více jak 4,5°C nad požadovanou teplotou v interiéru a byl tedy překročen povolený práh 2K, proto byl pozitivní Test 14. Tento test však nebyl pozitivní z důvodu způsobované poruchy, ale teplota odváděného vzduchu byla vyšší o více jak 2K již před testem. Teplota odváděného vzduchu v těchto dnech téměř neklesla pod 24°C. Teplota přiváděného vzduchu se však pohybovala okolo minimální povolené teploty přiváděného vzduchu.

AHU18:



Obr. 26: Graf poruchy 2 u jednotky AHU18

Systém Mervis SCADA:

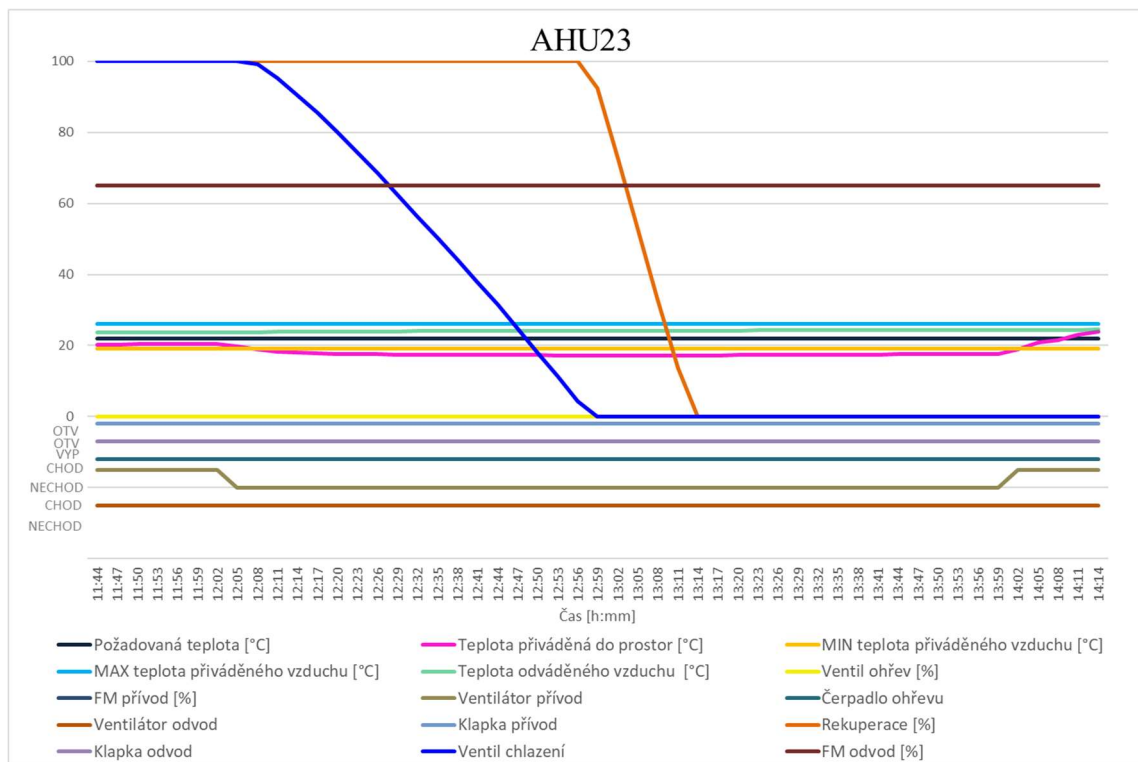
Z grafu lze vidět, že klapky se podle systému Mervis SCADA opět jeví jako otevřené. Odvodní ventilátor byl dle systému vypnutý a přívodní ventilátor zapnutý. Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 75 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu chlazení. Po

zapnutí poruchy došlo k poklesu teploty přiváděného vzduchu až pod minimální povolenou hodnotu. Ventil chlazení se tedy z plného otevření uzavřel na cca 70 %. Jelikož byla teplota odváděného vzduchu vyšší než je požadovaná teplota v interiéru, ventil se opět otevřel na 100 %, a proto teplota přiváděného vzduchu opět klesla pod limit minimální teploty přiváděného vzduchu.

Expertní systém:

Jednotka AHU18 se chovala během poruchy podobně jako AHU1. Test 12 a 15 byl pozitivní ze stejného důvodu jako u AHU1. Teplota odváděného vzduchu byla o více jak 3°C vyšší než požadovaná teplota a došlo tak opět k překročení povolených 2K. Z toho důvodů byl pozitivní Test 14. Tento test byl pozitivní také z důvodu poklesu teploty přiváděného vzduchu pod jeho minimální povolenou hodnotu. Teplota odváděného vzduchu opět byla vyšší více jak o 2K již před testem.

AHU23:



Obr. 27: Graf Poruchy 2 u jednotky AHU23

Systém Mervis SCADA:

Klapky se opět jeví jako otevřené, přívodní ventilátor jako vypnutý a odvodní ventilátor zůstal dle snímače diferenčního tlaku zapnutý. Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 65 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu chlazení. Krátce po zapnutí poruchy došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu přiváděného vzduchu, a proto došlo k uzavření ventilu chlazení. Dále se uzavřel rekuperační výměník, jelikož teplota venkovního vzduchu byla vyšší než teplota odváděného vzduchu. Jelikož u této jednotky bylo zjištěno, že podcházela ventil chlazení a i při uzavřeném ventilu docházelo k ochlazení vzduchu, teplota přiváděného vzduchu byla po celou dobu testu pod minimální povolenou hodnotou.

Expertní systém:

Jednotka AHU23 se chovala během poruchy podobně jako AHU1 a AHU18. Test 12 a 15 byl pozitivní ze stejného důvodu jako u těchto jednotek. Jelikož teplota přiváděného vzduchu klesla pod minimální povolenou hodnotu přiváděného, byl pozitivní Test 14. Teplota odváděného vzduchu byla na rozdíl od AHU1 a AHU2 před testem v mezích požadované teploty. Během testu se teplota držela okolo 24°C.

AHU24:

Systém Mervis SCADA:

Klapky se dle Mervis SCADA opětjevily jako otevřené. Přívodní ventilátor byl opět dle snímače diferenčního tlaku vypnutý a odvodní ventilátor zapnutý. Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 100 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu chlazení. Ventil chlazení byl od začátku testu otevřen na 100 %, ale teplota přiváděného vzduchu neklesla pod minimální povolenou hodnotu přiváděného vzduchu, naopak se teplota přiváděného vzduchu během testu zvýšila. Jednotka měla zřejmě rozbitý ventil chlazení.

Expertní systém:

Jednotka AHU24 se chovala během poruchy podobně jako předchozí jednotky. Test 12 a 15 byl pozitivní ze stejného důvodu jako u těchto jednotek. I když se teplota přiváděného vzduchu zvýšila, nedošlo k překročení maximální povolené teploty, a tak Test 14 zůstal negativní. Byl zde navíc Test 2, jelikož byl dle systému vypnutý přívodní ventilátor.

Zhodnocení Poruchy 2:

U jednotky AHU1, AHU23 a AHU24 byla zřejmě netěsná klapka na odvodu vzduchu a u jednotky AHU18 klapka na přívodu vzduchu. U jednotky AHU1 a AHU18 byl Test 14 pozitivní již před testem, jelikož teplota vzduchu v prostoru byla nad požadovanou hodnotou. Jednotka AHU1 větrá učebnu a zasedací místnosti, ve kterých není jinak zajištěno chlazení. Průtok vzduchu je tedy nedostatečný, aby uchládl tepelné zisky v těchto prostorách na požadovaných 22±2°C. Jednotka AHU18 obsluhuje prostory laboratoří, kde by měly být umístěné Fan-coily. Chlazení je zde zřejmě opět nedostačující na to, aby byla dodržena požadovaná teplota v interiéru. U jednotky AHU24 bylo zjištěno, že je zřejmě rozbitý ventil chlazení, jelikož již před testem byla jednotka v režimu chlazení, ale byl přiváděn téměř stejně teplý vzduch jako byla vypočtená hodnota teploty vzduchu za rekuperační výměníkem. U testovaných jednotek byla i tak chyba systémem detekována.

Tab. 13: Výsledky u Poruchy 2

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	ANO	ANO

4.2.2.3 Porucha 3 – Uzavření klapek, režim větrání

Pomocí programu RcWare byly na dvě hodiny uzavřeny klapky na přívodu vzduchu a na odtahu vzduchu v době, kdy byla jednotka v režimu větrání.

Tato porucha simuluje mechanické uzavření kapek nebo selhání servopohonů klapek. Očekávalo se detekování chyby stejnými testy jako u Poruchy 1 a 2. Pouze v případě, že budou obě klapky netěsné, předpokládá se navíc Test 7, protože jednotka bude v režimu

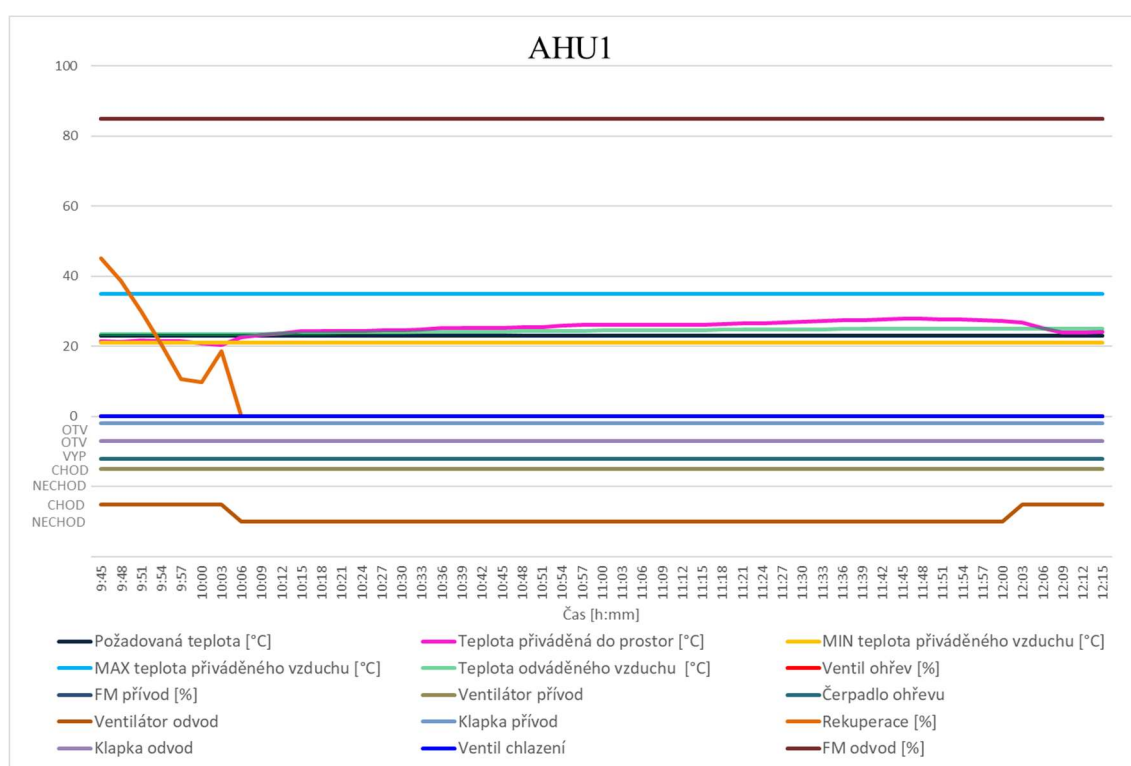
větrání, ale může dojít k ohřátí vzduchu na ventilátoru a přívodu vzduchu teplejšího než je teplota vzduchu za rekuperátorem. Testy 6 a 14 mohou být pozitivní, jelikož dojde k ohřevu vzduchu na ventilátorech.

U této poruchy byly testovány pouze jednotky AHU1,2 a 8. Ostatní jednotky byly v době testování v režimu vytápění.

Tab. 14: Testy u Poruchy 3

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 7, 14)	12, 15	14	-
AHU2	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 7, 14)	12, 15	14	-
AHU8	(1, 2, 4, 5) v (12, 14, 15) v (6, 7, 14)	6, 7, 14	-	-

AHU1:



Obr. 28: Graf Poruchy 3 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že klapky se podle systému Mervis SCADA opět jeví jako otevřené. U odvodního ventilátoru hlásí diferenční snímač tlaku vypnutí ventilátoru (Nechod). Přívodní ventilátor zůstal dle snímače diferenčního tlaku zapnutý (Chod). Oba ventilátory ve skutečnosti byly zapnuté na 85 % svého výkonu. Jednotka byla v režimu větrání. Krátce po zapnutí testu došlo ke zvýšení teploty přiváděného vzduchu. Důvodem bylo omezení proudění vzduchu v jednotce. Vzduch se tedy déle zdržoval nad ventilátorem, a tím docházelo k jeho ohřevu. Aby se snížila teplota přiváděného vzduchu došlo k uzavření rekuperačního výměníku a přívodu čerstvého vzduchu bypassem.

Expertní systém:

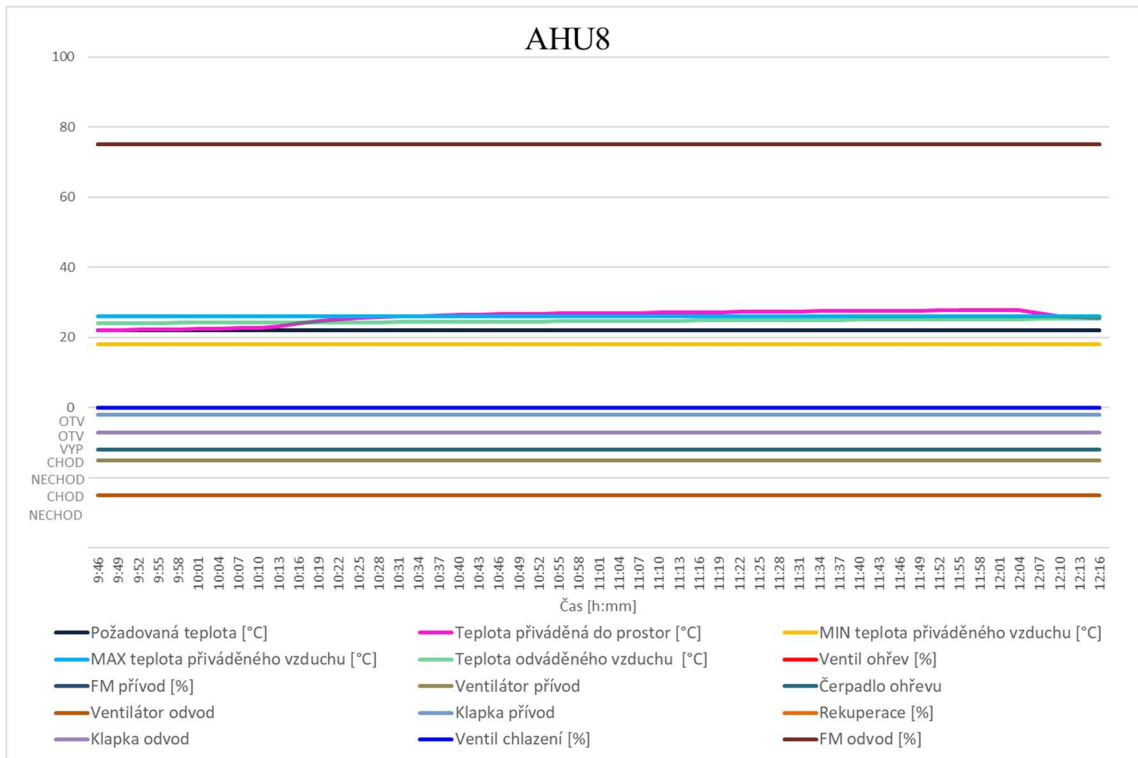
Jednotka měla dle expertního systému odvodní ventilátor vypnutý a přívodní ventilátor zapnutý, proto se přepnula do neznámého režimu. Proto došlo k aktivování

Testu 12 a zároveň i k Testu 15. Teplota přiváděného vzduchu a teplota odváděného vzduchu byla v požadovaných mezích, a proto nebyl pozitivní Test 14.

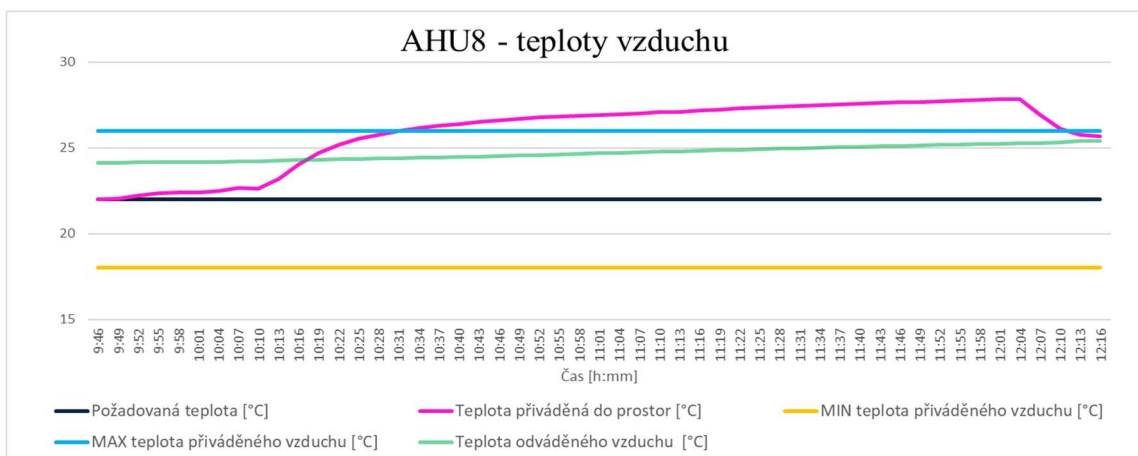
AHU2:

Jednotka se chovala stejným způsobem jako AHU1. Po zapnutí poruchy navíc došlo k vypnutí parního vlhčení, jelikož je jeho ovládání propojeno se snímači diferenčního tlaku. Jednotka tedy měla pozitivní stejné testy jako jednotka AHU1.

AHU8:



Obr. 29: Graf Poruchy 3 u jednotky AHU8



Obr. 30: Graf teplot vzduchu při Poruše 3 u jednotky AHU8

Systém Mervis SCADA:

V grafu lze vidět, že se opět klapky v systému jevily jako otevřené. Oba ventilátory zůstaly dle snímače diferenčního tlaku po celou dobu testu zapnuté. Jednotka byla v režimu větrání bypassem. Opět krátce po zapnutí poruchy došlo k navýšení přívodní teploty.

Expertní systém:

Dle expertního systému byla jednotka také v režimu větrání bypassem, jelikož byly klapky zřejmě netěsné a zůstaly dle snímače diferenčního tlaku zapnuté oba ventilátory. Po zapnutí poruchy došlo k navýšení přiváděné teploty, a proto byl pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy byly pozitivní z důvodu překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu, protože teplota odváděného vzduchu byla příliš vysoká oproti požadované teplotě v interiéru. Teplota v interiéru překračovala práh 2K od požadované teploty v interiéru již před testem, proto byl Test 6 pozitivní již před testem. Teplota vzduchu za rekuperačním výměnkem a teplota přiváděného vzduchu se lišila více než o 2K, a proto byl pozitivní Test 7.

Zhodnocení Poruchy 3:

U jednotek AHU1 a AHU2 byla přívodní klapka netěsná. U jednotky AHU8 byly zřejmě netěsné obě klapky. Dále u jednotky AHU1 a AHU2 nebyl pozitivní Test 14, jelikož teplota přiváděného a odváděného vzduchu zůstala v požadovaných mezích, přesto byla chyba u všech testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 15: Výsledky u Poruchy 3

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	-	-	-
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	-	-	-

4.2.2.4 Porucha 4 – Uzavření ventil na ohřivači, režim vytápění

Pomocí programu RcWare byl uzavřen na dvě hodiny ventil na ohřivači, tzn. 0 % v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje mechanické uzavření ventilu ohřevu nebo selhání servopohonu ventilu ohřevu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Ohrožení komfortu

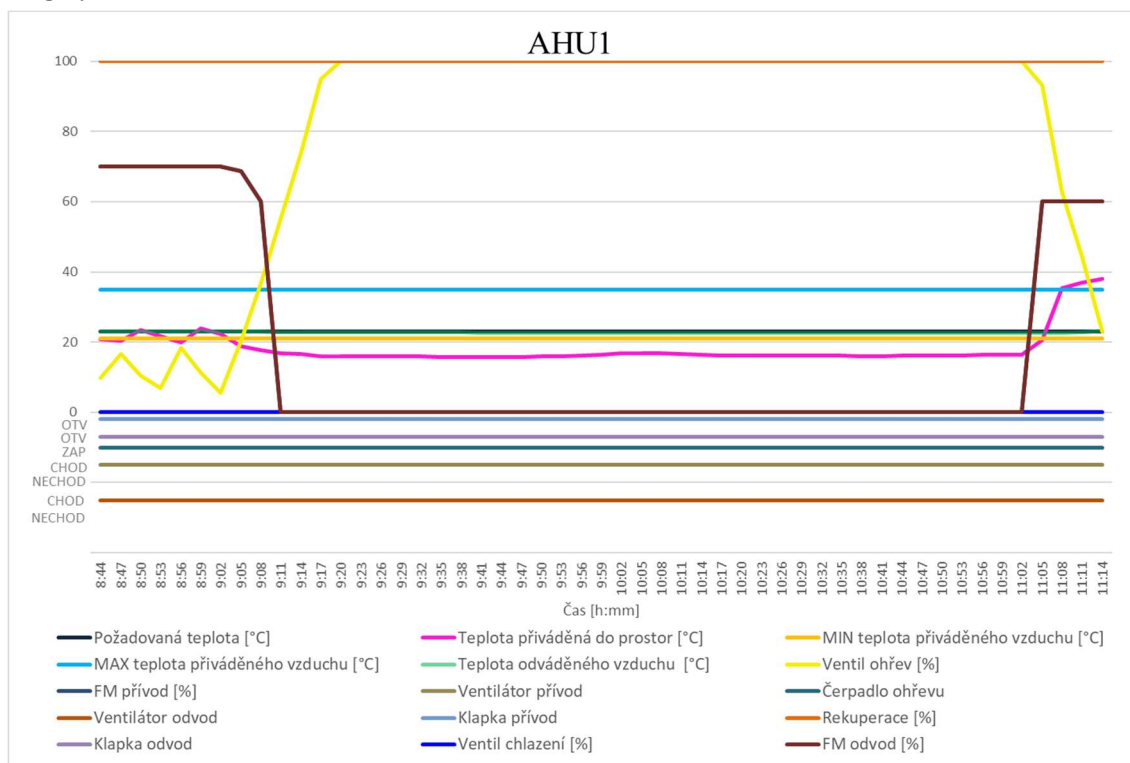
Předpokládalo se, že při uzavření ventilu ohřevu dojde ke snížení přívodní teploty vzduchu až pod minimální povolenou hodnotu a případně klesne i teplota v interiéru pod povolený práh 2K od požadované teploty v interiéru. Proto budou pozitivní Testy 6 a 14. Test 7 bude pozitivní, jelikož teplota vzduchu za rekuperátorem a teplota přiváděného vzduchu se budou lišit pouze o teplo předané vzduchu na ventilátoru. A Test 11 se předpokládal, jelikož ventil ohřevu bude dle systému Mervis otevřen, ale teplota přiváděného vzduchu bude nedostatečná. Proto bude nedostatečný výkon ohřivače.

Testované byly pouze 3 jednotky, jednotka AHU23 a AHU24 měly porouchaný snímač diferenčního tlaku a nebyla by tak detekována způsobovaná porucha. Jednotka AHU2 byla v režimu vlhčení.

Tab. 16: Testy u Poruchy 4

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 11, 14	1, 2, 6, 7, 11, 14	-	1, 2
AHU8	6, 7, 11, 14	-	6, 7, 11, 14	-
AHU18	6, 7, 11, 14	11, 14	6, 7	-

AHU1:



Obr. 31: Graf Poruchy 4 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že ačkoliv byl ventil ohřevu uzavřen, v systému Mervis bylo zobrazováno plné otevření ventilu, tedy 100 %. Po způsobení poruchy došlo k velkému snížení teploty přiváděného vzduchu až na 16°C. Proto se ventil ohřevu dle systému Mervis otevřel na 100 %. Jelikož teplota stále klesala došlo k omezení výkonu ventilátorů. I když se zobrazovalo 0 % výkonu ventilátorů, ventilátory na malý výkon stále běžely, proto snímač diferenčního tlaku nenaměřil nulovou hodnotu a zobrazoval ventilátory jako zapnuté (CHOD).

Expertní systém:

Jelikož ventilátory stále běžely nehlásil snímač diferenčního tlaku vypnutí ventilátorů. Jednotka tedy zůstala v režimu vytápění. Test 6 a Test 14 byly aktivovány z důvodu nízké teploty přiváděného vzduchu. Jelikož jednotka byla v režimu vytápění, ale byl z ní přiváděn skoro stejně teplý vzduch jako byl za rekuperačním výměníkem a v jednotce tedy nedocházelo k žádnému ohřevu vzduchu, byl pozitivní Test 7. Test 11 byl pozitivní, jelikož jednotka dle systému Mervis vytápěla na 100 %, ale teplota vzduchu byla pod limitem minimální požadované teploty vzduchu. Jednotka měla navíc pozitivní Test 1 a Test 2. Test 1 byl pozitivní, jelikož ventilátory snížily svůj výkon na 0 %. Dle tohoto testu se jednotka jevila jako vypnutá v pracovní době, a proto byl tento test pozitivní. Test 2 byl pozitivní z stejného důvodu, jednotka byla dle testu vypnutá v době, kdy MaR vysílala požadavek na běh jednotky.

AHU8:

U jednotky nebyla chyba detekována. Bohužel byl u této jednotky rozbitý ventil ohřevu a porucha se tedy neprojevila.

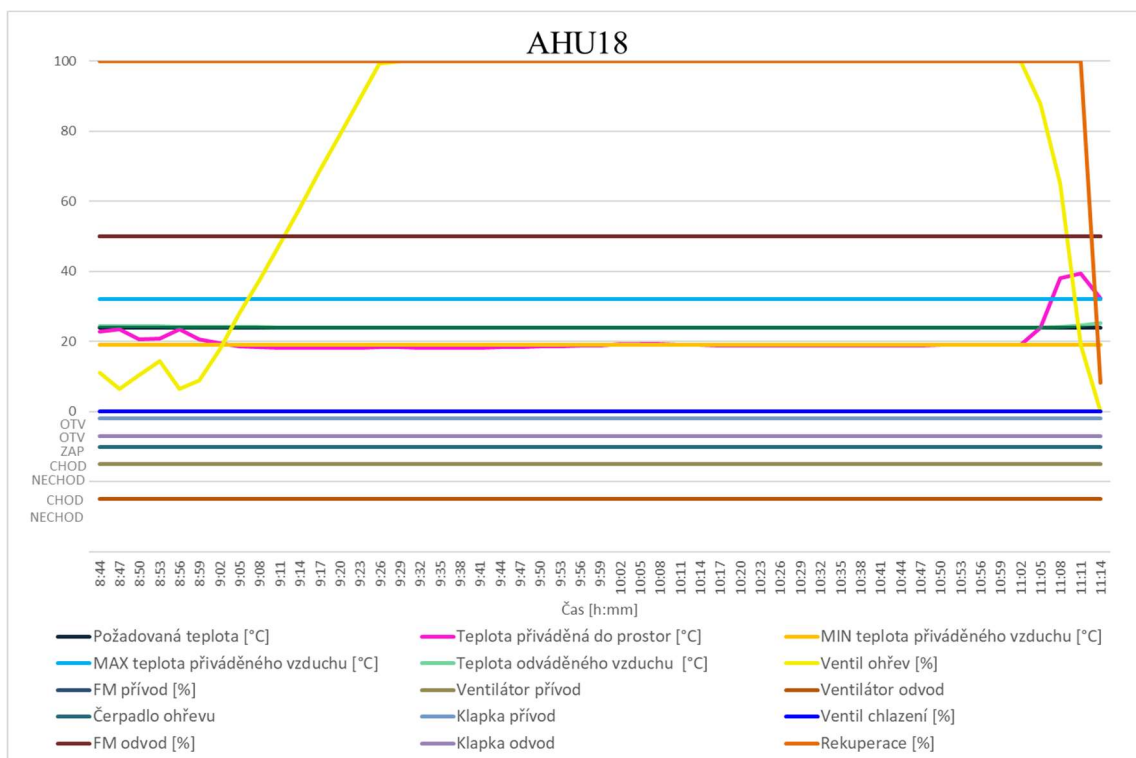
AHU18:

Systém Mervis SCADA:

Ventil ohřevu se v systému Mervis SCADA opět jeví jako plně otevřen. Po zapnutí poruchy opět došlo ke snížení přívodní teploty a otevření ventilu ohřevu na 100 %. Jelikož u jednotky částečně podcházal ventil ohřevu, teplota přiváděného vzduchu nebyla tak nízká a pohybovala se okolo minimální povolené teploty.

Expertní systém:

Od 9:10 do 9:35 došlo k aktivování Testu 11, jednotka podle systému Mervis vytápěla, ale teplota přiváděného vzduchu klesala. Poté došlo k malému zvýšení teploty. Tento jev byl zřejmě způsoben rozbitým ventilem ohřevu, který podcházal a docházelo tak k částečnému ohřívání vzduchu. Porucha 14, nebo-li ohrožení komfortu bylo způsobeno klesnutím teploty přiváděného vzduchu pod limit minimální hodnoty přiváděného vzduchu. Test 6 nebyl aktivován, jelikož teploty vzduchu zůstaly v povolených mezích pro tento test. Jelikož rozbitý ventil ohřevu zajišťoval občasné ohřátí vzduchu, nebyl pozitivní ani test 7. Test 11 a Test 14 byl pozitivní pouze krátce, Test 11 byl pozitivní pouze 20 minut a Test 14 pouhých 10 minut. To bylo opět způsobeno rozbitým ventilem ohřevu, který částečně ohříval přívodní vzduch.



Obr. 32: Graf Poruchy 4 u jednotky AHU18

Zhodnocení Poruchy 4:

U jednotky AHU1 byl navíc pozitivní Test 1 a Test 2, jelikož si jednotka snížila výkon ventilátorů na 0 %. U jednotky AHU18 nebyl pozitivní Test 6 a Test 7, jelikož jednotka měla rozbitý ventil ohřevu. Nezachycení těchto testů tedy nebylo

opět chybou detekčního systému. U jednotky AHU8 nebyly zachyceny žádné testy. Opět se nejednalo o chybu detekčního systému, ale o rozbitý ventil ohřevu. Chyba tedy byla u všech testovaných jednotek kromě jednotky AHU8 systémem detekována. U jednotky AHU18 byla chyba sice dvěma testy detekována, ale ty trvaly příliš krátce. Chyba byla částečně maskována rozbitým ventilem ohřevu. Zde by mohlo z důvodu příliš krátkého trvání testů dojít k přehlédnutí poruchy, to však není chybou expertního systému.

Tab. 17: Výsledky Poruchy 4

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	Žádná	Jiné	-	-
Chyba detekována:	ANO	-	NE	ANO	-	-

4.2.2.5 Porucha 5 – Uzavřen ventil na chladiči, režim chlazení

Pomocí programu RcWare byl na dvě a půl hodiny uzavřen ventil chlazení tzn. 0 % v době, kdy byla jednotka v režimu chlazení.

Tato porucha simuluje mechanické uzavření ventilu chlazení nebo selhání servopohonu ventilu chlazení.

Očekávalo se, že bude chyba detekována Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Ohrožení komfortu

Předpokládalo se, že bude pozitivní Test 6 a Test 14, jelikož teplota přiváděného vzduchu a teplota v interiéru přesáhnou požadované hodnoty. Dále se předpokládalo že bude pozitivní Test 7, jelikož jednotka bude v režimu chlazení, ale z jednotky bude přiváděn téměř stejně teplý vzduch jako je teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem. A Test 11, neboli nedostatečný výkon chladiče, protože jednotka bude v režimu chlazení a bude mít dle systému ventil chlazení otevřený, ale teplota přiváděného vzduchu nebude klesat.

Jednotky AHU2 a AHU8 byly v době testování mimo provoz.

Tab. 18: Testy u Poruchy 5

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 11, 14	6, 11, 14	7	-
AHU18	6, 7, 11, 14	6, 7, 9, 11, 14	-	9
AHU23	6, 7, 11, 14	5, 7	6, 11, 14	5
AHU24	6, 7, 11, 14	-	6, 7, 11, 14	-

AHU1:

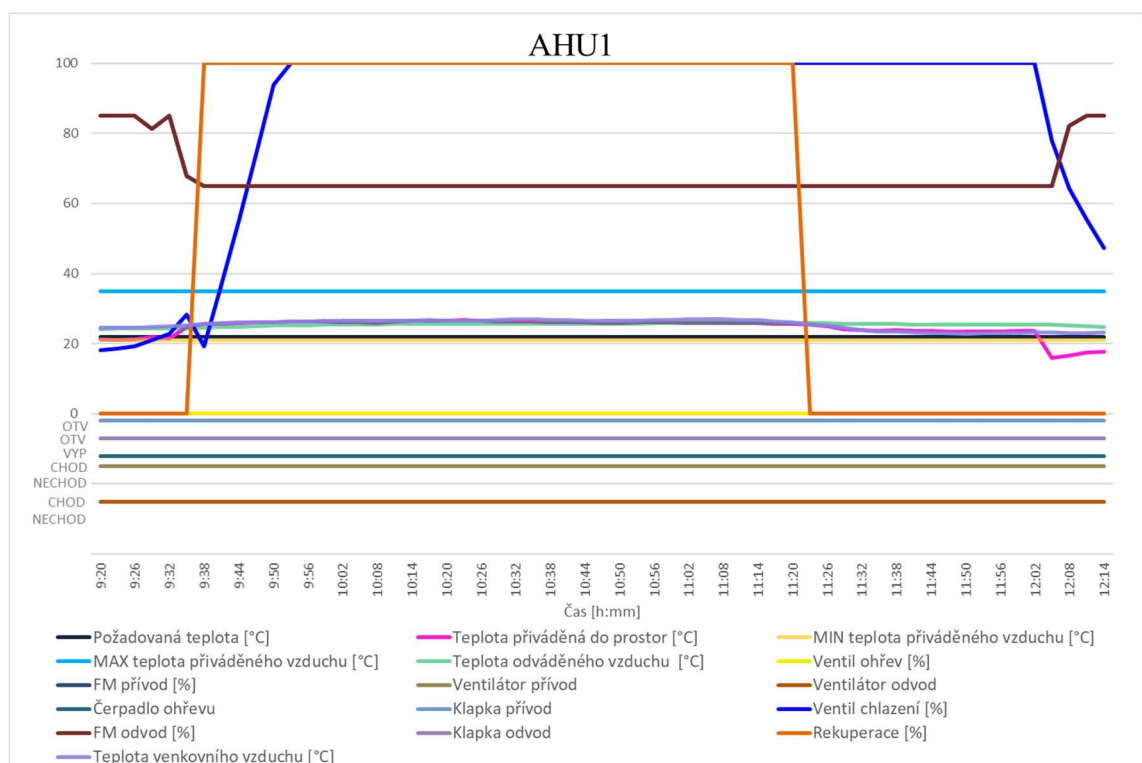
Systém Mervis SCADA:

Po provedení poruchy došlo k navýšení teploty přiváděného vzduchu. Jelikož byla teplota venkovního vzduchu vyšší než teplota odváděného vzduchu, došlo k otevření rekuperačního výměníku na 100 % a poté otevření ventilu chlazení na 100 %. Ventil chlazení se tedy v systému Mervis SCADA jeví jako plně otevřen. Ve skutečnosti však byl uzavřený,

a proto docházelo k navýšení přívodní teploty vzduchu. Cca v 10:23 došlo ke snížení venkovní teploty pod teplotu odváděného vzduchu a jednotka si uzavřela rekuperační výměník a přiváděla venkovní vzduch bypassem. V grafu lze vidět, že tedy došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu. Dále si jednotka na začátku poruchy snížila výkon ventilátorů z 85 % na 65 %. Důvodem bylo navýšení teploty přiváděného vzduchu a snaha o její snížení.

Expertní systém:

Z grafu lze vidět, že teplota odváděného vzduchu je vyšší než požadovaná teplota v interiéru. Teplota odváděného vzduchu se pohybovala okolo 25-26°C a byla tak od požadované teploty 22°C o více jak 3K vyšší. Proto byl pozitivní Test 6 a Test 14, jelikož teplota v interiéru přesáhla teplotní práh 2K. Test 11 byl pozitivní, protože ventil chlazení byl podle systému Mervis SCADA otevřen na 100 %, ale chladič nestíhal vychladit vzduch na požadovanou teplotu, a proto expertní systém hlásil nedostatečný výkon chladiče. Test 7 byl negativní, jelikož teplotní rozdíly přiváděného vzduchu a vzduchu za rekuperačním výměníkem byly v toleranci.



Obr. 33: Graf Poruchy 5 u jednotky AHU1

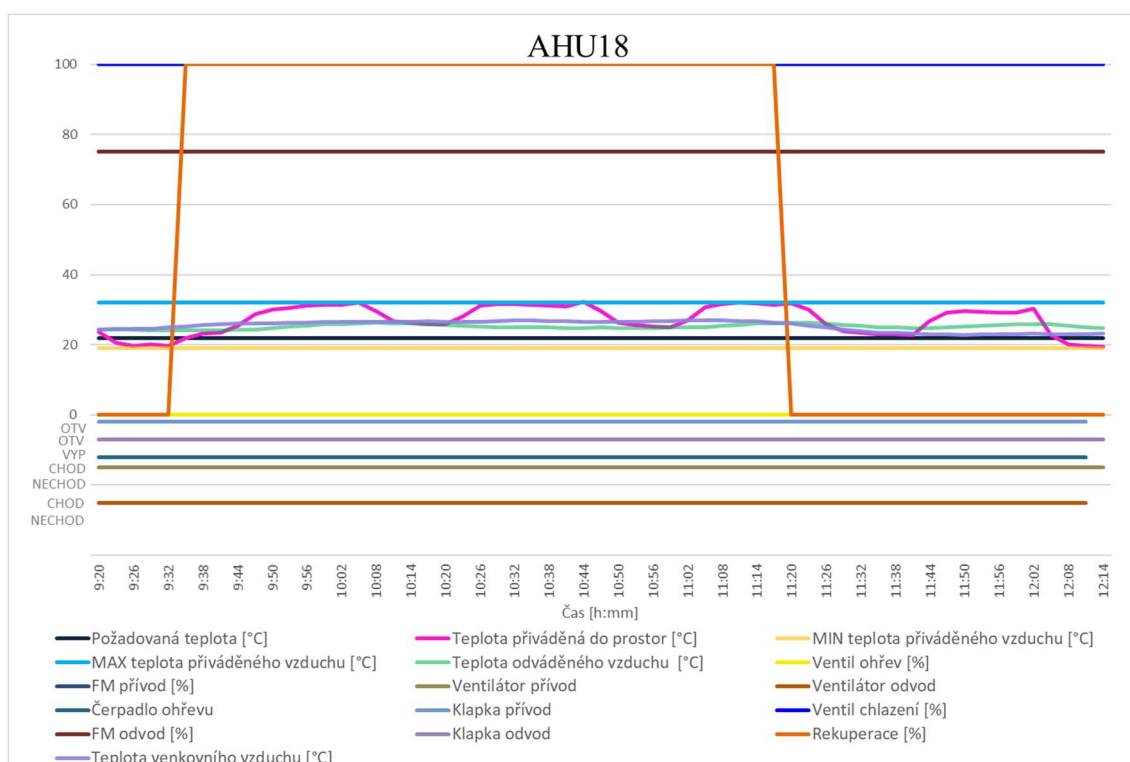
AHU18:

System Mervis SCADA:

Po provedení poruchy došlo stejně jako u jednotky AHU1 k navýšení teploty přiváděného vzduchu. Jelikož byla teplota venkovního vzduchu vyšší než teplota odváděného vzduchu, došlo k otevření rekuperačního výměníku na 100 %. Ventil chlazení byl již před testem otevřený na 100 % a dle systému Mervis SCADA tak zůstal po celou dobu testu. Jelikož byl ve skutečnosti uzavřený, došlo k navýšení přívodní teploty. Teplota přiváděného vzduchu však byla zásadně vyšší, než by se u zavřeného ventilu chlazení předpokládalo. To bylo způsobeno netěsným ventilem ohřevu, který i když měl být po celou dobu testu uzavřen, podcházal a docházelo tak k ohřevu vzduchu ve VZT jednotce. Z tohoto důvodu teplota přiváděného vzduchu během testu oscilovala.

Expertní systém:

Teplota vzduchu odváděného z místnosti se v době poruchy zvýšila na 25-26°C. Byl tedy překročen teplotní práh 2K od požadované teploty vzduchu v interiéru 22°C. Proto byl pozitivní Test 6 a Test 14. Teplota přiváděného vzduchu do místnosti by měla být při režimu chlazení nižší, než teplota za rekuperačním výměníkem. Zde byla díky způsobené poruše a také díky poruše ventilu ohřevu teplota přiváděného vzduchu vyšší, a proto byl pozitivní Test 7. Test 11 byl pozitivní ze stejného důvodu jako u jednotky AHU1. Tento test byl ovlivněn i rozbitým ventilem ohřevu. Díky rozbitému ventilu ohřevu byl navíc pozitivní Test 9. Jelikož není umístěno žádné čidlo teploty před chladičem, vypočítává se virtuální teplota. Při výpočtu se nepočítalo s netěsným ventilem ohřevu, a proto byla vypočtena na nižší hodnotu, než byla ve skutečnosti. Do výměníku chladu bylo však přiváděno takové množství chladicí vody, aby ochladilo vzduch s virtuální teplotou na požadovanou teplotu přivodního vzduchu. Tím, že byla teplota před výměníkem vyšší, než se kterou se počítalo, nebyl dodržen spád na výměníku, a proto byl pozitivní Test 9.



Obr. 34: Graf Poruchy 5 u jednotky AHU18

AHU23:

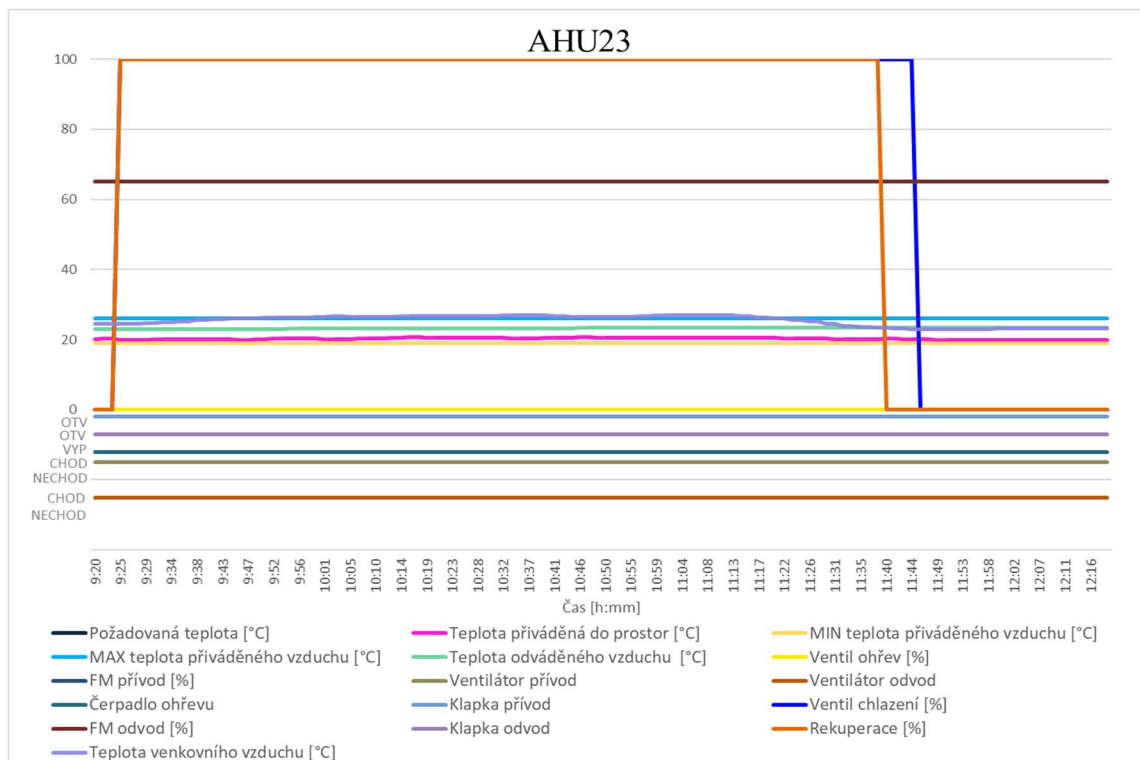
Systém Mervis SCADA:

Po provedení poruchy nedošlo k navýšení teploty přiváděného vzduchu jako tomu bylo u předchozích jednotek. Bylo zjištěno, že ventil chlazení v době testování podcházal a nebyl 100% těsný. V jednotce tedy docházelo k částečnému chlazení. Jelikož teplota v místnosti byla vyšší než je požadovaná teplota v interiéru, došlo k otevření rekuperačního výměníku na 100 %, jelikož v interiéru byla nižší teplota než teplota venkovního vzduchu a ve stejnou dobu došlo i k otevření ventilu chlazení na 100 %. Ventil chlazení se tedy v systému Mervis SCADA jevil jako plně otevřen.

Expertní systém:

Test 6, 11 a 14 byl negativní z důvodu rozbitého ventilu chlazení, který i při způsobené poruše podcházal a částečně chladil a udržoval teplotu přiváděného vzduchu na cca 20°C. Test 7 se projevil, jelikož se jednotka ke konci testu přepnula do režimu větrání

bypassem a díky podcházejícímu ventilu chlazení překračoval rozdíl mezi venkovní teplotou vzduchu a teplotou přiváděného vzduchu limitní hodnotu 2K. Test 5 byl pozitivní, protože jednotka byla v režimu větrání bypassem, ale stále běželo čerpadlo chlazení. Čerpadlo chlazení je jedno centrální obsluhující více jednotek, proto nedošlo k jeho vypnutí.



Obr. 35: Graf poruchy 5 u jednotky AHU23

AHU24:

U jednotky nebyla chyba detekována. Během poruchy nedošlo k aktivování žádného testu, protože jednotka měla rozbitý ventil chlazení.

Zhodnocení Poruchy 5:

U jednotky AHU1 chybí Test 7 z důvodu malých teplotních rozdílů. U jednotky AHU18 je navíc Test 9, který způsobil podcházející ventil ohřevu. U jednotky AHU23 chybí Test 6, 11 a 14 a je zde navíc pozitivní Test 5. Test 7 je pozitivní pouze z důvodu rozbitého ventilu chlazení. Chybějící testy způsobil rozbitý ventil chlazení, který udržoval teploty v požadovaných mezích. Test 5 byl navíc, jelikož běželo čerpadlo chlazení v době, kdy jednotka byla v režimu větrání bypassem. U jednotky AHU24 chyběly všechny testy, jelikož jednotka měla rozbitý ventil chlazení. Ani jeden z těchto chybějících nebo přebývajících testů není chybou detekčního systému, ale buď rozbitými komponenty VZT jednotek nebo chybným výběrem doby tetování. Chyba tedy byla detekována pouze u jednotky AHU1 a AHU18.

Tab. 19: Výsledky Poruchy 5

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Očekávaná	Jiná	Jiná
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	NE	NE

4.2.2.6 Porucha 6 – Čerpadlo vytápění vypnuto při zapnutí jednotce, režim vytápění

Pomocí programu RcWare bylo na dvě hodiny vypnuto čerpadlo vytápění v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje mechanicky vypnuté čerpadlo vytápění.

Očekávalo se, že tato porucha bude detekována Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Ohrožení komfortu

Předpokládalo se, že při vypnutí čerpadla ohřevu bude do interiéru přiváděn vzduch o příliš nízké teplotě, která bude pod minimální povolenou hodnotou přiváděného vzduchu a v interiéru tedy může být nižší teplota než je požadovaná teplota v interiéru. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Dalším předpokladem bylo, že z jednotky bude přiváděn stejně teplý vzduch jako je vzduch za rekuperačním výměníkem a nebude tedy dohazet k žádnému jinému ohřevu vzduchu než na ventilátoru. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní i Test 7. Test 11 by měl být pozitivní, jelikož dle systému Mervis SCADA bude ventil ohřevu otevřený, ale teplota přiváděného vzduchu nebude stoupat a bude pod minimální požadovanou teplotou přiváděného vzduchu.

AHU24 měla rozbitý snímač diferenčního tlaku. Jednotka AHU2 byla v režimu vlhčení. Proto byly testovány pouze jednotky AHU1, AHU18 a AHU23.

Tab. 20: Testy u Poruchy 6

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 11, 14	6, 11	7, 14	-
AHU18	6, 7, 11, 14	11	6, 7, 14	-
AHU23	6, 7, 11, 14	6	7, 11, 14	-

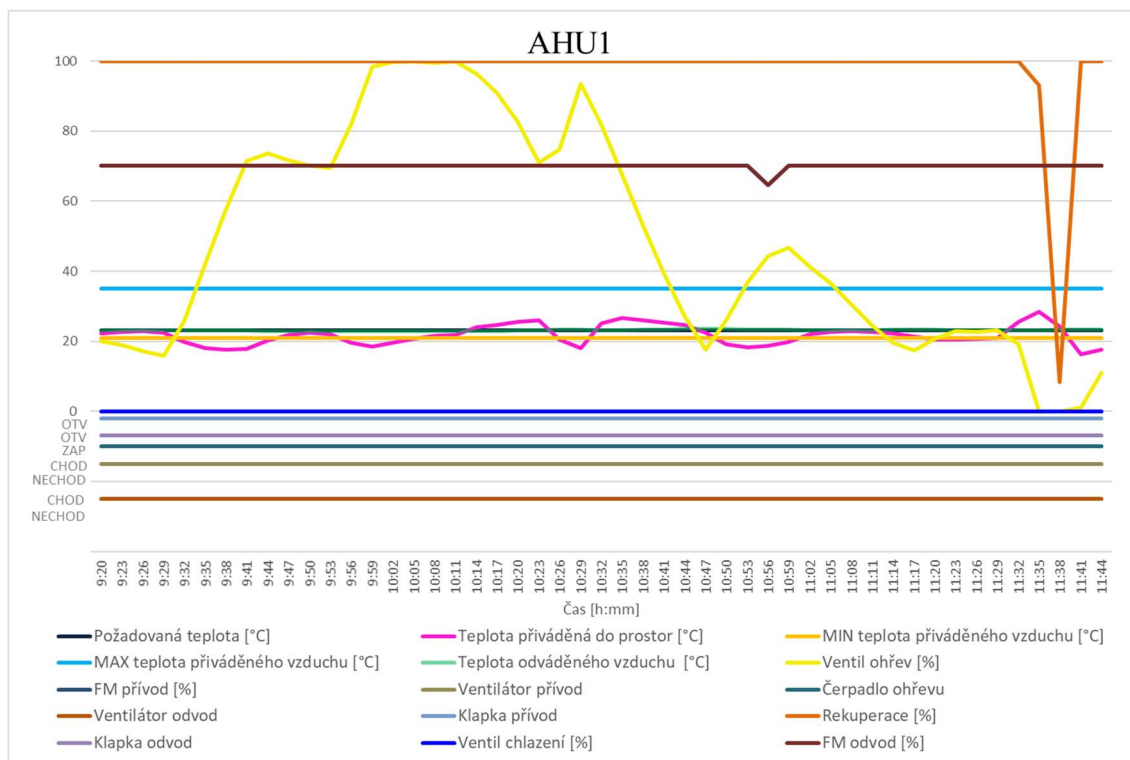
AHU1:

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že se čerpadlo ohřevu stále jeví jako zapnuté. Ve skutečnosti však bylo vypnuté, a proto došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu. Jednotka tedy více otevřela ventil ohřevu a jelikož je na jednotkách v Univerzitním centru nevhodně provedeno hydraulické oddělení primárního a sekundárního okruhu, centrální čerpadlo občas dopravilo otopnou vodu do ohřivače a došlo tak k ohřátí vzduchu.

Expertní systém:

Z důvodu nevhodného oddělení okruhů teplota přívodního vzduchu cyklovala a několikrát se dostala pod minimální teplotu přiváděného vzduchu, proto byl pozitivní Test 6. Teplota přiváděného vzduchu klesala, ale ventil ohřevu se stále otevíral, jednotka tedy neměla dostatečný výkon ohřivače, a proto byl pozitivní Test 11. Test 7 nebyl pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu nikdy neklesla pod teplotu vzduchu vypočtené na straně přívodu za rekuperačním výměníkem. Test 14 nebyl pozitivní, jelikož se teplota přívodního vzduchu vždy v relativně krátkém časovém úseku vracela nad minimální teplotu požadovaného vzduchu.



Obr. 36: Graf Poruchy 6 u jednotky AHU1

AHU18:

Jednotka se chovala stejným způsobem jako jednotka AHU1. Z důvodu nevhodného oddělení okruhů teplota přivodního vzduchu cyklovala, ale zůstala v povolených mezích a požadovaná teplota v interiéru byla téměř shodná s požadavkem na teplotu vzduchu v interiéru 24°C. Proto nebyl pozitivní Test 6 ani 14. Test 11 byl opět pozitivní, z důvodu klesající teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu při otevřeném ventilu ohřevu. Test 7 chyběl stejně jako u AHU1, jelikož vzduch byl částečně ohříván díky nevhodnému hydraulickému oddělení okruhů.

AHU23:

U jednotky AHU23 byl pozitivní pouze Test 6. Ostatní testy byly opět potlačeny nevhodným hydraulickým oddělením okruhů.

Zhodnocení Poruchy 6:

Jednotky mají nevhodné hydraulické oddělení primárního a sekundárního okruhu vytápění. I když má jednotka vypnuté své čerpadlo ohřevu, do výměníku se dostává otopná voda díky centrálnímu čerpadlu ohřevu. To se projevilo u AHU1, kdy Testy 7 a 14 byly kvůli tomuto nevhodnému oddělení negativní. U AHU18 nebyly ze stejného důvodu pozitivní Testy 6, 7 a 14 a u jednotky AHU23 Testy 7, 11 a 14. Chyba tedy byla detekována pouze u jednotky AHU1.

Tab. 21: Výsledky Poruchy 6

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Jiná	-	-	Jiná	Jiná	-
Chyba detekována:	ANO	-	-	NE	NE	-

4.2.2.7 Porucha 7 – Zapnuto čerpadlo vytápění, režim větrání

Pomocí programu RcWare bylo na dvě a půl hodiny zapnuto čerpadlo vytápění v době, kdy byla jednotka v režimu větrání.

Tato porucha simuluje mechanicky zapnuté čerpadlo vytápění.

Zapnuté čerpadlo vytápění lze touto metodou zachytit pouze v případě, že se nedovírá ventil ohřevu nebo jednotka neobsahuje ventil ohřevu, popřípadě pokud je čerpadlo vytápění silné a způsobí změnu teploty. Poté by byla porucha detekována testem 7 - spojitost.

Jednotka AHU2 byla v době testování v režimu vlhčení, a proto nebyla testována.

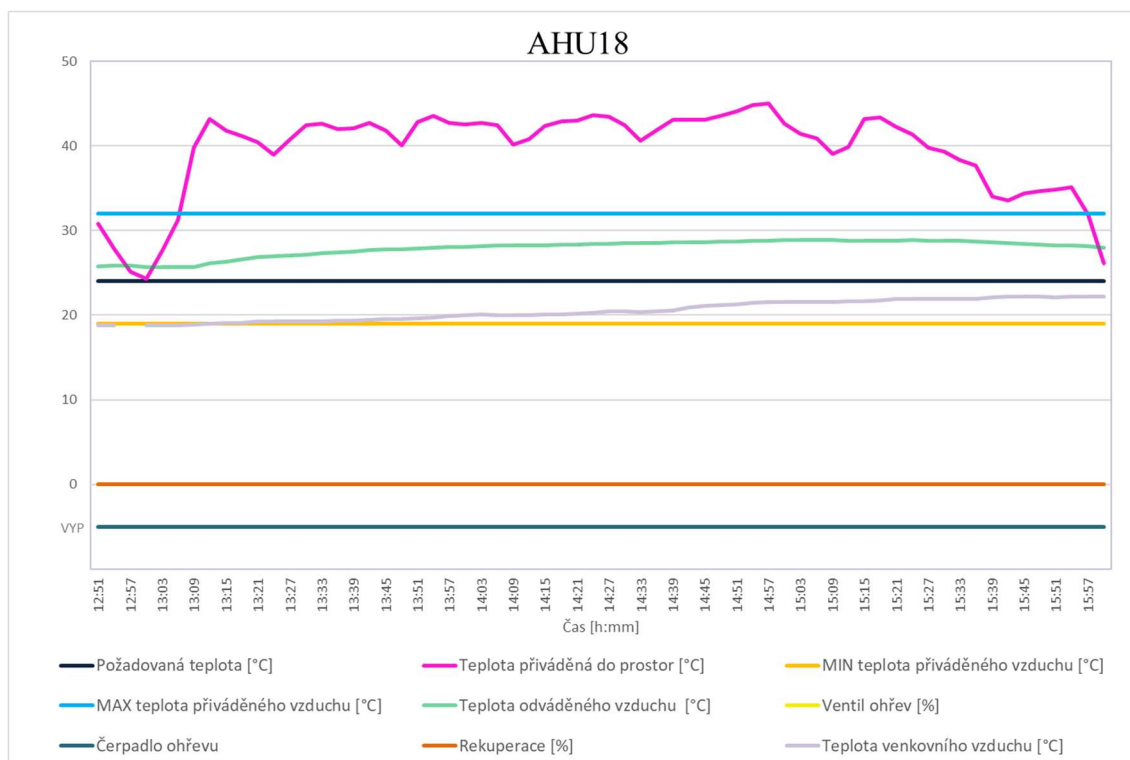
Tab. 22: Testy u Poruchy 7

VZT jednotka	Očekávaný test	Positivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	7	-	7	-
AHU8	7	6, 14	7	6, 14
AHU18	7	6, 7, 14	-	6, 14
AHU23	7	7	-	-
AHU24	7	-	7	-

AHU8:

Test 7 nebyl pozitivní, rozdíl přiváděného vzduchu a vzduchu za rekuperačním výměnkem zůstal v povolených mezích. Zvýšení teploty bylo způsobeno ohřevem vzduchu na silném ventilátoru. Navíc byl pozitivní Test 6 a test 14. Tyto testy byly pozitivní již před poruchou, protože byl překročen práh u požadované teploty v interiéru. Testy tedy nemají nic společného se způsobenou poruchou.

AHU18:



Obr. 37: Graf Poruchy 7 u jednotky AHU18

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že se v systému Mervis jeví čerpadlo ohřevu jako vypnuté. Rekuperace i ventil ohřevu byly na 0 %. Teplota přiváděného vzduchu dosahovala během testu až na 45°C. Je tedy zřejmé, že docházelo k ohřevu vzduchu.

Expertní systém:

Protože teplota přiváděného vzduchu dosahovala tak vysokých hodnot a jednotka byla v režimu větrání bypassem, byl pozitivní Test 7. Důvodem byl porouchaný ventil ohřevu, a tak teplota přiváděného vzduchu byla mnohem vyšší než teplota venkovního vzduchu. Test 6 a Test 14 byly pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu i teplota v interiéru byly vyšší než nastavené limitní hodnoty teploty.

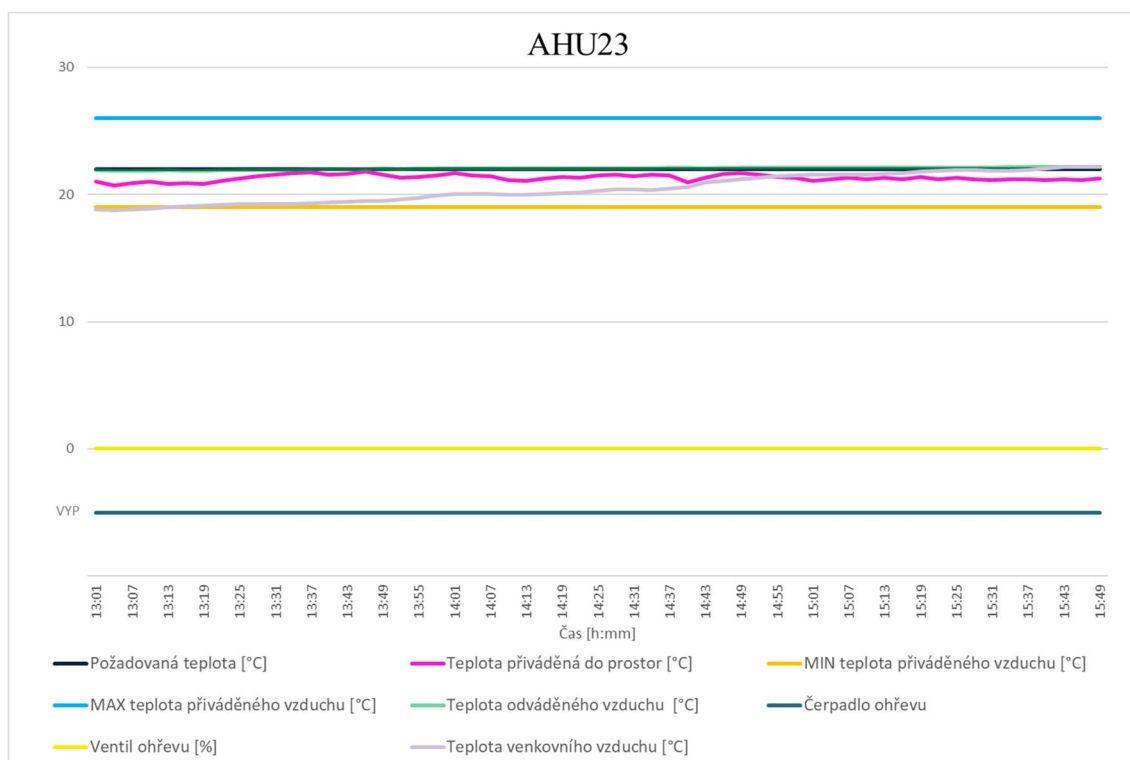
AHU23:

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že se v systému Mervis jeví čerpadlo ohřevu jako vypnuté. Ventil ohřevu byl na 0 %. Rekuperační výměník byl dle systému Mervis otevřen na 100 %.

Expertní systém:

U jednotky byl pozitivní Test 7. Nezpůsobil ho však netěsný ventil ohřevu, jelikož teplota přiváděného vzduchu byla nižší než vypočtená teplota za rekuperačním výměníkem. U této jednotky byl netěsný ventil chlazení, ale v této době nebylo centrální čerpadlo chlazení spuštěno. Bylo zjištěno, že u jednotky byl trvale otevřen bypass a všechen vzduch proudil bypassem. Proto byl přiváděný vzduch chladnější než vypočtená teplota za rekuperačním výměníkem.



Obr. 38: Graf Poruchy 7 u jednotky AHU23

AHU24:

U jednotky nebyl pozitivní žádný test.

Zhodnocení Poruchy 7:

U jednotky AHU1 a AHU8 nebyl Test 7 detekován, přestože teplotní rozdíl mezi teplotou vzduchu za rekuperačním výměníkem a teplotou přiváděného vzduchu je větší než 4°C. Zvýšení teploty bylo způsoben silným ventilátorem, na kterém se přiváděný vzduch ohřál. U jednotky AHU23 byl sice pozitivní Test 7, ale z důvodu zaseknuté klapky bypassu. Z výsledků lze tedy vidět, že pouze jednotka AHU18 měla netěsný ventil ohřevu a chyba byla detekována pouze u této jednotky. U jednotky AHU24 nebyl pozitivní žádný test.

Tab. 23: Výsledky Poruchy 7

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Žádná	-	Jiná	Jiná	Očekávaná	Žádná
Chyba detekována:	NE	-	NE	ANO	NE	NE

4.2.2.8 Porucha 8 – Zapnuto čerpadlo chlazení, režim vytápění

Pomocí systému Mervis SCADA bylo na tři hodiny zapnuto čerpadlo chlazení v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje zapnuté čerpadlo chlazení v systému řízení budov.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

5 – Kontrola vybavení

Předpokládalo se, že bude pozitivní Test 5, jelikož zapnutí čerpadla chlazení v systému řízení budovy se propíše do expertního systému. Jednotka tedy bude v režimu vytápění, ale navíc bude zbytečně zapnuté čerpadlo chlazení. Na teplotu přiváděného vzduchu nebude mít tato porucha vliv.

Jednotka AHU18 a AHU24 byla v době testování mimo provoz.

Tab. 24: Testy u Poruchy 8

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	5	5, 6, 11	-	6, 11
AHU2	5	5, 6, 11	-	6, 11
AHU8	5	3, 5, 17	-	3, 17
AHU23	5	3, 5, 6	-	3, 6

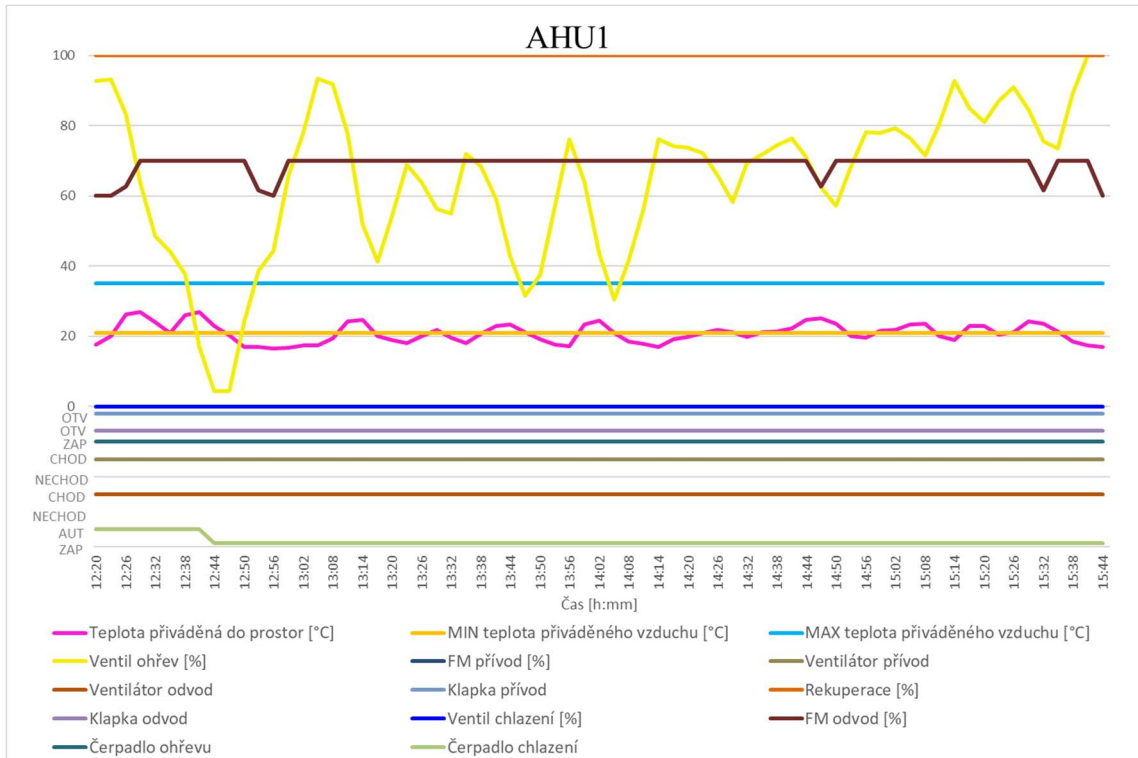
AHU1:

Systému Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že čerpadlo chlazení bylo zapnuto, ale ventil chlazení zůstal uzavřený. Způsobená porucha tedy neměla žádný vliv na chod jednotky, ale pouze na spotřebu energie. Teplota odváděného vzduchu odpovídá požadované teplotě. Proto se jednotka snažila udržet i teplotu přiváděného vzduchu na této hodnotě. Jak lze vidět na grafu, ventil ohřevu se neustále otevíral a zavíral, a proto teplota přiváděného vzduchu překračuje limit minimální teploty přiváděného vzduchu. Je tedy zřejmé, že je u jednotky nevhodně nastavená regulace.

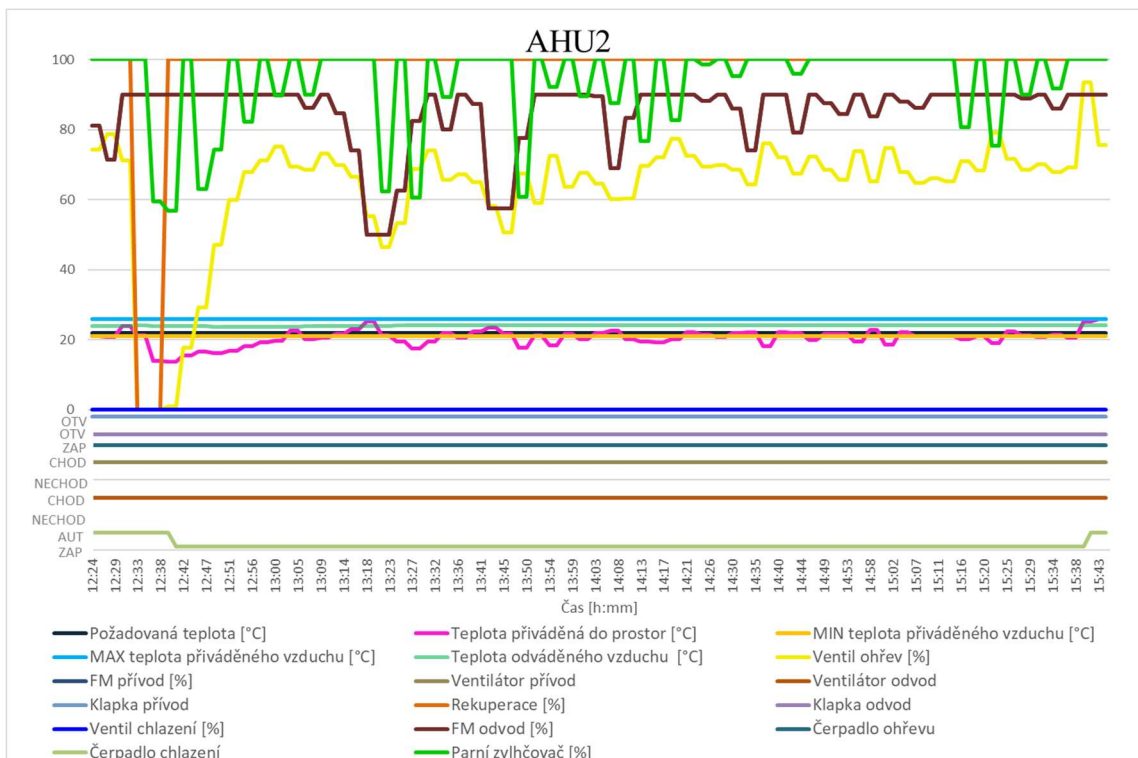
Expertní systém:

Jelikož bylo čerpadlo chlazení zapnuté v době, kdy jednotka vytápěla, byl pozitivní Test 5. Test 6 a Test 11 byly způsobeny špatnou regulací VZT jednotky. Test 6 byl pozitivní, protože teplota přiváděného vzduchu překračovala minimální povolenou hodnotu. A Test 11, jelikož jednotka vytápěla, ale teplota přiváděného vzduchu klesala a byla pod limitem minimální povolené teploty.



Obr. 39: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU1

AHU2:



Obr. 40: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU2

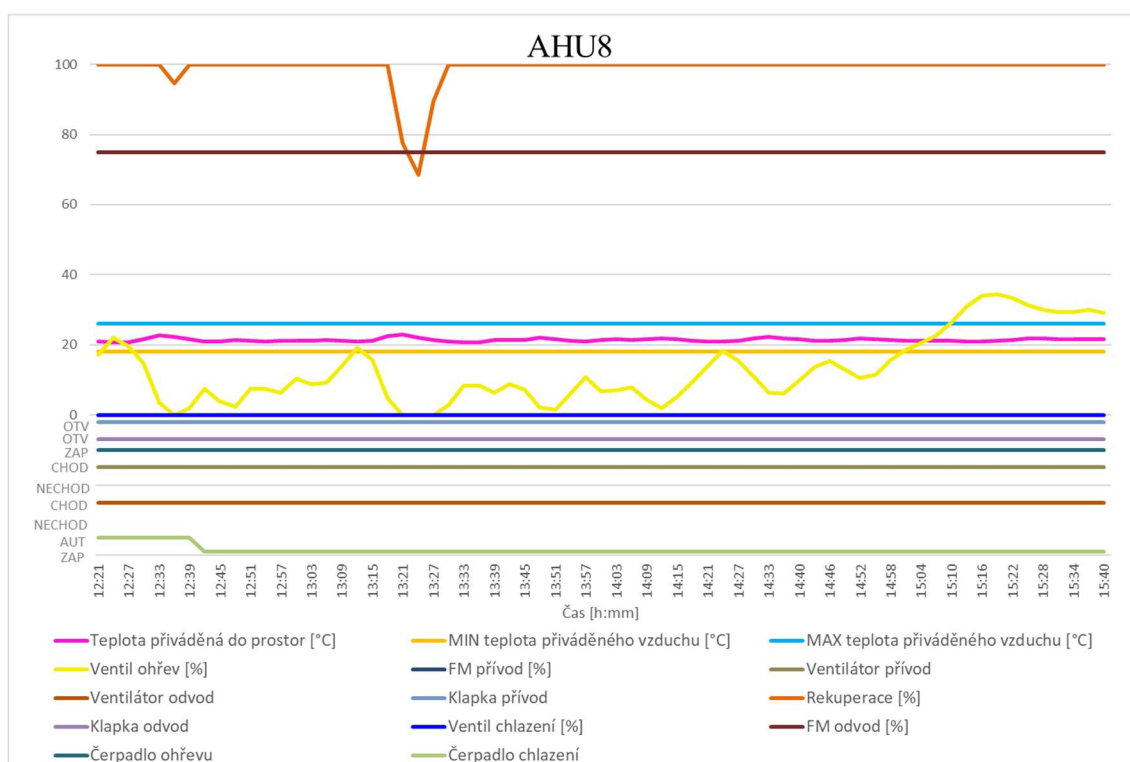
Systém Mervis SCADA:

Jednotka AHU2 se chovala stejně jako AHU1. Teplota na odtahu byla vyšší než je požadovaná hodnota, a proto se jednotka snažila udržet teplotu přiváděného vzduchu na minimální povolené hodnotě. Díky nevhodné regulaci však docházelo k cyklování přivodní teploty a klesání teploty pod minimální povolenou hodnotu. Jak lze vidět na grafu, ventil ohřevu, výkon ventilátorů i parní zvlhčovač neustále cykluje.

Expertní systém:

Jelikož bylo čerpadlo chlazení zapnuté v době, kdy jednotka vytápěla, byl pozitivní Test 5. Test 6 a Test 11 byly opět způsobeny špatnou regulací VZT jednotky.

AHU8:



Obr. 41: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU8

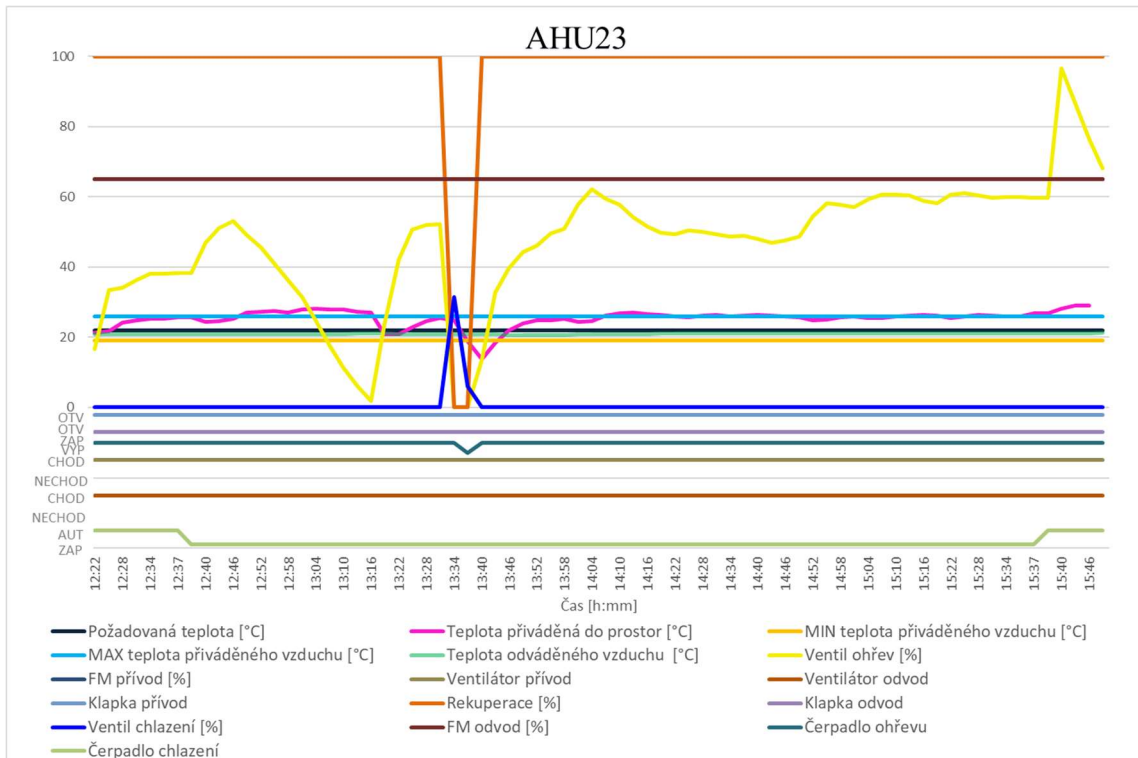
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že čerpadlo chlazení bylo zapnuté. Jelikož byl ventil chlazení uzavřen, nedocházelo k ochlazování přiváděného vzduchu.

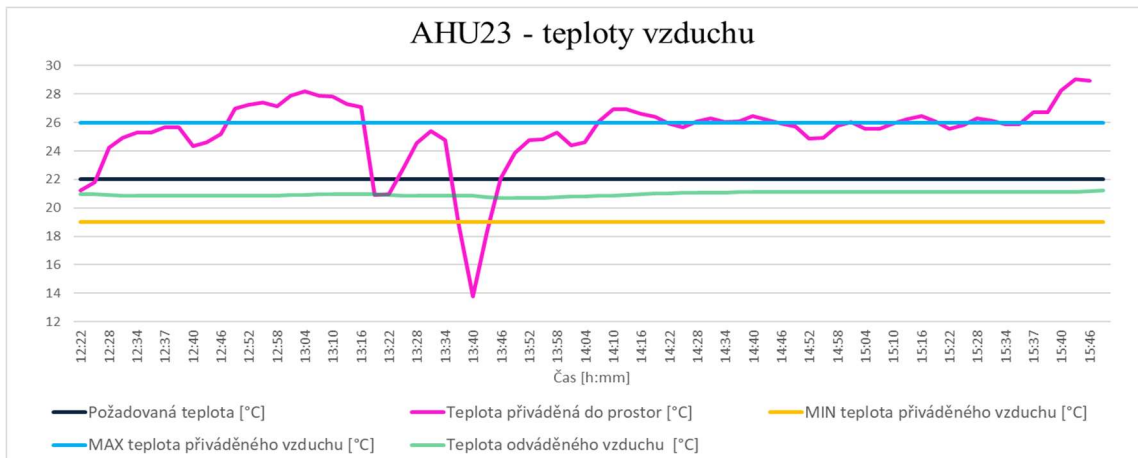
Expertní systém:

Protože bylo zapnuté čerpadlo, byl pozitivní Test 5. Test 3 byl pozitivní, jelikož se jednotka ve 13:25 na 5 minut přepnula z režimu vytápění do režimu větrání bypasssem. Teplota venkovního vzduchu byla poměrně nízká, ale ventil ohřevu byl otevřen téměř po celou dobu na méně než 15 %. Z tohoto důvodu byl pozitivní Test 17, který detekuje předimenzování ohřívače. Tento test nemá nic společného s touto poruchou. Jednotka má zřejmě rozbitý ventil ohřev.

AHU23:



Obr. 42: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU23



Obr. 43: Graf teplot vzduchu při Poruše 8 u jednotky AHU23

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze opět vidět, že čerpadlo chlazení bylo zapnuté. Ventil ohřevu se otevíral, jelikož teplota odváděného vzduchu byla nižší než je požadovaná teplota v interiéru. Otevřením ventilu však došlo k překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu, a proto došlo k následnému uzavření ventilu. Teplota na odvodu vzduchu zůstala stejná, a proto se tento děj opakoval. Následně došlo ke krátkému uzavření čerpadla ohřevu a uzavření ventilu ohřevu a otevření ventilu chlazení. Tím klesla teplota přiváděného vzduchu až na cca 14°C a došlo opět k zapnutí čerpadla ohřevu a otevření ventilu ohřevu. Poté se teplota přiváděného vzduchu pohybovala okolo maximální povolené teploty, ale teplota odváděného vzduchu stále byla nižší, než je požadovaná teplota vzduchu v interiéru.

Expertní systém:

Čerpadlo chlazení bylo zapnuto v době, kdy jednotka byla v režimu vytápění a proto byl opět pozitivní Test 5. Navíc byl aktivován Test 3, jelikož se jednotka přepnula na krátkou dobu z režimu vytápění do režimu chlazení. Test 6 byl pozitivní z důvodu překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu.

Zhodnocení Poruchy 8:

Test 5 byl u všech jednotek pozitivní. U jednotky AHU1 a AHU2 byl navíc Test 6 a Test 11, jelikož mají jednotky nevhodně nastavenou regulaci, a proto cyklovala teplota přiváděného vzduchu. Jednotka AHU8 má zřejmě rozbitý ventil ohřevu, jelikož na poměrně nízkou teplotu venkovního vzduchu používala nízký výkon ohřívače. U jednotky AHU23 byl navíc Test 6, protože byla několikrát překročena maximální povolená teplota. Tím že došlo k překročení tohoto limitu, se zapnulo chlazení s bypassem, a proto byl pozitivní Test 3. To však není chybou detekčního systému. Chyba tedy byla u všech jednotek systémem detekována.

Tab. 25: Výsledky Poruchy 8

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce	Jiná	Jiná	Jiná	-	Jiná	-
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	-	ANO	-

4.2.2.9 Porucha 9 – Trvale otevřen ventil vytápění, režim větrání

Pomocí programu RcWare byl na dvě a půl hodiny otevřen ventil vytápění v době, kdy jednotka byla v režimu větrání.

Tato porucha simuluje mechanicky nastavený ventil vytápění nebo porouchaný servopohon ventilu vytápění.

Očekávalo se, že chyba bude detekována Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 14 – Ohrožení komfortu

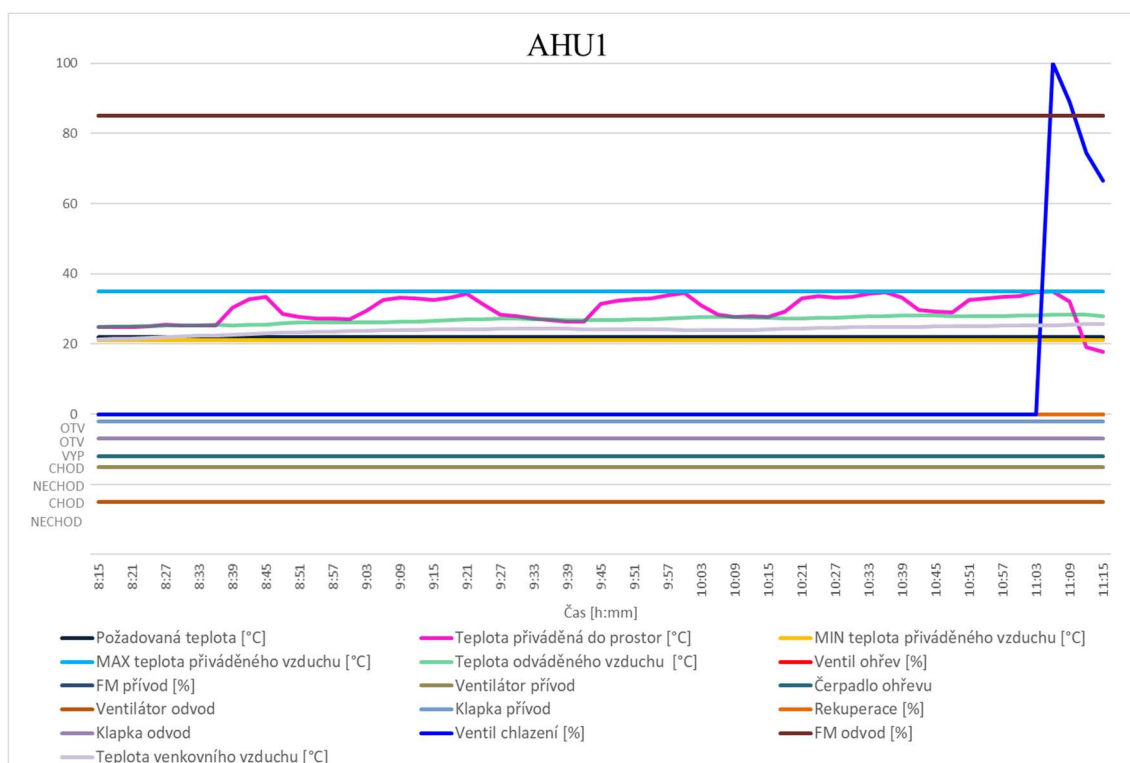
Předpokládalo se, že při plném otevření ventilu ohřevu dojde k nárůstu teploty přiváděného vzduchu a tím i k nárůstu teploty vzduchu v prostoru, jelikož jednotky mají nevhodně navržené hydraulické oddělení okruhů a do ohřívače tedy bude proudit otopná voda za pomoci centrálního čerpadla ohřevu. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy nemusejí být pozitivní vždy, záleží na nastavených teplotních limitech u jednotky. Dále se předpokládalo, že z jednotky bude přiváděn teplejší vzduch, než bude teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem, a proto bude pozitivní Test 7.

Jednotka AHU2 a AHU8 byla v době testování mimo provoz.

Tab. 26: Testy u Poruchy 9

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-
AHU18	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-
AHU23	6, 7, 14	5, 7	6, 14	5
AHU24	6, 7, 14	6, 7, 11, 14	-	11

AHU1:



Obr. 44: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU1

System Mervis SCADA:

Po zapnutí poruchy došlo k výraznému navýšení teploty přiváděného vzduchu. Postupně se zvyšovala i teplota odváděného vzduchu, která během testu vystoupala až na 28°C. Z grafu lze vidět, že teplota přiváděného vzduchu cykluje, to je způsobeno nevhodným hydraulickým oddělením primárního a sekundárního otopného okruhu. V případě správného návrhu hydraulického oddělení, by neměl mít otevřený ventil ohřevu tak výrazný vliv na teplotu přiváděného vzduchu. Jednotka byla po celou dobu v režimu větrání bypasssem.

Expertní systém:

Protože teplota odváděného vzduchu z interiéru výrazně převyšuje požadovanou teplotu v interiéru 22°C, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy však byly pozitivní již před poruchou, jelikož teplota vzduchu v interiéru překračovala požadovanou teplotu ještě před zapnutím VZT jednotky. Teplota přiváděného vzduchu do interiéru byla výrazně vyšší než teplota venkovního vzduchu. Jelikož byla jednotka ve stavu větrání bypasssem, neměla by se teplota venkovního a teplota přiváděného vzduchu lišit o více než 2K. Z grafu lze vidět, že se tyto teploty výrazně liší, a proto je pozitivní Test 7.

AHU18:

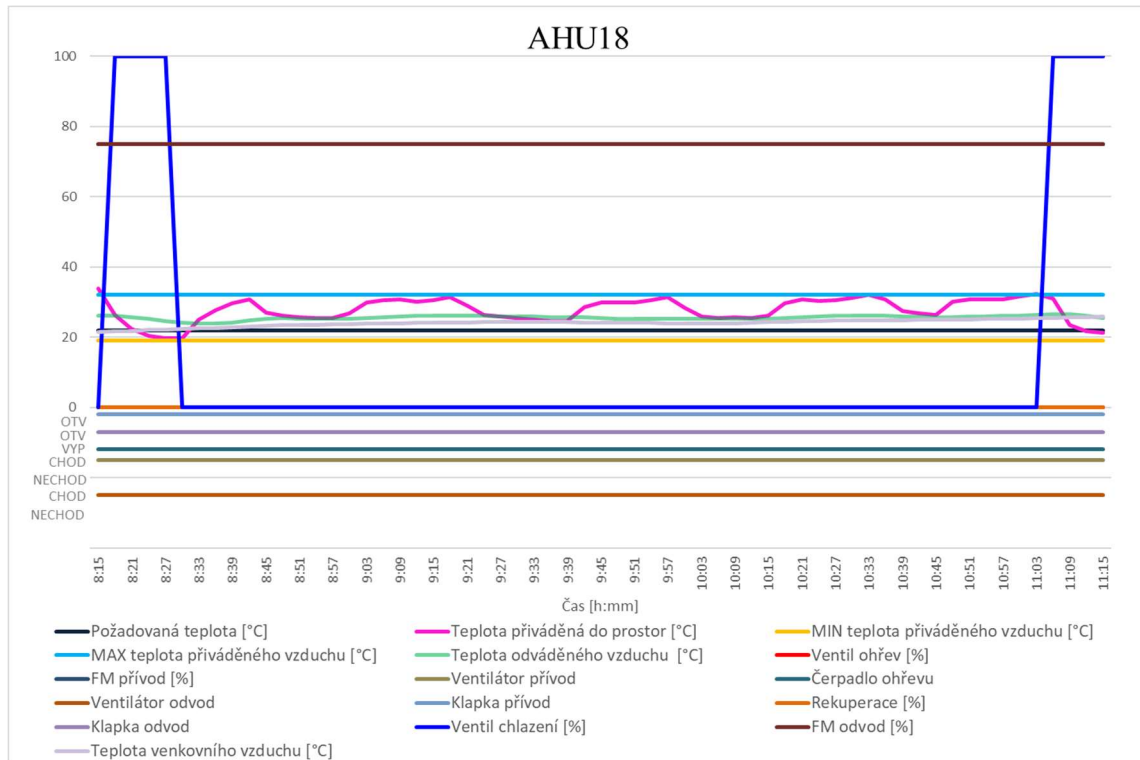
System Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že teplota přiváděného vzduchu po celou dobu cyklovala, je to způsobeno ze stejného důvodu jako u AHU1, tedy nevhodným hydraulickým oddělením okruhů. Teplota mírně cyklovala již před testem a byla o cca 5 °C vyšší než teplota za rekuperačním výměníkem, i když jednotka byla v režimu větrání bypasssem. Z toho lze poznat, že do jednotky unikalo teplo. Teplota odváděného vzduchu byla vyšší o cca 3,5°C, než je požadovaná teplota v prostoru. Asi 15 min před testem se otevřel ventil chlazení a jednotka se přepnula do režimu chlazení. Aby bylo možné provést poruchu byla

přenastavena limitní teplota venkovního vzduchu pro chlazení. Po přenastavení byla jednotka opět v režimu větrání.

Expertní systém:

Jelikož teplota přiváděného vzduchu do interiéru byla výrazně vyšší než teplota venkovního vzduchu a liší se o více než povolené 2K, byl pozitivní Test 7. Teplota odváděného vzduchu z interiéru překračovala požadovanou teplotu, proto byl pozitivní Test 6 a Test 14. Všechny testy byly kvůli rozbitému ventilu ohřevu pozitivní již před testem.



Obr. 45: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU18

AHU23:

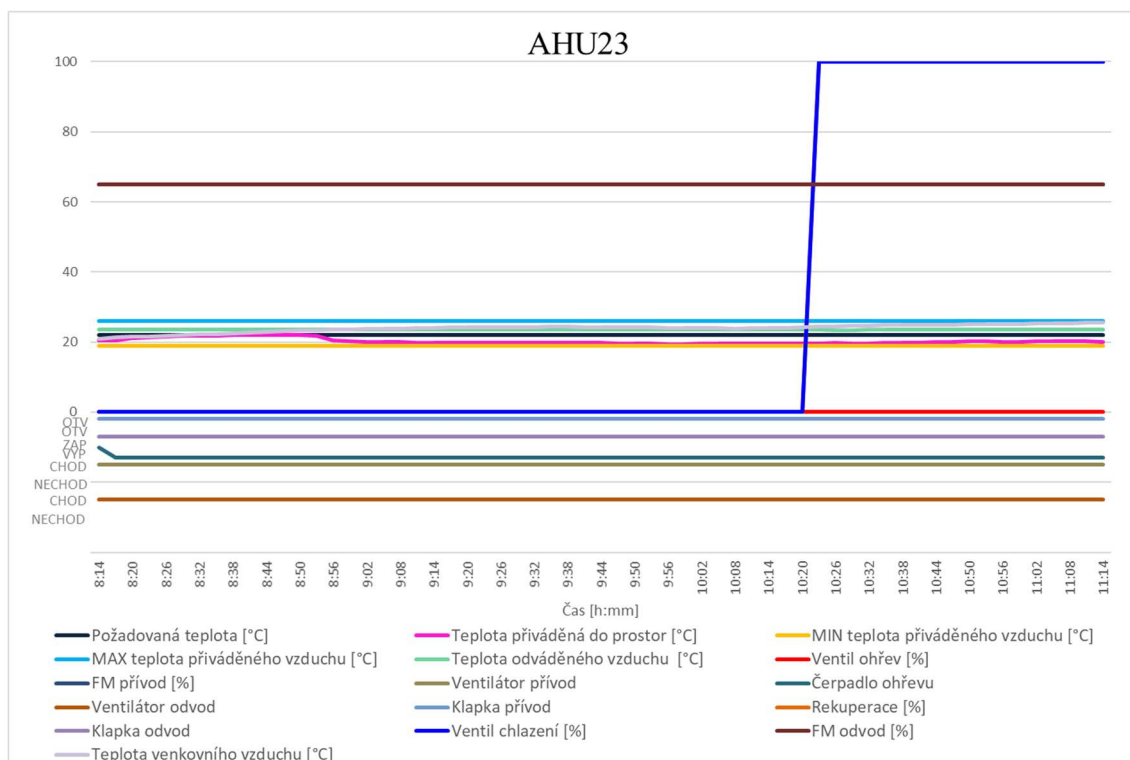
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po spuštění poruchy docházelo k nárůstu teploty přiváděného vzduchu. Krátce před 9 hodinou jiná jednotka (AHU24) vyslala požadavek na chlazení a bylo spuštěno centrální čerpadlo chlazení. Protože jednotka AHU23 měla rozbitý ventil chlazení a bylo spuštěno centrální čerpadlo chlazení, docházelo k ochlazování přiváděného vzduchu. Teplota odváděná z prostoru byla o cca 1,5°C vyšší, než je požadované teplota v prostoru. V 10:19 došlo k zapnutí ventilu chlazení a jednotka byla přepnuta do režimu chlazení. Zároveň otevřela rekuperační výměník (křivky se v grafu překrývají), jelikož teplota venkovního vzduchu vzrostla a byla o 1°C vyšší než teplota odváděného vzduchu.

Expertní systém:

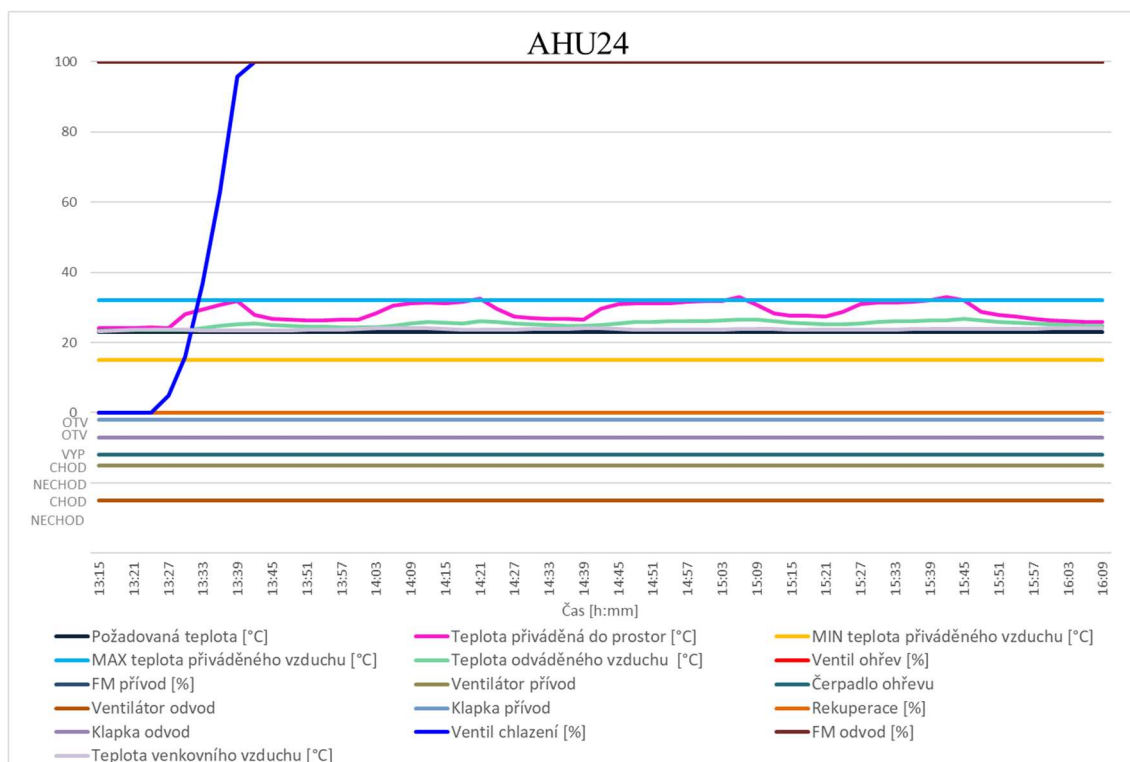
Protože byl rozbitý ventil chlazení, došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu a k zakrytí poruchy ventilu ohřevu. Proto nebyl pozitivní Test 6 ani Test 14, jelikož teplota přiváděného vzduchu se pohybovala okolo 19,5 °C. Test 7 je pozitivní, ale z jiného důvodu. Jednotka byla v režimu větrání bypassem, ale teplota přiváděného vzduchu byla nižší než teplota nasávaného venkovního vzduchu. Test 5 byl pozitivní, jelikož jednotka byla v režimu

větrání bypassem, ale bylo zapnuté čerpadlo chlazení. Čerpadlo chlazení bylo zapnuté, protože jednotky mají jedno společné centrální čerpadlo chlazení.



Obr. 46: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU23

AHU24:



Obr. 47: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU24

System Mervis SCADA:

Po zapnutí poruchy došlo ke zvýšení teploty přiváděného vzduchu a krátce na to i ke zvýšení teploty odváděného vzduchu. Proto došlo k otevření ventilu chlazení na 100 %. Jednotka se tedy přepnula do režimu chlazení bypassem.

Expertní systém:

Teplota přiváděného vzduchu se zvyšovala nad povolený limit 32°C a teplota odváděného vzduchu z místnosti překročovala požadovanou teplotu v interiéru více než o 2K, proto byl pozitivní Test 6. Test 7 byl pozitivní, jelikož jednotka byla v režimu chlazení bypasssem, ale z jednotky byl přiváděn teplejší vzduch než byla teplota venkovního vzduchu. Jednotka chladila na 100 %, ale teplota přiváděného vzduchu se zvyšovala, proto byl pozitivní Test 11. Test 14 byl pozitivní, jelikož teplota odváděného vzduchu delší dobu stoupala nad povolený limit požadované teploty v prostoru.

Zhodnocení Poruchy 9:

U jednotky AHU23 byl sice pozitivní Test 7, ale z důvodu podcházejícího ventilu chlazení. Jednotka měla navíc pozitivní Test 5, jelikož bylo zapnuté centrální čerpadlo chlazení. U jednotky AHU24 byl navíc pozitivní Test 11, jelikož jednotka se přepnula do režimu chlazení, ale díky způsobované poruše byl z jednotky přiváděn vzduch o vysoké teplotě. Chyba byla u jednotky AHU1, AHU18 a AHU24 systémem detekována.

Tab. 27: Výsledky Poruchy 9

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Očekávaná	Jiná	Jiná
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	NE	ANO

4.2.2.10 Porucha 10 – Ventil na ohřivači zaseknut v mezipoloze, režim vytápění

Pomocí programu RcWare byl na dvě a půl hodiny ventil na ohřivači nastaven na 50 % v době, kdy jednotka byla v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje mechanicky nastavený ventil ohřevu nebo rozbitý servopohon ventilu ohřevu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 3 – Cyklování
- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Ohrožení komfortu
- 17 – Předimenzování výkonu komponent

Předpokládalo se, že v případě, kdyby byl ventil ohřevu přirozeně otevřen na méně než 50 %, dojde ke zvýšení teploty přiváděného vzduchu a jednotka se později přepne do režimu větrání. Centrálním čerpadlem bude do ohřivače přiváděna otopná voda a bude docházet i v režimu větrání k ohřívání vzduchu, proto se předpokládal Test 7. Pokud se jednotka přepne rovnou do režimu větrání bypasssem bude pozitivní Test 3, jelikož je tento přechod v expertním systému považován za nepovolený. Nejdříve by měl nastat režim větrání s rekuperací a poté popřípadě režim větrání s bypasssem. Ještě před přepnutím do režimu větrání nebude jednotka potřebovat téměř vůbec vytápět, ventil ohřevu tedy bude v systému Mervis nastaven na minimální otevření, ale z jednotky bude přiváděn příliš teplý vzduch, a proto bude pozitivní Test 17. A jelikož se bude vzduch ohřívat více než je potřeba, dojde k překročení maximální povolené teploty, popřípadě požadované teploty v interiéru a bude pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy budou pozitivní i v případě, že bude potřeba vytápět více a přirozeně by byl ventil ohřevu nastaven na více než 50 %. Bude totiž přiváděn

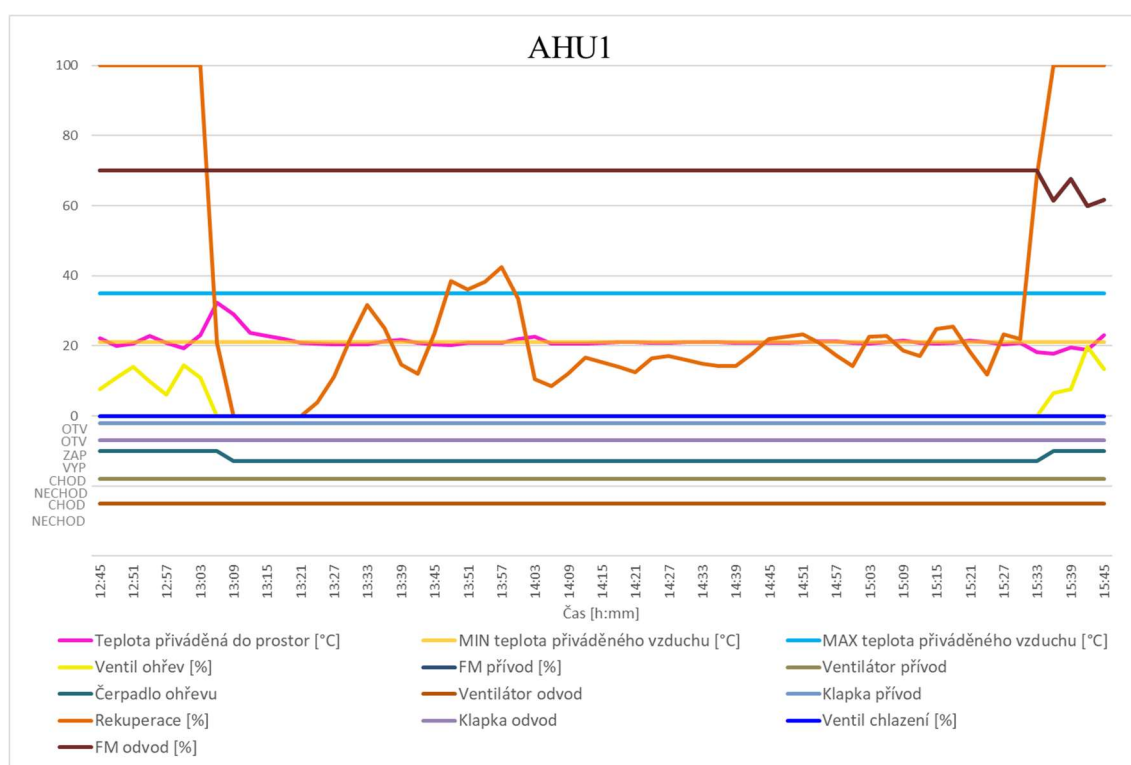
vzduch o nižší teplotě než je požadovaná teplota a může dojít k poklesu přiváděné teploty pod její minimální povolenou hodnotu a také k poklesu teploty v interiéru pod požadovanou teplotu. Jelikož jednotka bude vytápět a v systému Mervis SCADA se bude jevit ventil ohřevu jako plně otevřený, ale z jednotky bude přiváděn vzduch o nízké teplotě, která bude pod limitem minimální teploty přiváděného vzduchu, bude pozitivní Test 11.

Jednotky AHU2, AHU8 a AHU24 nebyly testovány. Jednotka AHU2 byla v době testování v režimu vlhčení, jednotka AHU8 v režimu větrání bypassem a AHU24 měla v době testování rozbitý snímač diferenčního tlaku. Projevila by se tedy jiná porucha.

Tab. 28: Testy u Poruchy 10

VZT jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	1 varianta	2 varianta			
AHU1	3, 6, 7, 14, 17	6, 14, 11	3, 7	6, 14, 17	-
AHU18	3, 6, 7, 14, 17	6, 14, 11	3, 5, 10, 17	6, 7, 14	5, 10
AHU23	3, 6, 7, 14, 17	6, 14, 11	3, 5, 6, 7, 17	14	5

AHU1:



Obr. 48: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU1

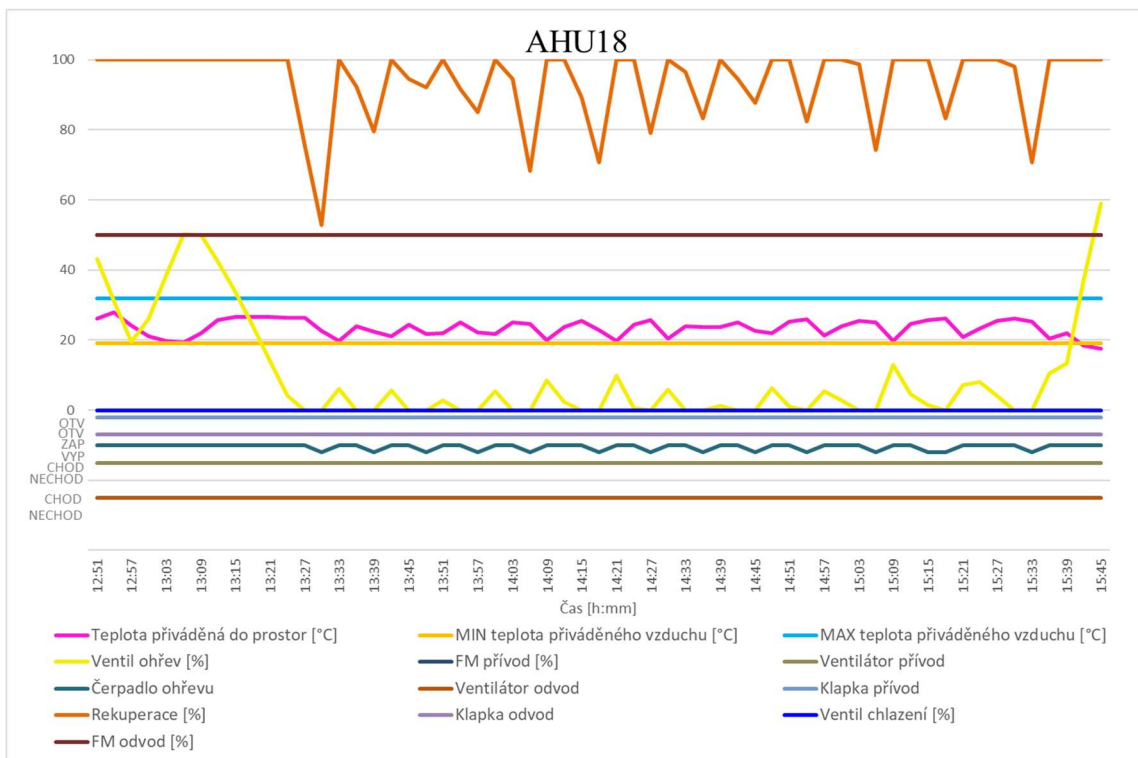
Systém Mervis SCADA:

Po nastavení ventilu ohřevu na 50 % došlo k nárůstu teploty až na 32,2°C. Proto došlo k vypnutí čerpadla ohřevu a v systému Mervis k uzavření ventilu ohřevu na 0 %. Jednotka se tedy přepnula do režimu větrání bypassem. Poté došlo k poklesu teploty, a proto si jednotka opět otevřela rekuperační výměník a spolu s ventilem ohřevu, kterým díky nevhodnému hydraulickému oddělení otopných okruhů proudila otopná voda a ohřívala vzduch v jednotce, udržovala teplotu přiváděného vzduchu na minimální povolené hodnotě. Teplota odváděného vzduchu zůstala na požadované teplotě.

Expertní systém:

Protože se jednotka přepnula z režimu vytápění do režimu větrání bypassem, došlo k nepovolenému přechodu, a proto byl pozitivní Test 3. Jednotka tedy byla v režimu větrání, ale teplota přiváděného vzduchu díky otevřenému ventilu ohřevu na 50 % a centrálnímu čerpadlu výrazně překročovala teplotu vzduchu za rekuperačním výměníkem, a proto byl pozitivní Test 7. Test 6 a 14 nebyly pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu nepřesáhla minimální povolenou hodnotu. Test 17 nebyl pozitivní, jelikož se jednotka téměř okamžitě přepnula do režimu větrání.

AHU18:



Obr. 49: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU18

Systém Mervis SCADA:

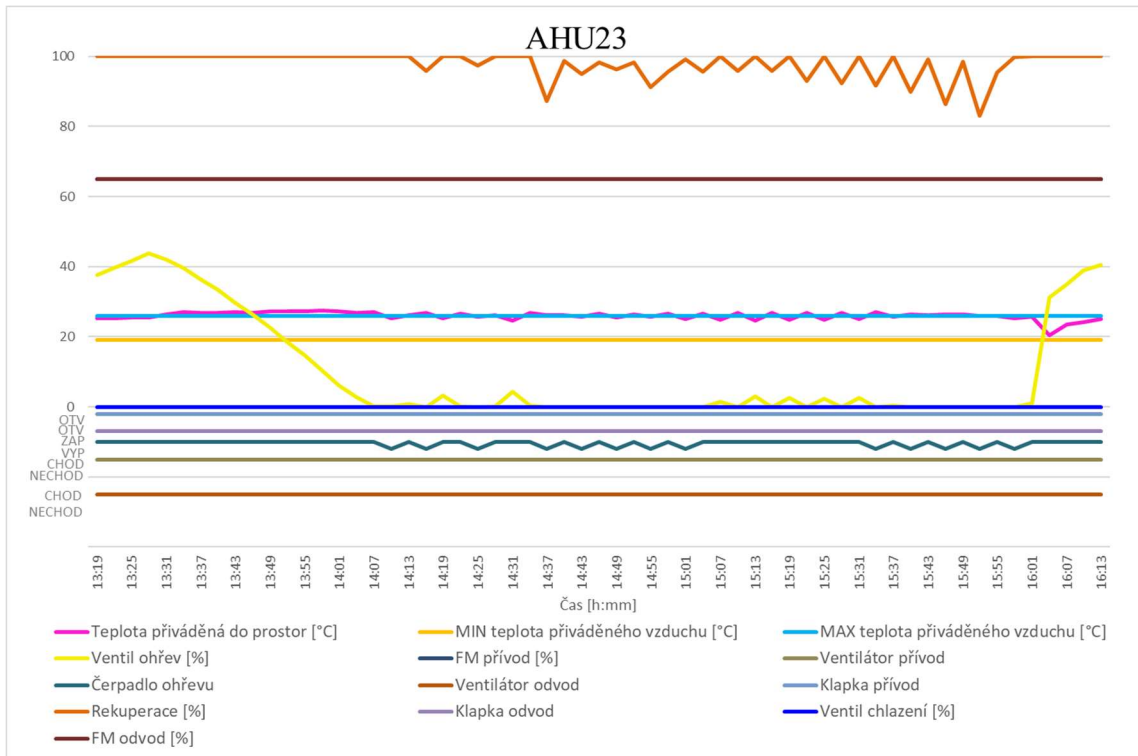
Po zapnutí poruchy došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu a následně dle systému Mervis k otevření ventilu ohřevu na 50 %. Poté se teplota přiváděného vzduchu zvýšila a aby došlo k udržení teploty na požadované teplotě, snížilo se otevření ventilu ohřevu. Ve skutečnosti však byl stále otevřen na 50 %. Jednotka se tedy snažila udržet teplotu přiváděného vzduchu pomocí vypínání a zapínání čerpadla ohřevu a za pomoci otevírání bypassu u rekuperaátoru.

Expertní systém:

Tím, že si jednotka vypínala čerpadlo a otevírala bypass docházelo k přepínání z režimu vytápění do režimu větrání bypassem, a proto byl pozitivní Test 3. Test 5 byl pozitivní, protože při přechodu z režimu vytápění do režimu větrání zůstalo ještě zapnuté čerpadlo ohřevu a bylo vypnuto až později. Čerpadlo tedy ještě běželo v době, kdy byla jednotka v režimu větrání. Z grafu lze vidět, že jednotka oscilovala, a proto byl pozitivní Test 10. Dále byl pozitivní Test 17, jelikož jednotka dle systému SCADA Mervis téměř nevytápěla, i když byla venkovní teplota poměrně nízká. Test 7 u této jednotky nebyl

pozitivní. Jednotka vždy byla v režimu větrání bypassem krátce a nestihl se tento test aktivovat. Test 6 a Test 14 nebyly pozitivní, jelikož teplota zůstala v požadovaných mezích.

AHU23:



Obr. 50: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU23

System Mervis SCADA:

Po zapnutí poruchy došlo k navýšení teploty přiváděného vzduchu a překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu. Jednotka si zapínala a vypínala čerpadlo ohřevu a otevírala bypass, aby nepřekračovala maximální povolenou teplotu přiváděného vzduchu a zároveň měla v interiéru požadovanou teplotu vzduchu 22°C.

Expertní systém:

U jednotky byly ze stejného důvodu jako u AHU18 pozitivní Testy 3, 5 a 17. Test 5 byl pozitivní nejen z důvodu běžícího čerpadla ohřevu v době režimu větrání, ale i protože jednotka v režimu vytápění měla částečně otevřený bypass. Jelikož teplota přiváděného vzduchu překročovala maximální povolenou teplotu vzduchu byl pozitivní Test 6. Test 7 byl pozitivní, jelikož jednotka měla v době větrání teplotu přiváděného vzduchu výrazně vyšší než teplotu za rekuperací. Test 14 zůstal negativní, jelikož teplota přiváděného vzduchu sice přesáhla maximální povolenou hodnotu, ale v krátkém časovém úseku se zase snížila.

Zhodnocení Poruchy 10:

U jednotky AHU18 byl navíc Test 5 a Test 10. Test 5 byl pozitivní z důvodu běžícího čerpadla ohřevu v době, kdy byla jednotka v režimu větrání a Test 10, jelikož ventil ohřevu, čerpadlo ohřevu i rekuperace oscillovaly, aby si jednotka udržela požadovanou teplotu přiváděného vzduchu. Test 7 nebyl pozitivní, jelikož byla jednotka v režim větrání bypassem příliš krátkou dobu. U jednotky AHU23 byl ze stejného důvodu jako u AHU18 pozitivní Test 5. Tyto přebývající a chybějící testy nebyly chybou detekčního systému. Testovaná chyba byla tedy u testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 29: Výsledky Poruchy 10

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Jiná	Očekávaná	-
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	ANO	-

4.2.2.11 Porucha 11 – Trvale otevřen ventil ohřevu, režim vytápění

Pomocí programu RcWare byl na dvě hodiny otevřen ventil ohřevu na 100 % v době, kdy jednotka byla v režimu vytápění.

Tato porucha simuluje mechanicky otevřený ventil ohřevu nebo rozbitý servopohon ventilu ohřevu.

Očekávalo se detekování chyby pomocí Testu:

- 3 – Oscilace
- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 14 – Ohrožení komfortu
- 17 – Předimenzování výkonu komponent

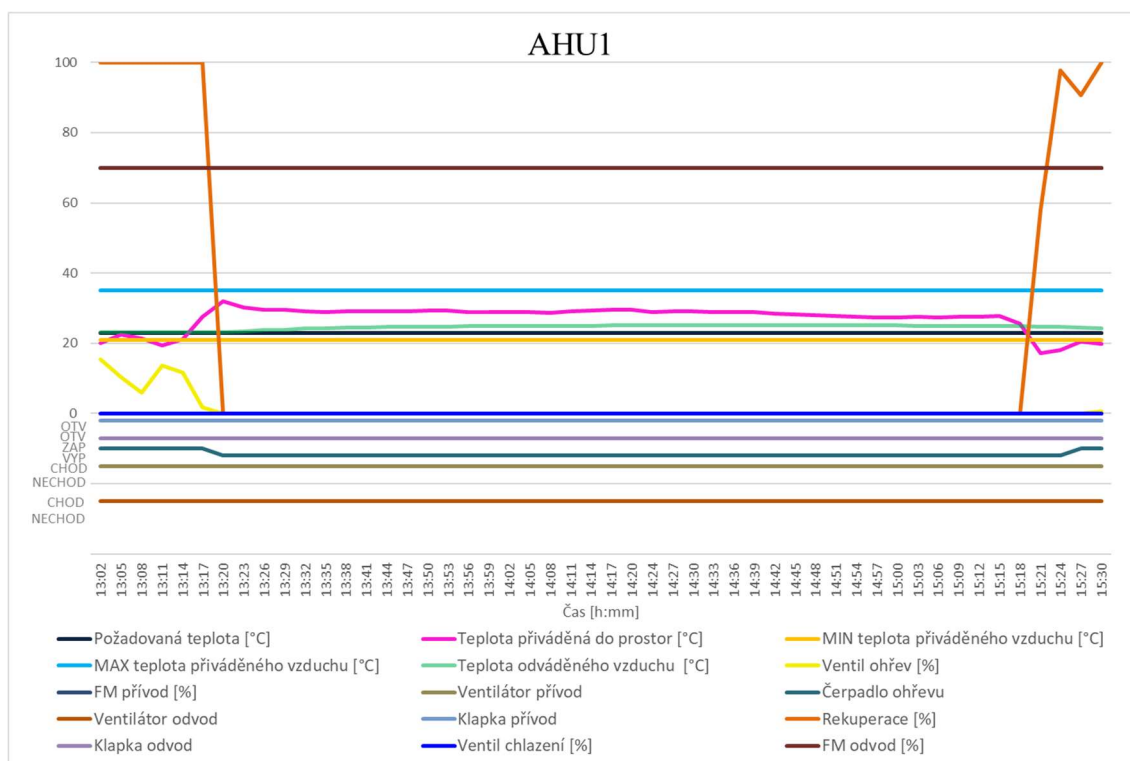
Předpokládalo se, že jednotka bude přivádět příliš teplý vzduch a dojde k překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu a tím dojde i k překročení limitu požadované teploty vzduchu v interiéru. Proto bude pozitivní Test 6 a Test 14. Test 7 bude pozitivní, jelikož se předpokládalo, že jednotka vypne čerpadlo ohřevu a přepne se do režimu větrání. Z jednotky bude přiváděn teplejší vzduch, než bude vzduch za rekuperátorem, jelikož se bude ohřívat na ohřivači, do kterého bude proudit otopná voda díky nevhodně navrženému hydraulickému oddělení okruhů vytápění. Test 3, bude pozitivní pokud se jednotka přepne rovnou z režimu vytápění do režimu větrání bypassem. Tento přechod je považován za nepovolený. Pokud jednotka nebude téměř potřebovat vytápět, ale ještě bude v režimu vytápění bude pozitivní Test 17. Z jednotky tak bude přiváděn příliš teplý vzduch oproti teplotě za rekuperačním výměníkem při nízkém otevření ventilu.

Byly testovány pouze jednotky AHU1 a AHU18. Ostatní jednotky nebylo možné testovat, jelikož AHU2 byla v režimu vlhčení, AHU8 byla v režimu větrání. U AHU23 a AHU24 byl v době testování porouchaný snímač diferenčního tlaku, byla by zjištěna jiná porucha.

Tab. 30: Testy u Poruchy 11

Jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	Vždy	Za urč. podm.			
AHU1	3, 6, 7, 14	17	3, 6, 7	14	-
AHU18	3, 6, 7, 14	17	3, 7	6, 14	-

AHU1:



Obr. 51: Graf Poruchy 11 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

Po nastavení poruchy došlo k výraznému nárůstu teploty přiváděného vzduchu. Pro snížení teploty došlo k vypnutí čerpadla ohřevu a dle systému Mervis k uzavření ventilu ohřevu a tím k částečnému snížení přiváděné teploty. Z důvodu špatného hydraulického oddělení okruhů a ve skutečnosti otevření ventilu na 100 %, byla však teplota přiváděného vzduchu do prostoru stále vysoká i při vypnutém čerpadle. Došlo tedy i ke zvýšení teploty v interiéru o více než povolené 2K od požadované teploty.

Expertní systém:

Protože došlo k překročení teploty v interiéru o více než 2K byl pozitivní Test 6. Test 3 byl pozitivní z důvodu přepnutí jednotky do režimu větrání bypassem. Protože byla teplota přiváděného vzduchu vyšší, než je nasávaná venkovní teplota vzduchu při režimu větrání, byl pozitivní Test 7. Test 14 nebyl pozitivní, jelikož nebyla překročena maximální povolená teplota vzduchu a teplota v interiéru pro tento test zůstala v povolených mezích.

Zhodnocení poruchy 11:

U obou jednotek chybí Test 14. Nedošlo tedy ani v jednom případě k překročení maximální povolené teploty přiváděného vzduchu a vzduch v interiéru zůstal po většinu času v požadovaných mezích. Jednotka AHU18 se chovala stejným způsobem jako AHU1, pouze nedošlo k překročení teplotních limitů. Proto nebyl pozitivní ani Test 6. Chyba byla i bez těchto testů u testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 31: Výsledky Poruchy 11

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Jiná	-	-
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	-	-

4.2.2.12 Porucha 12 – Vypnutí ventilátorů, režim vytápění

Pomocí programu RcWare byly na hodinu a půl u testované jednotky vypnuty oba ventilátory v době, kdy jednotka byla v režimu vytápění.

Tento test má simulovat mechanicky rozbitý ventilátor nebo rozbitý frekvenční měnič u ventilátoru.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 1 – Kontrola provozu jednotky v pracovní době
- 2 – Citlivost chodu na MaR
- 4 – Kontrola klapek

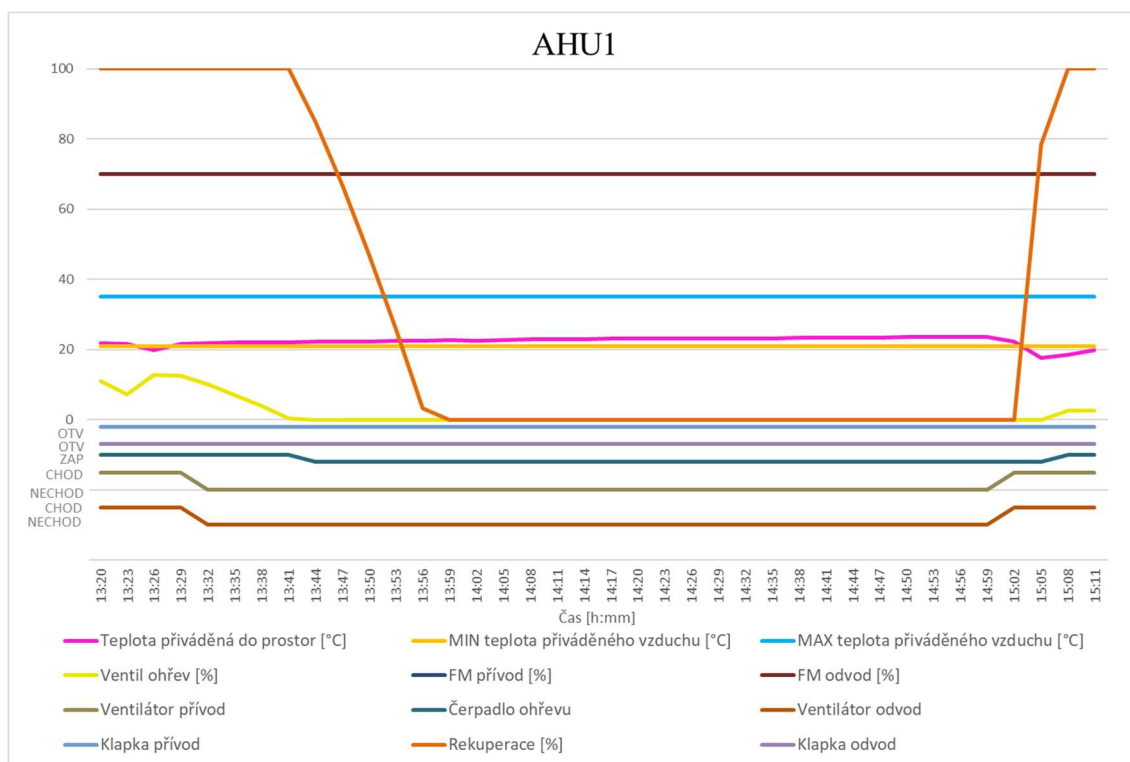
Předpokládalo se, že při vypnutí ventilátorů v pracovní době, bude pozitivní Test 1. Test 2 bude pozitivní, jelikož jednotka bude vypnutá v době, kdy MaR chce, aby byla zapnutá. Dále bude pozitivní Test 4, protože jednotka bude vypnutá, ale klapka na přívodu a odvodu vzduchu bude otevřená.

U AHU23 a AHU24 byl rozbitý snímač diferenčního tlaku, projevila by se jiná porucha, a proto nebyly tyto jednotky testovány.

Tab. 32: Testy u Poruchy 12

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	1, 2, 4	2, 4, 5	1	5
AHU2	1, 2, 4	2, 4	1	-
AHU18	1, 2, 4	2, 4, 5	1	5

AHU1:



Obr. 52: Graf Poruchy 12 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

V grafu lze vidět, že po vypnutí ventilátorů hlásí systém Mervis vypnutí ventilátorů (Nechod), ale frekvenční měnič ukazuje výkon ventilátorů na 70 %. Ve skutečnosti je však na 0 %. Po způsobené poruše došlo k uzavření ventilu ohřevu a následně k vypnutí čerpadla ohřevu a uzavření rekuperace.

Expertní systém:

Jednotka byla dle expertního systému vypnutá, když MaR chtěla, aby byla jednotka zapnutá, a proto byl pozitivní Test 2. Jelikož měla otevřené klapky na přívodu a odvodu vzduchu v době, kdy byla jednotka vypnutá, byl pozitivní Test 4. Test 5 byl pozitivní pouze 5 minut, jelikož se jednotka přepnula do režimu vypnuto, ale ještě dobíhalo čerpadlo ohřevu a byl otevřen ventil ohřevu. Test 1 nebyl pozitivní, jelikož se tento test řídí dle frekvenčního měniče, který ukazoval dle systému Mervis SCADA výkon ventilátorů na 70 %.

Zhodnocení Poruchy 12:

Jednotka AHU2 a AHU18 se chovaly stejným způsobem jako jednotka AHU1, měly tedy i pozitivní stejné testy. Pouze u jednotky AHU2 chyběl Test 5, jelikož se čerpadlo ohřevu vypnulo a ventil ohřevu se uzavřel hned s přepnutím do režimu vypnuto. Test 1 nebyl pozitivní, jelikož se test řídí dle frekvenčního měniče přívodního ventilátoru. Testovaná chyba byla i tak u všech testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 33: Výsledky Poruchy 12

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	-	Očekávaná	-	-
Chyba detekována:	ANO	ANO	-	ANO	-	-

4.2.2.13 Porucha 13 – Odpojení obou trubiček snímače diferenčního tlaku

U testovaných jednotek byly na hodinu a čtvrt ručně odpojeny obě trubičky u snímače diferenčního tlaku u jednoho z ventilátorů.

Očekávalo se, že chyba bude detekována Testem:

- 12 – Ventilátory
- 15 – Neznámý stav

Předpokládalo se, že u jednotky po odpojení obou trubiček snímače diferenčního tlaku bude systém Mervis hlásit vypnutí tohoto ventilátoru. Proto bude pozitivní Test 12, protože bude dle expertního systému zapnutý pouze jeden z ventilátorů. Dále z tohoto důvodu bude pozitivní Test 15.

Chyba byla testována na všech VZT jednotkách.

Tab. 34: Testy u Poruchy 13

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU2	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU8	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU18	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU23	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU24	12, 15	2, 12, 15	-	2

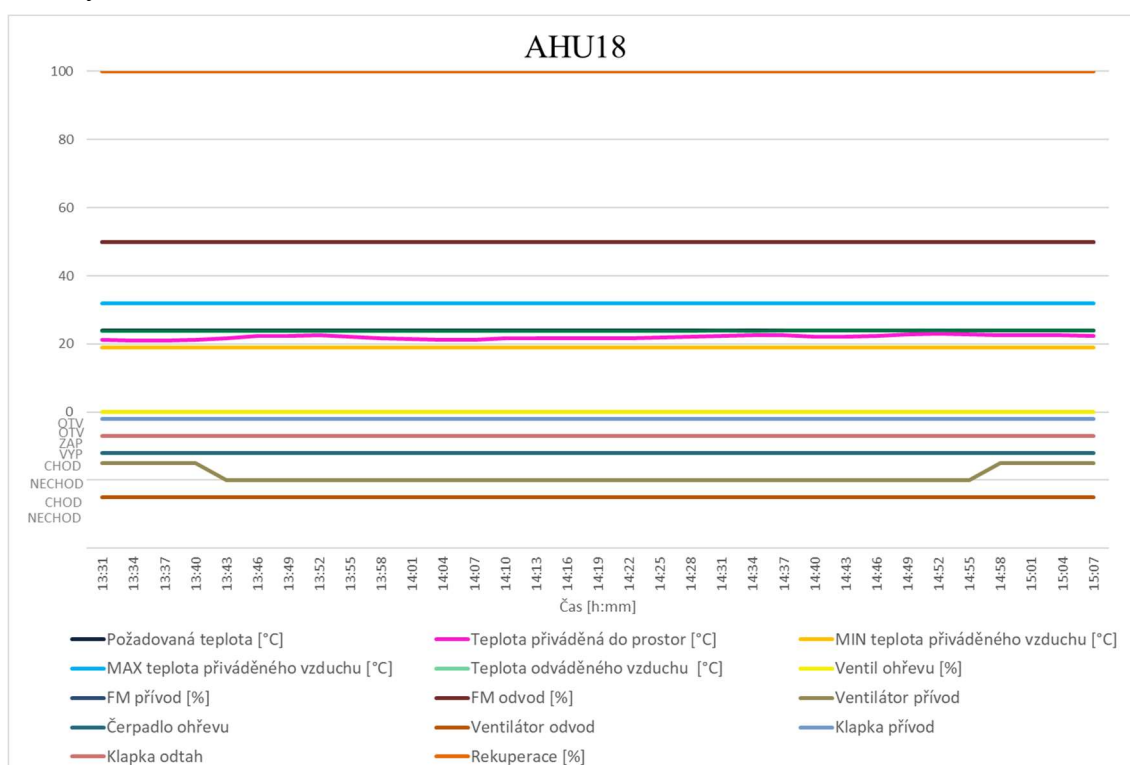
AHU18:

System Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po odpojení trubiček se ventilátor na přívodu jevil jako vypnutý. Ve skutečnosti byly oba ventilátory zapnuté na 50 %. Jednotka byla v době testování v režimu větrání.

Expertní systém:

Protože byl jeden z ventilátorů dle systému vypnutý a druhý stále běžel, jednotka byla v neznámém režimu, a proto byl pozitivní Test 12 a 15. Navíc byl pozitivní Test 2, jelikož byl přívodní ventilátor dle systému vypnutý, ale MaR vysílala požadavek na zapnutí jednotky.



Obr. 53: Graf Poruchy 13 u jednotky AHU18

Zhodnocení Poruchy 13:

Ostatní jednotky se chovaly stejně jako AHU18, a proto byly pozitivní stejné testy. Chyba byla u všech testovaných jednotek systémem detekována, ale u všech jednotek byl navíc pozitivní Test 2, jelikož byly odpojeny trubičky snímače diferenčního tlaku u přívodního ventilátoru. Test 2 posuzuje, zda je jednotka zapnutá nebo vypnutá pouze dle přívodního ventilátoru, jednotky se v tomhle případě jevily jako vypnuté v době, kdy měly být podle MaR zapnuté.

Tab. 35: Výsledky Poruchy 13

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

4.2.2.14 Porucha 14 - Odpojení jedné trubičky snímače diferenčního tlaku (Negativní tlak)

U testovaných jednotek byla na tři hodiny ručně odpojena jedna trubička u snímače diferenčního tlaku u jednoho z ventilátorů. Jednalo se o trubičku měřící negativní tlak.

Očekávalo se, že chyba bude detekována stejnými testy jako při odpojení obou trubiček snímače diferenčního tlaku a to Testem:

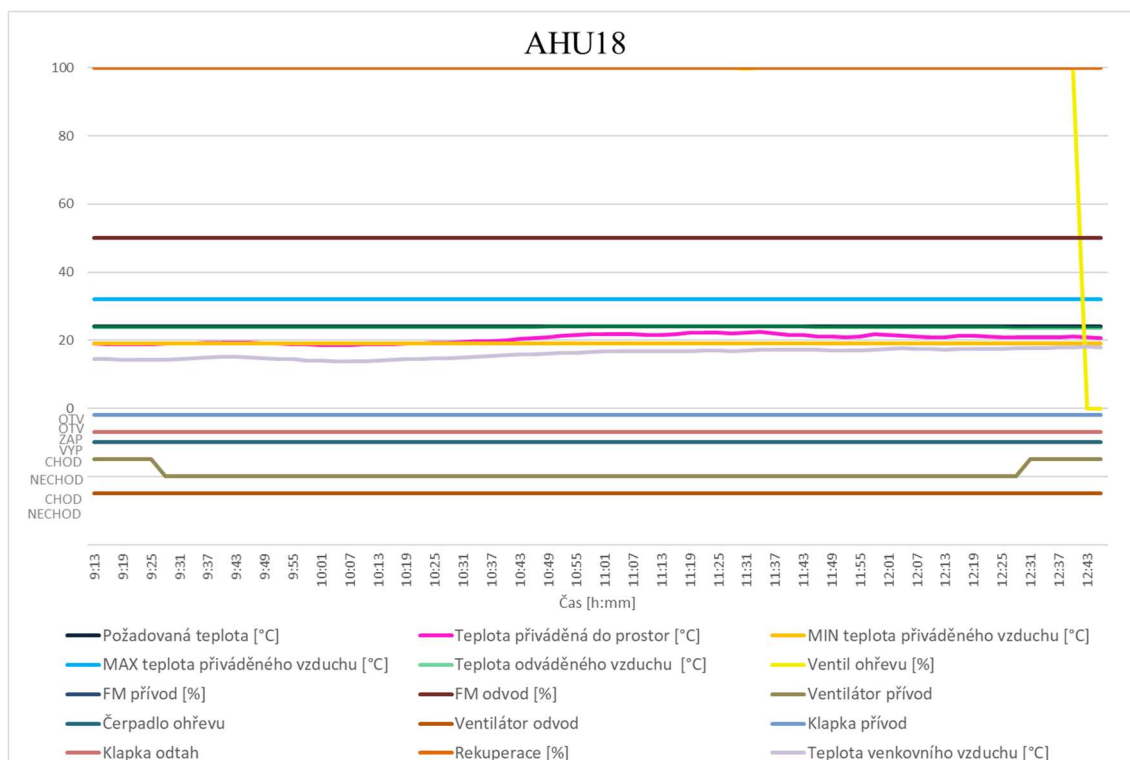
- 12 – Ventilátory
- 15 – Neznámý stav

Testovány byly všechny jednotky kromě AHU24, která byla v době testování mimo provoz.

Tab. 36: Testy u Poruchy 14

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU2	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU8	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU18	12, 15	2, 12, 15	-	2
AHU23	12, 15	2, 12, 15	-	2

AHU18:



Obr. 54: Graf Poruchy 14 u jednotky AHU18

Systém Mervis SCADA:

Po zapnutí poruchy hlásil systém Mervis SCADA vypnutí odvodního ventilátoru (Nechod). Oba ventilátory byly ve skutečnosti zapnuté na 50 % svého výkonu (FM odtah, FM přívod). Jednotka byla v režimu vytápění a ventil ohřevu byl po celou dobu testu na 100 .

Expertní systém:

Jednotka se chovala stejně jako u předchozí poruchy. Systém SCADA Mervis hlásil nefunkčnost ventilátoru, ale ventilátor běžel a to na 50 %. Byly tedy opět pozitivní Testy 12 a 15. Opět byl navíc pozitivní Test 2, jelikož jednotka byla pro tento test dle systému vypnutá v době, kdy MaR dala povel pro zapnutí jednotky.

Zhodnocení Poruchy 14:

Ostatní testované jednotky se chovaly stejným způsobem jako AHU18. U všech jednotek tedy byly pozitivní stejné testy. Chyba byla na všech testovaných jednotkách systémem detekována. Navíc byl u všech poruch pozitivní Test 2, z důvodu vypnutí přívodního ventilátoru, podle kterého tento test určuje, zda je jednotka zapnutá.

Tab. 37: Výsledky Poruchy 14

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	-
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	-

4.2.2.15 Porucha 15 – Cyklování režimů

V systému Mervis SCADA byla po 10 nebo 25 minutách měněna požadovaná teplota v interiéru. Teplota se měnila na 10°C a na 30°C.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

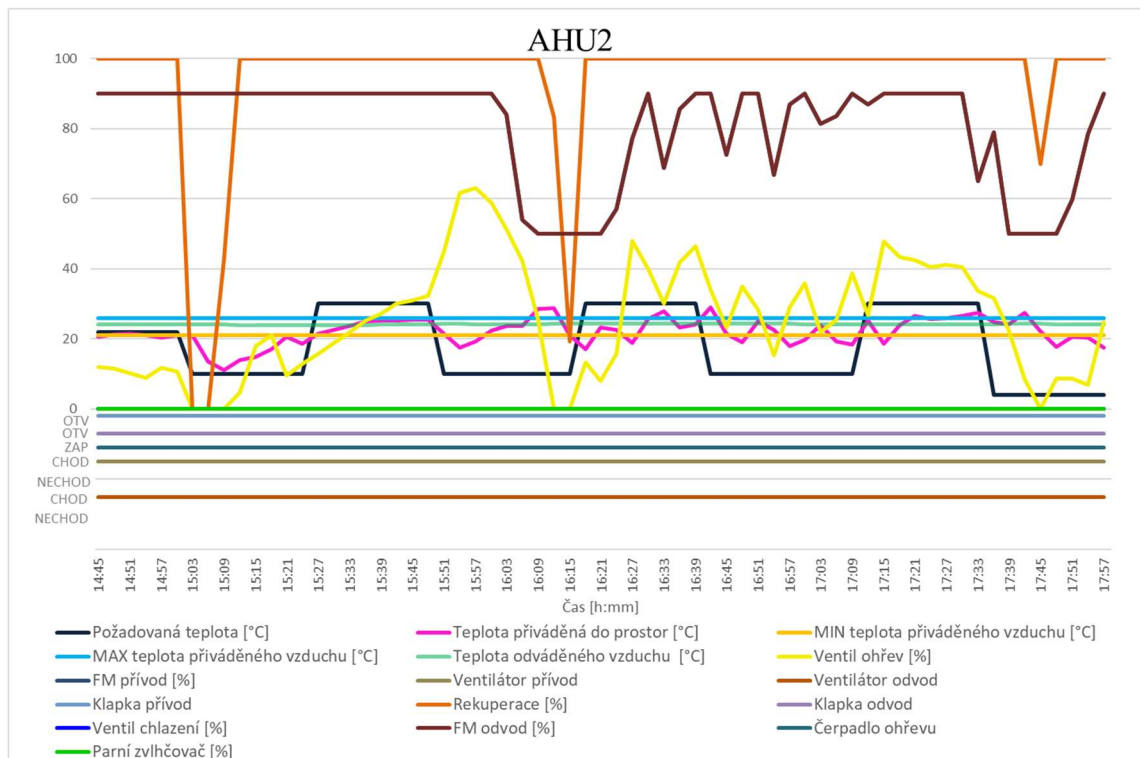
- 3 – Cyklování režimů
- 6 – Vhodnost režimu
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

Předpokládalo se, že se jednotka bude přepínat z režimu vytápění do režimu větrání bypassem nebo chlazení, a proto bude pozitivní Test 3. Test 6 a Test 14 bude pozitivní, jelikož požadovaná teplota vzduchu v prostoru 10°C nebo 30°C se vždy bude lišit od skutečné teploty v prostoru, jelikož za tak krátký časový úsek nedojde k tak výrazné změně teploty. Jelikož nemusí během přepínání za tak krátký časový úsek dojít k vychladnutí ohřívače, může docházet k ohřívání vzduchu i při jiném režimu jednotky, a proto bude pozitivní Test 7. Pokud bude požadovaná teplota v prostoru 10°C, z jednotky bude přiváděn chladný vzduch, který se dostane až pod minimální povolenou hodnotu a následně bude požadovaná teplota 30°C a teplota přiváděného vzduchu ještě bude pod minimální povolenou hodnotou, a proto bude pozitivní Test 11.

Tab. 38: Testy u Poruchy 15

Jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	Vždy	Za urč. podm.			
AHU1	3, 6, 11, 14	7	3, 6, 7, 11, 14	-	-
AHU2	3, 6, 11, 14	7	1, 3, 5, 6, 11, 14	-	1, 5
AHU8	3, 6, 11, 14	7	1, 5, 6, 11, 14, 17	3	1, 5, 17
AHU18	3, 6, 11, 14	7	6, 7, 11, 14	3	-
AHU23	3, 6, 11, 14	7	3, 6, 7, 9, 11, 14	-	9
AHU24	3, 6, 11, 14	7	3, 5, 6, 11, 14	-	5

AHU2:



Obr. 55: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU2

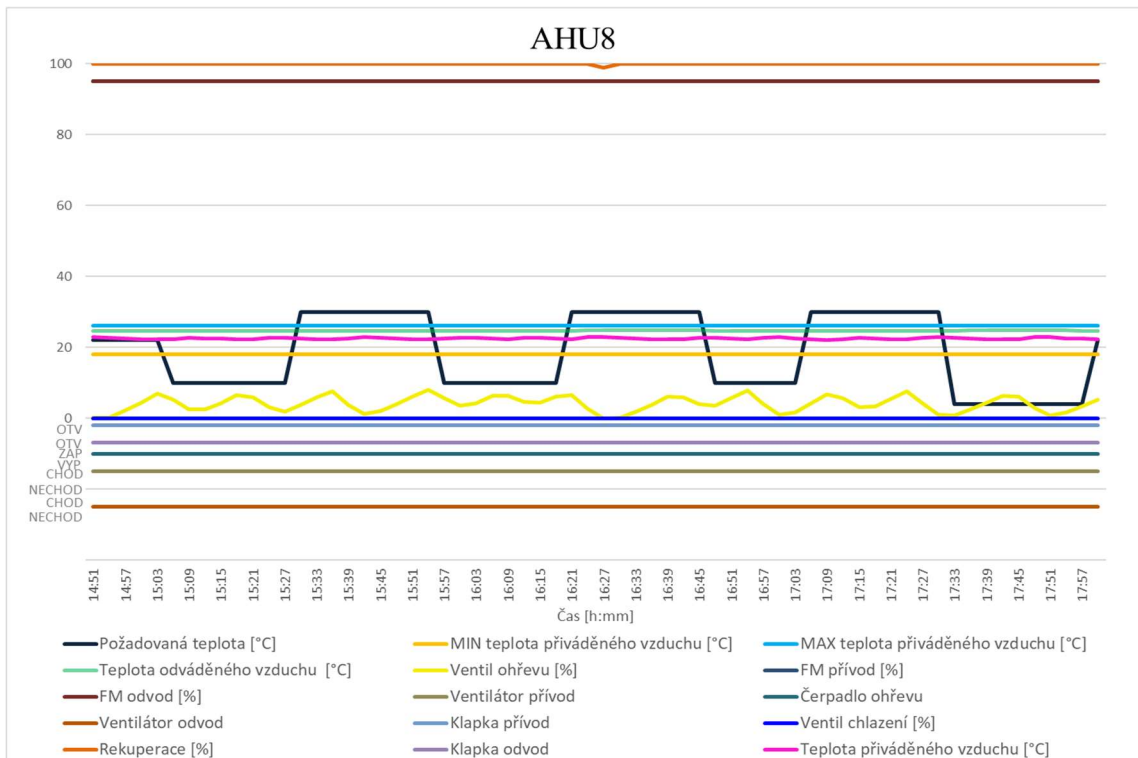
System Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že byla požadovaná teplota vzduchu přepínána na 10°C a 30°C. Na začátku poruchy došlo k přepnutí požadované teploty vzduchu na 10°C. Proto došlo k uzavření rekuperačního výměníku, uzavření ventilu ohřevu a snížení teploty přiváděného vzduchu až na 11°C. Protože tato hodnota je pod limitem minimální povolené hodnoty přiváděného vzduchu, došlo opět k otevření rekuperačního výměníku a otevření ventilu chlazení a zvýšení přívodní teploty. Při nastavení požadované teploty na 30°C se otevíral ventil ohřevu a rostla teplota přiváděného vzduchu. Poté si jednotka pomáhala k udržení požadované teploty snižováním výkonu ventilátorů. Teplota přiváděného vzduchu klesala pod minimální povolenou hodnotu a rostla nad maximální povolenou hodnotu.

Expertní systém:

Jednotka se přepínala z režimu vytápění do režimu větrání bypassem, a proto měla pozitivní Test 3. Test 5 byl pozitivní pouze 5 minut, jelikož jednotka byla ještě v režimu vytápění, ale začala otevírat bypass. Test 6 byl pozitivní již před testem, teplota vzduchu v interiéru překročovala o více než 2K požadovanou teplotu vzduchu v interiéru. Během testu došlo ke snižování teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu, a proto byl pozitivní Test 14. Test 11 byl pozitivní v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění, ale teplota přiváděného vzduchu klesla pod minimální povolenou hodnotu. Navíc byl pozitivní Test 1, jelikož má jednotka pracovní dobu nastavenou do 17:00, ale kvůli testu byla jednotka zapnutá až do 18:00.

AHU8:



Obr. 56: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU8

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že byla opět přepínána požadovaná teplota vzduchu v prostoru. Jednotka však nijak na změnu teploty nereagovala a chovala se stejně jako před testem. Jednotka tedy byla po celou dobu testu v režimu vytápění.

Expertní systém:

Jednotka měla pozitivní Test 1, jelikož test nemá nahraná data o pracovní době jednotek a je použita pracovní doba pro všechny jednotky od 8:00 do 17:00. Během testu došlo k malému pootevření bypassu v době, kdy byla jednotka v režimu vytápění, a proto byl pozitivní Test 5. Test 6 a Test 14 byly pozitivní, protože teplota odváděného vzduchu byla vyšší o více než 2K od požadované teploty. Teplota byla vyšší již před poruchou, a proto byly i tyto testy pozitivní již před ní. Test 11 byl pozitivní, jelikož jednotka vytápěla, ale teplota v prostoru byla nižší než požadovaných 30°C. Jednotka používala malý výkon ohřivače v poměru k venkovní teplotě vzduchu, proto byl pozitivní Test 17. Test 3 nebyl pozitivní, jelikož nedošlo ke změně režimu.

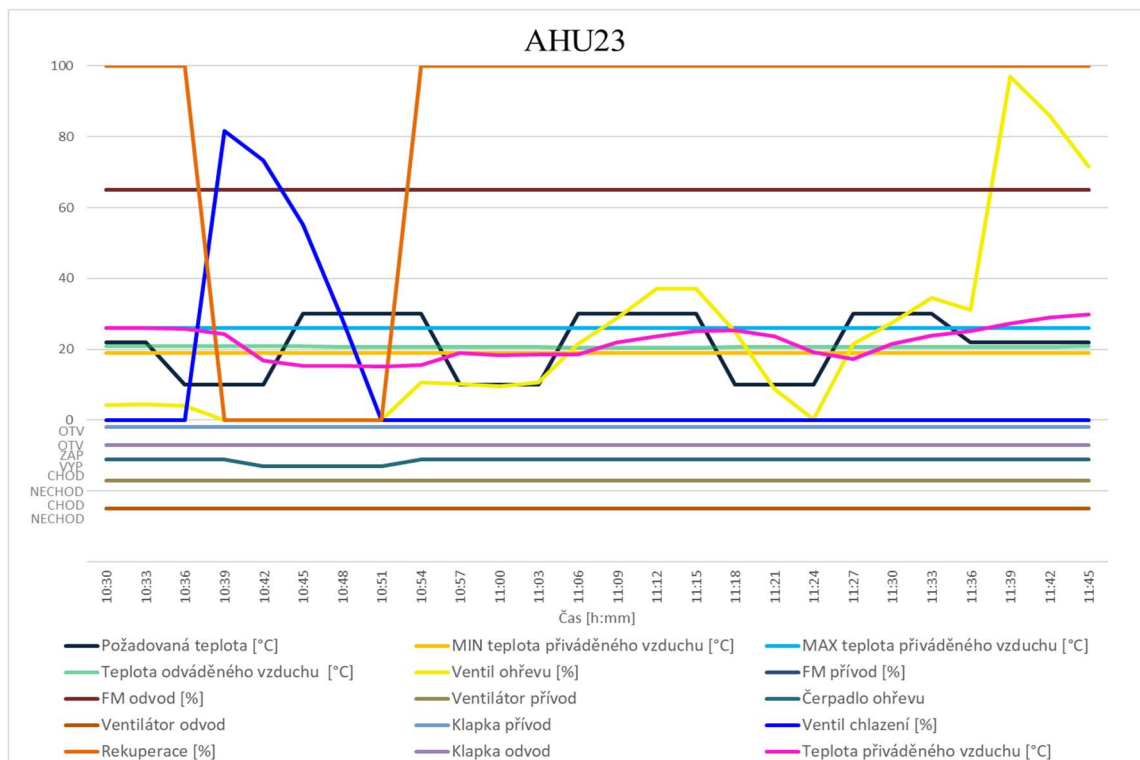
AHU23:

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po nastavení požadované teploty na 10°C došlo k uzavření rekuperačního výměníku, uzavření ventilu ohřevu a vypnutí čerpadla ohřevu. Zároveň se otevřel ventil chlazení a došlo tak ke snížení teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu. Po 10 minutách byla požadovaná teplota nastavena na 30°C. Proto se ventil chlazení opět uzavřel a otevřel se rekuperační výměník, ventil ohřevu a zapnulo se čerpadlo ohřevu. Poté byla opět nastavena teplota požadovaného vzduchu na 10°C a od této doby udržovala jednotka požadovanou teplotu přiváděného vzduchu pomocí ventilu ohřevu.

Expertní systém:

Test 3 byl pozitivní z důvodu přepnutí jednotky z režimu vytápění do režimu chlazení bypassem. Test 6 a Test 14 byly pozitivní, jelikož teplota odváděného vzduchu se lišila o více než 2K od požadované teploty a také z důvodu klesání teploty pod minimální povolenou hodnotu. Test 7 byl pozitivní v době, kdy jednotka byla v režimu chlazení a z jednotky byl přiváděn vzduch o vyšší teplotě, než byla teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem. To bylo způsobeno ohřátím vzduchu na ohříváči, který za tak krátkou dobu nestihl vychladnout. Předpokládalo se že na chladič proudí vzduch o teplotě venkovního vzduchu, a proto byl vypočítaný určitý teplotní spád na výměníku. Ve skutečnosti na výměník chladiče proudil teplejší vzduch, a proto z chladiče byla přiváděna teplejší voda než se předpokládalo. Proto byl pozitivní Test 9.



Obr. 57: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU23

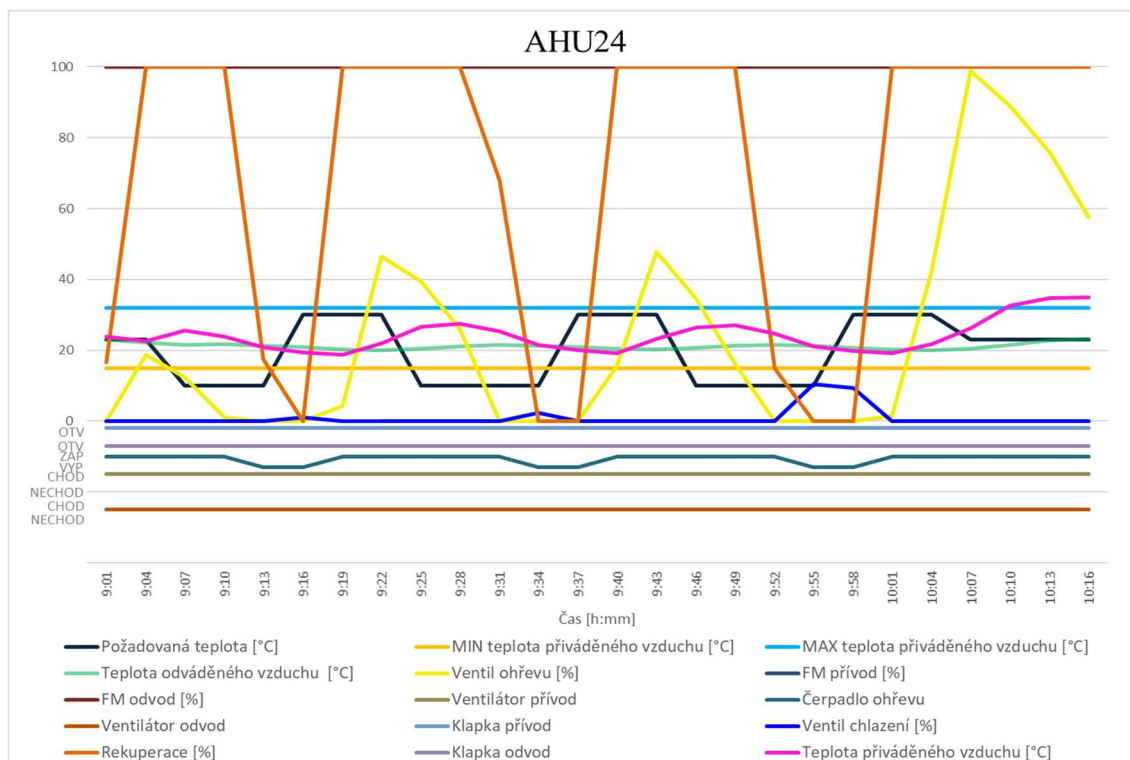
AHU24:

Systém Mervis SCADA:

Jednotka se přepínala z režimu vytápění do režimu chlazení. Teplota přiváděného vzduchu byla po celou dobu testu v povolených mezích, až ke konci testu překročila maximální povolenou hodnotu.

Expertní systém:

Z důvodu přepínání režimů byl pozitivní Test 3. Test 5 byl pozitivní, jelikož si jednotka otevřela bypass v době, kdy ještě byla v režimu vytápění. Test 6 a Test 14 byly pozitivní z důvodu odlišné teploty v prostoru, která neodpovídala požadovaným hodnotám 10°C a poté 30°C a ke konci testu z důvodu překročení maximální povolené hodnoty přiváděného vzduchu. Test 11 byl opět pozitivní v době, kdy byla požadovaná teplota vzduchu 30°C, ale v prostoru byla teplota mnohem nižší.



Obr. 58: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU24

Zhodnocení Poruchy 15:

Jednotka AHU1 měla pozitivní předpokládané testy a přepínala se z režimu vytápění do režimu větrání bypassem. Navíc měla pozitivní Test 7, jelikož v době kdy se přepnula do režimu větrání bypassem, měla teplejší přiváděný vzduch o více než 2K oproti teplotě za rekuperačním výměníkem. To bylo zřejmě způsobeno tím, že za tak krátkou dobu nedošlo k vychladnutí ohříváče. Jednotka AHU2 měla navíc pozitivní Test 1 a 5. Test 5 byl pozitivní, jelikož jednotka si otevřela bypass v době, kdy byly ještě v režimu vytápění a Test 1, kvůli nevhodně nastavené pracovní době. Jednotka AHU8 nereagovala na změnu požadované teploty a chovala se stále stejným způsobem. Je tedy zřejmé, že jednotka není citlivá na povel požadované teploty. U jednotky AHU18 nebyl pozitivní Test 3, jelikož jednotka se za celou dobu testu nestihla přepnout do jiného režimu a měla navíc pozitivní Test 7, jelikož z jednotky byl přiváděn poměrně chladný vzduch na to, že jednotka měla dle systému Mervis otevřený ventil ohřevu téměř na 100 %. To bylo způsobeno rozbitým ventilem ohřevu. U jednotky AHU23 zřejmě docházelo k ohřívání vzduchu, i když byla jednotka v režimu chlazení, a proto měla navíc pozitivní Test 9. U jednotky AHU24 byl navíc pozitivní Test 5, ze stejného důvodu jako u AHU2 a AHU8. Celkově byla chyba u všech testovaných jednotek kromě AHU8 systémem detekována.

Tab. 39: Výsledky Poruchy 15

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Jiná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO

4.2.2.16 Porucha 16 – Zapnuto čerpadlo ohřevu + plně otevřen ventil ohřevu, režim větrání

V programu RcWare bylo na jednu hodinu zapnuto čerpadlo ohřevu a nastaven ventil ohřevu na 100 % v době, kdy byla jednotka v režimu větrání. Zároveň byla nastavena požadovaná teplota na nižší hodnotu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 14 – Komfort

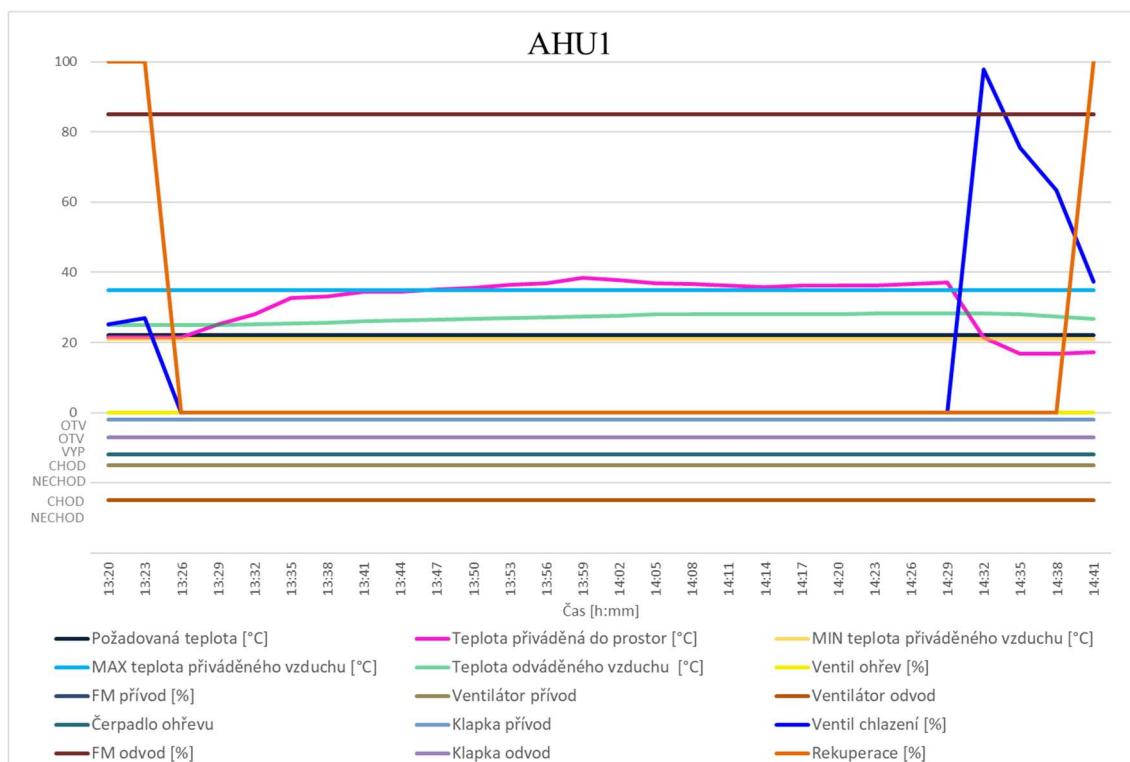
Předpokládalo se, že z jednotky bude přiváděn teplejší vzduch než je maximální povolená hodnota přiváděného vzduchu a případně dojde i k překročení limitní hodnoty požadované teploty v prostoru. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Test 7 bude pozitivní jelikož z jednotky bude přiváděn teplejší vzduch, než bude vzduch za rekuperačním výměníkem.

Jednotka AHU2 a AHU8 byly v době testování mimo provoz

Tab. 40: Testy u Poruchy 16

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-
AHU18	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-
AHU23	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-
AHU24	6, 7, 14	6, 7, 14	-	-

AHU1:



Obr. 59: Graf Poruchy 16 u jednotky AHU1

System Mervis SCADA:

Aby bylo možné tuto poruchu provést, byl nastaven limit chlazení na 30°C. Proto jednotka přestala těsně před způsobenou poruchou chladit a po poruše opět chladit začala. Požadovaná teplota v prostoru byla nastavena na 20°C. V systému se čerpadlo jeví jako vypnuté a ventil uzavřen. Ve skutečnosti bylo čerpadlo ohřevu zapnuté a ventil nastaven na 100 %. Z tohoto důvodu se teplota přiváděného vzduchu zvýšila a překročovala maximální povolenou teplotu přiváděného vzduchu. Dále teplota odváděná z interiéru výrazně převyšovala požadovanou teplotu vzduchu.

Expertní systém:

Z důvodu překročení teplotních limitů jsou pozitivní Testy 6 a 14. Test 7 je pozitivní, jelikož jednotka byla v režimu větrání, ale teplota přiváděného vzduchu překročovala teplotu venkovního vzduchu o více než povolené 2K.

Chyba probíhala stejně i u ostatních testovaných jednotek.

Zhodnocení Poruchy 16:

Chyba byla u všech testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 41: Výsledky Poruchy 16

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	-	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	-	-	ANO	ANO	ANO

4.2.2.17 Porucha 17 – Vypnuto čerpadlo ohřevu, režim vlhčení

V programu RcWare bylo na dvě hodiny vypnuto čerpadlo ohřevu v době, kdy jednotka byla v režimu vlhčení.

Porucha simuluje mechanicky vypnuté čerpadlo ohřevu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

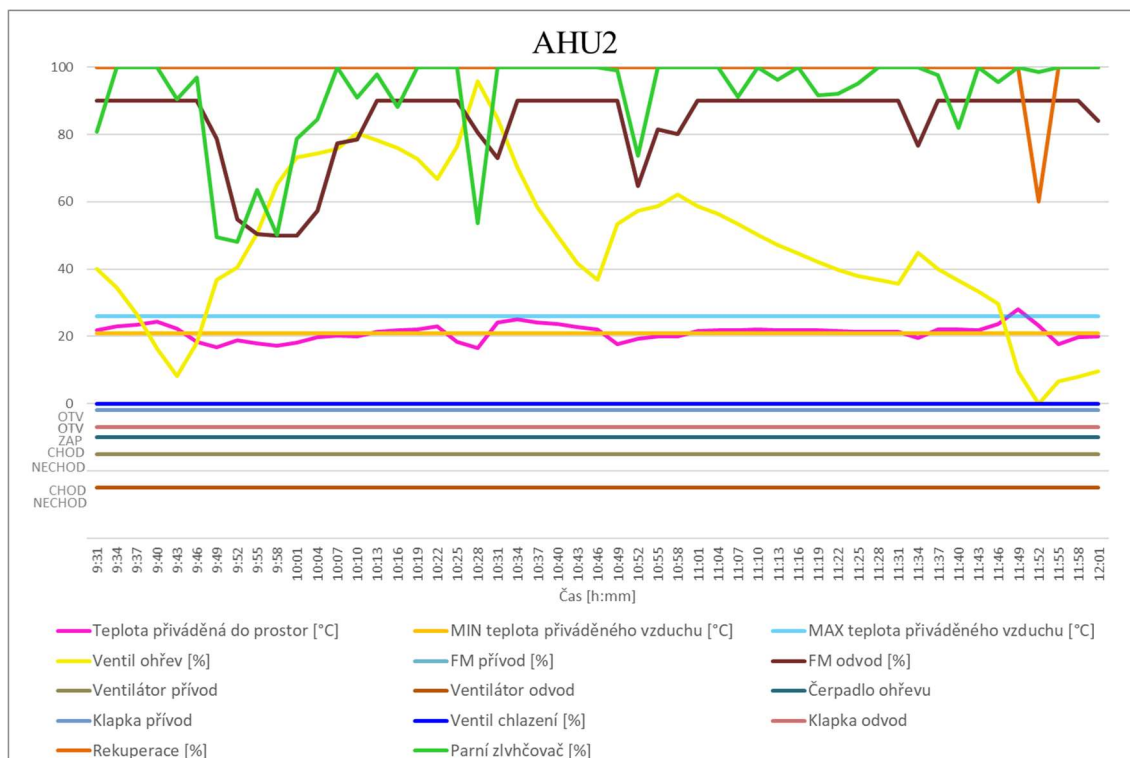
Předpokládalo se, že i když bude čerpadlo ohřevu vypnuté, přívod otopné vody částečně zajistí centrální čerpadlo vytápění. Opět z důvodu nevhodného hydraulického oddělení okruhů. Centrální čerpadlo ohřevu nenahradí plnohodnotně čerpadlo ohřevu jednotky, a proto může být z jednotky přiváděn vzduch o teplotě nižší, než je minimální povolená teplota přiváděného vzduchu a tím může dojít k poklesu teploty v prostoru pod limitní hodnotu. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka tedy bude vytápět, ale teplota přiváděného vzduchu bude pod minimální povolenou teplotou, a proto bude pozitivní Test 11, nedostatečný výkon ohřivače.

Testována byla pouze jednotka AHU2, která jako jediná obsahovala v době testování funkční zvlhčovač vzduchu.

Tab. 42: Testy u Poruchy 17

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU2	6, 11, 14	6, 11, 14	-	-

AHU2:



Obr. 60: Graf Poruchy 17 u jednotky AHU2

Systém Mervis SCADA:

Po zapnutí poruchy došlo k poklesu teploty přiváděného vzduchu. Teplota přiváděného vzduchu několikrát klesla pod minimální požadovanou hodnotu. Poté se vždy zvýšila, z důvodu nevhodného hydraulického oddělení okruhů vytápění. Z grafu lze vidět, že při poklesu teploty pod minimální podvolenou hodnotu přiváděného vzduchu došlo i ke snížení výkonu ventilátorů (FM přívod, FM odvod), které mají vždy stejný výkon. Křivky v grafu se tedy překrývají. Podle těchto poklesů klesal i výkon parního zvlhčovače.

Expertní systém:

Z důvodu snížení teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu byly pozitivní Testy 6 a 14. Test 11 byl pozitivní v době, kdy teplota přiváděného vzduchu klesala, ale ventil ohřevu se stále otevíral, AHU2 tedy neměla dostatečný výkon na ohřátí vzduchu.

Zhodnocení Poruchy 17:

Chyba byla u jednotky AHU2 systémem detekována.

4.2.2.18 Porucha 18 – Uzavřen ventil ohřevu, režim vlhčení

V programu RcWare byl na dvě hodiny uzavřen ventil ohřevu v době, kdy jednotka byla v režimu vlhčení.

Chyba simuluje ručně uzavřený ventil ohřevu nebo rozbitý servopohon ventilu ohřevu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

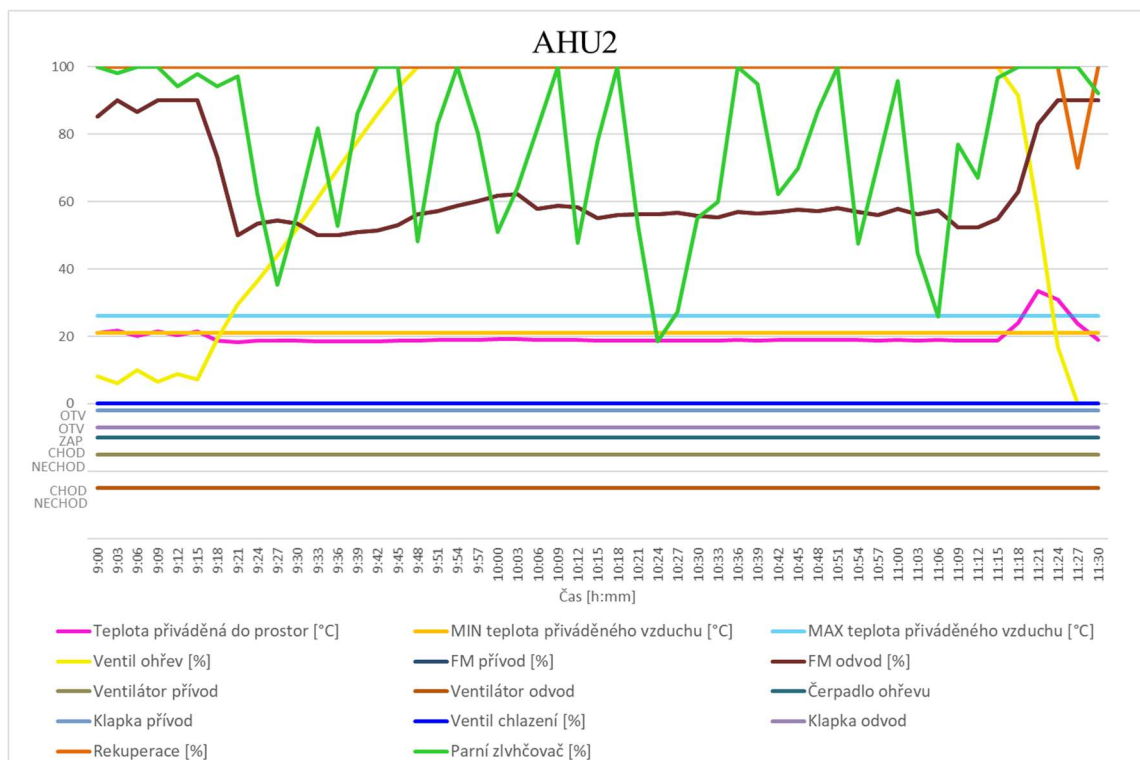
Předpokládalo se, že z jednotky bude přiváděn vzduch o teplotě nižší než je minimální povolená teplota přiváděného vzduchu a tím může dojít k poklesu teploty v prostoru pod limitní hodnotu. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka tedy bude v režimu vytápění, ale teplota přiváděného vzduchu bude pod minimální povolenou teplotou, a proto bude pozitivní Test 11, nedostatečný výkon ohřivače.

Testována byla pouze jednotka AHU2, která jako jediná obsahovala v době testování funkční zvlhčovač vzduchu.

Tab. 43: Testy u Poruchy 18

VZT jednotka	Očekávaný test	Positivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU2	6, 11, 14	6, 11, 14	-	-

AHU2:



Obr. 61: Graf Poruchy 18 u jednotky AHU2

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po uzavření ventilu ohřevu klesla teplota přiváděného vzduchu pod minimální povolenou teplotu přiváděného vzduchu. Došlo tedy dle systému Mervis k otevření ventilu ohřevu na 100 %. Ve skutečnosti byl uzavřen, a proto teplota přiváděného vzduchu byla stále pod minimální povolenou hodnotou. Současně s poklesem teploty došlo i k poklesu výkonu ventilátorů na cca 50 % (FM přívod, FM odvod).

Expertní systém:

Kvůli poklesu teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu byl pozitivní Test 6 a Test 14. Test 11 byl pozitivní, jelikož ventil ohřevu se v systému Mervis SCADA opět jevil jako plně otevřen, ale teplota přiváděného vzduchu byla pod limitem minimální povolené teploty.

Zhodnocení Poruchy 18:

Porucha byla u jednotky AHU2 systémem detekována.

4.2.2.19 Porucha 19 – Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu -20°C

V programu RcWare byla hodinu a půl nastavena teplota přiváděného vzduchu do zóny na -20°C.

Tato porucha má znázorňovat poruchu teplotního čidla, které ukazuje svou mezní hodnotu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

Předpokládalo se, že při nastavení teploty -20°C na straně přívodu do prostoru dojde k plnému otevření ventilu ohřevu a přívodu vzduchu o teplotě vyšší než je povolená teplota přiváděného vzduchu. Tím dojde i k překročení limitní hodnoty požadované teploty v prostoru, a proto budou pozitivní Testy 6 a 14. Test 7 bude pozitivní, jelikož teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem bude vyšší než teplota přiváděného vzduchu, zde nastavená na -20°C. Z jednotky tedy bude přiváděna výrazně nižší teplota vzduchu. A Test 11, protože ventil ohřevu bude plně otevřen, ohřívač tedy bude ohřívat vzduch na 100 % svého výkonu, ale z jednotky bude přiváděn vzduch o teplotě -20°C.

Tab. 44: Testy u Poruchy 19

VZT jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU2	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU8	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU18	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU23	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU24	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-

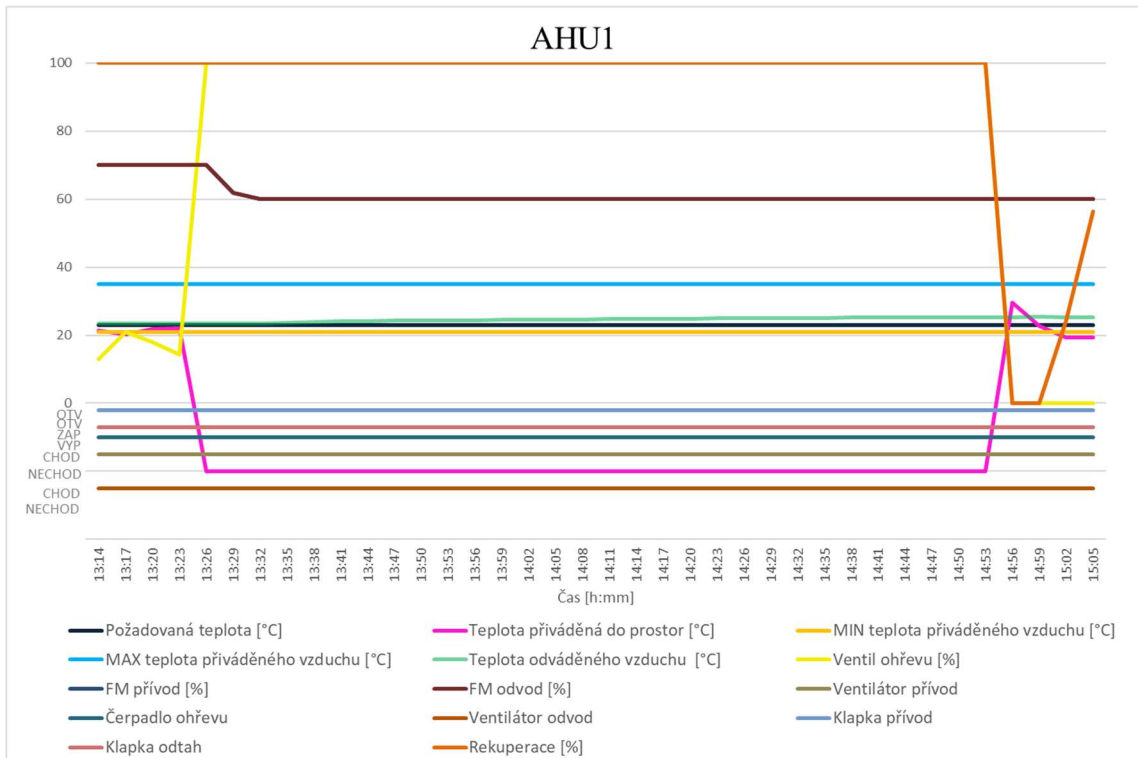
AHU1:

System Mervis SCADA:

Po nastavení teploty přiváděného vzduchu na teplotu -20°C došlo ke snížení výkonu ventilátorů ze 70 % na 60 % (FM přívod, FM odvod). Ventil ohřevu se otevřel na 100 % a teplota odváděného vzduchu mírně rostla, až se dostala přes limit požadované teploty vzduchu v interiéru.

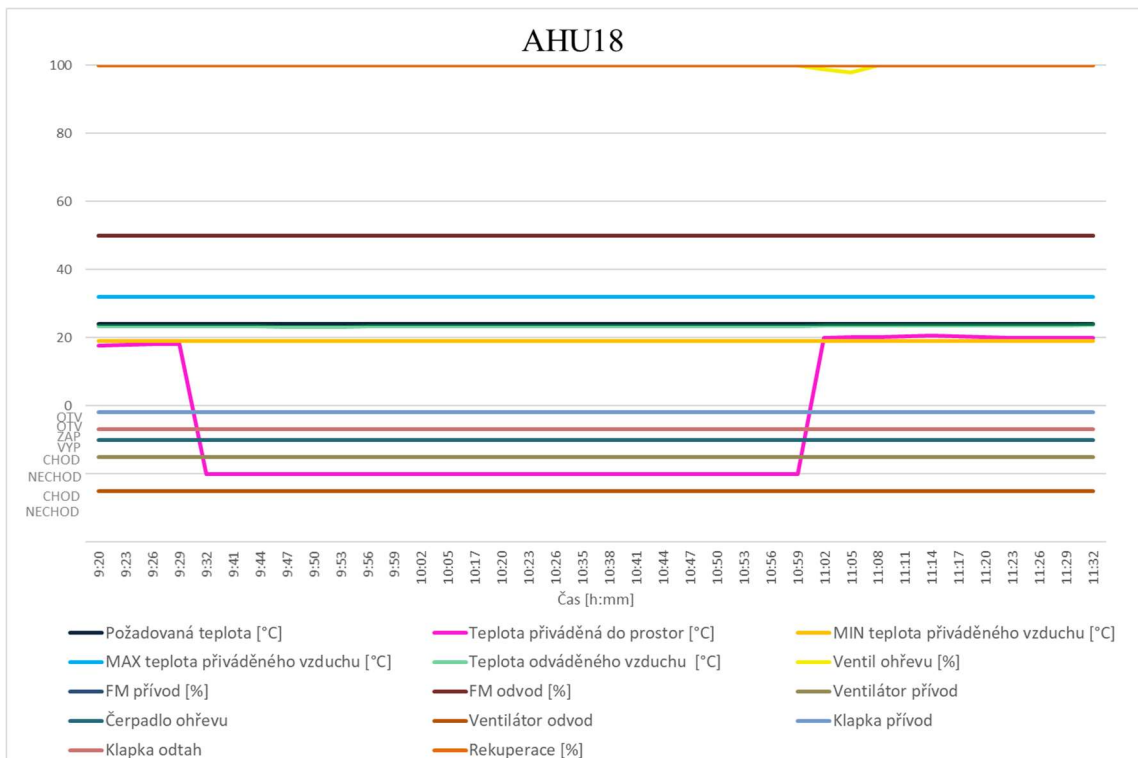
Expertní systém:

Protože byl překročen jak limit minimální teploty přiváděného vzduchu, tak limit požadované teploty v interiéru, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka byla v režimu vytápění, ale do jednotky dle systému Mervis SCADA přicházel chladnější vzduch, než byla teplota vzduchu za rekuperací, proto byl pozitivní Test 7. Test 11 byl pozitivní, jelikož jednotka vytápěla na 100 %, ale teplota přiváděného vzduchu byla velmi nízká, byla pod limitem minimální povolené teploty a jednotka tedy měla nedostatečný výkon ohřívače. Ve skutečnosti podle námi instalovaných čidel byl z jednotky přiváděn přívodní vzduch o teplotě až 30°C.



Obr. 62: Graf Poruchy 19 u jednotky AHU1

AHU18:



Obr. 63: Graf Poruchy 19 u jednotky AHU18

System Mervis SCADA:

Jednotka měla již před testem otevřený ventil ohřevu na 100 %, ale teplota přiváděného vzduchu byla pod minimální povolenou hodnotou.

Expertní systém:

Jednotka měla všechny testy kromě Testu 7 již před poruchou. Bylo zjištěno, že jednotka měla rozbitý servopohon ventilu ohřevu a nebylo tedy možné jednotkou vytápět. Proto byl přiváděn vzduch o nižší teplotě než je nastavený limit pro minimální teplotu přiváděného vzduchu, a proto byly Testy 6 a 14 pozitivní již před poruchou. I když měla jednotka rozbitý servopohon, ventil podcházela a díky nevhodnému hydraulickému oddělení otopných okruhů docházelo k částečnému ohřátí vzduchu, proto nebyl před způsobovanou poruchou pozitivní Test 7. Při poruše Test 7 již pozitivní byl, jelikož teplota přiváděného vzduchu byla dle systému -20°C a byla tedy nižší než teplota vzduchu za rekuperací. Test 11 byl opět pozitivní z důvodu nízké přiváděné teploty vzduchu v době, kdy jednotka vytápěla na plný výkon. Ve skutečnosti podle námi instalovaných čidel byl z jednotky přiváděn přívodní vzduch o teplotě až 29 °C.

U ostatních jednotek probíhala porucha téměř stejně jako u AHU1.

Zhodnocení Poruchy 19:

Chyba byla u všech jednotek systémem detekována.

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

4.2.2.20 Porucha 20 – Teplotní čidlo na přívodu do zóny udává teplotu 150°C

Pomocí programu RcWare byla hodnota a půl nastavena na teplotním čidle přívodní teplota do zóny na 150°C.

Tato porucha má znázorňovat poruchu teplotního čidla, které ukazuje svou mezní hodnotu.

Očekávalo se detekování chyby Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 7 – Spojitost
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

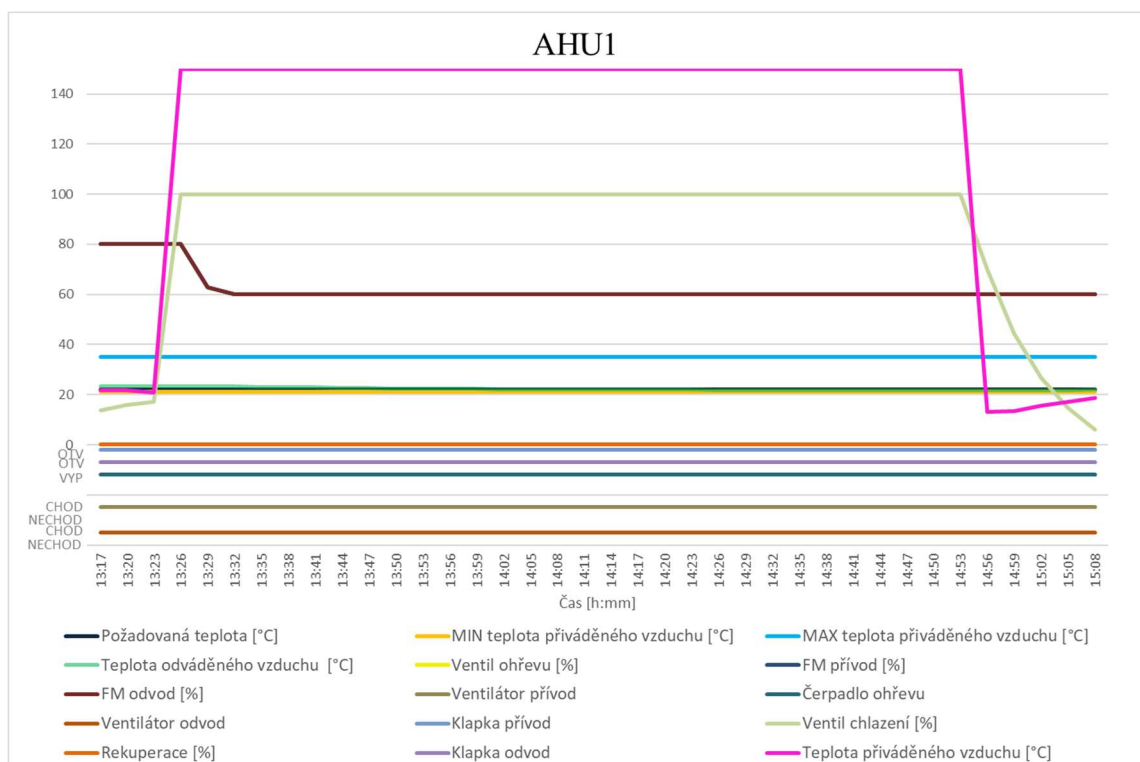
Předpokládalo se, že při zapnutí poruchy dojde k vypnutí čerpadla ohřevu a uzavření ventilu ohřevu a jednotka se přepne do režimu chlazení. Tím, že bude jednotka chlazení na plný výkon, bude přiváděn vzduch s velmi nízkou teplotou, až může dojít k ochlazení vzduchu v prostoru pod jeho limitní hodnotu. Proto může být pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy budou také pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu 150°C překročí maximální povolenou hodnotu přiváděného vzduchu. Jelikož jednotka bude v režimu chlazení, ale bude z ní přiváděna dle systému Mervis teplota vzduchu 150°C, bude pozitivní Test 7.

Jednotka AHU8 byla v době testování mimo provoz.

Tab. 45: Testy u Poruchy 20

Jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU2	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU18	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU23	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU24	6, 7, 11, 14	6, 7, 11, 14	-	-

AHU1:



Obr. 64: Graf Poruchy 20 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

Po nastavení přívodní teploty na 150°C se snížil výkon ventilátorů z 80 % na 60 % a otevřel se ventil chlazení na 100 %. Teplota přiváděného vzduchu 150°C překračovala maximální povolenou teplotu vzduchu 35°C. Teplota odváděného vzduchu z interiéru byla v požadovaných mezích během celého testu.

Expertní systém:

Jelikož teplota přiváděného vzduchu překračovala dle systému Mervis SCADA maximální povolenou teplotu přiváděného vzduchu, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka byla v režimu chlazení bypasssem, ale z jednotky byl přiváděn teplejší vzduch než byl nasávaný venkovní vzduch, a proto byl pozitivní Test 7. Test 11 byl pozitivní, jelikož jednotka chladila na 100 %, ale z jednotky byl přiváděn příliš teplý vzduch. Ve skutečnosti dle námi instalovaných čidel byl z jednotky přiváděn vzduch o teplotě cca 13,5 °C.

U všech ostatních jednotek se porucha projevila podobným způsobem. U AHU2 měla jednotka pozitivní Test 14 již před testem, jelikož teplota odváděného vzduchu z interiéru překračovala požadovanou teplotu vzduchu v interiéru o více než 2K.

Zhodnocení Poruchy 20:

Chyba byla u všech testovaných jednotek systémem detekována.

Tab. 46: Výsledky Poruchy 20

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	-	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	-	ANO	ANO	ANO	ANO

4.2.2.21 Porucha 21 – Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu -20°C

V programu RcWare byla dvě hodiny nastavena teplota odváděného vzduchu ze zóny na -20°C.

Tato porucha má znázorňovat poruchu teplotního čidla, které ukazuje svou mezní hodnotu.

Očekávalo se detekování chyby testem:

- 5 – Kontrola vybavení
- 6 – Vhodnost režimu
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

Předpokládalo se, že jednotka začne vytápět na plný výkon. Tzn. otevře se ventil ohřevu na 100 %. Teplota přiváděného vzduchu tedy bude velmi vysoká a bude překračovat maximální povolenou teplotu přiváděného vzduchu. Proto bude pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy budou pozitivní také z důvodu nízké teploty odváděného vzduchu -20°C. Dále se předpokládalo, že bude pozitivní Test 11, jelikož jednotka bude vytápět na plný výkon, ale teplota vzduchu v prostoru bude stále -20°C. Dále Test 5, jelikož jednotka bude v režimu vytápění, ale vzduch bude přiváděn pouze bypasssem, protože teplota venkovního vzduchu bude vyšší než teplota odváděného vzduchu -20°C.

Jednotka AHU18 byla v době testování mimo provoz.

Tab. 47: Testy u Poruchy 21

Jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	5, 6, 11, 14	5, 6, 11, 14	-	-
AHU2	5, 6, 11, 14	5, 6, 11, 14	-	-
AHU8	5, 6, 11, 14	3, 5, 6, 11, 14	-	3
AHU23	5, 6, 11, 14	5, 6, 11, 14	-	-
AHU24	5, 6, 11, 14	5, 6, 11, 14	-	-

AHU1:

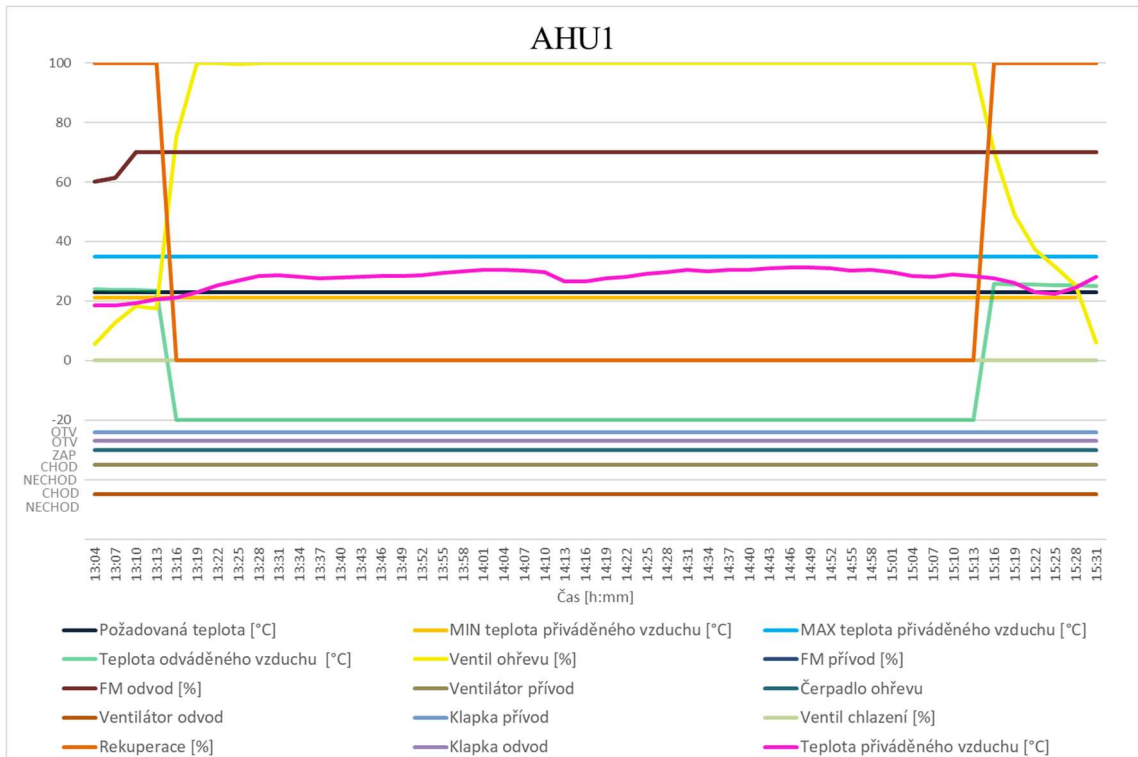
Systém Mervis SCADA:

Po spuštění poruchy došlo k uzavření rekuperačního výměníku a přivodu čerstvého vzduchu pouze bypasssem. Dále se otevřel ventil ohřevu na 100 % a vzrostla teplota přiváděného vzduchu.

Expertní systém:

Protože teplota odváděného vzduchu byla dle expertního systému velmi nízká, tedy nastavených -20°C, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Test 5 byl pozitivní, jelikož jednotka byla

v režimu vytápění, ale měla otevřený bypass. Tento stav je za normálních podmínek považován jako nepovolený, a proto test hlásil chybu. Jednotka vytápěla na plný výkon, ale teplota odváděného vzduchu byla stále -20°C, a proto byl pozitivní Test 11.



Obr. 65: Graf Poruchy 21 u jednotky AHU1

AHU8:

Jednotka byla před poruchou v režimu větrání bypasssem. Po nastavení teploty odváděného vzduchu došlo k zapnutí čerpadla ohřevu a otevření ventilu ohřevu na 100 %. Jednotka se tedy přepnula do režimu vytápění, a proto byl pozitivní Test 3. Ostatní testy byly pozitivní ze stejného důvodu jako u jednotky AHU1.

Ostatní jednotky se chovaly stejně jako AHU1.

Zhodnocení Poruchy 21:

Porucha byla u všech jednotek systémem detekována. U jednotky AHU8 byl navíc pozitivní Test 3, jelikož se jednotka přepnula z režimu větrání bypasssem rovnou do režimu vytápění. Tento přechod je považován za nepovolený, a proto byl pozitivní Test 3.

Tab. 48: Výsledky Poruchy 21

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	-	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	-	ANO	ANO

4.2.2.22 Porucha 22 – Teplotní čidlo na odvodu ze zóny udává teplotu 150°C

V programu RcWare byla nastavena teplota odváděného vzduchu ze zóny na 150°C. U jednotky AHU1, AHU2 a AHU8 trvala porucha 1h a 30 min. U jednotek AHU18, AHU23 a AHU24 porucha trvala 1h a 45 min.

Tato porucha má znázorňovat poruchu teplotního čidla, které ukazuje svou mezní hodnotu.

Očekávalo se detekování chyby testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 9 – Teplotní spád výměníku
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Komfort

Předpokládalo se, že při nastavení teploty 150°C na odvodu dojde k otevření ventilu chlazení na 100 % a bude přiváděn vzduch o nízké teplotě. Tím dojde k ochlazení vzduchu v prostoru. Z těchto důvodů bude pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka by si měla otevřít bypass, jelikož teplota venkovního vzduchu bude nižší než teplota odváděného vzduchu 150°C. V případě, že si jednotka otevře bypass až později, bude z jednotky přiváděn vzduch o teplotě nižší, než bude vypočtená teplota za rekuperačním výměníkem. Teplota za rekuperačním výměníkem není měřena, ale vypočítává se podle teploty odváděného vzduchu z prostoru a teploty přiváděného čerstvého vzduchu. Jelikož je zde teplota odváděného vzduchu nastavena v systému Mervis jako 150°C, bude vypočtena vysoká teplota za rekuperačním výměníkem. Proto bude pozitivní Test 9, jelikož jednotka bude uvažovat teplotu přiváděného vzduchu na chladič s touto vypočtenou teplotou, ale ve skutečnosti bude teplota nižší, a proto nebude dodržen předpokládaný spád chladičového výměníku. Dále se předpokládalo, že bude pozitivní Test 11, jelikož jednotka bude chladit, ale teplota odváděného vzduchu z prostoru bude stále příliš vysoká (nastavených 150°C), jednotka tedy bude mít nedostatečný výkon chladiče.

Testováno bylo všech šest VZT jednotek.

Tab. 49: Testy u Poruchy 22

Jednotka	Očekávaný test	Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
AHU1	6, 9, 11, 14	6, 7, 9, 11, 14	-	7
AHU2	6, 9, 11, 14	6, 7, 9, 14	11	7
AHU8	6, 9, 11, 14	6, 7, 9, 14	11	7
AHU18	6, 9, 11, 14	6, 11, 14	9	-
AHU23	6, 9, 11, 14	6, 7, 14	9, 11	7
AHU24	6, 9, 11, 14	3, 6, 7, 9, 14	11	3, 7

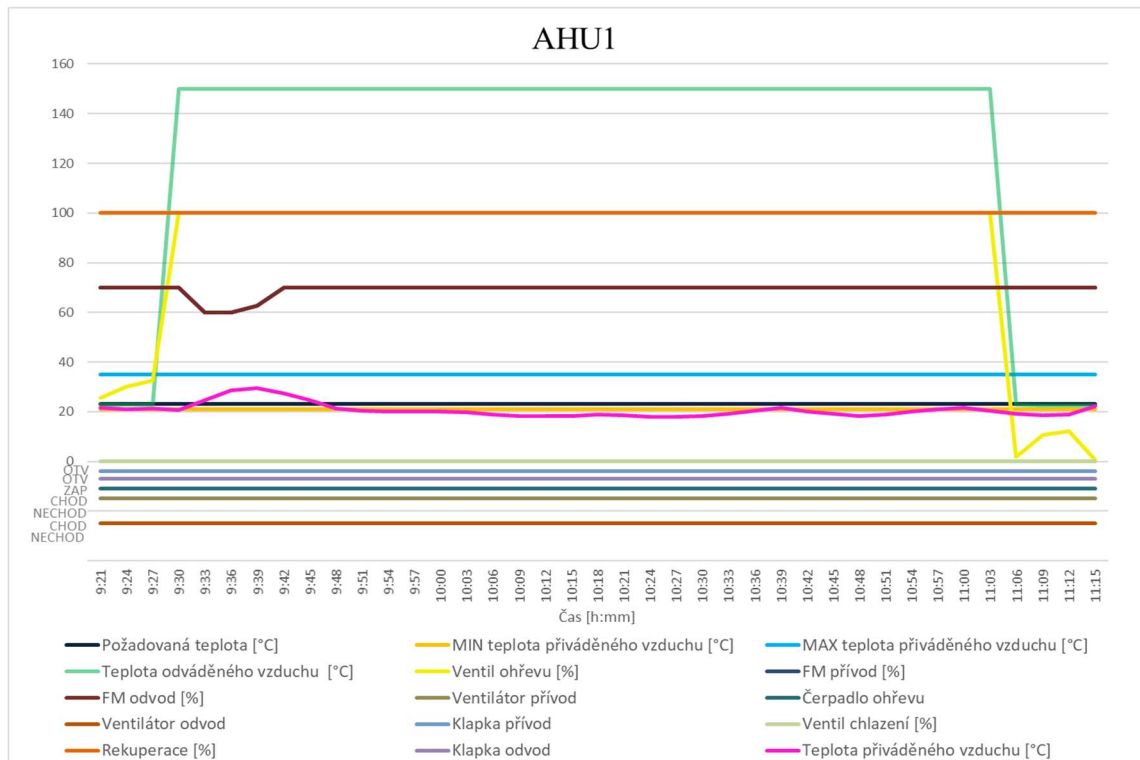
AHU1:

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po zapnutí poruchy došlo k otevření ventilu ohřevu na 100 %. Jednotka na začátku snížila výkon ventilátorů, a proto vzrostla teplota přiváděného vzduchu a následně vrátila výkon ventilátorů na 70 %. Poté začala teplota přiváděného vzduchu klesat. Teplota klesala po celou dobu testu, i když byla jednotka v režimu vytápění a měla otevřený ventil ohřevu na 100 %. To mohlo být způsobeno tím, že otopný okruh, který přivádí topnou vodu do ohřívače, má za čerpadlem umístěn z neznámého důvodu „zkrat“. Přes tento zkrat mohla být při nastavení ventilu ohřevu na 100 % přísávána chladná voda.

Expertní systém:

Jelikož byla teplota přiváděného vzduchu pod limitem minimální povolené hodnoty a teplota odváděného vzduchu byla nad limitem požadované teploty v interiéru, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Test 7 byl pozitivní, jelikož teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem byla vypočtena na cca 48,5°C, ale teplota přiváděného vzduchu do prostoru byla mnohem nižší. Dále byl pozitivní Test 9, jelikož bylo uvažováno s teplotou vzduchu před ohřivačem 48,5°C a za ohřivačem okolo 18-21°C a nebyl tak dodržen teplotní spád výměníku, jelikož teplota před ohřivačem byla ve skutečnosti mnohem nižší. Test 11 byl pozitivní, jelikož jednotka vytápěla, ale teplota přiváděného vzduchu byla pod minimální povolenou hodnotu.



Obr. 66: Graf Poruchy 22 u jednotky AHU1

AHU2:

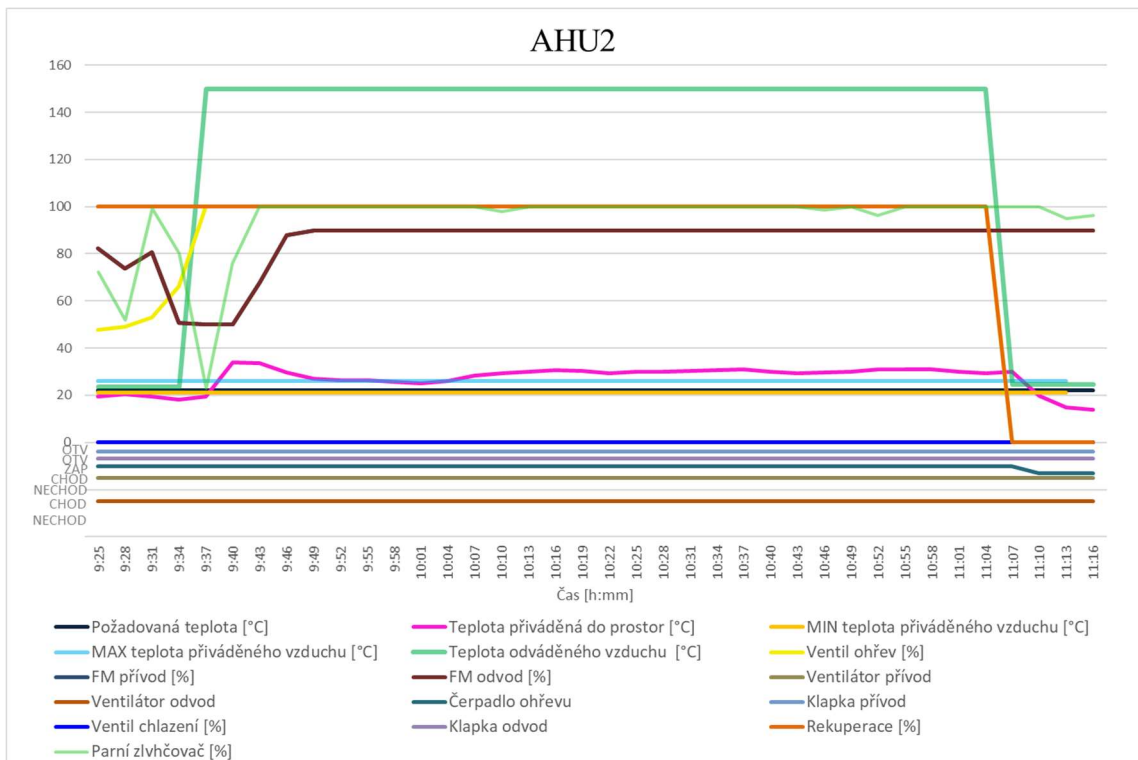
Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po zapnutí poruchy došlo k plnému otevření ventilu ohřevu i parního zvlhčovače a ke snížení výkonu ventilátorů na 50 % (FM přívod, FM odvod). Tím došlo k nárůstu teploty přiváděného vzduchu až na necelých 34°C. Výkon ventilátorů se tedy vrátil zpět na 90 % a teplota klesla na cca 26°C. Poté však opět došlo k nárůstu teploty a po celý zbytek testu se pohybovala okolo 30°C. Rekuperace po celou dobu testu byla na 100 %. Jednotka byla v režimu vytápění místo očekávaného režimu chlazení.

Expertní systém:

Jednotka byla v režimu vytápění a všechen vzduch proudil přes rekuperační výměník. Vypočítávala se tedy teplota přiváděného vzduchu za rekuperačním výměníkem. Ta byla vypočtena na cca 47°C. Z jednotky byl však přiváděn vzduch o teplotě cca 30°C. Z jednotky tedy byla přiváděna dle expertního systému nižší teplota, než byla teplota za rekuperačním výměníkem, i když byla jednotka v režimu vytápění. Proto byl pozitivní Test 7. Teplota přiváděného vzduchu i teplota odváděného vzduchu z prostoru byly mimo povolené meze, a proto byl pozitivní Test 6 a Test 14. Dále byl pozitivní Test 9, jelikož bylo uvažováno s teplotou vzduchu před ohřivačem 47°C a za ohřivačem 30°C a nebyl tak dodržen teplotní spád výměníku, jelikož teplota před ohřivačem byla ve skutečnosti mnohem

nižší. U této jednotky nebyl pozitivní Test 11, jelikož jednotka byla v režimu vlhčení a pro tento režim není Test 11 navržen. Teplota odváděného vzduchu dle nově instalovaných čidel se ve skutečnosti pohybovala mezi 24-25°C.



Obr. 67: Graf Poruchy 22 u jednotky AHU2

AHU8:

Jednotka AHU8 se chovala stejným způsobem jako jednotka AHU2, pouze byla v režimu vytápění. Měla tedy pozitivní stejné testy. Test 11 nebyl pozitivní, jelikož jednotka byla v režimu vytápění místo režimu chlazení.

AHU18:

Jednotka byla v době tetování v režimu chlazení, na nastavení teploty 150°C jednotka nijak nezareagovala a chovala se stále stejně. Testy 6 a 14 byly pozitivní již před testem z důvodu přívodu velmi nízké teploty vzduchu. Test 11 byl pozitivní od začátku poruchy, jelikož jednotka chladila, ale v prostoru byla velmi vysoká teplota vzduchu.

AHU23:

Po nastavení teploty odváděného vzduchu na 150°C došlo k plnému otevření rekuperačního výměníku. Jednotka se tedy přepnula z režimu chlazení do režimu větrání s rekuperací. Proto nebyl pozitivní Test 9 ani Test 11, jelikož jsou oba určeny pouze pro režim vytápění nebo chlazení.

AHU24:

Jednotka se přepnula z režimu chlazení bypassem do režimu vytápění. Tento přechod je považován za nepovolený, a proto byl pozitivní Test 3. Test 6, 9 a 14 byly pozitivní ze stejného důvodu jako u jednotky AHU2. Test 11 byl opět negativní, jelikož jednotka byla v režimu vytápění a poté v režimu větrání.

Zhodnocení Poruchy 22:

Předpokládalo se, že jednotky po zapnutí poruchy začnou chladit. Ve skutečnosti se však jednotky, kromě AHU18 z neznámého důvodu snažili co nejvíce zvýšit teplotu přiváděného vzduchu. Chyba sice byla detekována téměř stejnými testy jako se předpokládalo, ale důvod jejich aktivování byl jiný. Způsobovaná porucha tedy byla i přes jiné očekávání chování VZT jednotek u všech jednotek systémem detekována.

Tab. 50: Výsledky Poruchy 22

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná	Očekávaná
Chyba detekována:	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

4.2.2.23 Porucha 23 – Zavřený rekuperační výměník

Porucha byla způsobena pomocí programu RcWare, kde byla na tři hodiny a dvacet minut uzavřena klapka rekuperačního výměníku.

Porucha má simulovat mechanicky uzavřenou klapku rekuperačního výměníku nebo rozbitý servopohon klapky.

Očekávalo se, že chyba bude detekována Testem:

- 7 – Spojitost
- 9 – Teplotní spád výměníku
- 11 – Nedostatečný výkon

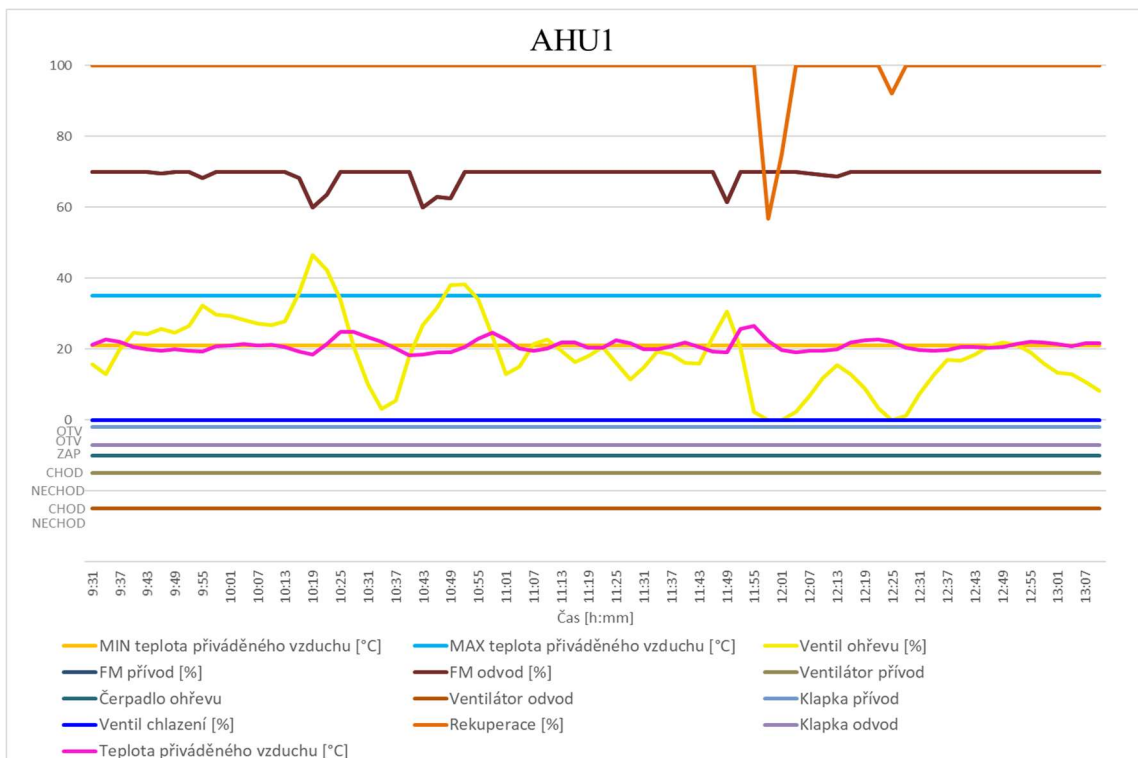
Předpokládalo se, že se uzavření klapky nepropíše do systému Mervis SCADA. V systému se rekuperační výměník stále bude jevit jako otevřený. Jelikož teplota přiváděného vzduchu za rekuperačním výměníkem není měřena, vypočítává se její teplota. Protože bude ve skutečnosti na ohřívač přiváděn vzduch o venkovní teplotě, teplota přiváděného vzduchu bude nižší než požadovaná a bude pozitivní Test 7. Ze stejného důvodu bude pozitivní Test 9, jelikož teplotní spád na ohřívači bude větší než očekávaný, protože na výměník bude přiváděna nižší teplota než vypočítaná teplota za rekuperačním výměníkem. Tento test se projeví pouze pokud bude velký rozdíl mezi teplotou venkovního vzduchu a teplotou odváděného vzduchu. Teplota přiváděného vzduchu bude pod minimální povolenou hodnotou, popřípadě teplota vzduchu v interiéru pod limitem požadované teploty, a proto bude pozitivní Test 6 a Test 11. Také může být pozitivní i Test 14, pokud teploty budou stále pod limitem.

Jednotka AHU18, AHU23 a AHU24 byly v době testování mimo provoz.

Tab. 51: Testy u Poruchy 23

Jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	Vždy	Za urč. podm.			
AHU1	6, 7, 11	9, 14	3, 5, 6, 7, 11	-	3, 5
AHU2	6, 7, 11	9, 14	6, 7, 11, 14	-	-
AHU8	6, 7, 11	9, 14	3, 5, 7, 17	6, 11	3, 5, 17

AHU1:



Obr. 68: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU1

System Mervis SCADA:

Po spuštění poruchy došlo k poklesu teploty přiváděného vzduchu, a proto se více otevřel ventil ohřevu. Jelikož teplota odváděného vzduchu byla skoro na požadované teplotě, snažila se jednotka pomocí otevírání ventilu ohřevu a snižování výkonu ventilátorů (FM přívod, FM odvod) udržet teplotu přiváděného vzduchu nad minimální požadované teplotě přiváděného vzduchu. Jednotka tedy byla v režimu vytápění, pouze ve 12:00 uzavřela ventil ohřevu a částečně otevřela bypass.

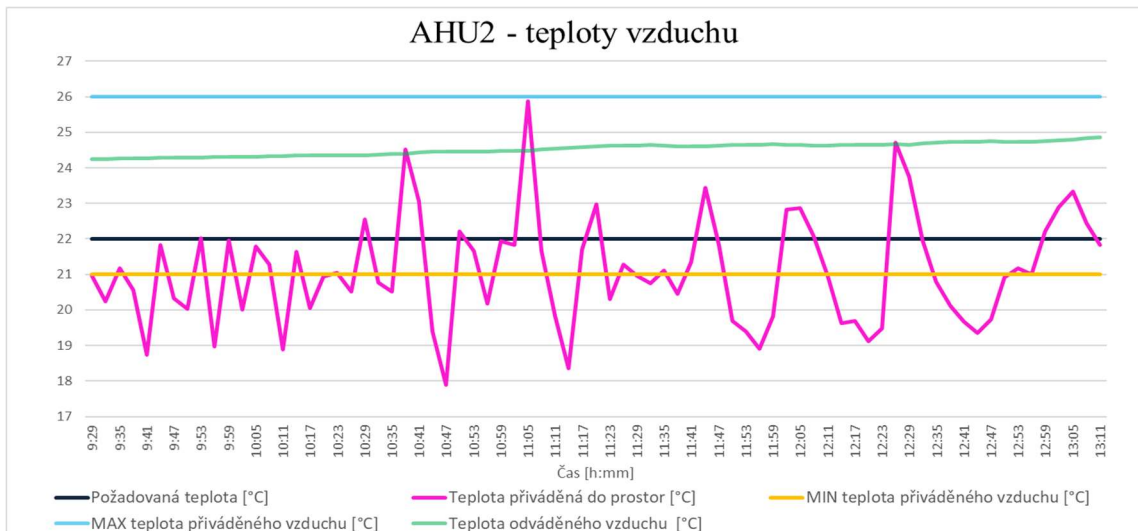
Expertní systém:

Jelikož jednotka uzavřela na chvíli ventil ohřevu a otevřela bypass, přepnula se z režimu vytápění do režimu větrání bypassem. Proto byl pozitivní Test 3. V době, kdy se jednotka přepnula do režimu větrání, zůstalo zapnuté čerpadlo ohřevu, a proto byl pozitivní Test 5. Test 6 byl pozitivní, protože teplota přiváděného vzduchu klesala pod minimální povolenou hodnotu. Z jednotky byla přiváděna poměrně nízká teplota vzduchu na to, že jednotka byla v režimu vytápění a má i silný ventilátor. Proto byl pozitivní Test 7. Jednotka vytápěla, ale teplota vzduchu byla pod minimální povolenou hodnotou, a proto byl pozitivní Test 11.

AHU2:



Obr. 69: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU2



Obr. 70: Graf teplot vzduchu při Poruše 23 u jednotky AHU2

Systém Mervis SCADA:

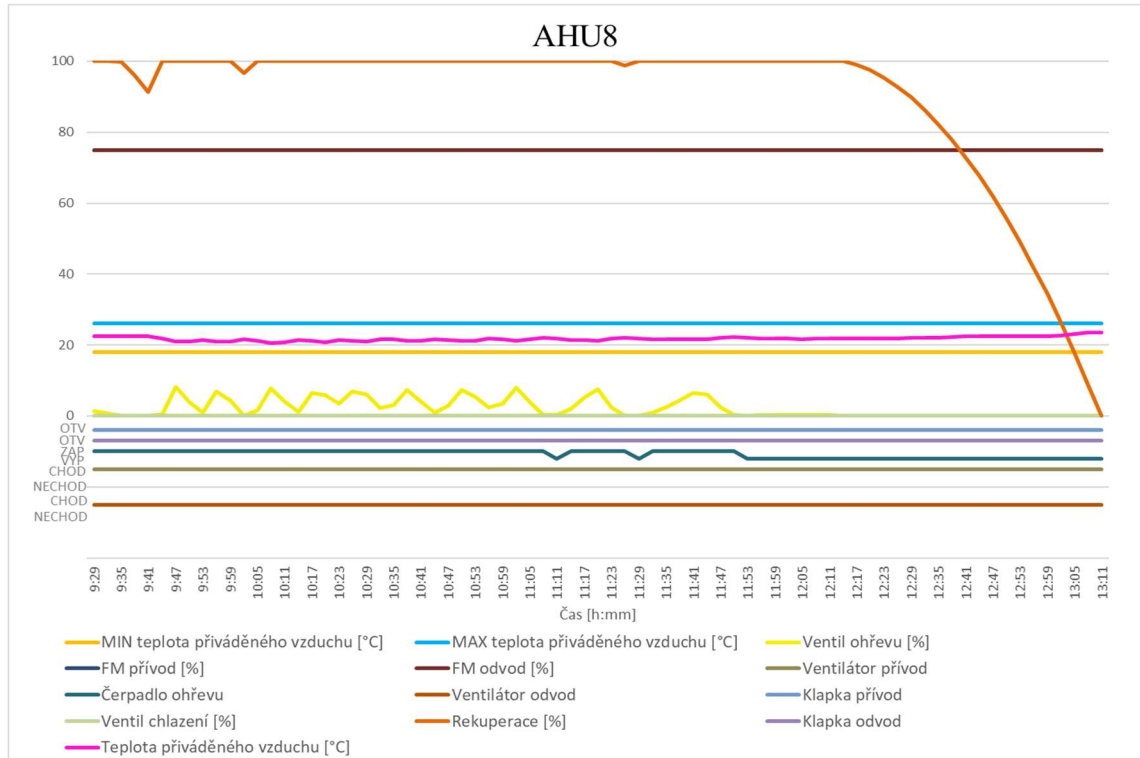
Jednotka AHU2 se chovala podobně jako AHU1. Po zapnutí poruchy se snížila teplota přiváděného vzduchu, proto došlo k otevření ventilu ohřevu na více procent. Teplota v prostoru byla již před testem o 2K vyšší, než je požadovaná teplota v prostoru. Proto se jednotka snažila pouze udržet teplotu přiváděného vzduchu nad minimální povolenou hodnotou tím, že otvírala ventil ohřevu a snižovala výkon ventilátorů.

Expertní systém:

Test 6 byl pozitivní již před testem, jelikož teplota odváděného vzduchu z interiéru byla od 8:30 vyšší o 2K než požadovaná teplota vzduchu v prostoru 22°C. Test byl pozitivní i z důvodu klesání teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu. Test 14

začal být pozitivní až během testu cca v 10:20, jelikož teplota odváděného vzduchu stále stoupala. Test 11 byl opět pozitivní z důvodu klesající teploty přiváděného vzduchu pod minimální povolenou hodnotu v době, kdy jednotka vytápěla, a měla tak dle systému nedostatečný výkon ohřivače.

AHU8:



Obr. 71: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU8

Systém Mervis SCADA:

Jednotka na začátku testu byla chvilku v režimu větrání a částečně otevřela bypass. Poté udržovala požadovanou teplotu přiváděného vzduchu otevřením ventilu ohřevu. Kolem 12:20 se jednotka přepnula do režimu větrání bypasssem. Teplota přiváděného vzduchu a teplota vzduchu v prostoru zůstaly během celého testu v požadovaných mezích.

Expertní systém:

Jelikož se během testu přepnula jednotka nejdříve z režimu větrání bypasssem do režimu vytápění a následně zpět, byl pozitivní Test 3. Test 5 byl pozitivní, jelikož se během režimu vytápění několikrát otevřel bypass. V době, kdy byla jednotka v režimu větrání bypasssem, byl z jednotky přiváděn teplejší vzduch, než byla teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem. Proto byl pozitivní Test 7. Test 6 zůstal negativní, jelikož nebyly překročeny teplotní limity. Jednotka měla otevřený ventil ohřevu na málo procent v poměru k nízké teplotě venkovního vzduchu, proto měla jednotka dle expertního systému předimenzovaný výměník, tedy pozitivní Test 17, to bylo zřejmě způsobeno rozbitým ventilem ohřevu.

Zhodnocení Poruchy 23:

U jednotky AHU1 a AHU2 byla chyba systémem detekována. U jednotky AHU8 došlo k detekování jiné chyby, jednotka zřejmě měla rozbitý ventil ohřevu, jelikož jednotka při režimu vytápění měla pozitivní Test 17, neboli předimenzování ohřivače a v době, kdy

byla v režimu větrání bypassem, byl z jednotky přiváděn mnohem teplejší vzduch, než byla teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem. Je tedy zřejmé, že do jednotky unikalo teplo a předávalo se do proudu vzduchu.

Tab. 52: Výsledky Poruchy 23

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Jiná	Jiná	Jiná	-	-	-
Chyba detekována:	ANO	ANO	NE	-	-	-

4.2.2.24 Porucha 24 - Ventil chlazení zaseknutý v mezipoloze, režim chlazení

Porucha byla provedena pomocí programu RcWare, kde byl na hodinu a půl nastaven ventil chlazení na 50 % svého otevření v době, kdy byla jednotka v režimu chlazení.

Porucha simuluje mechanické nastavení ventilu chlazení nebo porouchaný servopohon ventilu chlazení.

Očekávalo se, že chyba bude detekována Testem:

- 6 – Vhodnost režimu
- 11 – Nedostatečný výkon
- 14 – Ohrožení komfortu
- 17 – Předimenzování výkonu komponent

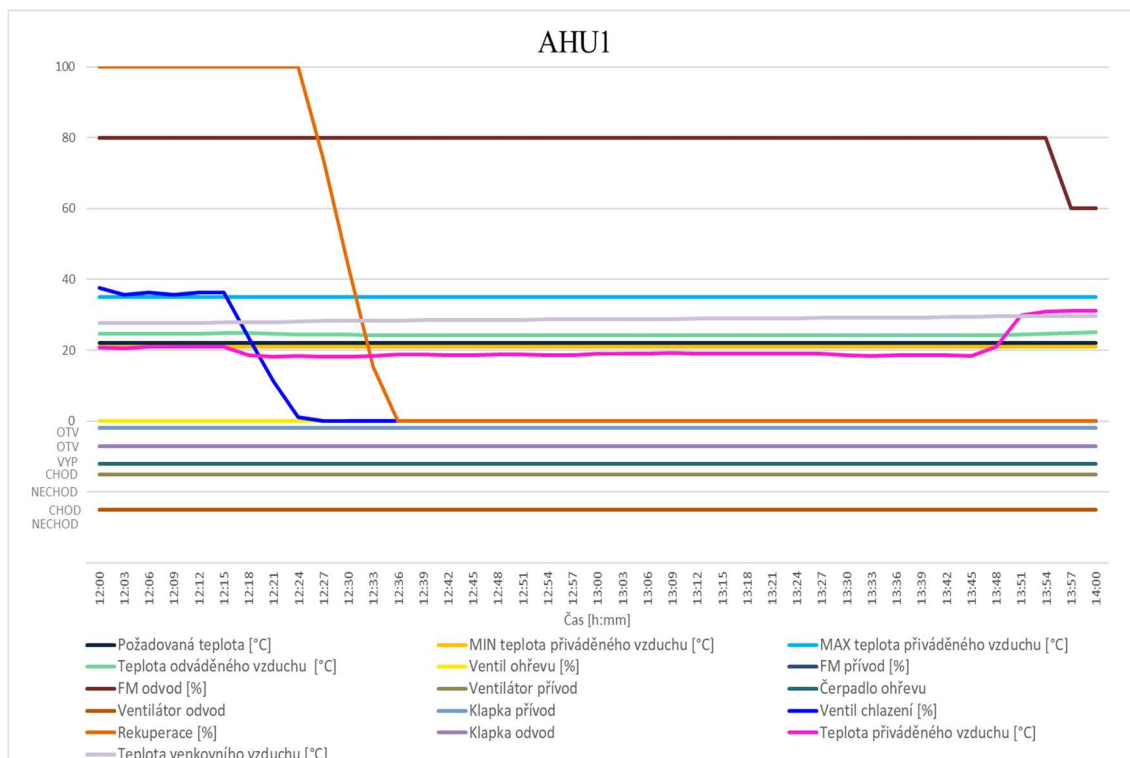
Předpokládalo se, že jednotka bude buď potřebovat chladit méně nebo více. V případě že bude potřeba více chladit, bude z jednotky přiváděn vzduch o vyšší teplotě, než bude požadovaná teplota přiváděného vzduchu. V případě, že překročí maximální povolenou hodnotu přiváděného vzduchu bude pozitivní Test 6 a Test 14. Tyto testy budou pozitivní také pokud dojde k překročení limitní hodnoty požadované teploty v interiéru. Jelikož bude potřeba chladit více, ventil v systému Mervis SCADA se bude jevit jako plně nebo téměř otevřen, ale z jednotky bude přiváděn vzduch o nízké teplotě, a proto bude pozitivní Test 11, neboli nedostatečný výkon chladiče. V opačném případě bude z jednotky přiváděn vzduch o příliš nízké teplotě, a proto může dojít k poklesu teploty pod minimální povolenou hodnotu a to může také způsobit pokles požadované teploty v prostoru pod limitní hodnotu a budou pozitivní Testy 6 a 14. Jelikož bude potřeba méně chladit bude se ventil chlazení v systému Mervis SCADA jevit jako uzavřen nebo téměř uzavřen, ale z jednotky bude přiváděn vzduch o nízké teplotě, protože ve skutečnosti bude ventil chlazení nastaven na 50 %. Proto bude pozitivní Test 17, předimenzování chladiče.

U jednotky AHU8 a AHU18 nebylo možné poruchu testovat.

Tab. 53: Testy u Poruchy 24

Jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	1 varianta	2 varianta			
AHU1	6, 11, 14	6, 14, 17	5, 6, 7, 14	17	5, 7
AHU2	6, 11, 14	6, 14, 17	14, 15	6, 11	15
AHU23	6, 11, 14	6, 14, 17	6, 11, 14	-	-
AHU24	6, 11, 14	6, 14, 17	-	6, 11, 14	-

AHU1:



Obr. 72: Graf Poruchy 24 u jednotky AHU1

Systém Mervis SCADA:

Po nastavení ventilu chlazení na 50 % došlo k poklesu teploty přiváděného vzduchu. Proto se uzavřel rekuperační výměník a všechny vzduch proudil bypassem, jelikož teplota venkovního vzduchu byla vyšší, než teplota odváděného vzduchu. Dále se dle systému Mervis SCADA uzavřel ventil chlazení a jednotka se tak přepnula do režimu větrání bypassem.

Expertní systém:

Test 5 byl pozitivní opět z důvodu běžícího centrálního čerpadla chlazení. Test 6 a Test 14 byly pozitivní již před poruchou, jelikož teplota odváděného vzduchu byla o více než 2K vyšší než požadovaná teplota v prostoru 22°C. Během poruchy byly tyto testy pozitivní ještě z důvodu překročení minimální povolené teploty přiváděného vzduchu. Test 7 byl pozitivní, jelikož se jednotka přepnula do režimu větrání bypassem a teplota venkovního vzduchu byla vyšší, než je teplota přiváděného vzduchu. Je tedy zřejmé, že docházelo k ochlazení vzduchu v jednotce. Test 17 nebyl pozitivní, jelikož se jednotka přepnula do režimu větrání.

AHU2:

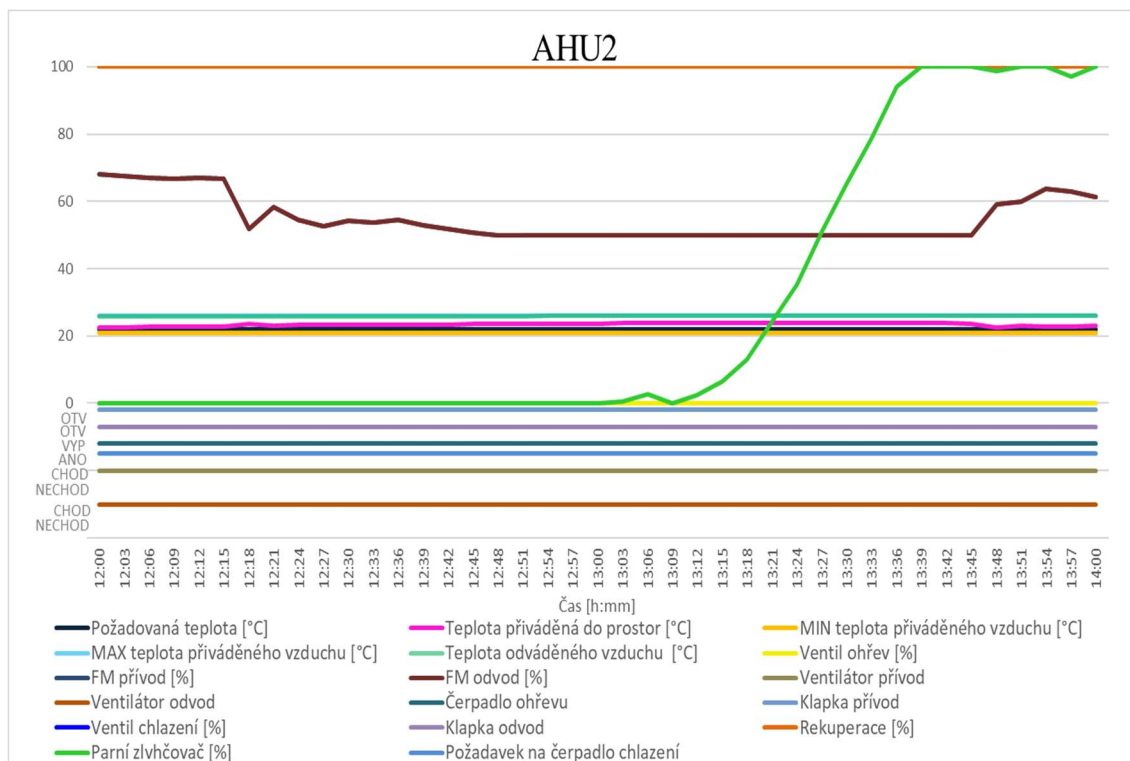
Systém Mervis SCADA:

Ventil ohřevu byl před poruchou otevřen na 100 % a během poruchy zůstal dle systému stále plně otevřen. Z grafu lze vidět, že po zapnutí poruchy došlo pouze k velmi malému nárůstu teploty přiváděného vzduchu. Po jedné hodině odpoledne došlo k zapnutí parního vlhčení.

Expertní systém:

Jednotka byla v režimu chlazení a poté začala vlhčit. Proto se přepnula do neznámého režimu a byl pozitivní Test 15. Test 14 byl pozitivní již před testem, jelikož teplota

odváděného vzduchu byla o více než 2K vyšší. Jednotka obsluhuje prostor kanceláří, kde jsou k chlazení použity fan-coily. Je zde zřejmě nevhodně navrženo chlazení na to, aby byla dodržena požadovaná teplota $22\pm 2^{\circ}\text{C}$. Test 6 zůstal negativní, jelikož teplota přiváděného vzduchu a teplota v prostoru byla v požadovaných mezích pro tento test. Test 11 nebyl pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu nepřekračovala maximální povolenou hodnotu.



Obr. 73: Graf Poruchy 24 u jednotky AHU2

AHU23:

U jednotky AHU 23 se jednotka chovala tak, jak se předpokládalo. Měla pozitivní Test 6, 11 a 14, to znamená, že by bylo potřeba u této jednotky více chladit.

AHU24:

Jednotka AHU24 neměla pozitivní žádný test. U této jednotky byl zřejmě rozbitý ventil chlazení, jelikož byl z jednotky přiváděn teplejší vzduch, než byla teplota venkovního vzduchu v době, kdy jednotka byla v režimu chlazení.

Zhodnocení Poruchy 24:

U jednotky AHU2 nebyla chyba systémem detekována, jelikož s jednotka snížila výkon ventilátorů, aby udržela požadovanou teplotu přiváděného vzduchu. U jednotky AHU24 byl rozbitý ventil chlazení, a proto nebyly pozitivní žádné testy. U ostatních jednotek byla chyba systémem detekována.

Tab. 54: Výsledky Poruchy 24

Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Jiná	-	-	Očekávaná	Jiná
Chyba detekována:	ANO	NE	-	-	ANO	NE

4.2.2.25 Porucha 25 - Ventil chlazení trvale otevřen, režim chlazení

V programu RcWare byl na hodinu a půl ventil chlazení nastaven na 100 % otevření v době, kdy jednotka byla v režimu chlazení.

Tato porucha simuluje mechanické nastavení ventilu nebo rozbitý servopohon ventilu chlazení.

Očekávalo se, že chyba bude detekována Testem:

6 – Vhodnost režimu

7 – Spojitost

14 – Ohrožení komfortu

17 – Předimenzování výkonu komponent

Předpokládalo se, že z jednotky bude přiváděn vzduch o nižší teplotě než je požadovaná teplota a může dojít k překročení minimální povolené hodnoty přiváděného vzduchu a tím i k poklesu teploty vzduchu v prostoru pod limit požadované teploty. Proto se předpokládalo, že bude pozitivní Test 6 a Test 14. Jelikož jednotka bude chladit více, než bude potřeba, může dojít k přepnutí z režimu chlazení na režim větrání, a proto bude pozitivní Test 7. Jelikož teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem bude výrazně vyšší, než bude teplota přiváděného vzduchu. A Test 17, pokud jednotka bude stále v režimu chlazení, ale ventil chlazení bude dle systému Mervis SCADA nastaven na minimální otevření, ale z jednotky bude přiváděn příliš chladný vzduch.

Jednotky AHU23 a AHU24 byly v době testování mimo provoz.

Tab. 55: Testy u Poruchy 25

Jednotka	Očekávaný test		Pozitivní test	Chybějící test	Přebývající test
	Vždy	Za urč. podm.			
AHU1	6, 14	7, 17	5, 6, 7, 14	-	5
AHU2	6, 14	7, 17	6, 11, 14	-	11
AHU8	6, 14	7, 17	5, 6, 7, 14	-	5
AHU18	6, 14	7, 17	17	6, 14	-

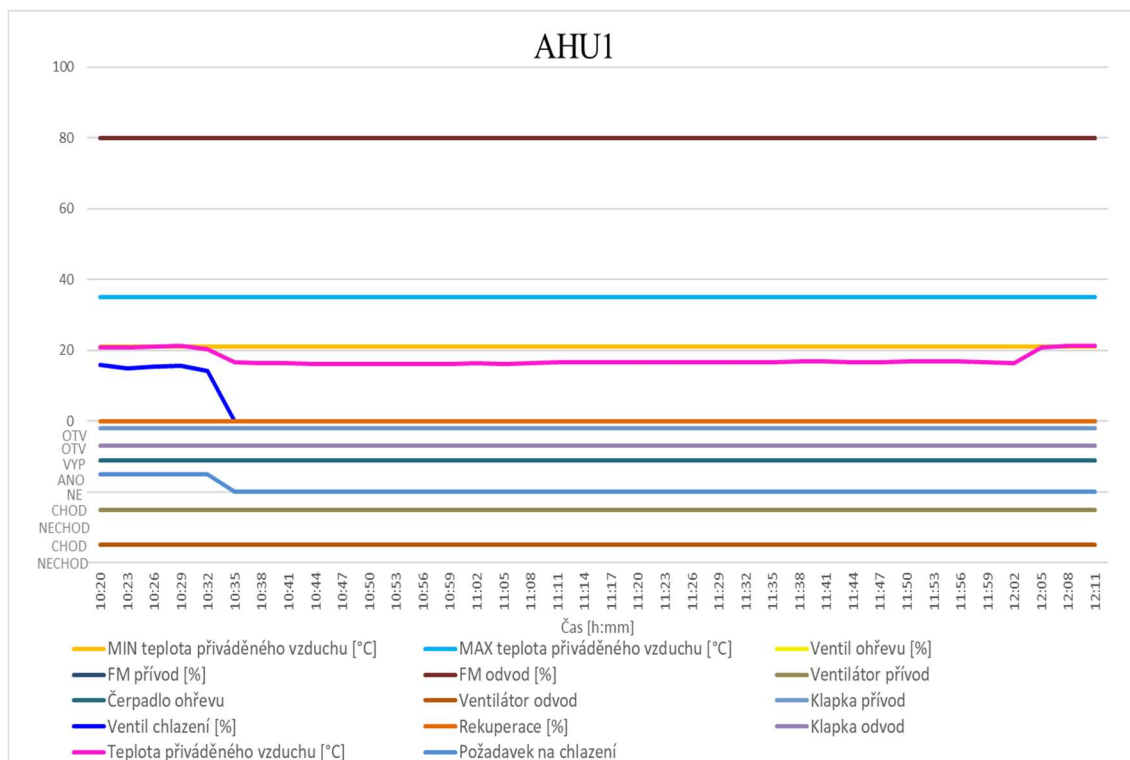
AHU1:

Systém Mervis SCADA:

Z grafu lze vidět, že po zapnutí poruchy došlo ke snížení teploty přiváděného vzduchu na cca 16°C. Proto se dle systému Mervis uzavřel ventil chlazení. Ve skutečnosti byl ventil chlazení otevřen na 100 %, a proto byla teplota přiváděného vzduchu po celou dobu testu pod minimální povolenou hodnotu. Teplota odváděného vzduchu byla po celou dobu testu v požadovaných mezích.

Expertní systém:

Jelikož byla teplota pod minimální povolenou hodnotou přiváděného vzduchu, byl pozitivní Test 6 a Test 14. Z grafu lze vidět, že jednotka nevysílala požadavek na čerpadlo chlazení, ale jednotky AHU2 a AHU18 v tu dobu byly v režimu chlazení, a proto bylo zapnuté čerpadlo chlazení a byl pozitivní Test 5. Jednotka byla v režimu větrání bypassem, ale z jednotky byl přiváděn vzduch výrazně nižší, než byla teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem, a proto byl pozitivní i Test 7.



Obr. 74: Graf Poruchy 25 u jednotky AHU1

AHU2:

Jednotka byla během celého testu v režimu chlazení. Měla pozitivní Test 6 i Test 14 již před testem, z důvodu neklesající teploty odváděného vzduchu během dne pod 25°C. Tyto testy byly během poruchy navíc pozitivní, jelikož teplota přiváděného vzduchu klesla pod minimální povolenou hodnotu. Jelikož byla teplota odváděného vzduchu vysoká, ale jednotka byla v režimu chlazení, byl pozitivní Test 11, nedostatečný výkon chladiče.

AHU8:

Jednotka se chovala stejným způsobem jako AHU1.

AHU18:

U jednotky AHU18 zůstala teplota přiváděného i odváděného vzduchu v požadovaných mezích. Proto nebyl pozitivní Test 6 a Test 14. Jednotka ke konci testu snížila dle systému Mervis otevření ventilu chlazení na cca 4 %, ale z jednotky stále byla přiváděna nízká teplota vzduchu, a proto byl pozitivní test 17.

Zhodnocení poruchy 25:

U jednotky AHU1 a AHU8 byla chyba systémem detekována. U jednotky AHU2 byly všechny testy pozitivní již před testem, jelikož teplota odváděného vzduchu z prostoru byla příliš vysoká. Tím byla zamaskována způsobená porucha a nedošlo tak k jejímu odhalení. U jednotky AHU18 zůstaly teploty v požadovaných mezích, zřejmě díky rozbitému ventilu ohřevu. Ventil chlazení byl otevřen na málo procent v poměru s přiváděnou teplotou vzduchu. Proto byl pozitivní Test 17. I přesto, že u jednotky byl pouze pozitivní Test 17, byla chyba tímto testem detekována.

Tab. 56: Výsledky Poruchy 25

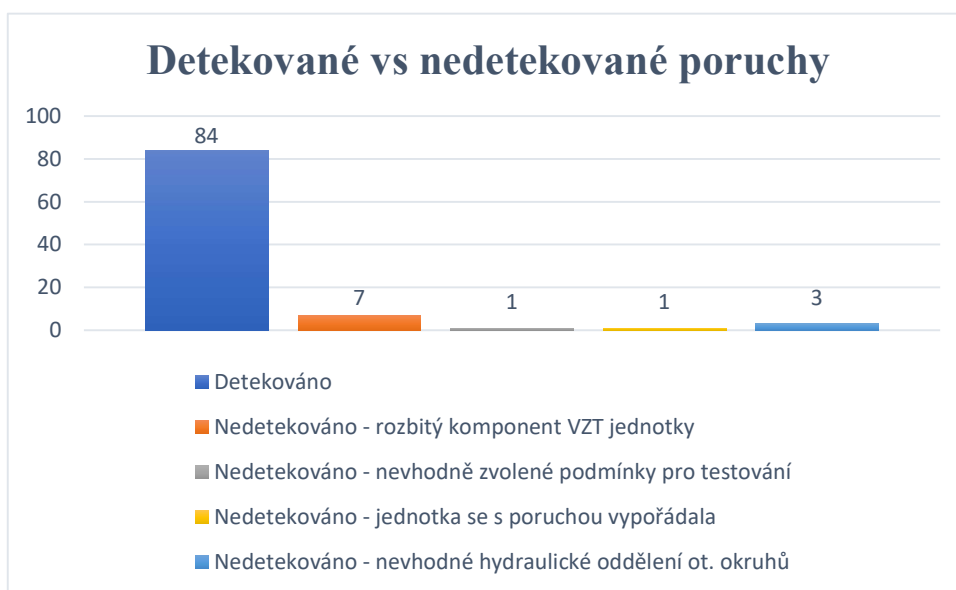
Jednotky:	AHU 1	AHU 2	AHU 8	AHU 18	AHU 23	AHU 24
Reakce:	Očekávaná	Jiná	Očekávaná	Jiná	-	-
Chyba detekována:	ANO	NE	ANO	ANO	-	-

4.3 Celkové zhodnocení detekčního systému

4.3.1 Detekované vs nedetekované poruchy

Pro ověření účinnosti detekčního systému bylo způsobeno celkem 25 poruch na šesti vzduchotechnických jednotkách. Poruchy byly prováděny s ohledem vlivu poruch na uživatele budovy, a proto nebylo vždy možné způsobit poruchy na všech jednotkách. Některé jednotky byly také v době testování odpojeny z provozu a nebylo je možné testovat. Celkem tedy bylo provedeno 100 zásahů do vzduchotechnických jednotek. Z těchto 100 zásahů bylo 84 zásahů systémem detekováno a 16 zůstalo negativních. Podle těchto výsledků se účinnost detekčního systému jeví jako z 81 % úspěšná. U Poruchy 7 nebyla chyba detekována u 4 jednotek, jelikož se předpokládalo, že chyba bude detekována pouze v případě, že bude rozbitý ventil ohřevu. Jednotky, které ventil ohřevu rozbitý neměly, lze tedy u této konkrétní poruchy ze statistiky vyjmout, jelikož chyba tak nemohla být detekována. Tím se úspěšnost detekčního systému zvýší na 86 %.

Ve skutečnosti je však účinnost systému vyšší, jelikož nedetekované poruchy nebyly chybou detekčního systému, ale nevhodně zvolenými podmínkami na testování pro danou jednotku, rozbitými komponenty na VZT jednotce, nevhodným hydraulickým oddělením otopných okruhů nebo jednotka i s poruchou fungovala a nepřekračovala žádné stanovené meze. Uměle způsobované poruchy tak byly buď zamaskovány nebo byla detekčním systémem detekována porucha způsobená rozbitými komponenty VZT jednotky.



Obr. 75: Graf detekovaných vs nedetekovaných poruch

Do nedetekovaných poruch z důvodu nevhodně zvolených podmínek patří Porucha 25 u jednotky AHU2. Všechny testy byly u této jednotky pozitivní již před způsobovanou poruchou, z důvodu překročení limitních hodnot teploty v interiéru.

V některých případech se jednotka dokázala s danou poruchou vypořádat sama a nedošlo tak k detekování poruchy. Jedná se o Poruchu 24 u jednotky AHU2, zde došlo k uzavření ventilu chlazení na 50 %. Jednotka původně chladila na 100 %, ale snížila si výkon ventilátorů a tím byly dodrženy teplotní limity přiváděného vzduchu. Proto nebyla tato porucha systémem detekována.

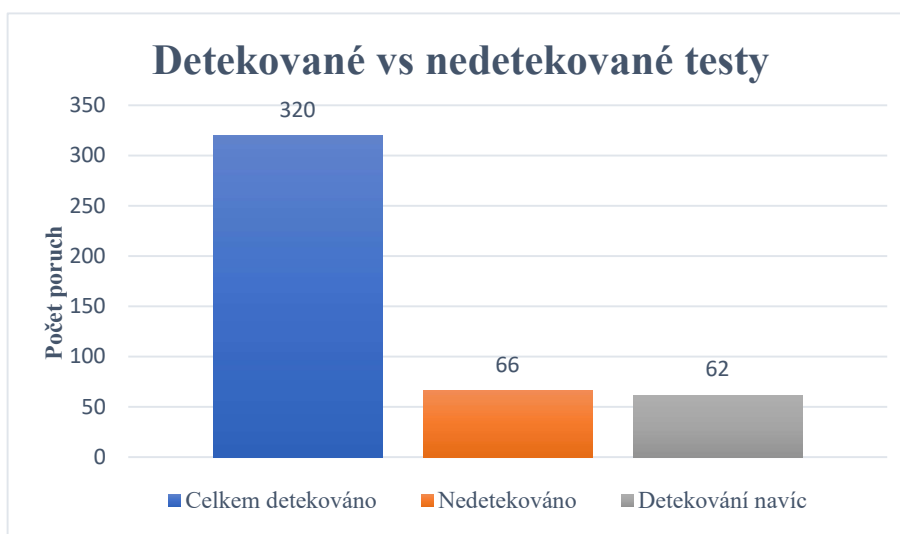
Nejvíce nedetekovaných chyb bylo způsobeno rozbitými komponenty vzduchotechnických jednotek. Porucha 4, neboli uzavřen ventil na chladiči, u jednotky AHU8 nebyla detekována, jelikož má jednotka rozbitý ventil ohřevu. Proto se jednotka i při poruše chovala stále konstantně a neprojevila se žádná změna v teplotě přiváděného vzduchu. Tato porucha se projevila i v dalších způsobovaných poruchách. U Poruchy 15, neboli cyklování režimů, kdy se přenastavovala požadovaná teplota vzduchu, jednotka

nereagovala na povel požadované teploty a chovala se opět stejně jako před poruchou. U Poruchy 23 byla tato porucha detekována Testem 17, neboli předimenzování ohříváče, jelikož jednotka měla zřejmě ventil otevřen na více procent, než se zobrazuje v systému Mervis SCADA. Další poruchou je rozbitý ventil chlazení u jednotky AHU18. Ventil je netěsný a v případě, že jednotka má mít ventil chlazení uzavřen, dochází k úniku chladu do jednotky. Tato porucha se projevila právě při Poruše 5, kdy měl být ventil chlazení uzavřen v době, kdy jednotka byla v režimu chlazení. Porucha tedy nebyla detekována. Dále bylo zjištěno, že jednotky mají nevhodně hydraulicky oddělené otopné okruhy. I při vypnutém čerpadle ohřevu u jednotky dokáže zajistit částečný přívod otopné vody pouze centrální čerpadlo ohřevu. Touto poruchou byla ovlivněná záměrně způsobovaná Porucha 6, kdy bylo právě vypnuto čerpadlo, ale ventil ohřevu zůstal otevřen. Do jednotky se tedy dostávala otopná voda, a proto tato porucha nebyla u jednotky AHU18 a AHU23 detekována. Dále bylo zjištěno, že u jednotky AHU23 byl po celou dobu provozu plně otevřen bypass a rekuperační výměník tak nebyl využíván. Tato porucha ovlivnila například Poruchu 7, kdy bylo zapnuté čerpadlo vytápění při režimu větrání. Tato porucha nebyla detekována, ale byl pozitivní Test 7, jelikož byl z jednotky přiváděn chladnější vzduch, než byla vypočtená teplota vzduchu za rekuperačním výměníkem. Tato jednotka měla dále rozbitý ventil chlazení. To se projevilo například u Poruchy 5, kdy byl u jednotky uzavřen ventil chlazení. Do jednotky i přes uzavření unikl chlad, a proto nebyly pozitivní žádné předpokládané testy. U jednotky AHU24 je také zřejmě rozbitý ventil chlazení. To se projevilo u Poruchy 2, kde byly uzavřeny klapky při režimu chlazení. Teplota přiváděného vzduchu tedy měla začít klesat, ale místo toho teplota rostla. Před uzavřením klapky byla jednotka v režimu chlazení, ale teplota přiváděného vzduchu byla téměř stejná, jako teplota venkovního vzduchu. Je tedy zřejmé, že jednotka téměř nechládila. Porucha se dále projevila u Poruchy 24, kdy byl ventil chlazení zaseknut v mezipoloze, ale z jednotky byl opět přiváděn téměř stejně teplý vzduch, jako byla teplota venkovního vzduchu.

Ne vždy se jednotky chovaly tak, jak se předpokládalo. U Poruchy 22 k detekování poruchy sice došlo, ale předpokládalo se, že při nastavení teploty odváděného vzduchu na 150°C dojde k otevření chladiče a přívodu vzduchu o nízké teplotě. Ve skutečnosti však jednotky začaly vytápět na plný výkon a docházelo k přivádění teplejšího vzduchu než před poruchou.

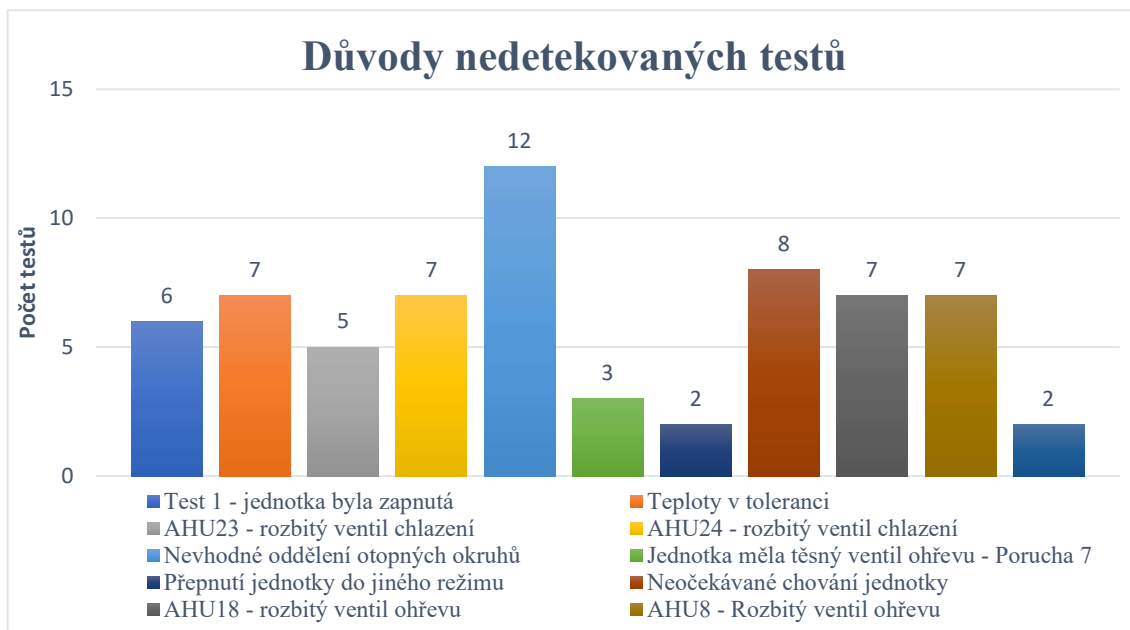
Po prozkoumání nedetekovaných poruch bylo zjištěno, že expertní systém má mnohem vyšší účinnost než je 86 %.

4.3.2 Detekované vs nedetekované testy



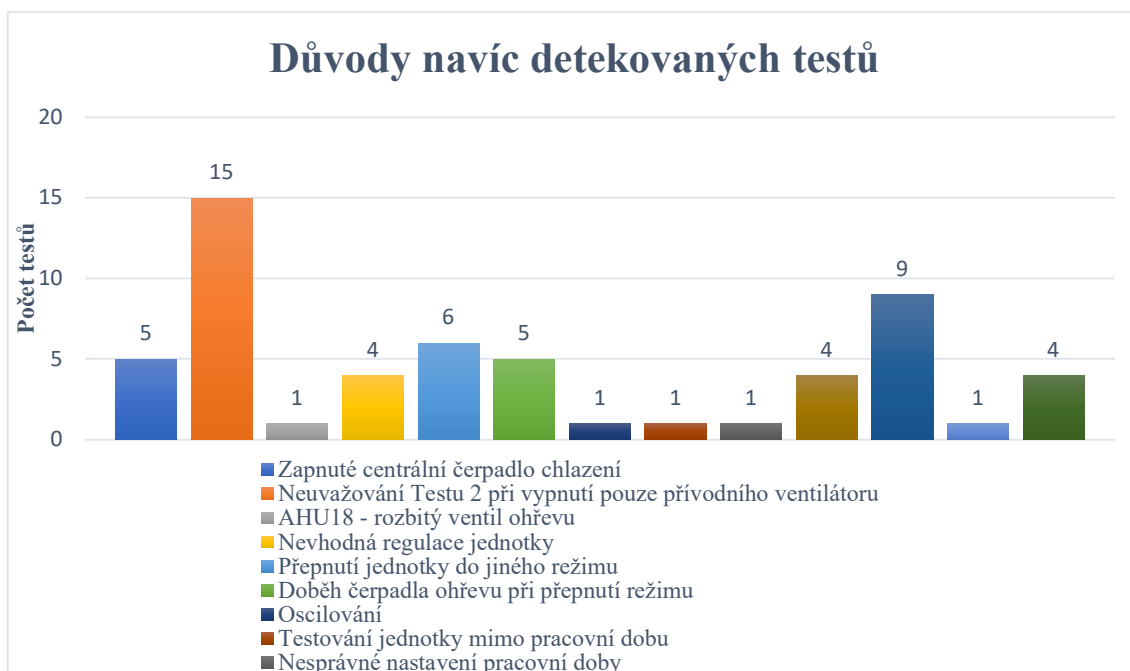
Obr. 76: Graf detekovaných vs nedetekovaných testů

Celkově bylo detekováno 320 testů a 66 předpokládaných testů nebylo detekováno. Z těchto 320 detekovaných testů bylo navíc detekováno 62 testů.



Obr. 77: Graf nedetekovaných testů

Navíc detekované testy byly převážně způsobeny rozbitými komponenty VZT jednotek, neuvažováním Testu 2 v případě, že bude vypnutý pouze přívodní ventilátor, přepínání režimů jednotky apod. Pouze pozitivní testy z důvodu běžícího čerpadla chlazení a nesprávné nastavení pracovní doby jednotky jsou chybou detekčního systému. Podle tohoto výsledku by se dalo říct, že testované testy detekčního systému jsou z 98 % úspěšné. Tímto se tedy potvrdila funkčnost detekčního systému.



Obr. 78: Graf navíc detekovaných testů

5 Závěr

V této diplomové práci bylo navrženo a provedeno 25 poruch na vzduchotechnických jednotkách v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Pomocí těchto poruch byla ověřena funkčnost třinácti testů detekčního systému. Na první pohled se po testování tyto testy jeví jako z 81 % úspěšné. Po podrobném přezkoumání však byla zjištěna 98% úspěšnost, jelikož většina nedetekovaných poruch byla způsobena rozbitými komponenty vzduchotechnických jednotek a nikoli nefunkčností testovaného expertního systému.

Pomocí tohoto testování bylo zjištěno, že u Testu 1 není nastavena pracovní doba jednotek a je pro všechny jednotky použita pracovní doba od 8 do 17 hodin. Je tedy nutné do expertního systému pracovní dobu jednotek doplnit. Dále bylo zjištěno, že se tento test řídí podle frekvenčního měniče přívodního ventilátoru a nikoli dle signalizace chodu jednotky v systému Mervis SCADA. To znamená, že pokud by jednotky měly nastavené spínání podle kvality vzduchu, Test 1 by hlásil falešné alarmy v době, kdy by byla kvalita vzduchu v požadovaných mezích a jednotka by měla vypnuté ventilátory. U Testu 3 je považováno za nevhodné přechod z režimu vytápění do režimu větrání bypassem. U testovaných jednotek však tento přechod nastával často, a proto byl tento test i často pozitivní. Mělo by se tedy zvážit, zda je nutné tento přechod považovat za nepovolený. U Testu 5 by se mělo více propracovat detekování chyby v případě, že běží čerpadlo chlazení. V tuto chvíli je expertní systém napsán tak, že Test 5 je pozitivní pokud běží čerpadlo chlazení. Jelikož čerpadlo chlazení je jedno centrální pro více jednotek, byl tento test pozitivní i v době, kdy jednotka byla v jiném režimu než chlazení, ale čerpadlo chlazení běželo kvůli jiné jednotce. Pravidlo by se tedy mělo napsat tak, že se zkontroluje, zda je vyslán požadavek na běh čerpadla od jiné jednotky, a pokud ano, nebude test hlásit chybu. Dále Test 6 a Test 14 jsou téměř totožné. Test 6 bývá pozitivní častěji, jelikož na rozdíl od Testu 14 nezkontroluje, zda se teplota a vlhkost po překročení limitu mění. Test 14 při překročení minimální/maximální teploty či vlhkosti přiváděného nebo odváděného vzduchu zkoumá, zda se v následujících krocích teplota či vlhkost opět vrací do povolených hodnot, pokud ano, test nebude hlásit chybu. Test 6 ihned po překročení mezních hodnot hlásí chybu. Bylo by tedy lepší Test 6 zrušit a nahradit ho pouze Testem 14. Ostatní zkoumané testy jsou navrženy správně.

Pomocí tohoto testování byly navíc zjištěny poruchy vzduchotechnických jednotek v Univerzitním centru. Jednotky AHU8 a AHU18 mají zřejmě rozbitý ventil ohřevu, jednotka AHU23 a AHU24 mají rozbitý ventil chlazení a u jednotky AHU 23 byl navíc neustále otevřen bypass a uzavřen rekuperační výměník. Pouze u jednotek AHU1 a AHU2 nebyly zjištěny žádné poruchy. Poruchy byly nahlášeny správci budovy a po opravě bude ušetřeno velké množství energie. Výrazný vliv na energii bude mít hlavně oprava rekuperačního výměníku u jednotky AHU23, kdy i v zimě byl na ohříváč přiváděn vzduch o venkovní teplotě.

6 Citovaná literatura

1. WEST, Sam, Ying GUO, Rosalind WANG a Joshua WALL. Automated Fault Detection And Diagnosis Of HVAC Subsystems Using Statistical Machine Learning. [Online] 2011. [Citace: 20. 10 2019.] https://www.researchgate.net/publication/262639981_Automated_Fault_Detection_And_Diagnosis_Of_HVAC_Subsystems_Using_Statistical_Machine_Learning.
2. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844. [Online] 30. 5 2018. [Citace: 1. 10 2019.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>.
3. ŠETŘETE NA VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ: HVAC. <https://cz.start2act.eu>. [Online] [Citace: 2. 1 2020.] <https://cz.start2act.eu/online-energy-saving-platform/knowledge-base/1/et-ete-na-vyt-p-n-a-chlazen-hvac/sme/employee>.
4. KATIPAMULA, Srinivas a Michael R. BRADLEY. Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems—A Review, Part I. [Online] 1 2005. DOI: 10.1080/10789669.2005.10391133.
5. SHI, Zixiao a William O'BRIEN. Development and implementation of automated fault detection and diagnostics for building systems: A review. *Automation in Construction*. [Online] 2019. [Citace: 20. 10 2019.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518312354>. ISSN 0926-5805.
6. BRUTON Ken, Paul RAFTERY, Barry KENNEDY, Marcus M. KEANE a D. T. J. O'SULLIVAN. Review of automated fault detection and diagnostic tools in air handling units. [Online] 2013. [Citace: 28. 10 2019.] <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9238-2>.
7. VENKATASUBRAMANIAN, Venkat, Raghunathan RENGASWAMY, Kewen YIN a Surya N. KUVURI. A review of process fault detection and diagnosis: Part I: Quantitative model-based methods. *Computers & Chemical Engineering*. [Online] 2003. [Citace: 22. 10 2019.] [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(02\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(02)00160-6). ISSN 0098-1354.
8. REDDY, Agami. Automated fault detection and diagnosis for HVAC&R systems: Functional description and lessons learnt. *Energy Sustainability*. [Online] 2008. <https://doi.org/10.1115/ES2008-54027>.
9. BLUM, David H., Guanjing LIN, Michael SPEARS, Janie PAGE, Jessica GRANDERSON. When Data Analytics Meet Site Operation: Benefits and Challenges. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. [Online] 2018. 10.20357/B7KS39.
10. KIM, Woohyun a Srinivas KATIPAMULA. A Review of Fault Detection and Diagnostics Methods for Building Systems. *Science and Technology for the Built Environment*. [Online] 2017. <https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1318008>.
11. DEHESTANI, D. Intelligent application of fault detection and isolation on HVAC system. [Online] 2014. <http://hdl.handle.net/10453/29210>.
12. YU, Yuebin, Denchai WORADECHJUMROEN a Daihong YU. A review of fault detection and diagnosis methodologies on air-handling units. *Energy and Buildings*. [Online] 2014. [Citace:] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005246>.
13. FUZZY LOGIKA. *is.mendelu.cz*. [Online] [Citace: 5. 10 2019.] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=21852.

14. VENKATASUBRAMANIAN, Venkat, Raghunathan RENGASWAMY, Kewen YIN a Surya N. KUVURI. A review of process fault detection and diagnosis: Part III: Process history based methods. *Computers & Chemical Engineerin*. [Online] 2003. [Citace: 24. 10 2019.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009813540200162X>. ISSN 0098-1354.
15. ZHAO, Yang, Tingting LI, Xuejun ZHANG a Chaobo ZHANG. Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: Advantages, challenges and the future. *Renewable and Sustainable Energy Review*. [Online] 2019. [Citace: 22. 11 2019.] <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.021>. ISSN 1364-0321.
16. PAINTER, Frank, Seung Uk LEE a David E. CLARIDGE. Whole-Building Commercial Simulation for Use in Energy Consumption Fault Detection. *ASHRAE Transactions*. [Online] 2007. <https://www.semanticscholar.org/paper/Whole-Building-Commercial-HVAC-System-Simulation-in-Painter/5cc8808b54676c05b2b1b4b0d0c5f32c87323256>.
17. BEARG, David W. Indoor Air Quality and HVAC Systems. *Lewis Publishers*. [Online] 1993. [Citace: 11. 11 2019.] <https://books.google.cz/books?id=sU6fDwAAQBAJ&dq=cav+a+vav+boxy&hl=cs.9781351438957>.
18. MATZ, Václav, Michal LOM. Model řízení vzduchotechnické jednotky. <https://www.tzb-info.cz>. [Online] 22. 4 2013. [Citace: 15. 10 2019.] <https://vetrani.tzb-info.cz/regulace-vetrani-klimatizace/9796-model-rizeni-vzduchotechnicke-jednotky>.
19. TROJANOVÁ J., J. VASS, K. MACEK, J. ROJÍČEK a P. STLUKA. Fault Diagnosis of Air Handling Units. *IFAC Proceedings Volumes*. [Online] 2009. [Citace: 2019. 10 15.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016358049>.
20. FRÝBA, Jiří. Indikace závad a poruch technických zařízení budov I. – větrání, klimatizace a chlazení. *tzb-info.cz*. [Online] 26. 8 2013. [Citace: 2. 1 2020.] <https://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/10266-indikace-zavad-a-poruch-technicky-zarizeni-budov-i-vetrani-klimatizace-a-chlazení>.
21. SCHEIN, Jeffrey, Steven T. BUSHBY, Natascha S. CASTRO a John M. HOUSE. A rule-based fault detection method for air handling units. *Energy and Buildings*. [Online] 2006. [Citace: 10. 18 2019.] <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.014>.
22. CORPORATION, ARCHITECTURAL ENERGY. Advanced automated HVAC fault detection and diagnostics commercialization program. *Energy Research and Development Division*. [Online] 2008. [Citace: 18. 10 2019.] <https://ww2.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-054/CEC-500-2013-054.pdf>.
23. AHMED, Mahmoud, Magdy Abdullah EISSA, R. DARWISH, , A.M. BASSIUNY a Mohamed RADY. Implementation of Rule Based Fault Detection on Total Fresh Air Handling Unit. [Online] 2015. [Citace: 10. 18 2019.] https://www.researchgate.net/publication/288503624_Implementation_of_Rule_Based_Fault_Detection_on_Total_Fresh_Air_Handling_Unit.
24. NEHASIL, Ondřej, Jan ŠIROKÝ, Vojtěch MAZANEC. Popis pravidel v2. Praha : 2019.
25. MERVIS SCADA. *kb.mervis.info*. [Online] [Citace: 10. 11 2019.] <https://kb.mervis.info/doku.php/cs:mervis-scada:00-start>.

Seznam obrázků:

Obr. 1: Schéma rozdělení AFDD metod (4).....	12
Obr. 2: Procentuální porovnání metod AFDD (10).....	12
Obr. 3: Procentuální porovnání metod používajících model na základě pravidel (10)	13
Obr. 4. Klasifikace literatury AFDD na základě stavebního systému (10)	15
Obr. 5:Metody použité pro celou budovu (10)	15
Obr. 6: Měsíční kumulativní rozdíl spotřeby tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16).....	16
Obr. 7: Denní procentuální spotřeba tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16)	17
Obr. 8: Denní procentuální spotřeba tepla a chladu mezi 1. dubnem a 30 říjnem (16).....	17
Obr. 9: Kumulativní rozdíly spotřeby tepla a chladu mezi říjnem 2001 a dubnem 2005 (16)	17
Obr. 10: Schéma VZT jednotky (19).....	23
Obr. 11: a) chladicí ventil nastaven na 100 % v T=1 min; b) chladicí ventil nastaven na 0 % v T = 18 min (23).....	26
Obr. 12: a) teplota přiváděného vzduchu při poruše ventilátoru; b) tlak vzduchu při poruše ventilátoru při T=2 – T=47 min (23)	27
Obr. 13: Schéma jednotky AHU1	34
Obr. 14: Schéma jednotky AHU2.....	35
Obr. 15: Schéma jednotky AHU8.....	36
Obr. 16: Schéma jednotky AHU18.....	36
Obr. 17: Schéma jednotky AHU23.....	37
Obr. 18: Schéma jednotky AHU24.....	38
Obr. 19: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU1	42
Obr. 20: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU2.....	43
Obr. 21: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU18.....	44
Obr. 22: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU23.....	45
Obr. 23: Graf Poruchy 1 u jednotky AHU24.....	45
Obr. 24: Graf Poruchy 2 u jednotky AHU1	47
Obr. 25: Graf teplot vzduchu při Poruše 2 u jednotky AHU1	47
Obr. 26: Graf poruchy 2 u jednotky AHU18	48
Obr. 27: Graf Poruchy 2 u jednotky AHU23.....	49
Obr. 28: Graf Poruchy 3 u jednotky AHU1.....	51
Obr. 29: Graf Poruchy 3 u jednotky AHU8.....	52
Obr. 30: Graf teplot vzduchu při Poruše 3 u jednotky AHU8.....	52
Obr. 31: Graf Poruchy 4 u jednotky AHU1	54
Obr. 32: Graf Poruchy 4 u jednotky AHU18.....	55
Obr. 33: Graf Poruchy 5 u jednotky AHU1	57
Obr. 34: Graf Poruchy 5 u jednotky AHU18.....	58
Obr. 35: Graf poruchy 5 u jednotky AHU23	59
Obr. 36: Graf Poruchy 6 u jednotky AHU1	61
Obr. 37: Graf Poruchy 7 u jednotky AHU18.....	62
Obr. 38: Graf Poruchy 7 u jednotky AHU23.....	63
Obr. 39: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU1	65
Obr. 40: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU2.....	65
Obr. 41: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU8.....	66
Obr. 42: Graf Poruchy 8 u jednotky AHU23.....	67
Obr. 43: Graf teplot vzduchu při Poruše 8 u jednotky AHU23	67
Obr. 44: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU1	69

Obr. 45: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU18.....	70
Obr. 46: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU23.....	71
Obr. 47: Graf Poruchy 9 u jednotky AHU24.....	71
Obr. 48: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU1.....	73
Obr. 49: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU18.....	74
Obr. 50: Graf Poruchy 10 u jednotky AHU23.....	75
Obr. 51: Graf Poruchy 11 u jednotky AHU1.....	77
Obr. 52: Graf Poruchy 12 u jednotky AHU1.....	78
Obr. 53: Graf Poruchy 13 u jednotky AHU18.....	80
Obr. 54: Graf Poruchy 14 u jednotky AHU18.....	81
Obr. 55: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU2.....	83
Obr. 56: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU8.....	84
Obr. 57: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU23.....	85
Obr. 58: Graf Poruchy 15 u jednotky AHU24.....	86
Obr. 59: Graf Poruchy 16 u jednotky AHU1.....	87
Obr. 60: Graf Poruchy 17 u jednotky AHU2.....	89
Obr. 61: Graf Poruchy 18 u jednotky AHU2.....	90
Obr. 62: Graf Poruchy 19 u jednotky AHU1.....	92
Obr. 63: Graf Poruchy 19 u jednotky AHU18.....	92
Obr. 64: Graf Poruchy 20 u jednotky AHU1.....	94
Obr. 65: Graf Poruchy 21 u jednotky AHU1.....	96
Obr. 66: Graf Poruchy 22 u jednotky AHU1.....	98
Obr. 67: Graf Poruchy 22 u jednotky AHU2.....	99
Obr. 68: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU1.....	101
Obr. 69: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU2.....	102
Obr. 70: Graf teplot vzduchu při Poruše 23 u jednotky AHU2.....	102
Obr. 71: Graf Poruchy 23 u jednotky AHU8.....	103
Obr. 72: Graf Poruchy 24 u jednotky AHU1.....	105
Obr. 73: Graf Poruchy 24 u jednotky AHU2.....	106
Obr. 74: Graf Poruchy 25 u jednotky AHU1.....	108
Obr. 75: Graf detekovaných vs nedetekovaných poruch.....	109
Obr. 76: Graf detekovaných vs nedetekovaných testů.....	110
Obr. 77: Graf nedetekovaných testů.....	111
Obr. 78: Graf navíc detekovaných testů.....	111

Seznam tabulek:

Tab. 1: Tabulka stavů (19).....	24
Tab. 2: Matice (19)	25
Tab. 3: Komponenty jednotky AHU1.....	34
Tab. 4: Komponenty jednotky AHU2.....	35
Tab. 5: Komponenty jednotky AHU8.....	36
Tab. 6: Komponenty jednotky AHU18.....	37
Tab. 7: Komponenty jednotky AHU23.....	37
Tab. 8: Komponenty jednotky AHU24.....	38
Tab. 9: Seznam poruch	39
Tab. 10: Testy u Poruchy 1	41
Tab. 11: Výsledky Poruchy 1	46
Tab. 12: Testy u Poruchy 2.....	47
Tab. 13: Výsledky u Poruchy 2	50
Tab. 14: Testy u Poruchy 3	51
Tab. 15: Výsledky u Poruchy 3	53
Tab. 16: Testy u Poruchy 4.....	54
Tab. 17: Výsledky Poruchy 4	56
Tab. 18: Testy u Poruchy 5.....	56
Tab. 19: Výsledky Poruchy 5	59
Tab. 20: Testy u Poruchy 6.....	60
Tab. 21: Výsledky Poruchy 6	61
Tab. 22: Testy u Poruchy 7.....	62
Tab. 23: Výsledky Poruchy 7	64
Tab. 24: Testy u Poruchy 8.....	64
Tab. 25: Výsledky Poruchy 8	68
Tab. 26: Testy u Poruchy 9.....	68
Tab. 27: Výsledky Poruchy 9	72
Tab. 28: Testy u Poruchy 10.....	73
Tab. 29: Výsledky Poruchy 10	76
Tab. 30: Testy u Poruchy 11	76
Tab. 31: Výsledky Poruchy 11	77
Tab. 32: Testy u Poruchy 12.....	78
Tab. 33: Výsledky Poruchy 12	79
Tab. 34: Testy u Poruchy 13.....	79
Tab. 35: Výsledky Poruchy 13	80
Tab. 36: Testy u Poruchy 14.....	81
Tab. 37: Výsledky Poruchy 14	82
Tab. 38: Testy u Poruchy 15.....	82
Tab. 39: Výsledky Poruchy 15	86
Tab. 40: Testy u Poruchy 16.....	87
Tab. 41: Výsledky Poruchy 16	88
Tab. 42: Testy u Poruchy 17.....	88
Tab. 43: Testy u Poruchy 18.....	90
Tab. 44: Testy u Poruchy 19.....	91
Tab. 45: Testy u Poruchy 20.....	94
Tab. 46: Výsledky Poruchy 20	95
Tab. 47: Testy u Poruchy 21	95
Tab. 48: Výsledky Poruchy 21	96
Tab. 49: Testy u Poruchy 22.....	97
Tab. 50: Výsledky Poruchy 22	100

Tab. 51: Testy u Poruchy 23	100
Tab. 52: Výsledky Poruchy 23	104
Tab. 53: Testy u Poruchy 24.....	104
Tab. 54: Výsledky Poruchy 24	106
Tab. 55: Testy u Poruchy 25.....	107
Tab. 56: Výsledky Poruchy 25	108

Seznam použitých programů:

- Testovaný expertní systém
- Mervis SCADA
- RcWare Soft PLC
- AutoCAD

7 Přílohy

Příloha č. 1 - Doba testování poruch

Příloha č. 2 - Přehled testů u testovaných VZT jednotek

Příloha č. 3 - Údaje o testovaných jednotkách

Příloha č. 4 - Ukázka používaných výstupů z expertního systému

Příloha č. 5 – Přehled přiřazení pravidel k testům