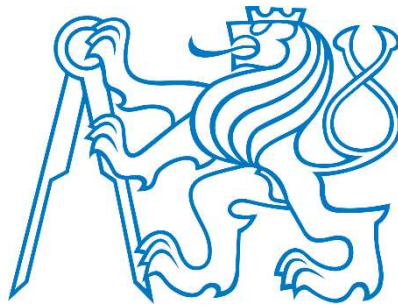


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**ANALÝZA CHYBOVÝCH STAVŮ
VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK**

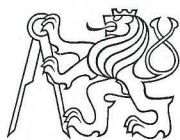
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. VÁCLAV BENEŠ

Vedoucí diplomové práce :

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2016/2017

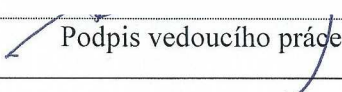


ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Beneš	Jméno: Václav	Osobní číslo: 395633
Zadávací katedra: 11125		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Analýza chybových stavů vzduchotechnických jednotek	
Název diplomové práce anglicky: Analysis of faults in operation of ventilation units	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte ověření systému existujících pravidel hledání chybových stavů na určeném souboru vzduchotechnických jednotek. Vyhodnoťte výsledky a proveďte jejich analýzu. Navrhněte princip dalších pravidel či jejich kombinací. Vše formulujte do textové zprávy.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 4.10.2016	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>4. 10. 2016</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

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

Praha, 7.1.2017

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat především svému vedoucímu Ing. Danielu Adamovskému, Ph.D. za to, že mě seznámil s velmi zajímavou problematikou, panu Ing. Ondřeji Nehasilovi, za pomoc při práci se softwarem a panu Janu Širokému ze společnosti Energocentrum s.r.o. za poskytnutí přístupu k datům, která jsem k práci potřeboval.

Obsah

1 Úvod	7
2 Úvod do problematiky analýzy vzduchotechnických jednotek	8
2.1 Fault detection and diagnostics.....	8
2.2 Metoda APAR	9
2 Metodika.....	11
2.1 Program	11
2.2 Pravidla.....	13
2.2.1 Pravidla všeobecná	14
2.2.2 Pravidla režimu OFF	17
2.2.3 Pravidla režimu VENTILATION	18
2.2.4 Pravidla režimu HEATING:.....	21
2.2.5 Pravidla režimu COOLING.....	25
3 Aplikace pravidel na soubory vzduchotechnických jednotek	30
3.1 Popis jednotek.....	31
3.2 Výsledek aplikace pravidel na soubory jednotek	35
3.3 Analýza nejčastějších chyb u jednotek bez chladiče	40
3.3.1 Chyby všeobecných pravidel.....	40
3.3.2 Chyby pravidel režimu OFF	42
3.3.3 Chyby pravidel režimu VENTILATION	45
3.3.4 Chyby pravidel režimu HEATING	50
3.4 Analýza nejčastějších chyb u jednotek s chladičem.....	56
2.4.1 Chyby všeobecného pravidla.....	56
2.4.2 Chyby pravidel režimu COOLING	56
3.5 Souhrn analýzy:	63
4 změna současných a návrh nových pravidel:	65
5 Závěr.....	68
reference:	70
Seznam tabulek:.....	71
Seznam obrázků.....	71

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá ověřením systému pravidel hledajících chybové stavy vzduchotechnických jednotek. Vyhodnocuje výstupy programu, jehož jsou pravidla součástí a chyby jednotlivých pravidel blíže analyzuje a snaží se najít nejčtenější a nejzávažnější z nich. Na základě této analýzy jsou v práci navržena čtyři nová pravidla, která by z části nahradila některá z pravidel ověřovaných.

Klíčová slova: pravidlo, chyba, vzduchotechnická jednotka, analýza, teplota, interval, datový bod, ventilace, ohřev, chlazení, čerpadlo, klapka.

Abstract:

This diploma thesis deals with the verification of the system of rules, which are revealing faults in operations of air handling units. It's evaluating the outputs of the program containing those rules, then analysing those faults within the rules and it's trying to search for the causes of the faults. Upon this analysis, there are proposed and designed four new rules, which would partially replace some of already existing rules.

Keywords: rule, fault, air handling unit, analysis, temperature, interval, data point, ventilation, heating, cooling, pump, dump.

1 ÚVOD

Hlavním cílem této práce je ověřit program obsahující systém pravidel pro hledání chybových stavů vzduchotechnických jednotek. Program bude v budoucnu použit jako vzor algoritmizace pravidel pro jejich implementaci do komplexního kontrolního systému. Bude popsán princip fungování pravidel a počítání dopadů na energie, které chyby způsobí. Pravidla budou aplikována na soubor vzduchotechnických jednotek a výstup programu bude podroben bližší analýze. Měla by být ověřena funkčnost pravidel, nalezeny jejich možné nedostatky a případně navržena nápravná opatření, nebo zcela nová pravidla. Zároveň by analýza měla objevit nejčastější a nejzávažnější chyby daných jednotek a pokusit se vznik chyb vysvětlit.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ANALÝZY

VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK

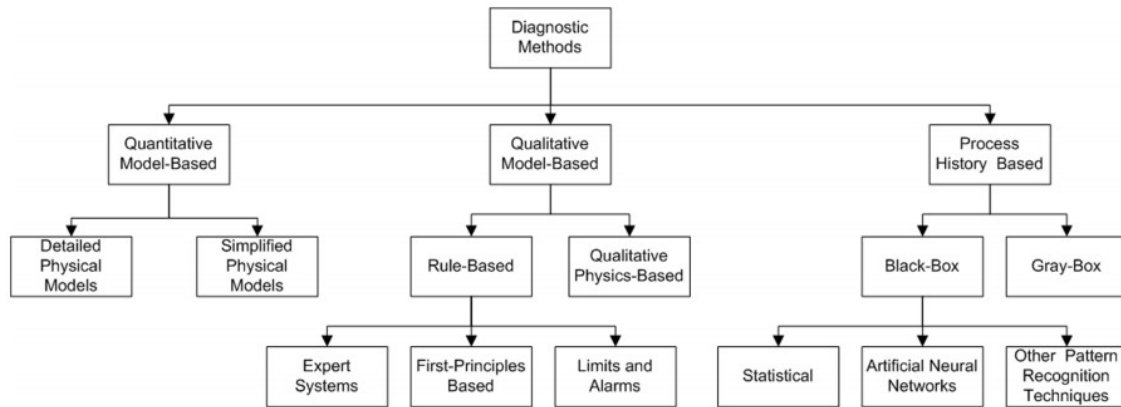
Analýza provozních stavů vzduchotechnických jednotek je důležitou, ne však běžně používanou součástí užívání vzduchotechnických jednotek. Jedná se o nástroje, které mohou výrazně přispět k hospodárné práci zařízení, k dosažení požadovaného vnitřního mikroklimatu v místnostech využívajících vzduch z jednotek a k delší životnosti jednotlivých částí jednotky. Vzhledem k tomu, že budovy spotřebují 40% veškeré energie [1], [2] a odhaduje se, že špatně udržované, degradované a nesprávně obsluhované vybavení budov vede ke ztrátám 15-30% energie v budovách [3], je účinný a úsporný systém vzduchotechniky (a celkově všechny systémy úpravy vnitřního prostředí budovy) podmínkou k minimalizování celkové spotřeby energie. Možností provedení analýzy je několik. V podstatě se jedná o různé metody FDD (Fault detection and diagnostics), neboli metody detekce a diagnostiky chyb, dále pouze FDD.

2.1 Fault detection and diagnostics

FDD je oblast zabývající se automatizací procesů pro odhalování chyb ve fyzických systémech, zjišťování jejich závažnosti, hledání jejich příčin i možných řešení problému. Do devadesátých let dvacátého století byly využívány v pouze v jaderné energetice, leteckém inženýrství a národní obraně. Od devadesátých začal vývoj FDD i v jiných odvětvích, včetně systémů úpravy vnitřního prostředí. V mnoha odvětvích se stala jejich běžnou součástí (metalurgie, automobilový průmysl, facility management, chemie apod.) V systémech HVAC¹ je její využívání řídké i když na vzestupu. [3]

Diagnostické metody se rozdělují do několika skupin, podle způsobu jakým fungují a je jich velké množství. Od modelů vytvářející fyzikální modely, založené na matematicko-fyzikálních vztazích, porovnávající stav modelu se stavem skutečného objektu; přes metody využívající skutečné, fyzické modely, nebo modely založených na obrovském množství dat, mezi které patří neurální sítě, statistické modely a umělá inteligence apod. Jednou skupinou metod jsou metody založené na základě jednoduchých if-then-else pravidel (když, tak, jinak). Mezi tyto metody patří například metoda APAR (Air handling unit performance assessment rules) [3], která je principem velmi podobná systému, jehož pravidela jsou ověřována v této práci.

¹ Heatin, Ventilation and Air Conditioning – vytápění, ohřev a úprava vzduchu



Obrázek 1: Schéma možného rozdělení metod FDD

2.2 Metoda APAR

Metoda APAR vznikla za podpory California Energy Commission Public Interest Energy Research (PIER) Program a U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy v rámci snižování spotřeby energie v budovách [4]. Jde o metodu využívající 28 pravidel odvozených z požadavku na jednotky a ze zákonů o zachování hmoty a energie. Pokud jednotka splní některé z nich, ohlásí systém chybu. Pravidla jsou stanovena pro jednotky bez výměníku zpětného získávání tepla a využívají tato data:

- Obsazenost.
- Teplota přívodního vzduchu.
- Teplota odvodního vzduchu.
- Teplota smíšeného vzduchu.
- Teplota venkovního vzduchu.
- Signál z chladiče.
- Signál ohřivače.
- Vlhkost venkovního vzduchu.
- Vlhkost odvodního vzduchu.
- Set point přívodního vzduchu.
- Signál z klapek.

Při větším množství datových je možné zvětšit i počet pravidel, naopak při absenci některého z nich použitelná pravidla přirozeně odpadají. Různá pravidla jsou aplikovatelná v různých provozních stavech jednotky:

- Ohřev
- Chlazení venkovním vzduchem.
- Strojní chlazení se 100% čerstvého vzduchu.
- Strojní chlazení s minimem čerstvého vzduchu.
- Neznámý stav.

Tato metoda byla v roce 2008 použita jako součást programu pro komercializaci pokročilých automatizovaných řídicích systémů FDD v Kalifornii [5]. Tento projekt dal vzniknout webem ovládanému řídicímu softwaru diagnostikující a hlásící chyby při provozu vzduchotechnických jednotek a pomohl dále zlepšit systémy detekující problémy. Mezi chyby odhalené v tomto projektu metodou APAR patřily například:

- Závadné senzory teplot.
- Podtékající ventily chlazení.
- Chyby funkce klapek.
- Chyby nastavení PID regulátorů.

Textová práce tohoto projektu obsahuje i výčet poruch způsobující signalizaci pravidel a jejich dopad.

2 METODIKA

Analýza vzduchotechnických jednotek v této práci je provedena za pomoci systému pravidel, která kontrolují historická naměřená data. Pravidla jsou zapsána v programu - velmi komplexním sešitu tabulkového procesoru. Tento sešit slouží jako vzor pro implementaci těchto pravidel do komplexního softwaru vyhodnocujícího pravidla v reálném čase. Úkolem práce je ověření těchto pravidel na souboru vzduchotechnických jednotek, vyhodnocení získaného výstupu a případné navržení jiných pravidel, nebo změn současných pravidel.

2.1 Program

Program kontroluje a navzájem porovnává historická data ze vzduchotechnických jednotek. V současné chvíli jsou pravidla navržena pouze pro jednokanálové jednotky bez výměníku pro zpětné získávání tepla. Data je nejprve nutné importovat do programu ve formě pětiminutových intervalů. Ty jsou získané ze SCADA² systému MERVIS, ke kterému mi umožnila přístup společnost Energocentrum Plus s.r.o. Chyby potom zobrazuje ve formě signalizace u konkrétního data a času. Regulátory nezískávají a nezapisují data v naprosto pravidelných intervalech a tak se data při exportu ze systému interpolují právě do pětiminutových ekvidistantních intervalů. Pět minut je ideální kompromis mezi přesností a výpočetní náročností. Bohužel takový způsob práce s daty vede k některým omezením a chybám, které budou v textu zmíněny.

Data z jednotek a jejich názvy nejsou ve většině případů žádným způsobem standardizované a pro jejich využití v programu je nutné je po importování do sešitu tzv. otagovat. Tyto tagy programu říkají tři věci:

1. O jakou jde veličinu, nebo stav:
 - teplota vzduchu [°C],
 - kvalita vzduchu [%],
 - procento otevření [%],
 - chod [ZAP/VYP],
 - teplota vody/chladícího média [°C].

² Supervisory Control And Data Acquisition – „Dispečerské řízení a sběr dat.“ (přímý překlad)

2. O jaký jde typ bodu:

- měřená hodnota (vstup regulátoru),
- požadovaná hodnota (výstup regulátoru),
- maximální dovolená hodnota,
- minimální dovolená hodnota.

3. Kde v systému se nachází:

- celá jednotka,
- větraný prostor,
- přívodní kanál sání venkovního vzduchu,
- výtlaček čerstvého vzduchu do prostoru,
- přívodní kanál odtahovaného vzduchu z prostoru,
- uzavírací klapka a její poloha,
- před, za, na ohřívači, nebo chladiči,
- ventily topení, nebo chlazení,
- ventilátor odvodu, nebo přívodu,
- čerpadlo ohřevu, chlazení.

Veličin, typů i poloh bodů program umožňuje nastavit větší množství, ale v této práci jsou využity pouze tyto.

Jednotlivá pravidla potřebují různé datové body a algoritmus hledající chyby je schopný některé datové body nahradit jinými. Například teplotu v místnosti nahradí teplotou v odvodním kanále apod. Toto nahrazování se provádí postupně podle předem dané substituční tabulky. Program také poskytuje nástroj pro zjištění aktivity datových bodů, která může při tagování pomoci (například při zdánlivé duplikaci datového bodu, kdy jeden není aktivní).

Stejně jako nejsou standardizované názvy veličin a stavů, nejsou standardizované ani samotné hodnoty stavu. Pro datové body ve formě logické hodnoty (0/1), je v programu přítomný rozšiřitelný slovník, který převádí všechny možnosti do jednotné, pro program srozumitelné podoby ZAP/VYP.

Po importu dat ze systému SCADA do programu a jejich otagování je možné a vhodné doplnit informace o týdenní pracovní režim prostoru/jednotky, seznam pracovních výjimek a jmenovitý průtok vzduchu. Poté se data mohou importovat dál do jednotlivých pravidel.

2.2 Pravidla

V této kapitole budou popsány principy, na kterých pravidla fungují a jaké jsou podmínky pro rozpoznání a signalizaci chyby. Popsáno bude i jakým způsobem se vypočítávají přibližné dopady chyb na spotřebu elektrické energie, tepla, chladu a zda mají chyby potenciál zkrátit životnost zařízení, nebo snížit komfort osob vyskytujících se v jednotkou větraném prostoru. Každé pravidlo je popsáno samostatně a popsána jsou pouze ta pravidla, která mohla být v této práci použita s ohledem na vybavení jednotek. Jde o všeobecná pravidla, pravidla týkající se vypnutého stavu, pravidla režimu ventilace, ohřevu a chlazení. Pravidla kontrolující jednotku v režimu zvlhčování vzduchu jsou vynechána, protože žádná z jednotek, které byly k dispozici, nedisponovala zvlhčovačem, nebo nesplňovala další požadavky programu. Pokud má některé pravidlo (kromě vynechaných pravidel) širší záběr a umí kontrolovat například stav zvlhčovače, je popis těchto funkcí vynechán. Vynechány jsou i výpočty dopadů takové chyby.

2.2.0 Výčet veličin a jednotek použitých programem, které byly využity v této práci:

Q_e – Elektrická energie [kW]

Q_h – Teplo [kW]

Q_c – Chlad [kW]

2P_v – Příkon ventilátoru [W]

3P_p – Příkon čerpadla [W]

ε – Stupeň otevření ventilu [-]

$\Delta\Theta$ – rozdíl teplot (obvykle exteriér – přírodní vzduch) [K]

τ – Délka intervalu [s]

c_a – Měrná tepelná kapacita vzduchu – 1 005 J/(kg K)

V – objemový průtok - 1000 m³/h (není k dispozici informace o průtoku jednotek)

³ Program vypočítává z objemu vzduchu

2.2.1 Pravidla všeobecná

Pravidlo 0 – Detekce provozního stavu

Jednokanálová vzduchotechnická jednotka může pracovat v několika stavech a každý stav má svá vlastní kontrolní pravidlo.

Pravidlo 0 zjišťuje právě provozní stav vzduchotechnické jednotky. Pro zjištění provozního stavu je klíčové znát, zda má jednotka zapnuté komponenty ventilátor, ohřívač a chladič. Z kombinace stavů těchto údajů se určuje stav jednotky následujícím způsobem:

- Jednotka je v režimu OFF, pokud jsou vypnuté ventilátory a zároveň je vypnutý ohřívač i chladič, nebo o jejich stavu není dostupná žádná informace, nebo jakákoliv kombinace obojího.
- Jednotka je v režimu VENTILATION, pokud je ventilátor zapnutý a zároveň je vypnutý ohřívač i chladič, nebo o jejich stavu není dostupná žádná informace, nebo jakákoliv kombinace obojího.
- Jednotka je v režimu HEATING, pokud je ventilátor i ohřívač zapnutý a zároveň je vypnutý chladič, nebo o něm není dostupná žádná informace.
- Jednotka je v režimu COOLING, pokud je ventilátor i chladič zapnutý a zároveň je vypnutý ohřívač, nebo o něm není dostupná žádná informace.
- Jednotka je v režimu UNKNOWN, pokud není splněno nic z výše uvedeného. (Například je zapnutý chladič i ohřívač zároveň)

Stav UNKNOWN lze svým způsobem považovat za chybu, u které ovšem není snadné zjistit její dopady. Někdy může být signalizována, protože se při vypnuté jednotce spustí čerpadlo ohřevu, jindy se při vytápění sepne chlazení. Program v podstatě stav UNKNOWN nebere jako chybu a proto neobsahuje ani žádný mechanismus k vyčíslování dopadů.

Komponenta (ohřívač/chladič) je označena jako vypnutá, nebo zapnutá pomocí příslušného datového bodu, který je buď vypnutý, nebo zapnutý. Pokud daný bod neexistuje, algoritmus prověří další možný datový bod, který může indikovat spuštění komponenty. Postupně jde o datové body:

1. Skutečný datový bod samotné komponenty.
2. Požadavek na běh komponenty.
3. Skutečné procento otevření příslušného ventilu.

4. Stav příslušného čerpadla.
5. Poměrný výkon příslušného čerpadla.
6. Požadavek na procento otevření příslušného ventilu.
7. Požadavek běh příslušného čerpadla.
8. Požadavek na poměrný výkon čerpadla.

Pravidlo 1 – indikace zapnutí v pracovní době

Pravidlo signalizuje chybu, pokud má jednotka povolený chod ale zároveň by měla být vypnutá dle provozní doby, nebo naopak pokud nemá povolený chod a zároveň by podle pracovní doby měl chod být povolený.

Dopad chyby na spotřebu elektrické energie:

- Pokud je jednotka zapnutá mimo pracovní dobu a běží ventilátor: $Q_e = P_v \times \tau$.

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- Chod mimo pracovní dobu v režimu HEATING: $Q_h = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- Chod mimo pracovní dobu v režimu COOLING: $Q_h = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Při chodu mimo pracovní doby existuje potenciál zkrácení životnosti.

Dopady chyby na komfort v prostoru:

- Při vypnutí v pracovní době je potenciál sníženého komfortu uživatelů.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Zapomenutý manuální režim.
- Trvalé vypnutí.
- Porucha MaR.
- Špatně nastavená pracovní doba budovy.

Pravidlo 2 – kontrola chodu jednotky pokud dostane povel od MaR

Pravidlo signalizuje chybu, pokud:

- Jednotka je řízená dle kvality vzduchu:
 - Povolení chodu od MaR je vypnuté a režim jednotky není OFF
 - Povolení chodu od MaR je aktivní, vzduch je dostatečně kvalitní a jednotka je zapnutá.
 - Povolení chodu od MaR je aktivní, vzduch není dostatečně kvalitní a jednotka je vypnutá.
- Jednotka nemá k dispozici informaci o kvalitě vzduchu:
 - Jednotka neměla být v předchozím kroku a nemá být v současném kroku zapnutá, ale ventilátor není vypnutý.
 - Jednotka měla být v předchozím kroku a má být v současném kroku zapnutá, ale ventilátor je vypnutý.

Dopady chyby na spotřebu elektrické energie:

- Chod mimo požadavek: $Q_e = V \times SPF \times \tau$.

Dopady chyby na spotřebu tepla:

- Chod mimo požadavek v režimu HEATING: : $Q_h = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopady chyby na spotřebu chladu:

- Chod mimo požadavek v režimu HEATING: : $Q_h = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopady chyby na životnost zařízení:

- Při běhu mimo požadavek existuje potenciál na zkrácení životnosti zařízení.

Dopady na komfort v prostoru:

- Při vypnutí oří požadavku o běh je potenciál sníženého komfortu uživatelů.

Pravidlo 3 – kontrola cyklování provozních stavů

Pravidlo 3 kontroluje cyklování provozních stavů. Chyba je signalizována pokud:

- jednotka ohřívá vzduch, zatímco v jednom z pěti předchozích kroků vzduch chladila
- jednotka chladí a v alespoň jednom z pěti posledních kroků vzduch ohřívá.

Dopady chyby toho pravidla na spotřebu tepla:

- $Qh = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopady chyby toho pravidla na spotřebu chladu:

- $Qc = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopady chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následná možná selhání:

- Špatně nastavené konstanty PID regulátoru.

2.2.2 Pravidla režimu OFF

Pravidlo 4 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka v předchozím kroku byla v režimu OFF, setrvává v něm i nyní a navíc platí:

- Klapka na sání vzduchu do jednotky není zavřená, nebo je její stav neznámý.
- Klapka na přívodu vzduchu do prostoru není zavřená, nebo je její stav neznámý.

Dopady chyby na spotřebu tepla:

- Pokud je teplota vzduchu v exteriéru nižší, než teplota přívodního vzduchu a zároveň je v jednotce přítomný ohřívač vzduchu, vyhodnotí se spotřeba tepla pro ohřev vzduchu jako ohřev deseti procent nominálního průtoku vzduchu.

Dopady chyby na spotřebu chladu:

- Analogické jako u tepla.

Dopady chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Porucha motorických pohonů klapek
- Chyba v řízení

Pravidlo 5 – kontrola stavu ohřivače a chladiče

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka v předchozím kroku byla v režimu OFF, setrvává v něm i nyní a navíc platí:

- Čerpadlo topení je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil topení je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.
- Čerpadlo chlazení je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil chlazení je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.

Hodnota 0,5% je programem nastavitelná tolerance. Nutnou podmínkou pro aktivaci pravidla je dostupnost informace o alespoň jednom z následujících: o stavu čerpadla ohřevu, chlazení, ventilu ohřevu, nebo chlazení.

Dopad chyby na spotřebu elektřiny:

- Při běhu čerpadla: $Q_e = P_p \times \tau$.

Dopady na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Zaseklé ventily se signalizací polohy.
- Chyba regulace – zbytečně zapnutá čerpadla, z libovolného důvodu.

2.2.3 Pravidla režimu VENTILATION

Pravidlo 6 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo signalizuje chybu, pokud byla jednotka v předchozím kroku v režimu VENTILATION a setrvává v něm i nyní a navíc platí:

- Klapka na sání vzduchu do jednotky je zavřená, nebo je její stav neznámý.
- Klapka na přívodu vzduchu do prostoru je zavřená, nebo je její stav neznámý.

Dopady na spotřebu elektrické energie:

- Maří se energie ventilátoru: $Q_e = P_v \times \tau$.

Dopady na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Porucha motorických pohonů klapek
- Chyba v řízení.
- Zapomenutý manuální pokyn v MaR.

Pravidlo 7 – kontrola stavu ohřivače a chladiče

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka v předchozím kroku byla v režimu OFF, setrvává v něm i nyní a navíc platí:

- Čerpadlo topení je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil topení je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.
- Čerpadlo chlazení je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil chlazení je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.

Hodnota 0,5% je programem nastavitelná tolerance. Nutnou podmínkou pro aktivaci pravidla je dostupnost informace o alespoň jednom z následujících: o stavu čerpadla ohřevu, chlazení, ventilu ohřevu, nebo chlazení.

Dopad chyby na spotřebu elektřiny:

- Při běhu čerpadla: $Q_e = P_p \times \tau$.
- Při běhu zvlhčovače: $Q_e = P_h \times \tau$.

Dopady na spotřebu tepla:

- Je otevřený ventil ohřevu a čerpadlo je zapnuté: $Q_h = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je otevřený ventil ohřevu a čerpadlo neexistuje: $Q_h = \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je spuštěné čerpadlo a ventil ohřevu neexistuje: $Q_h = Q_p \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopady na spotřebu chladu:

- Je otevřený ventil chlazení a čerpadlo je zapnuté: $Q_c = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je otevřený ventil chlazení a čerpadlo neexistuje: $Q_c = \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je spuštěné čerpadlo a ventil chlazení neexistuje: $Q_c = Q_p \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopady na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Špatná funkce komponent vlivem chyby v softwaru.
- Chyba regulace.

Pravidlo 8 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda je teplota a vlhkost v interiéru, nebo v přívodním kanálu odpovídají požadavkům. Pravidlo signalizuje chybu, pokud:

- Ve větraném prostoru je vyšší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance a jednotka má chladič.
- Ve větraném prostoru je nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance a jednotka má ohřívač.
- V přívodním kanálu je nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance a jednotka má ohřívač.
- V přívodním kanálu je nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance a jednotka má ohřívač.
- Ve větraném prostoru je nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance a jednotka má ohřívač.

Dopad chyby na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Chybné vyhodnocení potřebného provozního stavu.
- Nedostatečný výkon vzduchotechnické jednotky.
- Selhání zdrojů tepla/chladu.

Pravidlo 9 – Flow

Čistě fyzikální pravidlo. Zkoumá, zda při průtoku vzduchu jednotkou nedochází k nekontrolovanému předávání tepla, chladu, nebo vlhkosti. V režimu ventilace by k ničemu takovému docházet nemělo. Pravidlo signalizuje chybu, pokud je jednotka v režimu VENTILATE, je známá venkovní teplota, teplota přívodu a platí, že teplota přívodního vzduchu po ohřátí ve ventilátoru je vyšší, než teplota venkovního vzduchu o více, než je nastavitelná tolerance (defaultní hodnota programu je 2K). Ohřev vzduchu je spočítaný jako SPF/c_a .

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- $Q_h = V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopad chyby na spotřebu chladu:

- $Q_c = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje nekontrolované dodávky tepla, nebo chladu do proudu přiváděného vzduchu. Možná selhání jsou zejména hardwarová:

- Nedovírající ventily vytápění/chlazení.
- Poškozená tepelná izolace potrubí.
- Větší netěsnost potrubí.
- Únik vody, nebo páry do jednotky, nebo do potrubí.
- Nežádoucí samotížný provoz ohřívače, nebo chladiče.
- Neovladatelný ohřívač, nebo chladič.

2.2.4 Pravidla režimu HEATING:

Pravidlo 10 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka byla v předchozím kroku v režimu HEATING a setrvává v něm i nyní a navíc platí alespoň jedno z následujících:

- Klapka na sání vzduchu do jednotky je zavřená, nebo je její stav neznámý.
- Klapka na přívodu vzduchu do prostoru je zavřená, nebo je její stav neznámý.

Dopady na spotřebu elektrické energie:

- Maří se energie ventilátoru: $Q_e = P_v \times \tau$.

Dopady na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Porucha motorických pohonů klapek
- Chyba v řízení.
- Zapomenutý manuální pokyn v MaR.

Pravidlo 11 – kontrola stavu ohříváče a chladiče

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka v předchozím kroku byla v režimu OFF, setrvává vněm i nyní a navíc platí:

- Čerpadlo topení je vypnuté, nebo běží o výkonu nižším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil topení je zavřený více, než na 0,5% z celkového otevření.
- Čerpadlo chlazení je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil chlazení je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.

Hodnota 0,5% je programem nastavitelná tolerance. Nutnou podmínkou pro aktivaci pravidla je dostupnost informace o alespoň jednom z následujících: o stavu čerpadla ohřevu, chlazení, ventilu ohřevu nebo chlazení.

Dopad chyby na spotřebu elektřiny:

- Při běhu čerpadla chlazení: $Q_e = P_p \times \tau$.

Dopady na spotřebu tepla:

- Je otevřený ventil chlazení a čerpadlo je zapnuté: $Q_c = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je otevřený ventil chlazení a čerpadlo neexistuje: $Q_c = \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je spuštěné čerpadlo a ventil chlazení neexistuje: $Q_c = Q_p \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopady na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Dopady na životnost zařízení:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Špatná funkce komponent vlivem chyby v softwaru.
- Chyba regulace.

Pravidlo 12 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda teplota v interiéru, nebo v přívodním kanálu odpovídá požadavkům.

Pravidlo signalizuje chybu, pokud:

- Ve větraném prostoru je vyšší, nebo nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance.
- V přívodním kanálu je vyšší, nebo nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance.

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- Teplota přívodu je vyšší, než požadovaná: $Q_c = (\Theta_{\text{sup}} - \Theta_{\text{sup,req}}) \times V \times c_a \times \tau$.
- Teplota prost. je vyšší, než požadovaná: $Q_c = \frac{\Theta_{\text{spc}} - \Theta_{\text{spc,req}}}{\Theta_{\text{spc,req}} - \Theta_{\text{out,dsg}}} \times V \times \Delta\Theta_d \times c_a \times \tau$.

Návrhová hodnota $\Delta\Theta_d$ na ohřivači. V případě, že není stanovena lze použít hodnotu 45K pro teplovzdušné vytápění venkovním vzduchem.

Dopad chyby na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Nefunkční zdroj tepla.
- Poddimenzovaný výměník.
- Porucha oběhového čerpadla.
- Porucha ventilu.
- Zanešený výměník.

- Příliš nízká venkovní teplota.
- Chyba v regulaci.

Pravidlo 13 – Flow

Čistě fyzikální pravidlo. Zkoumá, zda při průtoku vzduchu jednotkou nedochází k nekontrolovanému předávání chladu. Pravidlo signalizuje chybu, pokud je jednotka v režimu HEATING, je známá venkovní teplota, teplota přívodu a platí, že teplota přívodního vzduchu po ohřátí ve ventilátoru a na ohříváči je nižší, než teplota venkovního vzduchu o více, než je nastavitelná tolerance (defaultní hodnota programu je 2K). Ohřev vzduchu je spočítaný jako SPF^4/c_a .

Dopad chyby na spotřebu chladu:

- $Q_c = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje nekontrolované dodávky tepla, nebo chladu do proudu přiváděného vzduchu. Možná selhání jsou zejména hardwarová:

- Nezavírají/neotvírají se ventily chlazení.
- Nefunkční čerpadlo vytápění.
- Nevypínající se čerpadlo chlazení.
- Poškozená tepelná izolace potrubí.
- Větší netěsnost potrubí.
- Neovladatelný ohříváč, nebo chladič.

Pravidlo 14 – dtw

Pravidlo kontroluje, zda je v ohříváči na straně vody rozdíl teplot. Chyba je signalizovaná, pokud je k dispozici teplota vody před a za ohříváčem a pokud navíc platí, že teplota za ohříváčem je vyšší, než před ním, o více než je programem nastavitelná tolerance (v základu přednastavené 2K).

⁴ Měrný vpříkon ventilátoru $0,35\text{kW}/\text{m}^3\text{s}^{-1}$

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Výpadek zdroje tepla.
- Pokus o vytápění v chladicí sezóně.
- Chyba senzoru teploty.

Pravidlo 15 – dt A/w

Pravidlo kontroluje, zda teplotní spád na straně vody odpovídá teplotnímu spádu na straně vzduchu. Pravidlo signalizuje chybu, pokud je splněno alespoň jedno z následujících:

- Teplota vody před ohřívačem je nižší, než teplota vzduchu za ohřívačem.
- Teplota vody za ohřívačem je nižší, než teplota vzduchu před ohřívačem.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Dopad chyby na komfort v prostoru:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Výpadek zdroje tepla.
- Porucha zdroje tepla.
- Ztráta průtoku vzduchu.
- Ztráta průtoku vody.
- Porucha senzoru.

2.2.5 Pravidla režimu COOLING

Pravidlo 16 – kontrola uzavíracích klapek

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka byla v předchozím kroku v režimu COOLING a setrvává v něm i nyní a navíc platí alespoň jedno z následujících:

- Klapka na sání vzduchu do jednotky je zavřená, nebo je její stav neznámý.
- Klapka na přívodu vzduchu do prostoru je zavřená, nebo je její stav neznámý.

Dopady na spotřebu elektrické energie:

- Maří se energie ventilátoru: $Q_e = P_v \times \tau$.

Dopady na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Porucha motorických pohonů klappek.
- Chyba v řízení.
- Zapomenutý manuální pokyn v MaR.

Pravidlo 17 – kontrola stavu ohříváče, chladiče a zvlhčovače

Pravidlo signalizuje chybu, pokud jednotka v předchozím kroku byla v režimu COOLING, setrvává v něm i nyní a navíc platí:

- Čerpadlo chlazení je vypnuté, nebo běží o výkonu nižším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil chlazení je zavřený více, než na 0,5% z celkového otevření.
- Čerpadlo ohřevu je zapnuté, nebo běží o výkonu větším, než 0,5% jeho maximálního výkonu.
- Ventil ohřevu je otevřený více, než na 0,5% celkového otevření.

Hodnota 0,5% je programem nastavitelná tolerance. Nutnou podmínkou pro aktivaci pravidla je dostupnost informace o alespoň jednom z následujících: o stavu čerpadla ohřevu, chlazení, ventilu ohřevu, chlazení, nebo o stavu parního, nebo vodního zvlhčovače.

Dopad chyby na spotřebu elektřiny:

- Při běhu čerpadla chlazení: $Q_e = P_p \times \tau$.

Dopady na spotřebu tepla:

- Je otevřený ventil ohřevu a čerpadlo je zapnuté: $Q_c = Q_p \times \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je otevřený ventil chlazení a čerpadlo neexistuje: $Q_c = \varepsilon \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.
- Je spuštěné čerpadlo a ventil chlazení neexistuje: $Q_c = Q_p \times V \times \Delta\theta \times c_a \times \tau$.

Dopady na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Dopady na komfort v prostoru:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Špatná funkce komponent vlivem chyby v softwaru.
- Chyba regulace.

Pravidlo 18 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda teplota a vlhkost v interiéru, nebo v přívodním kanálu odpovídají požadavkům. Pravidlo signalizuje chybu, pokud:

- Ve větraném prostoru je vyšší, nebo nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance.
- V přívodním kanálu je vyšší, nebo nižší teplota, než je požadovaná, o více než je tolerance.

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- Teplota přívodu je nižší, než požadovaná: $Q_c = (\theta_{\text{sup,req}} - \theta_{\text{sup}}) \times V \times c_a \times \tau$.
- Teplota prostoru je nižší, než požadovaná: $Q_c = \frac{\theta_{\text{spc,req}} - \theta_{\text{spc}}}{\theta_{\text{spc,req}} - \theta_{\text{out,dsg}}} \times V \times \Delta\theta_d \times c_a \times \tau$.

Návrhová hodnota $\Delta\theta_d$ na chladiči. V případě, že není stanovena lze použít hodnotu 18K pro teplotovzdušné vytápění venkovním vzduchem.

Dopad chyby na komfort:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Nefunkční zdroj chladu
- Poddimenzovaný výměník
- Porucha oběhového čerpadla
- Porucha ventilu
- Zanešený výměník
- Příliš vysoká venkovní teplota
- Chyba v regulaci

Pravidlo 19 – Flow

Čistě fyzikální pravidlo. Zkoumá, zda při průtoku vzduchu jednotkou nedochází k nekontrolovanému předávání tepla. Pravidlo signalizuje chybu, pokud je jednotka v režimu COOLING, je známá venkovní teplota, teplota přívodu a platí, že teplota přívodního vzduchu po ohřátí ve ventilátoru a ochlazení na chladiči je vyšší, než teplota venkovního vzduchu o více, než je nastavitelná tolerance (defaultní hodnota programu je 2K). Ohřev vzduchu je spočítaný jako SPF/c_a .

Dopad chyby na spotřebu tepla:

- $Q_c = V \times c_a \times \Delta\theta \times \tau$.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje nekontrolované dodávky tepla, nebo chladu do proudu přiváděného vzduchu. Možná selhání jsou zejména hardwarová:

- Nezavírají/neotvírají se ventily ohřevu.
- Nefunkční čerpadlo chlazení.
- Neotevírající se ventil chlazení.
- Poškozená tepelná izolace potrubí.
- Větší netěsnost potrubí.
- Únik vody, nebo páry do potrubí.

- Neovladatelný ohřívač, nebo chladič.

Pravidlo 20 – dtw

Pravidlo kontroluje, zda je v chladiči na straně vody rozdíl teplot. Chyba je signalizovaná, pokud je k dispozici teplota vody před a za ohřívačem a pokud navíc platí, že teplota za ohřívačem je nižší, než před ním, o více než je programem nastavitelná tolerance (v základu přednastavené 2K).

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál ke zkrácení životnosti zařízení.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Výpadek zdroje chladu.
- Pokus o chlazení v tepné sezóně.
- Chyba senzoru teploty.

Pravidlo 21 – dt A/w

Pravidlo kontroluje, zda teplotní spád na straně vody odpovídá teplotnímu spádu na straně vzduchu. Pravidlo pokud je splněno alespoň jedno z následujících:

- Teplota vody před chladičem je vyšší, než teplota vzduchu za chladičem.
- Teplota vody za chladičem je nižší, než teplota vzduchu před chladičem.

Dopad chyby na životnost zařízení:

- Potenciál na zkrácení životnosti.

Dopad chyby na komfort v prostoru:

- Potenciál na zhoršení komfortu osob ve větraném prostoru.

Pravidlo indikuje následující možná selhání:

- Výpadek zdroje chladu.
- Porucha zdroje chladu.
- Ztráta průtoku vzduchu.
- Ztráta průtoku vody.
- Porucha senzoru.

3 APLIKACE PRAVIDEL NA SOUBORY

VZDUCHOTECHNICKÝCH JEDNOTEK

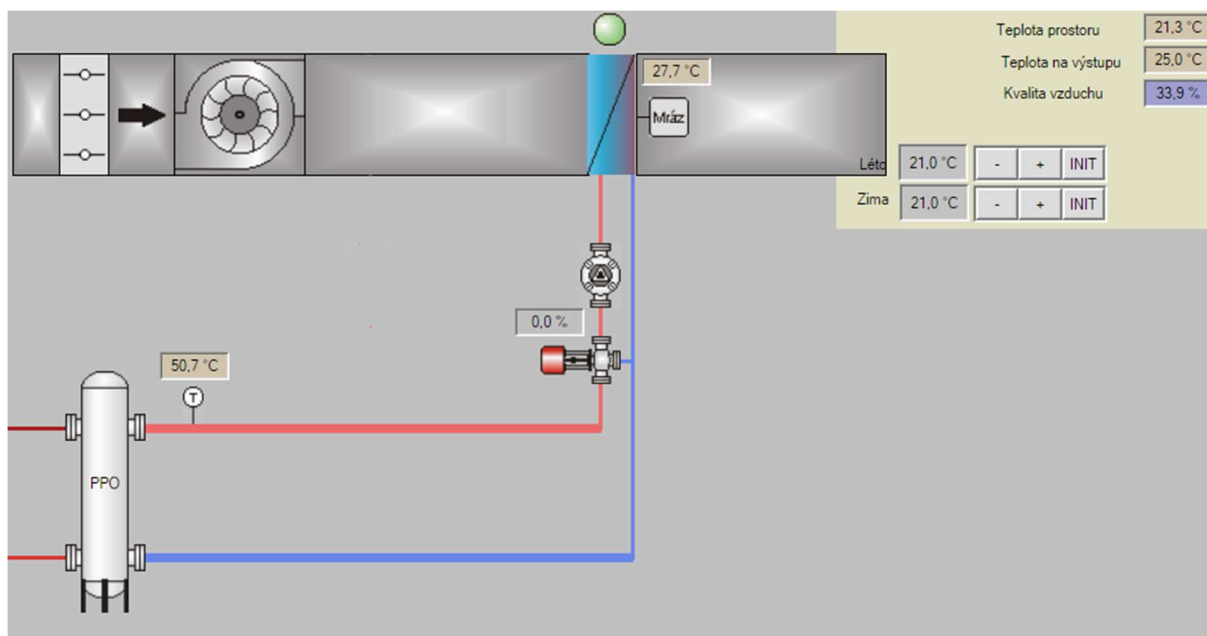
Pravidla jsou použita na dva samostatné soubory jednotek. Na každý soubor jsou aplikována jiná pravidla: na první jsou aplikována obecná pravidla, pravidla týkající se vypnutého stavu jednotky, ohřevu vzduchu a ventilace, druhý soubor je testován pouze pravidla chlazení a pravidlo cyklování provozních stavů. Až na jedinou výjimku jsou data ze stejného období 1.3.2015 do 29.2.2016 a jsou reprezentována pět minut dlouhými intervaly.

3.1 Popis jednotek

První soubor tvoří jednokanálové vzduchotechnické jednotky, větrající učebny na elektrotechnické a strojní fakultě ČVUT. Jde o jednotky velmi podobně vybavené. V práci jsou vyznačeny jako ČVUT X, kde X je jejich pořadové číslo (1-10). Skládají se z následujících komponent schopných spolupráce s programem:

1. Klapka sání. [VYP/ZAP]
2. Ventilátor s frekvenčním měničem.
3. Ohřívač.
4. Senzor teploty vody za ohřívačem.
5. Senzor teploty vzduchu na výstupu.
6. Oběhové čerpadlo ohřevu. [VYP/ZAP]
7. Trojcestný ventil ohřevu. [%]
8. Teplota otopné vody (ještě před směšovacím ventilem).
9. Senzor kvality vzduchu ve větraném prostoru.
10. Senzor teploty vnějšího vzduchu

Jednotky mají dále stanoven časový režim, maximální a minimální hodnoty kvality vzduchu, a teploty na přívodu i v místnosti.

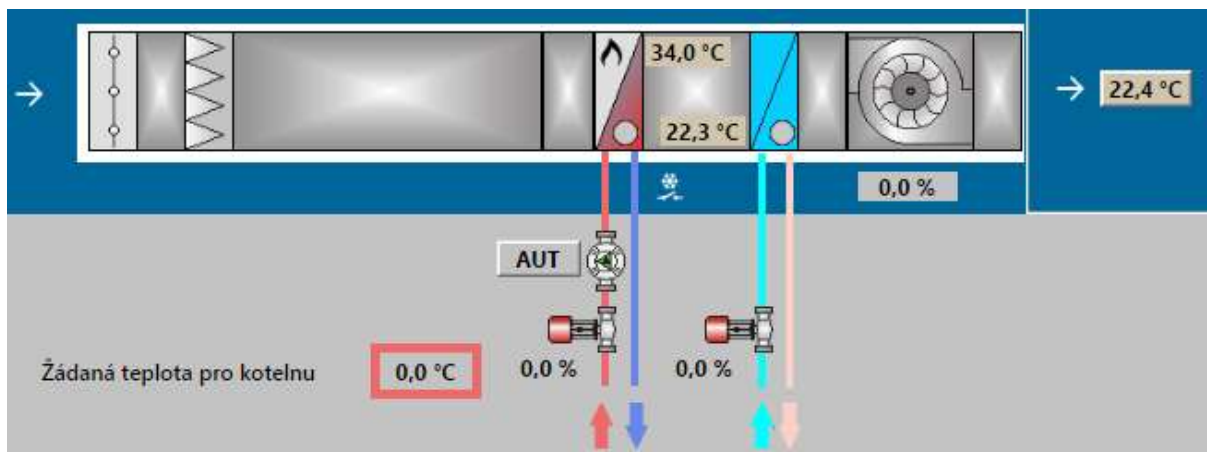


Obrázek 2: Typická jednokanálová VZT jednotka z FS a FEL ČVUT.

Do prvního souboru jednotek také patří jedna jednotka z UCEEBu. Tato jednotka je zároveň součástí i souboru druhého. Jde o jedinou vhodnou jednotku, která mi byla k dispozici, na kterou bylo možné aplikovat všechna pravidla na ohřev i chlazení. Tato jednotka je značena jako ČVUT 10 a skládá se z následujících komponent schopných spolupráce s programem:

1. Klapka sání venkovního vzduchu. [VYP/ZAP]
2. Ohříváč.
3. Teplota vody v ohříváči.
4. Požadavek na teplotu otopné vody.
5. Oběhové čerpadlo ohřevu [VYP/ZAP]
6. Uzavírací ventil ohřevu [%]
7. Chladič
8. Uzavírací ventil chlazení [%]
9. Ventilátor s frekvenčním měničem
10. Senzor teploty vzduchu na výstupu
11. Senzor teploty vnějšího vzduchu

Jednotka má dále stanoveny požadavky na výstupní teplotu vzduchu.



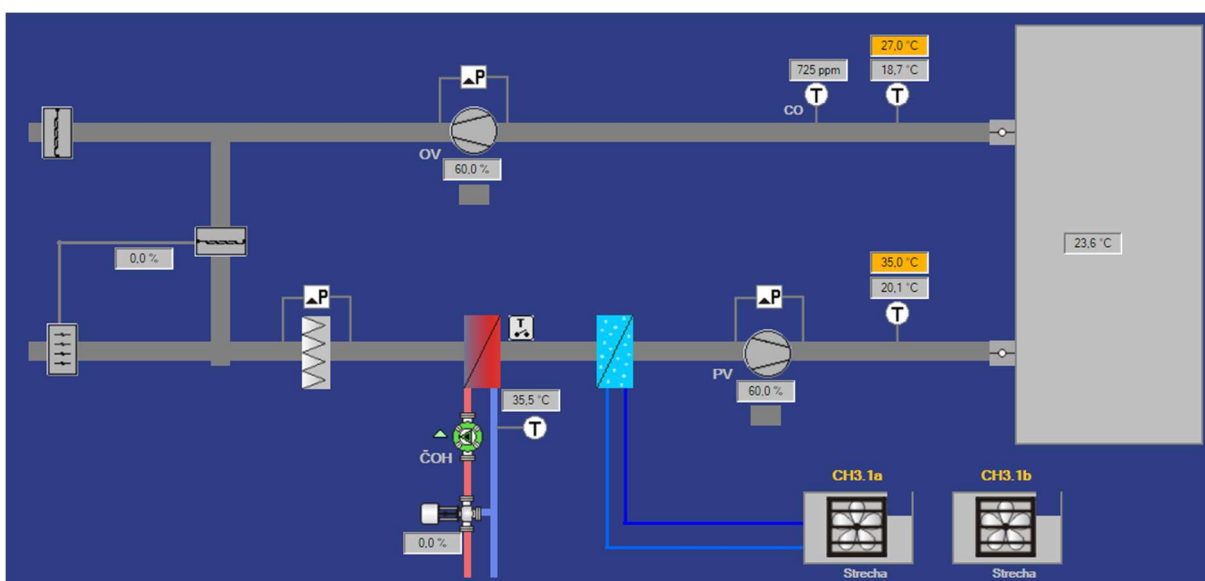
Obrázek 3: Jednakanálová VZT jednotka z UCEEBu.

Ve druhém souboru jsou zařazeny pouze tři jednotky. Bohužel naprostá většina jednotek vybavená chladičem je vybavena také výměníkem pro zpětné získávání tepla. Pro takové jednotky program není vhodný. Pro zvýšení možnosti ověřit pravidla a chyby jednotek jsem pro účely chlazení přidal jednu jednotku se zpětným získáváním tepla (UCEEB), za předpokladu, že při chlazení se výměník obchází přes bypass a jednu jednotku se směšovací klapkou (budova občanské vybavenosti). Více je popsáno u konkrétních pravidel.

Jednotka se směšovací klapkou je označena jako CH 1 a obsahuje komponenty:

- Chladič (běh chladičů).
- Ventilátor sání vnějšího vzduchu s frekvenčním měničem.
- Ventilátor sání vzduchu z místnosti s frekvenčním měničem.
- Senzor teploty přiváděného vzduchu.
- Senzor teploty odváděného vzduchu.
- Senzor kvality odváděného vzduchu.
- Senzor teploty vnitřního vzduchu.
- Sensory zjišťující, zda je zapnutý ohřev.

Jednotka má dále stanoveny hodnoty maximální a minimální teploty přivodního vzduchu a jeho kvality.

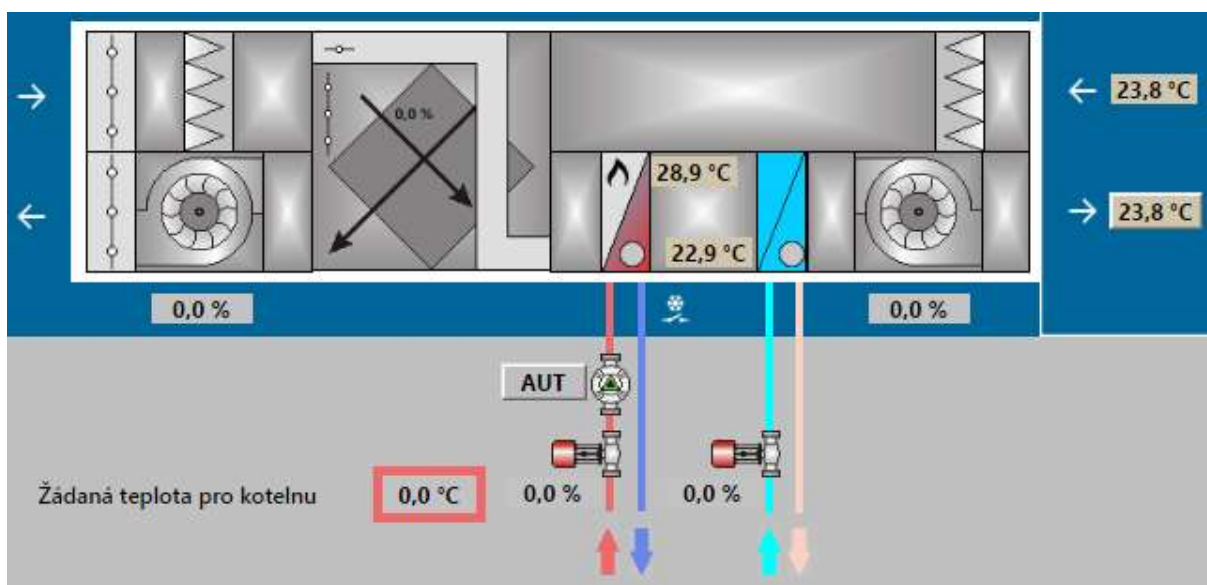


Obrázek 4: Jednotka s chladičem a směšovací klapkou.

Jednotka se zpětným získáváním tepla je označena jako CH 2 a obsahuje komponenty:

- Ventilátor sání vnějšího vzduchu s frekvenčním měničem.
- Ventilátor sání vzduchu z místnosti s frekvenčním měničem.
- Chladič.
- Teplota vody v chladiči.
- Uzavírací ventil chlazení [%].
- Senzor teploty přívodního vzduchu.
- Senzor teploty odvodního vzduchu.
- Sensory zjišťující, zda je zapnutý ohřev.

Jednotka má dále stanoveny hodnoty maximální a minimální teploty přívodního vzduchu.



Obrázek 5: Typická jednotka s ZTT z UCEEBu.

Žádná z jednotek nemá v systému informaci o množství vzduchu. Ve všech jednotkách je proto použito 1000 m³/h. Proto dopady na energie nejsou přesné, a slouží spíše pro orientaci a vzájemné porovnání chyb a jednotek.

3.2 Výsledek aplikace pravidel na soubory jednotek

V průměru nejčastěji chybu hlásí vzhledem k provoznímu stavu jednotky pravidlo 9, které kontroluje, zda se do jednotky v režimu VENTILATION nedostává teplo. Tato chyba je planá a nekontrolované předávání tepla do jednotky ve skutečnosti není nejčastější chybou. Další v pořadí jsou pravidla 7 a 12. Chyby hlášené 7. pravidlem přímo souvisí s chybami pravidla 9. Obě jsou způsobeny implementací pravidel v tabulkovém procesoru. Více informací je u analýzy jednotlivých pravidel. Pravidlo 12 má pro změnu nevhodnou implementaci, která nezahrnuje určité předpoklady. Analogicky je na tom pravidlo 18 pro chlad. Více u analýzy pravidel.

Skutečná čísla chyb jednotek je bohužel nelehké získat a proto je tato statistika pouze jednoduchým sumarizovaným výstupem z programu se vzorovými algoritmy pravidel. Když pomínu všechny plané signalizace, nejděším problémem jsou pravděpodobně čerpadla, která se poměrně často spínají ve všech provozních stavech jednotky. Skutečný dopad na spotřebu chladu a tepla není snadné rozhodnout ze stejných důvodů. Ovšem signalizace chyb pravidla 2 a 18 má nezanedbatelný vliv na komfort osob v prostoru. Kvůli všemu výše zmíněnému, má mnohem vyšší vypovídající hodnotu, než má tento souhrn, analýza chyb jednotlivých pravidel a jeho souhrn.

V následujících tabulkách je podrobně zobrazen počet chyb na každém pravidle.

Podíl intervalů k celku reprezentuje počet procent ze všech intervalů je tímto pravidlem kontrolovaných.

Podíl intervalů k ZAP reprezentuje počet procent intervalů z času, kdy byla jednotka zapnutá, pravidlo kontrolovalo.

Chybné intervaly jsou zobrazeny absolutně i v procentech.

Podíl chyby z chyb reprezentuje podíl, kterým se chyba podílela na všech chybách dané jednotky.

Počet chybných intervalů k celku reprezentuje podíl, který mají chyby vůči všem intervalům dané jednotky.

V tabulce dopadů pravidel je životnost s komfortem vyjádřena ve dnech. Jde o převedení bezrozměrného údaje o potenciálu ke způsobení negativního dopadu do času ve dnech, aby tak bylo zřejmé, kolik času z roku jednotka ve stavu s takovým potenciálem běží.

Souhrnná tabulka chyb jednotlivých pravidel:

	rule 0	Overall rules			Off rules		Ventilation rules				Heating rules					průměr
		0	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	
ČVUT 1	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	93,71%	93,71%	1,89%	1,89%	2,34%	2,34%	2,39%	2,39%	2,73%	2,73%	2,73%	
	podíl int. k ZAP [%]						29,97%	29,97%	37,25%	37,25%	37,94%	37,94%	43,34%	43,34%	43,34%	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105409	98779	98779	1987	1987	2469	2469	2515	2515	2873	2873	2873	38310,29
intervalů	chybných intervalů [n]	798	22157	807	15	5437	20	959	4	2469	484	0	77	0	0	2373,4
105408	chybných intervalů [%]	0,76%	21,02%	0,77%	0,015%	5,50%	1,01%	48,26%	0,16%	100%	19,24%	0%	2,68%	0%	0%	14,2%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	2,40%	66,68%	2,43%	0,045%	16,363%	0,06%	2,89%	0,012%	7,43%	1,46%	0%	0,23%	0%	0%	7,1%
33227	chybných int z celku [%]	0,76%	21,02%	0,77%	0,014%	5,16%	0,02%	0,91%	0,004%	2,34%	0,46%	0%	0,07%	0%	0%	2,3%
ČVUT 2	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	93,97%	93,97%	1,89%	1,89%	2,36%	2,36%	2,48%	2,48%	2,91%	-	-	
	podíl int. k ZAP [%]						31,39%	31,39%	39,11%	39,11%	41,21%	41,21%	48,22%	-	-	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105408	99052	99052	1995	1995	2486	2486	2619	2619	3065	-	-	44299,4
intervalů	chybných intervalů [n]	610	2785	2334	0	72	41	1093	13	1611	417	0	154	-	-	760,8
105408	chybných intervalů [%]	0,58%	2,64%	2,21%	0%	0,07%	2,06%	54,8%	0,52%	64,80%	15,92%	0,00%	5,02%	-	-	12,4%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	9,86%	45,02%	25,56%	0%	0,79%	0,45%	12%	0,14%	17,65%	4,57%	0,00%	1,69%	-	-	9,8%
9130	chybných KK z celku [%]	0,58%	2,64%	2,21%	0%	0,07%	0,04%	1%	0,01%	1,53%	0,40%	0,00%	0,15%	-	-	0,7%
ČVUT 3	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	79,91%	79,91%	2,47%	2,47%	4,32%	4,32%	3,96%	3,96%	5,79%	5,79%	5,79%	
	podíl int. k ZAP [%]						12,29%	12,29%	21,49%	21,49%	19,72%	19,72%	28,84%	28,84%	28,84%	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105408	84236	84236	2602	2602	4549	4549	4176	4176	6105	6105	6105	37547,5
intervalů	chybných intervalů [n]	5905	4035	8445	3	6	5	0	33	2160	475	1599	1001	152	93	1708,0
105408	chybných intervalů [%]	5,60%	3,83%	8,01%	0,004%	0,007%	0,19%	0%	0,73%	47,48%	11,37%	38,29%	16,40%	2,49%	1,52%	9,7%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	24,69%	16,87%	35%	0,013%	0,025%	0,021%	0%	0,14%	9,03%	1,99%	6,69%	4,19%	0,64%	0,39%	7,1%
23912	chybných int z celku [%]	5,60%	3,83%	8%	0,003%	0,006%	0,005%	0%	0,03%	2,05%	0,45%	1,52%	0,95%	0,14%	0,09%	1,6%
ČVUT 4	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	91,54%	91,54%	3,86%	3,86%	5,22%	5,22%	1,34%	1,34%	1,82%	1,82%	1,82%	
	podíl int. k ZAP [%]						45,60%	45,60%	61,68%	61,68%	15,88%	15,88%	21,53%	21,53%	21,53%	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105408	96491	96491	4066	4066	5500	5500	1416	1416	1920	1920	1920	38352,1
intervalů	chybných intervalů [n]	271	1067	271	13	2	5	0	1	5078	205	515	915	0	0	595,9
105408	chybných intervalů [%]	0,26%	1,01%	0,26%	0,01%	0,002%	0,12%	0%	0,02%	92,33%	14,48%	36,37%	47,66%	0%	0%	13,8%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	3,25%	12,79%	3,25%	0,16%	0,024%	0,060%	0%	0,012%	60,87%	2,46%	6,17%	10,97%	0%	0%	7,1%
8343	chybných int z celku [%]	0,26%	1,01%	0,26%	0,01%	0,002%	0,005%	0%	0,001%	4,82%	0,19%	0,49%	0,87%	0%	0%	0,6%
ČVUT 5	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	87,60%	87,60%	1,25%	1,25%	1,35%	1,35%	9,98%	9,98%	10,31%	10,31%	-	
	podíl int. k ZAP [%]						10,11%	10,11%	10,91%	10,91%	80,43%	80,43%	83,16%	83,16%	-	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105408	92334	92334	1322	1322	1426	1426	10516	10516	10872	10872	-	42243,4
intervalů	chybných intervalů [n]	383	4638	387	5	0	0	0	52	384	4056	3587	0	-	-	1037,8
105408	chybných intervalů [%]	0,36%	4,40%	0,37%	0,005%	0%	0%	0%	3,65%	3,65%	38,57%	32,99%	0%	-	-	6,5%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	2,84%	34,38%	2,87%	0,037%	0%	0%	0%	0,39%	2,85%	30,06%	26,59%	0%	-	-	7,7%
13492	chybných int z celku [%]	0,36%	4,40%	0,37%	0,005%	0%	0%	0%	0,05%	0,36%	3,85%	3,40%	0%	-	-	1,0%
ČVUT 6	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	93,63%	93,63%	1,21%	1,21%	1,38%	1,38%	4,14%	4,14%	4,30%	4,30%	4,30%	
	podíl int. k ZAP [%]						19,04%	19,04%	21,70%	21,70%	65,01%	65,01%	67,55%	67,55%	67,55%	
	počet intervalů [n]	105120	105120	105120	98429	98429	1274	1274	1452	1452	4350	4350	4520	4520	4520	38566,4
intervalů	chybných intervalů [n]	457	3604	2862	25	52	9	21	0	1452	597	0	46	0	0	651,8
105120	chybných intervalů [%]	0,43%	3,43%	2,72%	0,03%	0,05%	0,71%	1,65%	0%	100%	13,72%	0%	1,02%	0%	0%	8,8%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	5,01%	39,50%	31,36%	0,27%	0,57%	0,099%	0,230%	0,000%	15,91%	6,54%	0%	0,50%	0%	0%	7,1%
9125	chybných int z celku [%]	0,43%	3,43%	2,72%	0,02%	0,05%	0,009%	0,02%	0,00%	1,38%	0,57%	0%	0,04%	0%	0%	0,6%
ČVUT 7	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	85,27%	85,27%	3,62%	3,62%	5,79%	5,79%	6,24%	6,24%	8,49%	8,49%	8,49%	
	podíl int. k ZAP [%]						24,57%	24,57%	39,31%	39,31%	42,36%	42,36%	57,65%	57,65%	57,65%	
	počet intervalů [n]	105408	105408	105408	89883	89883	3814	3814	6103	6103	6576	6576	8950	8950	8950	39701,86
intervalů	chybných intervalů [n]	87	3457	91	13	76	9	1733	1	3890	298	0	4562	1	0	1015,57
105408	chybných intervalů [%]	0,08%	3,28%	0,09%	0,01%	0,08%	0,24%	45,44%	0,02%	63,74%	4,53%	0%	50,97%	0%	0%	12,0%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	0,61%	24,31%	0,64%	0,09%	0,53%	0,063%	12,189%	0,007%	27,360%	2,10%	0%	32,09%	0%	0%	7,1%
14218	chybných int z celku [%]	0,08%	3,28%	0,09%	0,01%	0,07%	0,01%	1,64%	0,001%	3,69%	0,28%	0%	4,33%	0%	0%	1,0%
ČVUT 8	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	87,73%	87,73%	2,84%	2,84%	5,25%	5,25%	3,86%	3,86%	6,33%	6,33%	6,33%	
	podíl int. k ZAP [%]						23,14%	23,14%	42,81%	42,81%	31,47%	31,47%	51,58%	51,58%	51,58%	
	počet intervalů [n]	105407	105407	105407	92475	92475	2992	2992	5536	5536	4070	4070	6670	6670	6670	39026,9
intervalů	chybných intervalů [n]	34	7970	39	5	31	12	1657	0	4128	292	0	2122	0	0	1163,571
105407	chybných intervalů [%]	0,03%	7,56%	0,04%	0,005%	0,03%	0,40%	55,38%	0%	74,57%	7,17%	0%	31,81%	0%	0%	12,6%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	0,21%	48,93%	0,24%	0,031%	0,19%	0,07%	10,17%	0%	25,34%	1,79%	0%	13,03%	0%	0%	7,1%
16290	chybných int z celku [%]	0,03%	7,56%	0,04%	0,005%	0,03%	0,01%	1,57%	0%	3,92%	0,28%	0%	2,01%	0%	0%	1,1%
ČVUT 9	podíl int. k celku [%]	100%	100%	100%	-	68,29%	-	2,47%	2,56%	-	-	21,69%	21,97%	-	-	
	podíl int. k ZAP [%]							7,78%	8,08%			68,40%	69,29%			
	počet intervalů [n]	96497	96497	96497	-	65899	-	2380	2473	-	-	20930	21201	-	-	50296,8
intervalů	chybných intervalů [n]	6132	15389	142	-	73	-	3	0	-	-	7	1506	-	-	2906,5
96497	chybných intervalů [%]	6,35%	15,95%	0,15%	-	0,11%	-	0,13%	0%	-	-	0,03%	7,10%	-	-	3,7%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	26,37%	66,18%	0,61%	-	0,31%	-	0,013%	0%	-	-	0,03%	6,48%	-	-	12,5%
23252	chybných int z celku [%]	6,35%	15,95%	0,15%	-	0,08%	-	0,003%	0%	-	-	0,007%	1,56%	-	-	3,0%
ČVUT 10	podíl int. k celku [%]	100%	-	-	72,17%	72,17%	5,77%	5,77%	-	6,49%	17,69%	17,69%	-	18,34%	-	
	podíl int. k ZAP [%]						20,73%	20,73%	-	23,30%	63,55%	63,55%	-	65,90%	-	
	počet intervalů [n]	105408	-	-	76069	76069	6083	6083	-	6836	18645	18645	-	19335	-	37019,2
intervalů	chybných intervalů [n]	85	-	-	16	21	27	329	-	801	7	5	-	0	-	143,4
105408	chybných intervalů [%]	0,08%	-	-	0,02%	0,03%	0,44%	5,41%	-	11,72%	0,04%	0,03%	-	0%	-	1,97%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	6,58%	-	-	1,24%	1,63%	2,09%	25,48%	-	62,04%	0,54%	0,39%	-	0%	-	11,11%
1291	chybných int z celku [%]	0,08%	-	-	0,02%	0,02%	0,03%	0,31%	-	0,76%	0,007%	0,005%				

Souhrnná tabulka dopadů chyb jednotlivých pravidel:

		Overall rules		Off rules		Ventilation rules				Heating rules					průměr
		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	celkem

ČVUT 1	Chybavost	[%]	21,0%	0,08%	0,015%	5,5%	1,0%	48,3%	0,16%	100,0%	19,2%	0%	2,7%	0,0%	0,0%	15,2%
	Elektřina	[kWh]	0	0	0	27185	10,3	4795,0	0	0,0	396,9	0,0	0,0	0,0	0,0	32387,2
	Teplo	[kWh]	0	0	0,2	0	0	0	0	269,9	0	0	0	0	0	270,2
	Chlad	[kWh]	0	0	0,2	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,3
	Životnost	[dny]	0,16	1,40	0	23,8	0	4,21	0	10,8	0	0	0	0	0	40,4
	Komfort	[dny]	76,8	7,26	0	0	0,07	0	0,01	0	1,68	0	0,27	0	0	86,1

ČVUT 2	Chybavost	[%]	2,6%	2,2%	0%	0,07%	2,1%	54,8%	0,5%	64,8%	15,9%	0,00%	5,0%	-	-	13,5%
	Elektřina	[kWh]	1,26	4,2E-03	0	360	17,8	5465,0	0,0	0,0	356,3	0,0	0,0	-	-	6200,4
	Teplo	[kWh]	0,69	6,53	0	0	0	0	0	236,08	0	0	2	-	-	245,6
	Chlad	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0
	Životnost	[dny]	0,07	0,84	0	0,32	0	4,79	0	7,07	0	0	0	-	-	13,1
	Komfort	[dny]	9,61	66,5	0	0	0,14	0	0,05	0	1,45	0	0,53	-	-	78,3

asdf

ČVUT 3	Chybavost	[%]	3,8%	8,0%	0,004%	0,01%	0,2%	0%	0,7%	47,5%	11,4%	38,29%	80,6%	2,5%	1,5%	15,0%
	Elektřina	[kWh]	554,5	8E-06	0	0	2,7	0	0,0	0,0	407,6	0,0	0,0	0,0	0,0	964,9
	Teplo	[kWh]	237,6	0	0,1	0	0	0	0	504,4	0	0	108	0	0	850,0
	Chlad	[kWh]	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,8
	Životnost	[dny]	16,5	15,6	0	0,03	0	0	0	9,47	0	7,01	0	0,67	0,41	49,7
	Komfort	[dny]	0,96	13,7	0	0	0,02	0	0,11	0	1,65	5,55	3,5	0	0,32	25,8

ČVUT 4	Chybavost	[%]	1,0%	0,03%	0,01%	0,002%	0,1%	0,0%	0,0%	92,3%	14,5%	36,37%	47,7%	0,0%	0,0%	14,8%
	Elektřina	[kWh]	119,5	0	0	0	2,3	0,0	0,0	0,0	191,3	0,0	0,0	0,0	0,0	313,2
	Teplo	[kWh]	60,9	0,44	0,4	0	0	0	0	989,9	0	0	48,5	0	0	1100,0
	Chlad	[kWh]	0	0	0,2	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0,2
	Životnost	[dny]	0,88	0,01	0	0,01	0	0	0	22,3	0	2,26	0	0	0	25,4
	Komfort	[dny]	3,01	0,93	0	0	0,02	0	0,00	0	0,71	1,79	3,18	0	0	9,6

ČVUT 5	Chybavost	[%]	4,4%	0,4%	0,01%	0%	0%	0%	0%	3,6%	3,7%	38,57%	33,0%	0,0%	-	7,0%
	Elektřina	[kWh]	414,6	0	0	0	0	0	0	0	353,2	0	0	0	0	767,8
	Teplo	[kWh]	130,2	0	0	0	0	0	0	0,98	0	0	5153	0	-	5283,7
	Chlad	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0,0
	Životnost	[dny]	18,6	0,13	0	0	0	0	0	0,23	0	17,8	0	0	-	36,8
	Komfort	[dny]	1,36	1,21	0	0	0	0	0	0	1,33	14,1	12,5	0	-	30,4

ČVUT 6	Chybavost	[%]	3,4%	2,7%	0,03%	0,1%	0,7%	1,6%	0,0%	100,0%	13,7%	0,00%	1,0%	0,0%	0,0%	9,5%
	Elektřina	[kWh]	12,2	5E-05	0	260	2,2	105,0	0,0	0,0	475,5	0,0	0,0	0,0	0,0	854,9
	Teplo	[kWh]	4,1	0,1	1,0	0	0	0	0	83,3	0	0	0	0	0	88,5
	Chlad	[kWh]	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
	Životnost	[dny]	4,72	0,75	0	0,23	0	0,09	0	6,37	0	0	0	0	0	12,2
	Komfort	[dny]	8,77	9,2	0	0	0,03	0	0	0	2,07	0	0,16	0	0	20,2

ČVUT 7	Chybavost	[%]	3,3%	0,001%	0,014%	0,08%	0,2%	45,4%	0,0%	63,7%	4,5%	0,00%	51,0%	0,01%	0,0%	12,9%
	Elektřina	[kWh]	263,0	3E-05	0	380	1,9	8665,0	0	0	275,8	0,0	0	0	0,0	9585,7
	Teplo	[kWh]	63,5	0,05	0,3	0	0	0	0	651,5	0	0	231	0	0	946,8
	Chlad	[kWh]	0	0	0,2	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,3
	Životnost	[dny]	9,57	0,01	0	0,33	0	7,60	0	17,1	0	0	0	0,004	0	34,6
	Komfort	[dny]	4,43	0,30	0	0	0,03	0	0,003	0	1,03	0	15,8	0	0	21,6

ČVUT 8	Chybavost	[%]	7,6%	0,0%	0,005%	0,0%	0,4%	55,4%	0,0%	74,6%	7,2%	0,00%	31,8%	0,0%	0,0%	13,6%
	Elektřina	[kWh]	132,6	0	0	155	11,0	8335,0	0,0	0,0	279,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8913,3
	Teplo	[kWh]	57,7	0	0,0	0	0	0	0	819,4	0	0	96	0	0	973,4
	Chlad	[kWh]	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
	Životnost	[dny]	2,67	0,01	0	0,14	0	7,31	0	18,2	0	0	0	0	0	28,3
	Komfort	[dny]	25,6	0,12	0	0	0,04	0	0	0	1,05	0	7,37	0	0	34,2

ČVUT 9	Chybavost	[%]	15,9%	0,1%	-	0,1%	-	0,1%	0,0%	-	-	0,03%	7,1%	-	-	3,4%
	Elektřina	[kWh]	6111	0,004	-	365	-	15,0	0,0	-	-	0,0	0,0	-	-	6491,0
	Teplo	[kWh]	563,0	0,14	-	0	-	0	0	-	-	0	0	-	-	563,1
	Chlad	[kWh]	0	0	-	0	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0,0
	Životnost	[dny]	33,5	0,08	-	0,32	-	0,01	0	-	-	0,03	0	-	-	33,9
	Komfort	[dny]	26,9	0,43	-	0	-	0	0	-	-	0,02	5,23	-	-	32,6

ČVUT 10	Chybavost	[%]	-	-	0,021%	0,0%	0,4%	5,4%	-	11,7%	0,0%	0,03%	-	0,0%	-	2,2%
	Elektřina	[kWh]	-	-	0	105	0,0	1645,0	-	0,0	4,7	0,0	-	0,0	-	1754,7
	Teplo	[kWh]	-	-	0,1	0	0	0	-	134,3	0	0	-	0	-	134,4
	Chlad	[kWh]	-	-	0,2	0	0	0	-	0,31	0	0	-	0	-	0,5
	Životnost	[dny]	-	-	0	0,09	0	1,44	-	3,51	0	0,02	-	0	-	5,1
	Komfort	[dny]	-	-	0	0	0,09	0	-	0	0,02	0,02	-	0	-	0,1

SOUHRN	Chybavost	[%]	7,0%	1,5%	0,0%	0,6%	0,6%	21,1%	0,2%	62,0%	10,0%	11,33%	28,9%	0,3%	0,3%	11,1%
	Elektřina	[kWh]	845,4	0,00	0	2881	5,4	2902,5	0,0	0,0	304,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6938,8
	Teplo	[kWh]	124,2	0,81	0,24	0	0	0	0	410,0	0	0	627	0	0	1161,8
	Chlad	[kWh]	0	0	0,13	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0,3
	Životnost	[dny]	9,63	2,09	0	2,53	0	2,55	0	10,6	0	2,71	0	0,08	0,07	30,2
	Komfort	[dny]	17,5	11,1	0	0	0,05	0	0,02	0	1,22	2,15	5,39	0	0,05	37,5

Souhrnná tabulka chyb jednotlivých pravidel:

3	Cooling rules					průměr
	16	17	18	19	21	

ČVUT 10	podíl int. k celku [%]	100,00%	2,44%	2,44%	-	2,57%	-	
	podíl int. k ZAP [%]		8,76%	8,76%	-	9,24%	-	
	počet intervalů [n]	105408	2569	2569	-	2712	-	28314,5
intervalů	chybných intervalů [n]	0	0	36	-	68	-	26,0
105408	chybných intervalů [%]	0%	0%	1,40%	-	2,51%	-	1,0%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	0%	0%	34,6%	-	65,4%	-	25,0%
104	chybných int. z celku [%]	0%	0%	0,03%	-	0,06%	-	0,02%

CH 1	podíl int. k celku [%]	100,00%	2,76%	2,76%	-	2,90%	-	
	podíl int. k ZAP [%]		7,58%	7,58%	-	7,95%	-	
	počet intervalů [n]	105408	2912	2912	-	3055	-	28571,75
intervalů	chybných intervalů [n]	1	1	217	-	654	-	218,3
105408	chybných intervalů [%]	0%	0%	7,45%	-	21,41%	-	7,2%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	0%	0%	24,9%	-	74,9%	-	25,0%
873	chybných int. z celku [%]	0%	0%	0,21%	-	0,62%	-	0,21%

CH 2	podíl int. k celku [%]	100,00%	2,90%	2,90%	3,05%	3,05%	3,05%	
	podíl int. k ZAP [%]		8,14%	8,14%	8,55%	8,55%	8,55%	
	počet intervalů [n]	113198	3285	3285	3451	3451	3451	21686,83
intervalů	chybných intervalů [n]	0	0	98	1184	49	14	224,2
113198	chybných intervalů [%]	0%	0%	2,98%	34%	1,42%	0,41%	6,5%
chyb	podíl chyby z chyb [%]	0%	0%	7,3%	88,0%	3,6%	1,04%	16,7%
1345	chybných int. z celku [%]	0%	0%	0,09%	1%	0,04%	0,01%	0,20%

SOUHRN	chybných KK [%]	0,00%	0,01%	3,95%	34,31%	8,44%	0,41%	7,85%
	min	0,00%	0,00%	1,40%	34,31%	1,42%	0,41%	6,26%
	max	0,00%	0,03%	7,45%	34,31%	21,41%	0,41%	10,60%
	podíl chyby z chyb [%]	0,03%	0,03%	16,69%	44,01%	35,99%	0,52%	16,21%
	chybných int z celku [%]	0,00%	0,00%	0,08%	0,52%	0,18%	0,01%	0,13%

Souhrnná tabulka dopadů chyb jednotlivých pravidel:

3	Cooling rules					průměr
	16	17	18	19	21	celkem

ČVUT 10	Chybovost	[%]	0,0%	0,0%	1,4%	-	2,5%	-	1,0%
	Elektrina	[kWh]	0	0,0	180,0	-	0,0	-	45,00
	Teplo	[kWh]	0	0	0	-	1	-	0,27
	Chlad	[kWh]	0	0	0	-	0	-	0,00
	Životnost	[dny]	0	0	0,25	-	0,47	-	0,18
	Komfort	[dny]	0	0	0	-	0	-	0,00

CH 1	Chybovost	[%]	0,0%	0,0%	7,5%	no_data	21,4%	-	7,2%
	Electricity	[kWh]	0	0,0	1085,0	0,0	0,0	-	217,00
	Heat	[kWh]	0	0	0	0	0	-	0,00
	Coolness	[kWh]	0	0	0	0	0	-	0,00
	eq. Life	[dny]	0	0	18,1	0	0	-	3,62
	comfort	[dny]	0	242,7	0	0	0	-	48,53

CH 2	Chybovost	[%]	0,0%	0,0%	3,0%	34,3%	1,4%	0,4%	6,5%
	Electricity	[kWh]	0	0,0	490,0	0,0	0,0	0,0	81,67
	Heat	[kWh]	0	0	0	0	2	0	0,32
	Coolness	[kWh]	0	0	0	-2	0	0	-0,26
	eq. Life	[dny]	0	0	8,2	0	4,08	1,17	2,24
	comfort	[dny]	0	0	0	98,7	0	1,17	16,64

souhrn	chybovost	[%]	0,0%	0,0%	3,9%	34,3%	8,4%	0,4%	7,9%
	Electricity	[kWh]	0,0	0,0	438,7	0,0	0,0	0,0	73,12
	Heat	[kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,13
	Coolness	[kWh]	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	-0,09
	eq. Life	[dny]	0,00	0,00	6,63	0,00	1,14	0,58	1,39
	comfort	[dny]	0,00	80,89	0,00	49,33	0,00	1,17	21,90

3.3 Analýza nejčastějších chyb u jednotek bez chladiče

V následujících kapitolách jsou popsány nejčastější chyby, které program objevil na jednotkách bez chladiče. Některé jsou způsobeny samotným programem, jiné chyby jsou na straně jednotky.

Chyby jsou popsány v rámci pravidla, které je odhalilo vždy na nejchybovějších jednotkách. U každého pravidla je na začátku znovu zjednodušeně popsána jeho funkce, statistika chyby a nakonec popis chyby, případně snaha o jejich vysvětlení. Chyba může být ilustrována grafem.

3.3.1 Chyby všeobecných pravidel

Pravidlo 0 – Detekce provozního stavu

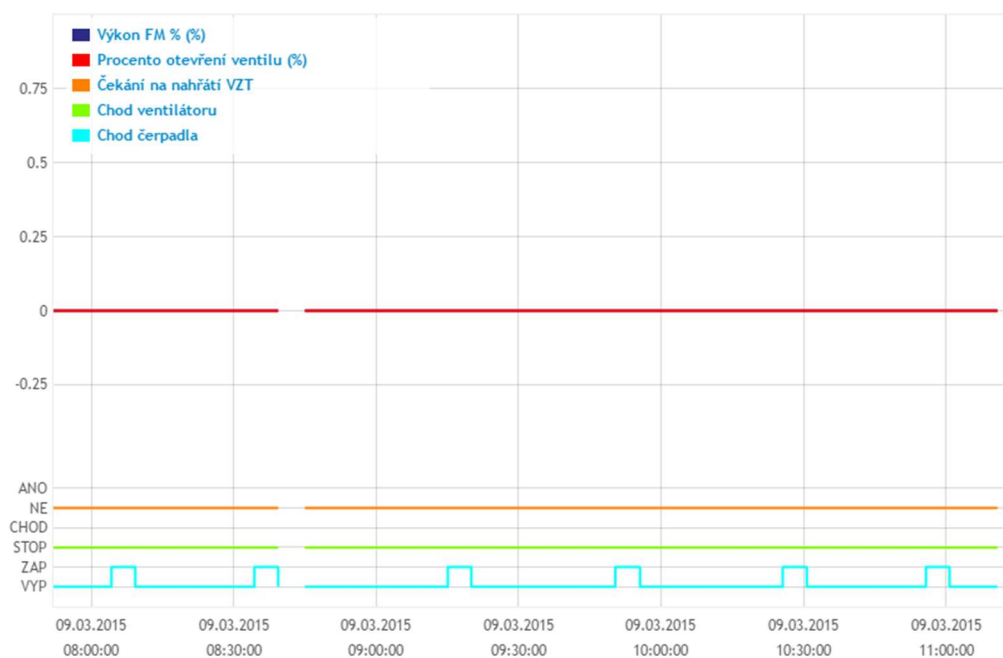
Pravidlo přiřazuje vzduchotechnické jednotce pracovní stav.

V průměru 1,36% intervalů je zařazených jako stav UNKNOWN. Na všech chybách se tato chyba podílí 6,43%. Nejvíce neznámých stavů – 6,35% má přiřazeno jednotka ČVUT 9 Konkrétně 6132 z 105407 intervalů. Další (ČVUT 3) 5,60%, ostatní jednotky mají chybovost pod 1%.

U jednotky ČVUT 3 bylo nejčastějším spouštěčem chyby opakované spínání čerpadla ve chvíli, kdy byla celá jednotka v nečinnosti. Někdy v hodinových intervalech, viz graf, někdy každých 5-15 minut. Někdy čerpadlo běželo několik hodin v kuse při vypnutém ventilátoru a zavřených klapkách. Další chybou bylo delší dovírání ventilu po vypnutí jednotky, nebo otevírání jednotky s předstihem.

U některých jednotek jde v podstatě pouze o delší dovírání, ventilu po vypnutí jednotky, nebo otevírání jednotky s předstihem. V několika výjimečných případech se čerpadlo bez

zdánlivého důvodu sepne na 5-10 minut.



Obrázek 6: Opakované spínání čerpadla při vypnuté jednotce (ČVUT 3)

Pravidlo 1 – indikace zapnutí v pracovní době

Pravidlo 1 kontroluje, zda je jednotka zapnutá během pracovní doby a vypnutá mimo ni. Vzhledem k několika různým typům značením povolení chodu (ZAP_KVALITA, ZAP_100, NAHREV,...) bylo toto pravidlo velmi komplikované spustit.

Průměrná chybovost 6,75% z kontrolovaných intervalů. Na všech chybách se tato chyba podílí 35,5%. V nejvyšší míře v 21,0%, odpovídajícím 22157 intervalům (ČVUT 1)

Naprostá většina chyb, které pravidlo v případě této jednotky signalizuje jsou způsobeny implementací programu v tabulkovém procesoru (mnohem komplikovanější práce s přesným časem).

U několika jednotek (ČVUT 1, ČVUT 9) je chybovost vyšší. V některých dnech je jednotka zapnuta dříve/déle, jindy je vypnutá dříve/později. Pravděpodobně půjde o změny režimu jednotek v danou dobu, ne o chybu jednotek.

Pravidlo 2 – kontrola chodu jednotky pokud dostane povel od MaR

Pravidlo 2 kontroluje, zda jednotka běží, když dostane pokyn.

Průměrná chybovost 8,01% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 1,62 % ze všech intervalů. Na všech chybách se tato chyba podílela 11,36 % V nejvyšší míře v 8,01%, odpovídajícím 8445 chybám (ČVUT 3).

Pravidlo 3 signalizuje chybu vždy, když je jednotka dle časového rozvrhu vypnutá a zároveň je v jiném stavu, než OFF. Takže ve velké většině případů se pravidlo aktivuje, pokud je pracovní režim jednotky UNKNOWN. To znamená, že u více, než poloviny jednotek je tato chyba spuštěna společně se signalizací chyby pravila 1.

U jednotek ČVUT 3 a ČVUT 2 dochází k situacím, kdy by jednotka měla podle všeho běžet, ale neběží a zároveň je v prostoru velmi nízká kvalita vzduchu.

Pravidlo 3 – kontrola cyklování provozních stavů

Pravidlo 3 kontroluje, zda se opakovaně nestřídají režim HEATING a COOLING. Proto je popsáno pouze u jednotek, které umí chladit.

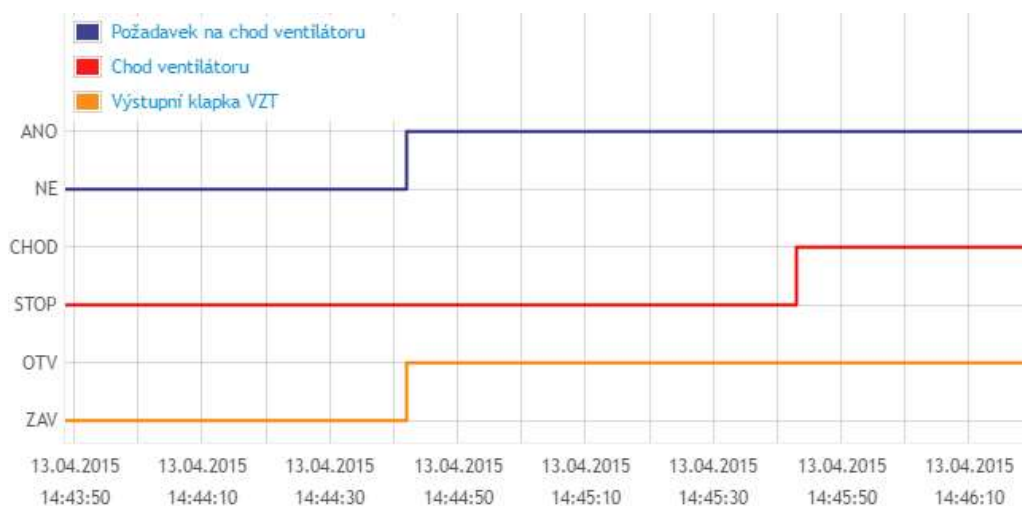
3.3.2 Chyby pravidel režimu OFF

Pravidlo 4 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo 4 kontroluje, zda se zavírají klapky vzduchotechnické jednotky, pokud je ve stavu OFF.

Průměrná chybovost 0,010% z kontrolovaných časových kroků, to je průměrně 0,01% ze všech kroků. Na všech chybách se tato chyba podílela 0,21% V nejvyšší míře v 0,03%, odpovídajícím 25 chybám (ČVUT 10).

Při bližším pohledu na jednotku ČVUT 10 je patrné, že chyba je způsobena časovou prodlevou mezi příkazem na běh ventilátoru a spuštěním ventilátoru. Klapka se otevírá hned s požadavkem na chod ventilátoru. Chyba je zaznamenána, protože kontrolní okamžik nastává přímo v čase této prodlevy, dlouhé asi 1min. Respektive se dá říct, že si jednotka otevírá klapky s předstihem.



Obrázek 7: Otevírání klapky s předstihem před ventilátorem (ČVUT 10)

V některých případech se požadavek na chod ventilátoru a chod ventilátoru shodují, ale klapka se stále otevírá o minutu dřív, než je spuštěn ventilátor.

V podstatě na všech jednotkách docházelo k této chybě z důvodů různého způsobu lehkých prodlev, či z předstihu otevírání klapky. Pokud nejsou z jakéhokoli důvodu v nějakém čase dostupná data, systém je při exportu vyinterpoluje a program je může vyhodnotit jako chybu.

Z pohledu ventilátoru je otevírání klapky s předstihem bezpečné chování. Otevírání není okamžité a chrání se tím před během ventilátoru se zavřenými klapkami. Jedná se tedy o systémovou chybu. Vzhledem k minimální četnosti chyby i jejích dopadů je chyba na jednotkách ze zkoumaného vzorku nepodstatná s naprosto minimálními dopady. Obecně pokud by se chyba vyskytovala ojediněle při změně režimu, nebylo by nutné se jí zabývat.

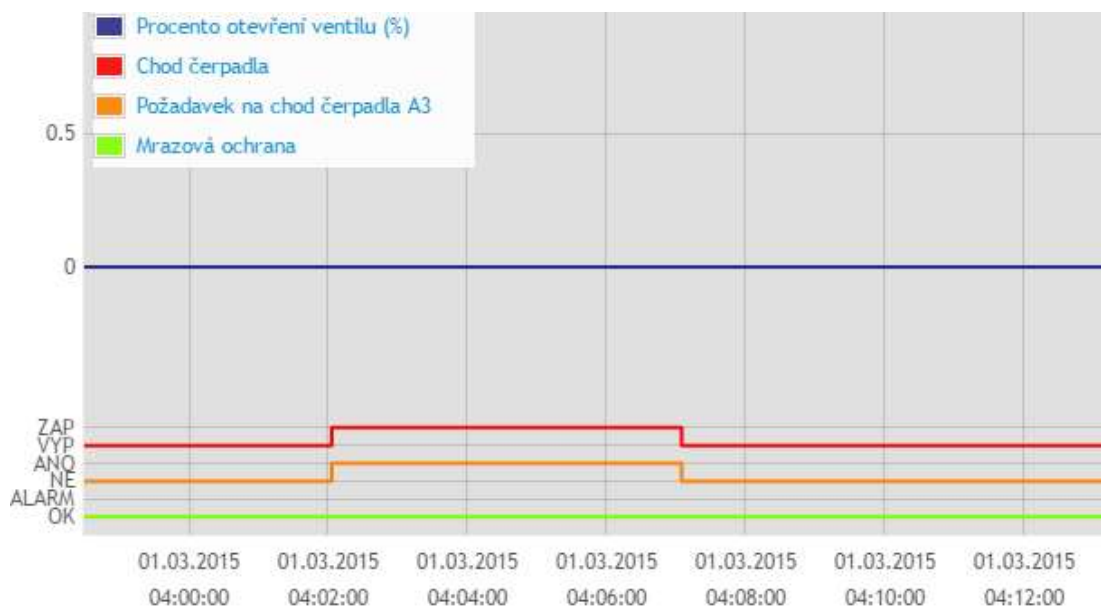
Pravidlo 5 – kontrola stavu ohříváče, chladiče a zvlhčovače

Pravidlo kontroluje, zda je vypnutý ohříváč, nebo chladič, pokud je jednotka ve stavu OFF.

Průměrná chybovost 0,59% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 0,55% ze všech intervalů. Na všech chybách se tato chyba podílela 1,92%. V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 5,5%, odpovídajícím 5437 chybám (ČVUT 1). Druhá nejvyšší chybovost až činila 0,11%.

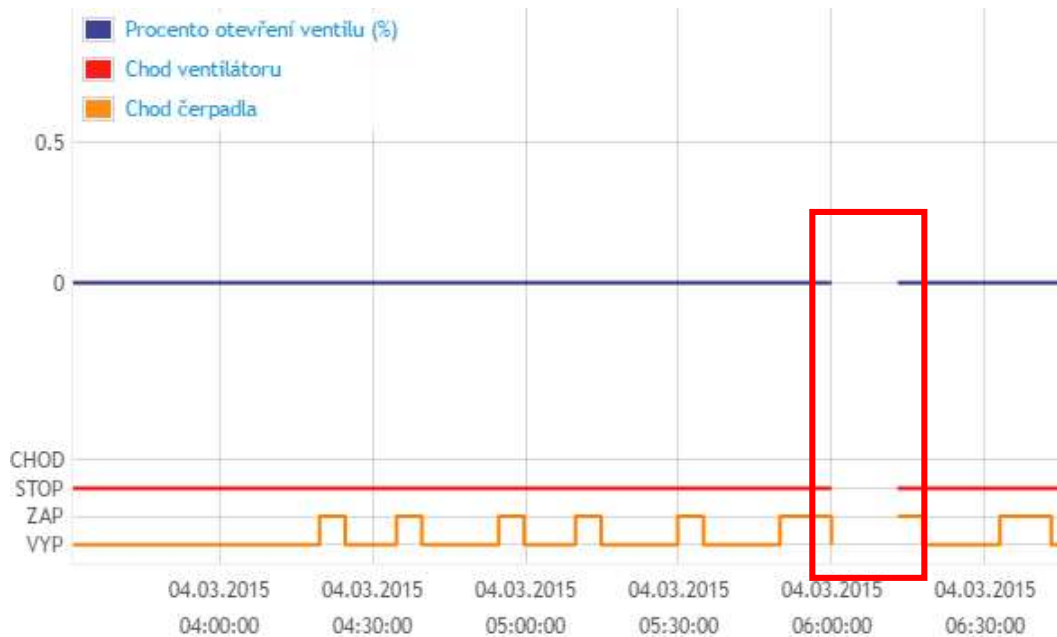
U nejporuchovější jednotky (ČVUT 1) dochází pravidelně k přibližně dvouminutovému chodu čerpadla bez zjevného důvodu v chladnějších měsících v podstatě každodenně (stejný případ, který jednotku ČVUT 3 zařadil do stavu UNKNOWN. Předpokladem by mohla být mrazová ochrana, ale trojcestný ventil zůstává zavřený a datový bod mrazové ochrany nic nehlásí. Ve spínání nelze vypozařovat žádnou souvislost s jinými datovými body. Zdá se, že

spínání není závislé na vnitřní teplotě, teplotě zpátečky (ta se drží neustále na 20°C, ale nezdá se být příliš závislá na spínání čerpadla bez otevřeného ventilu), teplotě vzduchu za registrem, nebo venkovní teplotě, dokonce ani s datovými body z jednotky, kterou obsluhuje stejný regulátor.



Obrázek 8: Běh čerpadla při vypnuté jednotce ČVUT 1.

Pokud nejsou z jakéhokoli důvodu v nějakém čase dostupná data, systém je při exportu vyinterpoluje a program je může vyhodnotit jako chybu.



Obrázek 9: Výsek z grafu ze systému Mervis, ve kterém se neustále opakuje bezdůvodné spouštění čerpadla ohřívače. Toto spínání je pozorovatelné během chladnějších měsíců téměř neustále. Vpravo v červeném rámečku je výpadek jednotky. (ČVUT 1)

V ostatních případech se čerpadlo sepne jen výjimečně, nebo je chyba zaznamenána protože se vypne ventilátor těsně před zaznamenáním datového bodu a čerpadlo se vypne až malý okamžik po něm. I když je tato chyba významnou složkou zvýšenou potřeby elektrické energie, v ojedinělých případech je nevýznamná a její dopad nemusí odpovídat napočítanému dopadu – doba běhu čerpadla při vypnutém ventilátoru může být kratší než jedna minuta, kdežto dopady se počítají v tomto případě pro interval dlouhý pět minut.

3.3.3 Chyby pravidel režimu VENTILATION

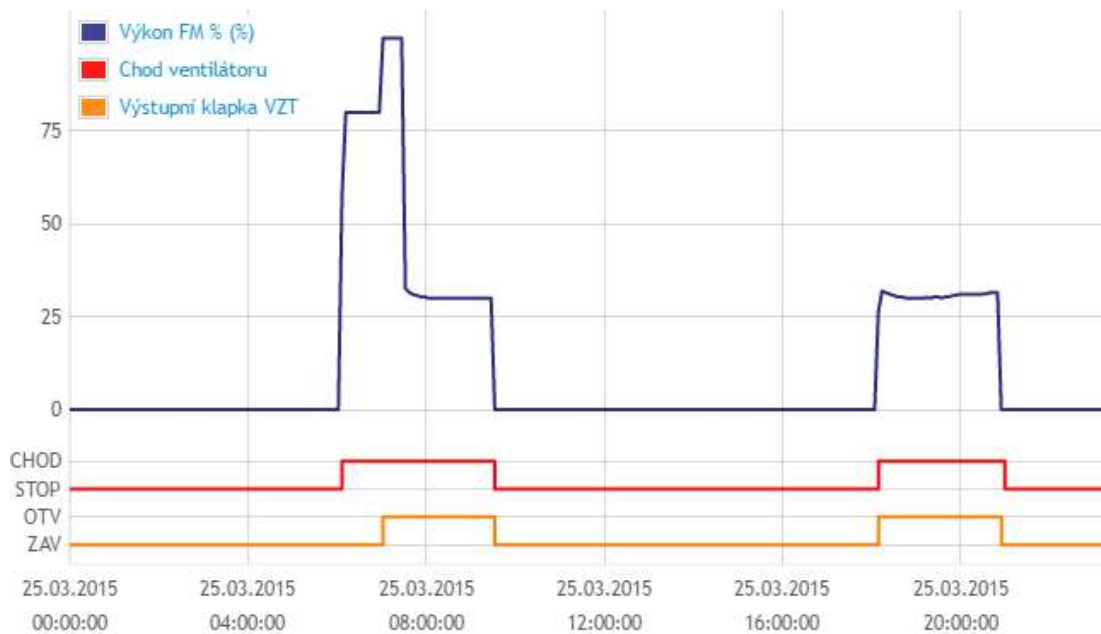
Pravidlo 6 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo kontroluje, zda jsou otevřeny klapky, pokud je jednotka ve stavu VENTILATION.

Průměrná chybovost je 0,57% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 0,013% ze všech intervalů. Podíl této chyby na všech chybách je 0,32%. V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 2,06% odpovídající 41 chybným intervalům. (ČVUT 2). Druhá nejvyšší chybovost činila 0,99%.

Nejčastější příčinou spouštění chyb je tzv. režim náhřev, který program nezná. Nejprve se spustí ventilátor, poté se spustí ohřívač a až po nějakém čase se otevřou i klapky.

Další signalizovanou chybou je zpožděné otevření klapky (viz obrázek 10).



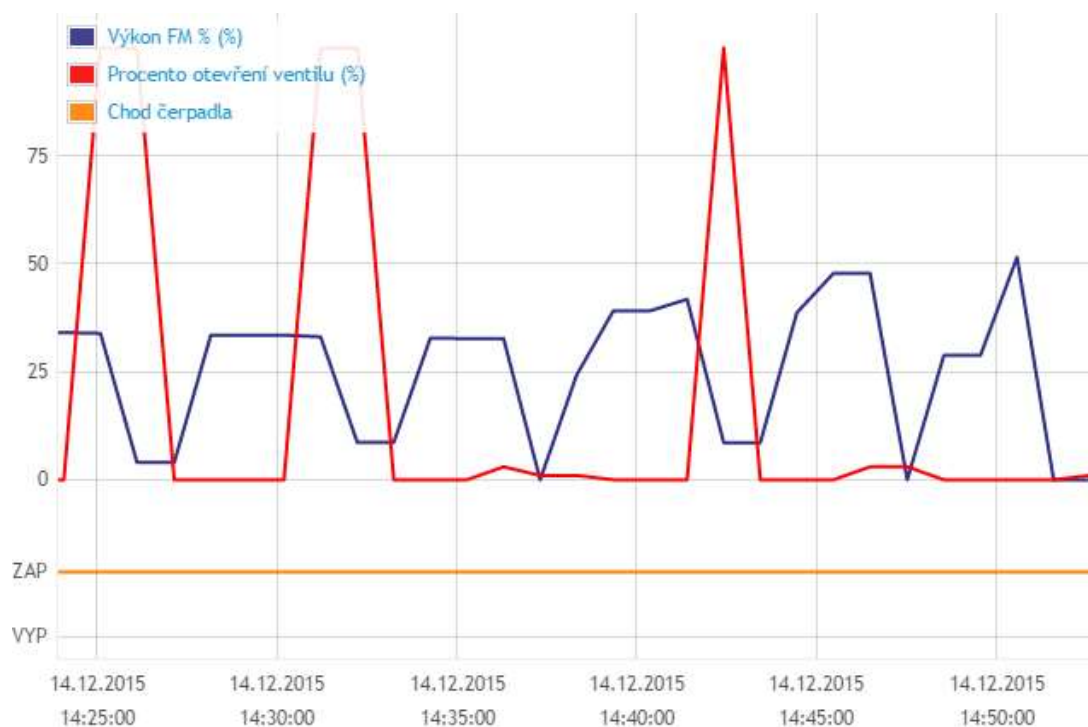
Obrázek 10: Výjimečné zpoždění otevření klapky. (ČVUT 2)

Pravidlo 7 – kontrola stavu ohřívače, chladiče a zvlhčovače

Pravidlo kontroluje, zda v režimu VENTILATION neběží ohřívač, chladič, nebo zvlhčovač.

Průměrná chybovost je 21,2% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 0,55% ze všech intervalů. Podíl této chyby na všech chybách je 6,29% V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 55,4% odpovídající 1657 chybám (ČVUT 8) a 54,8% (ČVUT 3).

Velké množství chyb na těchto jednotkách odpovídá situaci, při které běží čerpadlo v kuse několik hodin a ventil se opakovaně otevírá cca na 40% a opět zavírá na cca 1min. Během této jedné minuty dochází k odečítání hodnot a program si tak myslí, že jednotka je v režimu VENTILATION, i když ve skutečnosti je ve stavu HEATING. Pokud by se programu změnila pravidla a rozpoznával ohřev na základě čerpadla namísto ventilu, chyba by spínala v jiném pravidle, jako ohřev bez otevřeného ventilu.



Obrázek 11: Opakované zavírání trojcestného ventilu v rámci regulace ústí v signalizaci chyby. (ČVUT 8)

Některá data, například 4.3.2015, od 7:05 do 7:35 mohou a nemusí být chybou. Chyba signalizuje, protože jednotka je ve stavu VENTILATION a sepne se čerpadlo ohřevu (aniž by se otevřel trojcestný ventil). Zde je několik možností:

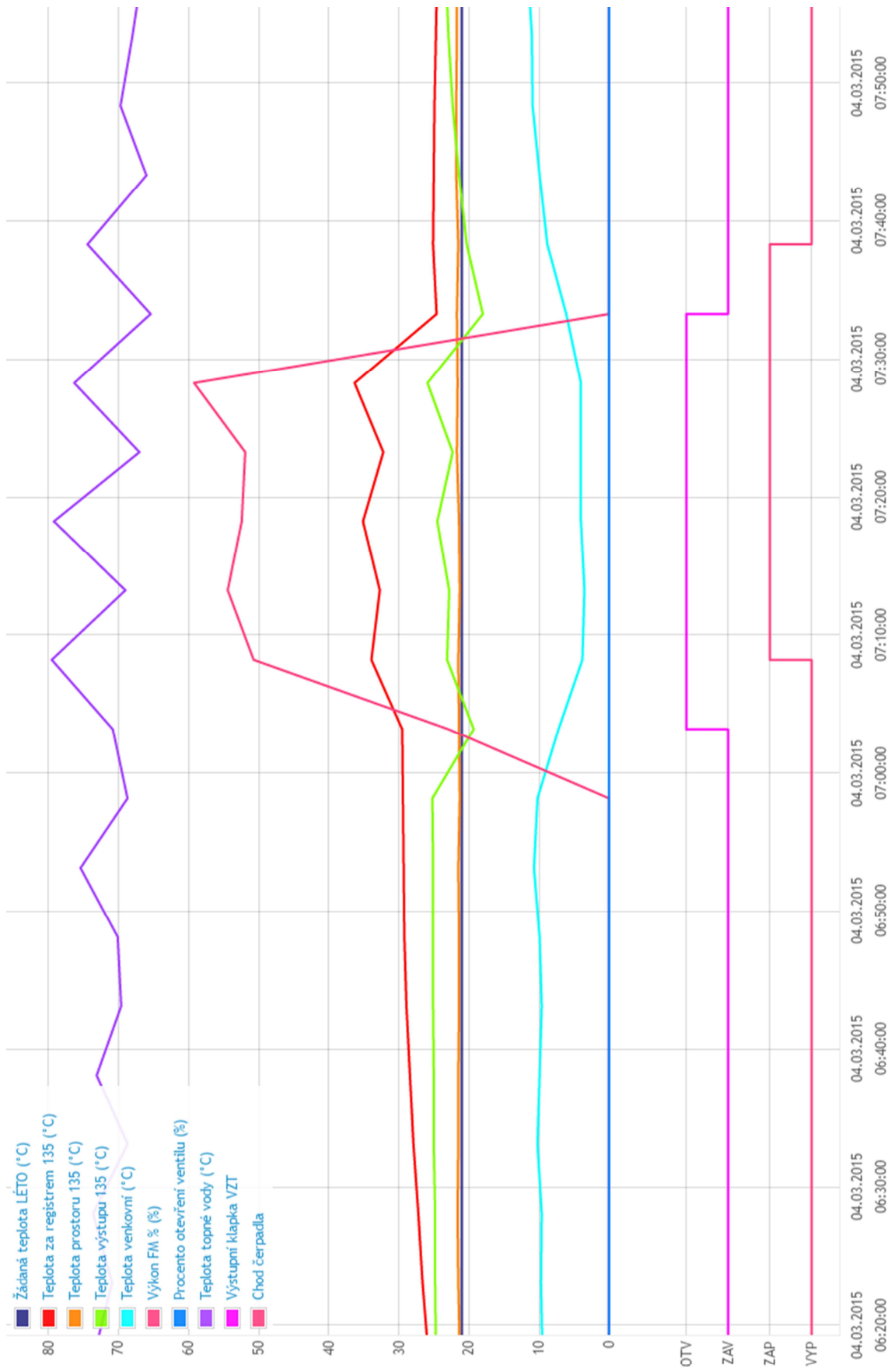
1. Protože teplota vody za ohřivačem je cca o 10°C vyšší, než teplota v místnosti, a teplota prostoru klesá na hodnotu téměř totožnou s teplotou požadovanou a regulátor tak tuto teplotu využije k regulaci teploty uvnitř prostoru. Teplota v místnosti se skutečně o něco zvedne – o cca 0,4° na teplotu o cca 0,8° vyšší, než je požadovaná teplota místnosti. V takovém případě by se měla jednotka nacházet spíše ve stavu HEATING, ale v takovém případě by chyba sepnula kvůli spuštění čerpadla, bez otevření trojcestného ventilu. Vzhledem k malým rozsahům hodnot. Navíc pokud by se otevřel

trojcestný ventil, ventilátoru by se zkrátila potřebná doba běhu na dosažení stejné teploty.

2. Ventil se ve skutečnosti otevře, i když záznam z jednotky hovoří jinak. Mírné zvýšení teploty za registrem by tomu mohlo napovídat. Dalo by se očekávat, že kvůli průchodu chladného venkovního vzduchu by teplota vody v uzavřené smyčce měla spíše klesnout, na druhou stranu, pokud je smyčka delší, může teplota v ohřívači klesnout a teplota vody v přívodním potrubí nikoli.
3. Jde jednoduše o poruchu, kdy se čerpadlo spíná z neznámého důvodu. Tato možnost by nebyla nijak zvláštní vzhledem k výsledkům z kontrolního pravidla č. 5, které kontroluje spínání ohřevu (čerpadla, nebo ventilu) pokud je vypnutý ventilátor. Pravidlo 7 ukazuje zvýšené množství chyb z části i na jednotkách, kde se chyby vyskytovaly i v pravidle 5. Důvodem v tak velké chybovosti oproti 5. pravidlu by bylo, že ventilátor je vypnutý průměrně v cca 85% času a tak náhodné spínání by se na jednotlivých pravidlech (č. 7 kontroluje pouze 2,7% času) podepsalo poměrně mnohem více.

Další chyby na těchto jednotkách:

- Čerpadlo se spustí a ventil se otvírá a zavírá střídavě po 5-15 minutách. V tomto případě by bylo možné poupravit čas, se kterým program počítá na dojezd čerpadel.
- Otevře se ventil na pět minut a čerpadlo po jeho zavření běží 30 minut.
- Velmi často se vyskytují dlouhé úseky opakovaného otevírání ventilu s doběhem čerpadla (doběh občas vyvolá chybu), kdy se ventil přestane otvírat a spouští se pouze čerpadlo, ačkoli by pravděpodobně měl ventil dále otvírat.
- Občas dochází k prolnutí stavu, kdy se zapne čerpadlo i ventil, když neběží ventilátor a ve chvíli, kdy se rozběhne ventilátor, se uzavře ventil a čerpadlo dále běží.



Obrázek 12: Ventil zůstává zavřený, i když ventilátor a čerpadlo běží. (ČVUT 8)

Pravidlo 8 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda v režimu VENTILATION teplota v místnosti odpovídá požadavkům.

Průměrná chybovost je 0,16% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 0,006% ze všech kroků. Podíl této chyby na všech chybách je 0,03% V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 0,73% odpovídající 33 chybám (ČVUT 3). Většina jednotek je zcela bez chyby.

Na všech chybných jednotkách lze pozorovat pokles teplot maximálně 1°C pod nastavenou 2°C toleranci. V konkrétních případech jde o pokles teploty v místnosti pod méně, než 19°C. K tomuto poklesu dochází v nočních a ranních červencových hodinách. Je tedy zřejmé, že tyto chyby jsou naprosto bezpředmětné.

Pravidlo 9 – Flow

Pravidlo kontroluje, zda při průtoku vzduchu jednotkou v režimu VENTILATION nedochází k nekontrolovanému předávání tepla, nebo chladu do nebo přiváděného vzduchu.

Průměrná chybovost je 62,0% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 2,28% ze všech kroků. Podíl této chyby na všech chybách je 25,1% V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 100% odpovídající 2469 chybám (ČVUT 1).

V podstatě všechny chyby toho pravidla jsou vyvolané zjednodušením programu, vzhledem k jeho implementaci v tabulkovém procesoru. Program si myslí, že jednotka je v režimu VENTILATION. Ta je ale ve skutečnosti v režimu HEATING, jen se v rámci regulace dočasně uzavírá směšovací ventil. Ten může být zavřený třeba jen minutu. Jde o stejnou situaci jako v pravidle č. 7.

3.3.4 Chyby pravidel režimu HEATING

Pravidlo 10 – kontrola polohy uzavíracích klapek

Pravidlo kontroluje, zda nejsou zavřené klapky, pokud je aktivní režim HEATING.

Průměrná chybovost je 10,0% z kontrolovaných intervalů, to je 0,33% ze všech kroků. Podíl této chyby na všech chybách je 2,7% V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 19,2% odpovídající 1093 chybám (ČVUT 1).

Naprostá většina chyb je způsobena tzv. režimem náhřev, ve kterém se spustí ventilátor, ale výstupní klapka zůstává zavřená. Jednotka tak zabraňuje proudění vzduchu přes chladnou

jednotku a neprohřátý ohřívač do místnosti. U několika jednotek je chyba způsobena stejným způsobem, ale náhřev se ne vždy shoduje s nastaveným časem.

Několik chyb bylo vyvoláno způsobem, kdy se v čase mimo obvyklou pracovní dobu jednotky otevřel ventil, spustil ventilátor, spustilo čerpadlo, ale klapky zůstaly zavřené – stejně jako při stavu náhřev. Tento stav je však doprovázený signálem mrazová ochrana (viz obrázek). Dá se proto předpokládat, že nedochází k chybě.

Nakonec velmi malé procento chyb bylo způsobeno:

- Odečtením hodnot ve chvíli, kdy se zavřeli klapky, ale ještě nebyl zcela zastavený ventilátor a zavřený ventil.
- Po povelu na zastavení ventilátoru se zavřeli klapky okamžitě, jde o velmi podobný případ.



Obrázek 13: První spuštění mrazové ochrany předchází signálu mrazová ochrana. (ČVUT 1)

Pravidlo 11 – kontrola stavu ohřívače a chladiče

Pravidlo kontroluje, zda je v režimu HEATING otevřený ventil a běží čerpadlo.

Průměrná chybovost 13,8% z kontrolovaných intervalů, to je průměrně 0,88% ze všech intervalů. Podíl této chyby na všech chybách je 6,67%. V nejvyšší míře se vyskytla

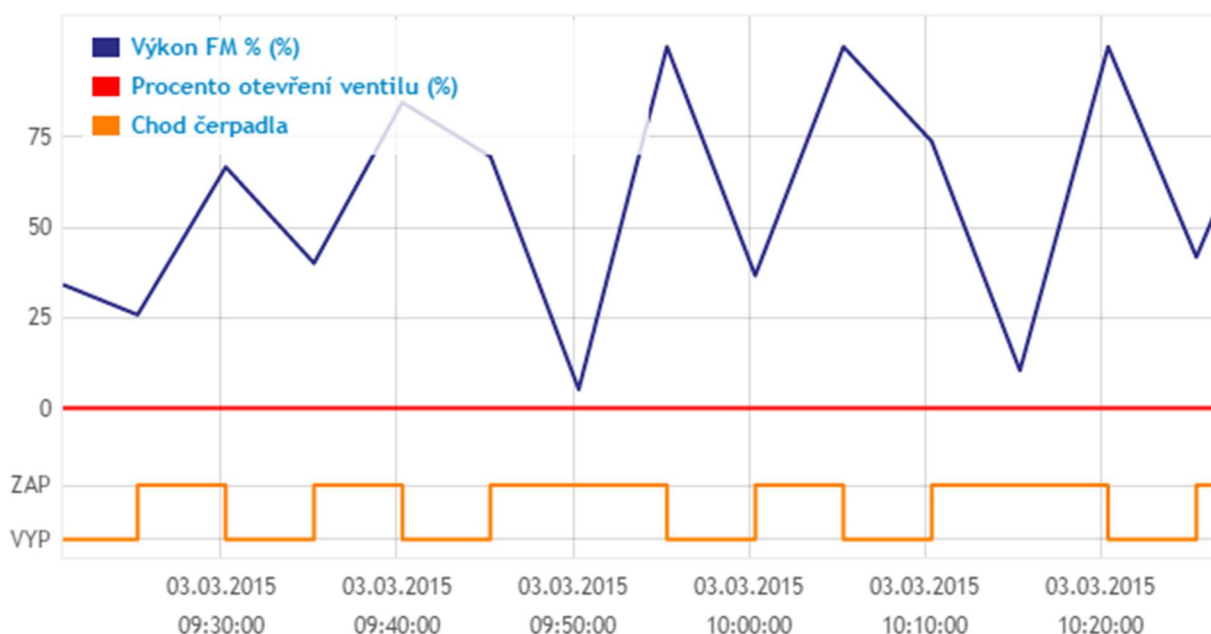
chybovost 38,6% odpovídající 4056 chybným intervalům (ČVUT 5). Druhá a třetí nejvyšší chybovost je 38,3% (ČVUT 4) a 36,4% (ČVUT 3). Ostatní jednotky jsou zcela bez chyby.

Dvě ze tří chybných jednotek (ČVUT 5 a ČVUT 3) jsou regulovány společně a vykazují společné chyby:

- Ventil se otevře až po cca 10-15 minutách od startu čerpadla, které se zapíná spolu s ventilátorem. Možností je, že teplota vody v ohřívači je dostatečná a trojcestný ventil u této jednotky se nemusí vůbec nějaký čas otevřít.
- Teplota ve smyčce se reguluje otevíráním a zavíráním ventilu. Pokud je potřeba zvýšit teplotu, ventil se otevře a po dosažení teploty zase uzavře. Uzavřený může být až pět minut, ale zpravidla se zavírá na kratší chvíli, než je znova potřeba zvýšit teplotu ve smyčce. Čerpadlo pokračuje v běhu, pravděpodobně jako prevence neustálého zapínání. Tato kombinace vyvolá chybu.

Další jednotka spouští chyby z důvodů:

- Doběh čerpadla.
- Nespínání čerpadla, možná kvůli dostatečné teplotě vody v registru.
- Krátký výpadek systému.



Obrázek 14: Neotevření třícestného ventilu. (ČVUT 5)

Pravidlo 12 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda v režimu HEATING teplota interiéru, nebo v přívodním kanálu odpovídají požadavkům.

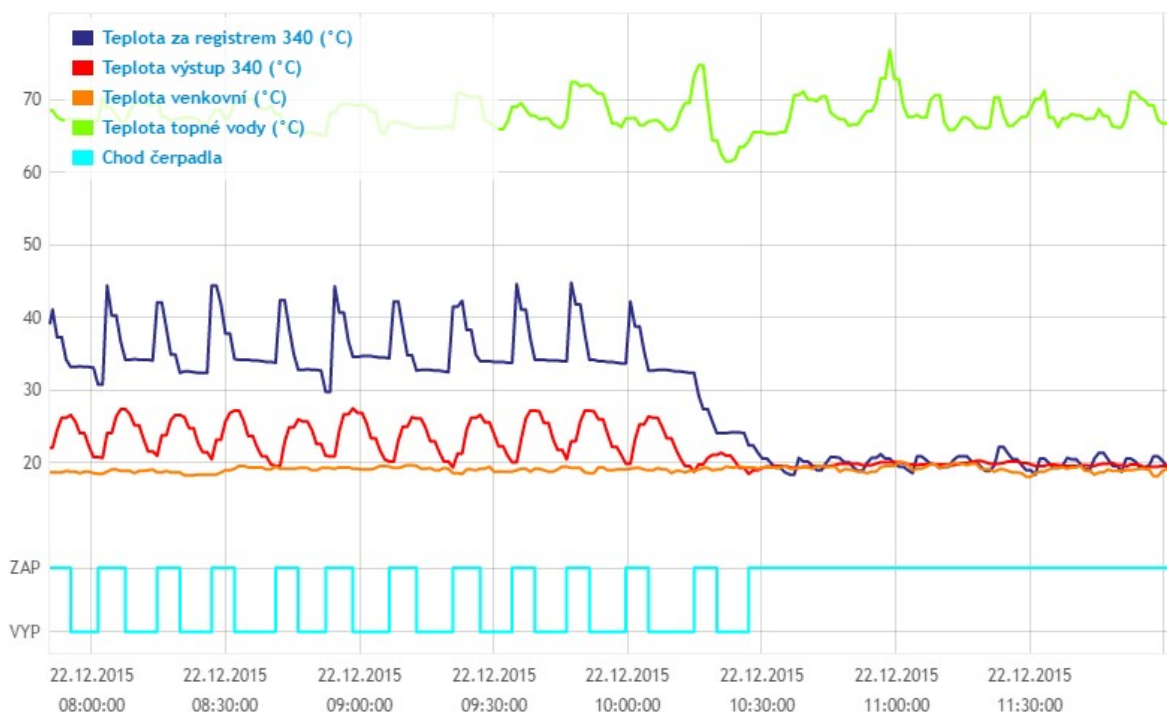
Průměrná chybovost 21,7% z kontrolovaných časových kroků, 1,49% ze všech kroků. Podíl této chyby na všech chybách je průměrně 10,6%. V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 51,0% odpovídající 4562 chybným z celkových 8950 intervalů (ČVUT 7).

V podstatě všechny chyby jsou způsobeny stavem, kdy vzduchotechnická jednotka ohřívá vzduch i přestože teplota v místnosti je vyšší, než je požadavek i s tolerancí. Tento stav je však naprosto přirozený a pravidlo nezahrnuje předpoklad, že přívodní vzduch je nutné ohřívát z hygienických důvodů na minimální teplotu. Pokud je v místnosti vysoká teplota kvůli vnitřním ziskům (např. lidem) a jednotka ohřívá vzduch na minimální teplotu, program to bere jako stav HEATING. Jednotka je však v naprostém pořádku. Pokud zvýším toleranci teploty z 2K na 3K u většiny jednotek se dostanu k chybovosti od desetin procent do jednotek. Nejvyšší chybovost s tolerancí 3K je 17% chybovost. Blíže je tato problematika popsána v kapitole 5.

Pravidlo 13 – Flow

Pravidlo kontroluje, zda v režimu HEATING při průtoku vzduchu jednotkou nedochází k jeho nekontrolovanému ochlazování.

Ze všech jednotek byla chybná jediná (ČVUT 3) s chybovostí 2,49%. Jde o 152 chybných intervalů z celkových 6105 kontrolovaných. Důvodem je nepatrně nižší teplota přívodu, než teplota venkovního vzduchu. Jde o zajímavý jev, protože v jednu stejnou chvíli podle SCADA systému spadne teplota vody za ohřívačem, teplota venkovního vzduchu i teplota přívodního vzduchu z velmi rozdílných hladin na velmi podobnou hodnotu, viz obrázek 15.



Obrázek 15: Po pádu teplot v čase po 10:30 program zaznamená několik chyb. (ČVUT 3)

Pravidlo 14 – dtw

Pravidlo kontroluje, zda je za režimu HEATING v ohřivači na straně vody rozdíl.

Soubor jednotek, které jsem měl k dispozici, bohužel neobsahoval jednotku osazenou čidly měřícími teplotu vody před vstupem do výměníku i za výměníkem tepla. Všechny jednotky byly osazeny zpravidla čidlem měřícím teplotu pouze za výměníkem tepla.

Většina jednotek však byla schopná měřit teplotu vody před trojcestným ventilem. Tuto teplotu jsem použil jako náhradu. Voda v této části systému má vyšší teplotu, než voda před vstupem do výměníku, proto výsledky toho pravidla nejsou zcela průkazná a přesná. Ovšem pokud by se chyba projevila, byla by o to závažnějšího charakteru. Nebyla nalezena žádná.

Jednotka ČVUT 10 neměla ani čidlo na měření teploty vody před ventilem. Čidlo jsem dodatečně použil a na jeho místo použil žádanou teplotu topné vody z kotelny. Při takové aplikaci pravidlo hlásí chybu v řádech desetin procent, kdy v několika ojedinělých delších intervalech byla teplota žádaná kotelnou nižší, než teplota za ohřivačem. To by mohlo být pravděpodobně způsobené tím, že voda z kotelny má vyšší skutečnou teplotu, než je teplota žádaná.

Toto náhradní řešení bylo provedeno jen jako dodatek a pro jistotu. Kontrola není plnohodnotná a není započítána do souhrnné statistiky.

Pravidlo 15 – dt A/w

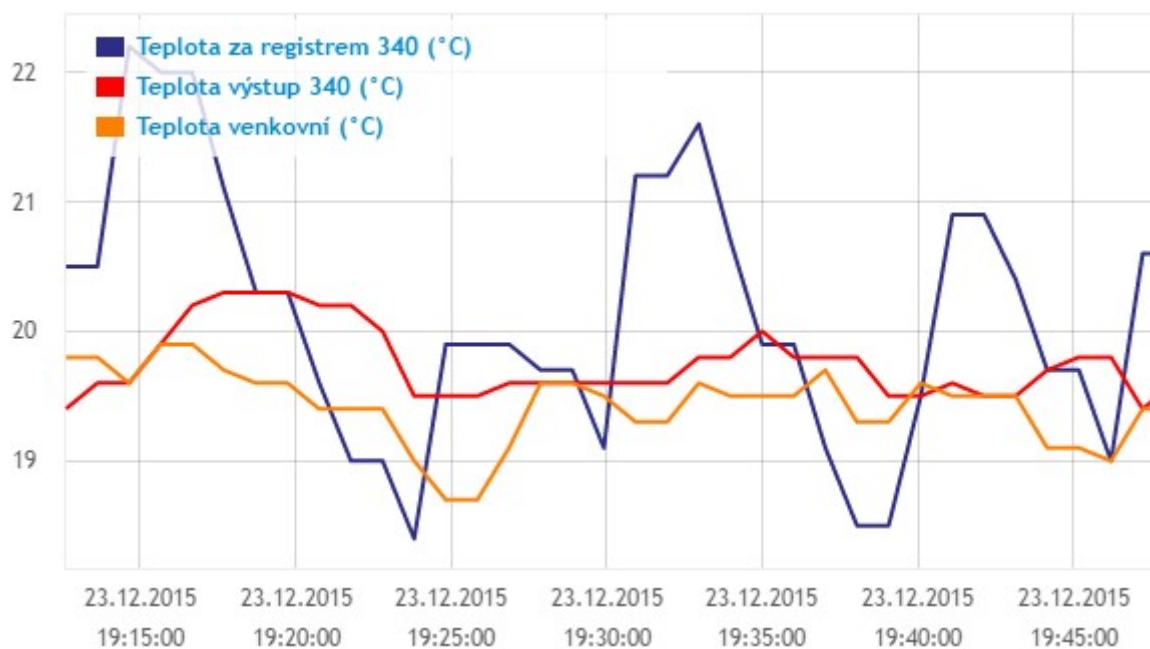
Pravidlo kontroluje, zda teplotní spád na straně vody odpovídá teplotnímu spádu na straně vzduchu.

Toto pravidlo vyžaduje znát teplotu vody před a za ohříváčem. Teplota před ohříváčem byla za cenu velké nepřesnosti nahrazena teplotou před trojcestným ventilem jako v předchozím pravidle. Voda v této části systému má vyšší teplotu, než voda před vstupem do výměníku, proto výsledky toho pravidla nejsou zcela průkazná a přesná. Také je možné, že množství chyb nemusí být odhaleno.

Průměrná chybovost 0,25% z kontrolovaných intervalů, 0,01% ze všech kroků. Podíl této chyby na všech chybách je 0,06%. V nejvyšší míře se vyskytla chybovost 1,52% odpovídající 93 chybným intervalům.

Jediná jednotka s výskytem chyb (ČVUT 3) hlásí teplotu vody za ohříváčem nižší, než je teplota venkovního vzduchu. Příkladem může být chyba z 17.12.2015 20:25 – venkovní teplota je 19,1°C. Nejvyšší teplota v místě měření v tento den byla 10,6°C[6]. Při pohledu na graf ze dne chyby je několikrát pozorovatelný náhlý vzestup teploty nasávaného venkovního vzduchu. Řekl bych, že chyba vznikla způsobem měření venkovní teploty. Tato chyba se pravidelně opakuje od prosince do února. Na obrázku je pro přehlednost vynechána teplota topné vody, která je celou dobu kolem 70°C. Teplota je pravděpodobně měřená na nevhodném místě, nebo je poškozený její snímač.

Pokud se u jednotky ČVUT 10, která nemá měření teploty před, ani za ohříváčem, použije náhradní teplota (žádaná teplota, teplota ohříváče) systém hlásí za celý rok 21 chyb (0,011%). Všechny chyby jsou spojené s hodnotou požadavku při přechodu ze stavu na stav. V takovou chvíli je totiž požadavek nula. V podstatě tedy nejde o chyby. Toto náhradní řešení bylo provedeno pro jistotu, není plnohodnotné a není započítané do souhrnné statistiky.



Obrázek 16: Teploty vody za registrem jsou nižší, než venkovní teplota.

3.4 Analýza nejčastějších chyb u jednotek s chladičem

V následujících kapitolách jsou popsány nejčastější chyby, které program objevil na jednotkách s chladičem. Některé jsou způsobeny samotným programem, jiné chyby jsou na straně jednotky.

Chyby jsou popsány v rámci pravidla, které je odhalilo vždy na každé jednotce zvlášť, protože jednotky jsou poměrně rozdílné. U každého pravidla je vždy na začátku znovu zjednodušeně popsána jeho funkce a pak pro každou jednotku zvlášť četnost chyb a jejich popis.

2.4.1 Chyby všeobecného pravidla

Pravidlo 3 – kontrola cyklování provozních stavů

Pravidlo 3 kontroluje, zda se opakovaně nestřídají režim HEATING a COOLING. Pouze u jedné jednotky (CH 2) se vyskytla jedna jediná chyba. Není zcela zřejmé proč, ale bylo zapnuté vytápění - teploty venku, i uvnitř se zdají velmi podobné – nad 20°C. Vzhledem k četnosti jde o zanedbatelnou chybu.

2.4.2 Chyby pravidel režimu COOLING

Pravidlo 16 – kontrola uzavíracích klapek

Pravidlo kontroluje, zda nejsou zavřené klapky, pokud je aktivní režim COOLING.

Na obyčejné jednokanálové jednotce ČVUT 10 pravidlo vykazuje chybu 0%.

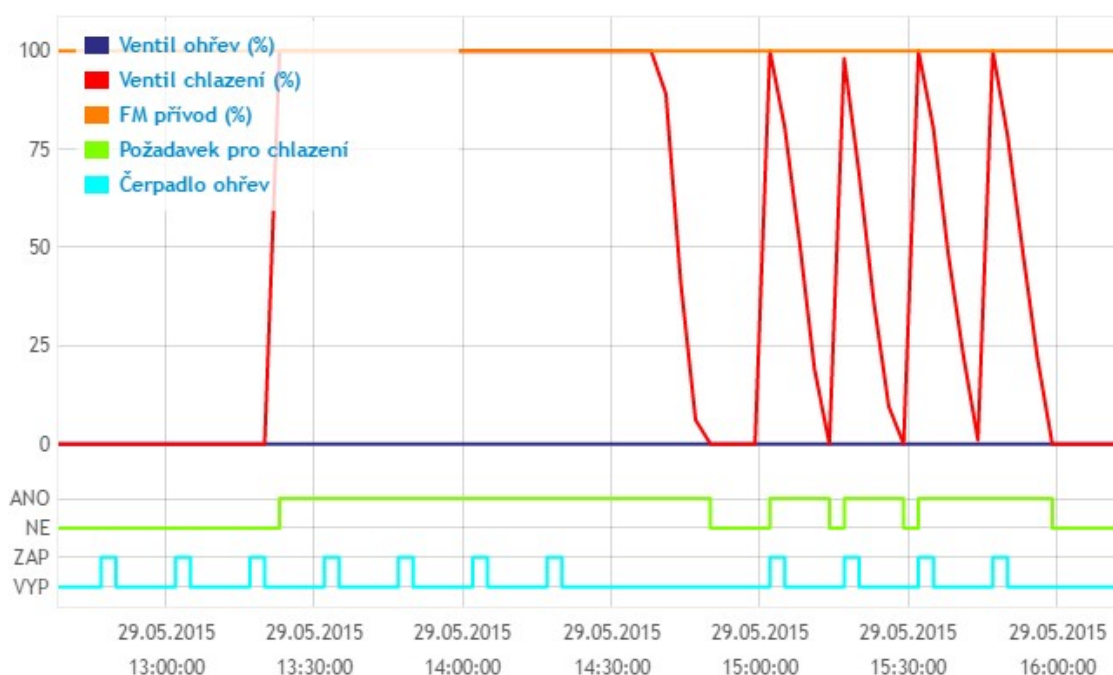
Na jednotce se směšovací klapkou CH 1 bohužel není přítomná klapka na přívodu do prostoru. Klapka na sání venkovního vzduchu je regulovaná společně se směšovací klapkou, takže pokud je klapka zavřená, směšovací klapka je otevřená a vzduch cirkuluje. Není tedy možné pravidlo využít.

Dvoukanálová jednotka není vybavena klapkou na přívodu upraveného vzduchu do místnosti, ale klapka sání se vždy otevírá správně. Chybný není ani jeden interval.

Pravidlo 17 – kontrola stavu ohříváče, chladiče a zvlhčovače

Pravidlo kontroluje, zda se neotvírá ventil ohřevu, nebo se nezapíná čerpadlo ohřevu, pokud je aktivní režim COOLING.

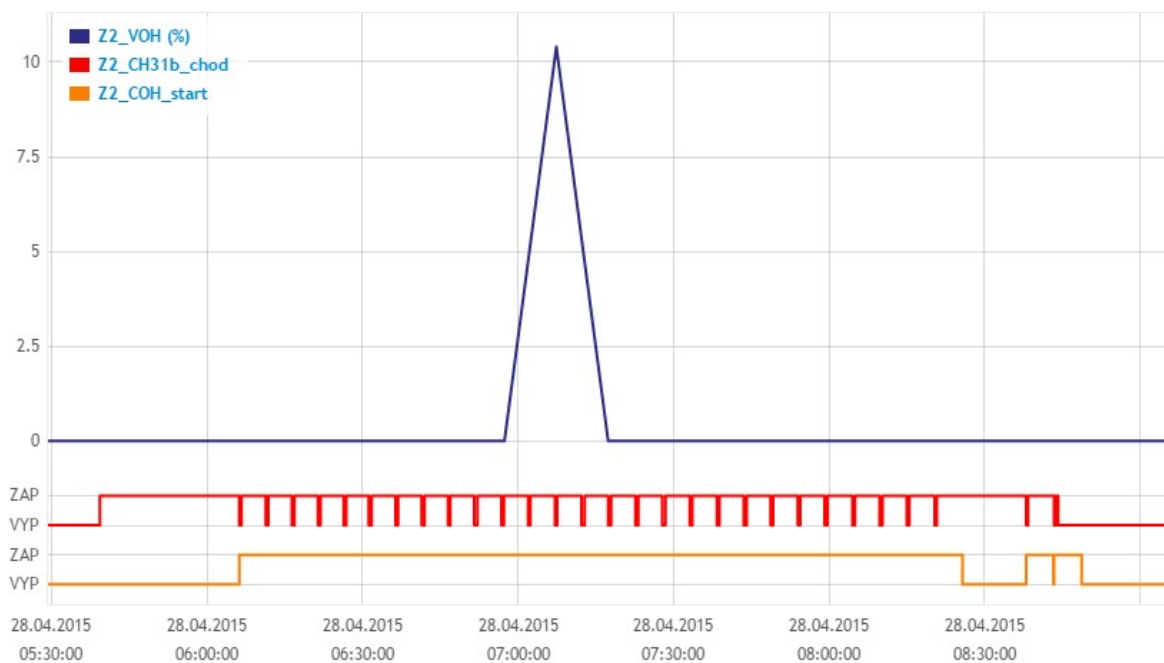
Na jednokanálové jednotce, bez směšovací klapky (ČVUT 10) pravidlo hlásí chybovost 1,4%. To je 36 chybných časových kroků z celkových 2569 kroků. Jde o spínání čerpadla ohřevu při požadavku na chlazení. Toto chování se opakuje vždy několikrát, viz obrázek číslo 17. Všechny chyby proběhnou v několika málo chladicích intervalech.



Obrázek 17: Spouštění čerpadla ohřevu při chlazení.

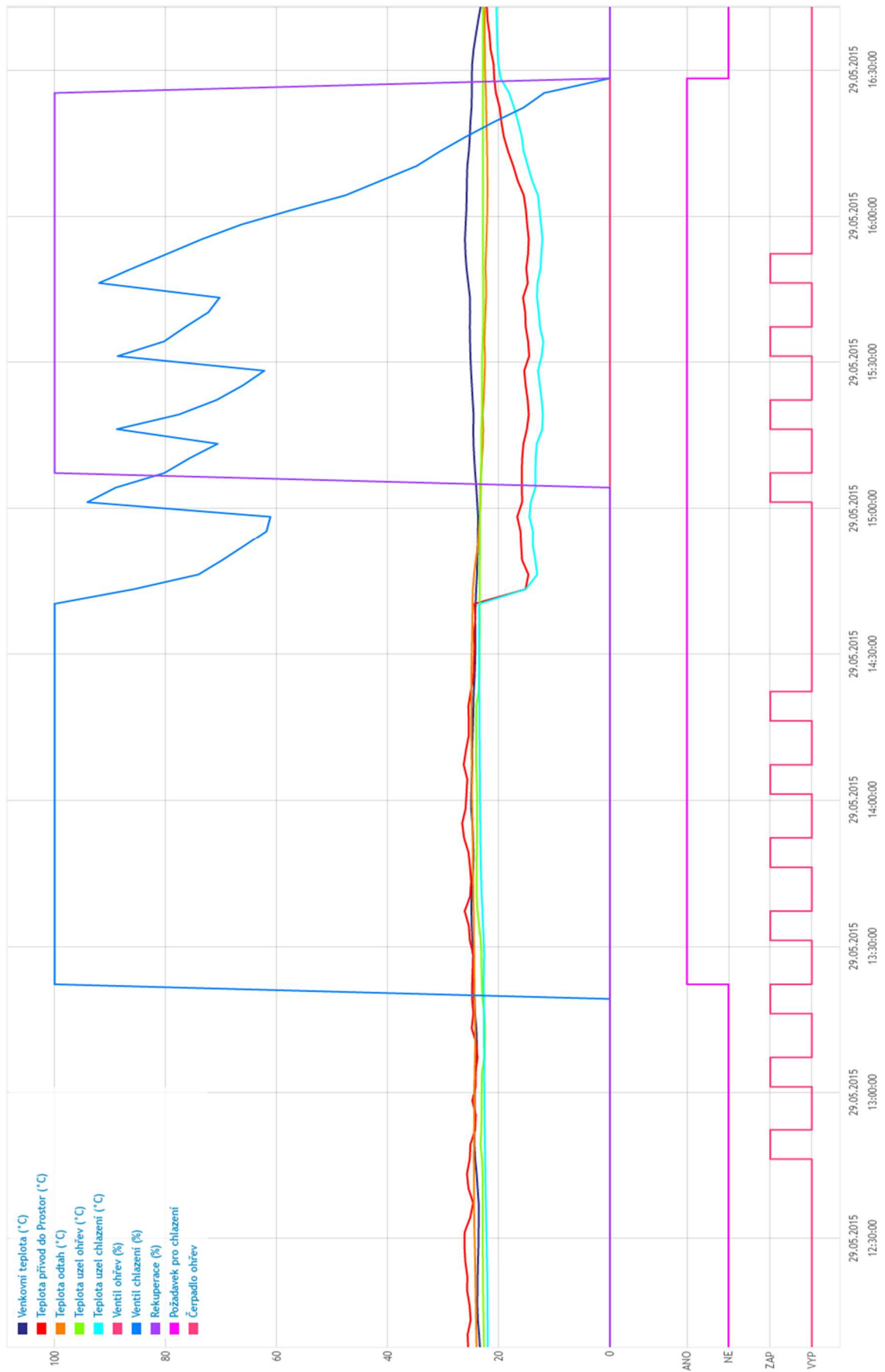
Na jednotce se směšovací klapkou (ČH 1) hlásí pravidlo chybovost 7,45% . To je 217 chybných intervalů z celkových 2912 kontrolovaných intervalů. Ve všech případech jde o spuštění čerpadla ohřevu za současného běhu chladičů. Ze schématu dostupného v systému nelze ověřit, zda je přírodní vzduch chlazen, protože na schématu není naznačen žádný

ventil, ani čerpadlo. Chladiče však běží a čerpadlu ohřevu také. Na grafu je možné spatřit i otevření ventilu. Takový úsek je programem zařazen do režimu UNKNOWN, protože ten hodnotí jednotku, jakoby chladila i ohřívala vzduch zároveň.



Obrázek 18: Dlouhodobý běh čerpadla ohřevu(COH), při běhu chladiče (CH31b), otevření ventilu ohřevu (VOH)

Na dvoukanálové jednotce se zpětným výměníkem tepla (CH 2) hlásí pravidlo chybovost 2,98%. Jde o 98 chybných intervalů z 3285 kontrolovaných intervalů. Tyto chyby způsobuje spínání čerpadla ohřevu. Dopady na spotřebu energií nelze brát v potaz, protože kromě chybějícího údaje o průtoku vzduchu bývá při těchto chybách spuštěna i rekuperační jednotka. Celkový pohled na situaci včetně teplot viz obrázek 19.



Obrázek 19: Spinání čerpadla ohřevu

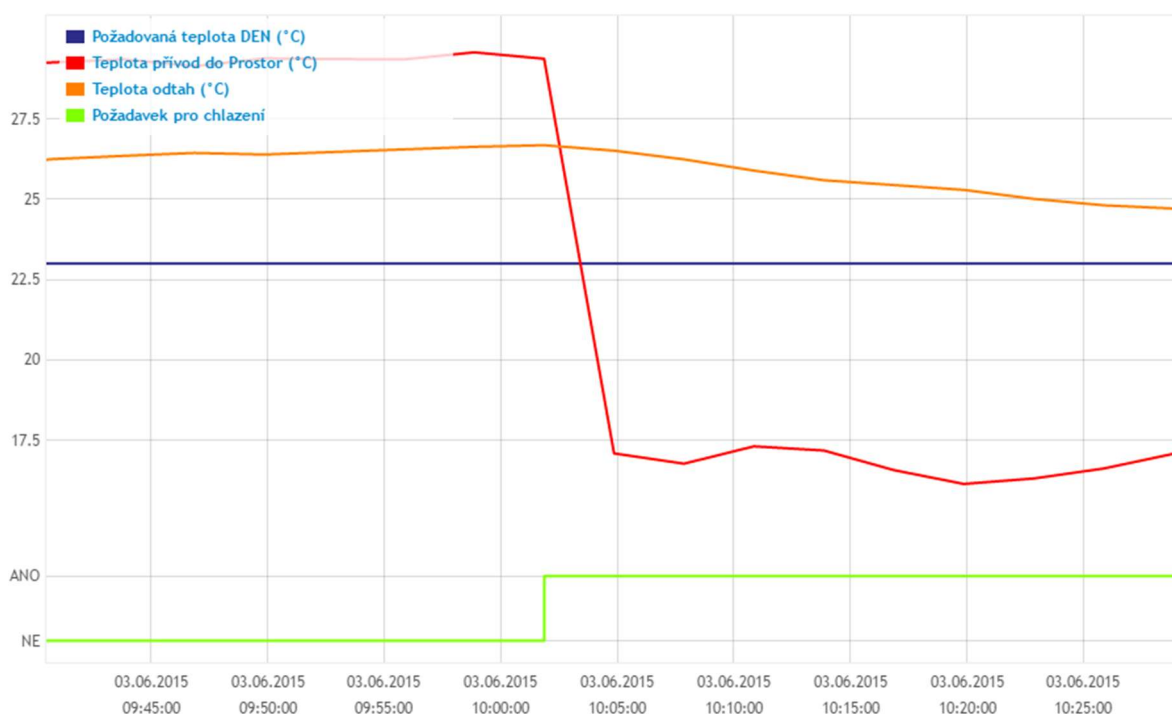
Pravidlo 18 – Vhodnost režimu

Pravidlo kontroluje, zda teplota a vlhkost v interiéru, nebo přírodním kanále odpovídají požadavkům.

Jednotka bez směšovací klapky (ČVUT 10), ani jednotka se směšovací klapkou (CH 1) bohužel nejsou vybaveny čidly potřebnými pro funkci tohoto pravidla.

Na jednotce se ZZT (CH 2) hlásí pravidlo chybovost 34,3%. Jde o 1184 chybných intervalů z celkových 3451 kontrolovaných intervalů.

Velké množství chyb je signalizováno po stratu chlazení, než se teplota v místnosti dostane na požadovanou teplotu. Viz graf 15.



Obrázek 20: Spouštění chyby, než se teplota v místnosti (teplota odtahu) dostane pod toleranci pravidla.

Další chyba je spojená se změnou požadované teploty v místnosti ve chvíli, kdy se začne chladit. Obvykle je během roku požadovaná teplota v místnosti 21-23 °C, ale chlazení se často navrhuje tak, aby bylo během vysokých tepelných zisků zajistit alespoň 25-26°C. V případě, kdy se chlazení zapne, ale zisky nejsou extrémní, je potom možné, aby teplota bylo nižší, než například návrhových 25°C. Přesně to je případ této jednotky, kdy požadovaná teplota při chlazení je 25°C, ale jednotka chladí místnost na teplotu mezi 22°C a 23°C, což je níž než programem základní tolerance 2K.

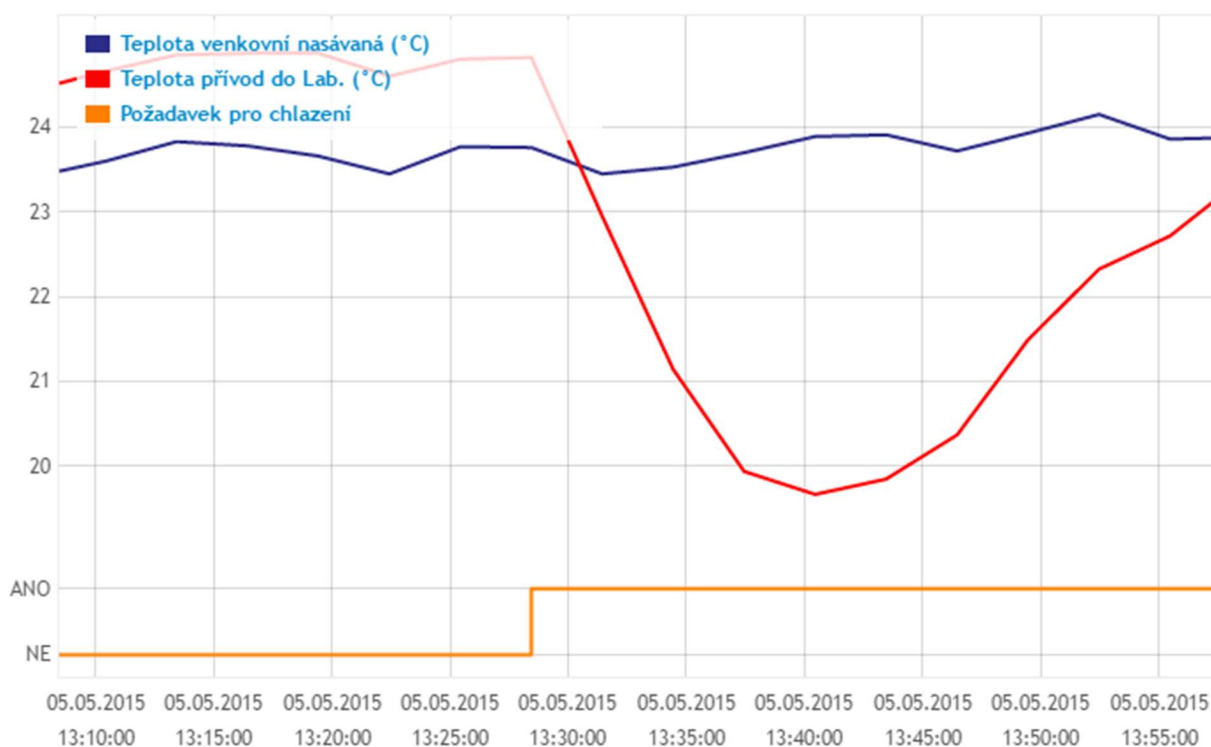
Další a také nejčastější chyba je udržování teploty v rozmezí 0,1-0,5°C nad požadovanou teplotou, konkrétně 23°C. V podstatě jde o zanedbatelnou hodnotu na úrovni rozeznatelnosti. Pokud je zvýšena míra tolerance na 3K, celková chybovost jednotky klesne o 23,6% na 10,7% a většina chyby jsou spojené s extrémními venkovními teplotami kolem 30–35°C. Zbytek chyb je potom způsoben reakční dobou chlazení. I 10% chybovost je podle mě vysoká míra a jde pravděpodobně o lehce poddimenzovanou jednotku, pokud jde o jediný chladicí prvek v prostoru.

Pravidlo 19 – Flow

Pravidlo kontroluje, zda při průtoku vzduchu jednotkou nedochází k jeho nekontrolovanému ohřívání.

Na jednobanální jednotce bez směšovací klapky (ČVUT 10) hlásí pravidlo chybovost 2,51%. To je 68 chybných intervalů z celkových 2712.

Malý podíl chyb se vyskytuje na začátku chlazení, pokud jednotka začne chladit těsně před odečtením hodnoty a teplota vzduchu nestihne klesnout, viz graf.

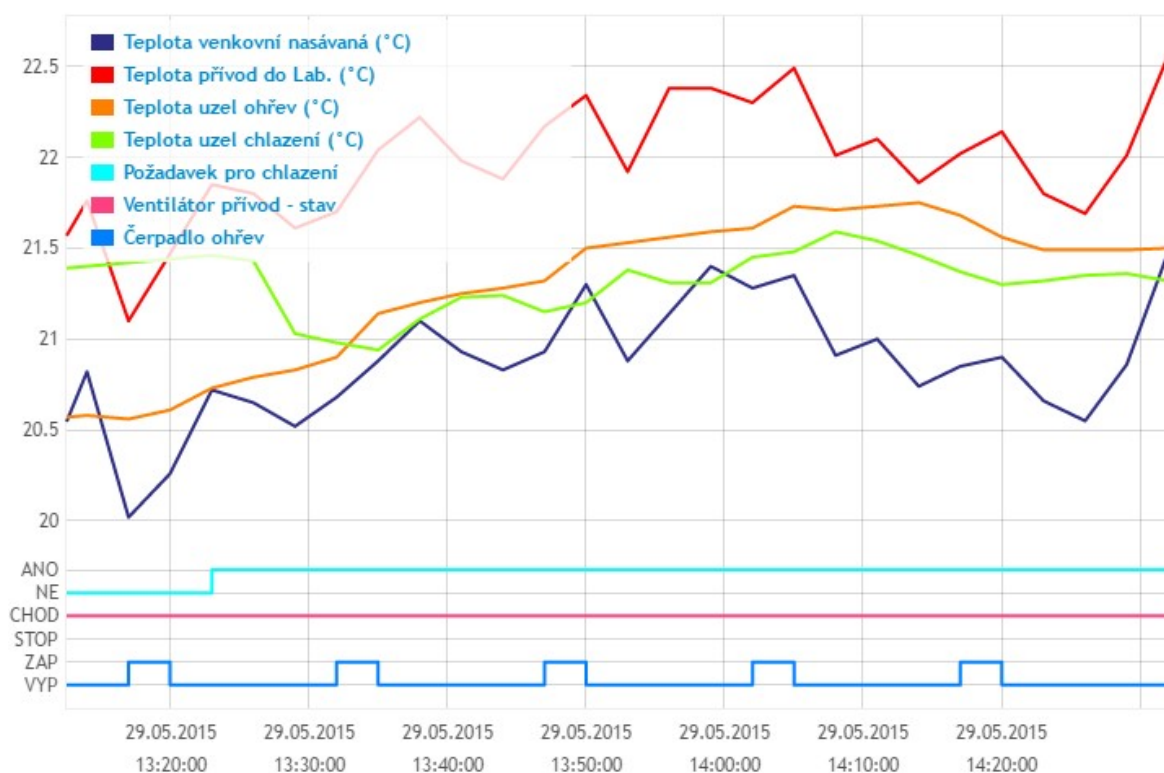


Obrázek 21: Chyba způsobená přechodem do režimu chlazení v 13:30:00.

Zbytek chyb se vyskytuje spolu s chybami hlášenými pravidlem 17, které v tomto případě hlásí chybu kvůli spouštění čerpadla ohřevu. Spouštění čerpadla je pravděpodobně i příčinou signalizace chyby, kterou je vysoká teplota přívodního vzduchu. V konkrétním případě viz

graf je teplota přívodního vzduchu je po celou dobu chlazení v tomto chybném intervalu o více než 1°C vyšší, než je teplota nasávaného vzduchu a cca o půl stupně vyšší, než teplota ohřivače. Paradoxní je i fakt, že přívodní vzduch je chladnější, než teplota chladiče. Obojí může být způsobené měřením teploty chladiče a ohřivače až za samotným ohřevem a chlazením, pokud je přívod médií řešený od proti směru toku vzduchu. V každém případě je zapnutý ohřev i chlazení společně a to je také pravděpodobně důvodem této chyby.

V některých případech se náhle během chlazení zvýší teplota přívodního vzduchu nad teplotu venkovního vzduchu bez zjevné příčiny.



Obrázek 22: Teplota přiváděného vzduchu je vyšší, než teploty ohřivače i chladiče a zároveň teplota venkovního vzduchu je nižší než obě.

Na jednotce se směšovacím ventilem (CH 1) hlásí pravidlo chybovost 21,41%. Jde o 654 chybných intervalů z celkem 3055. Chyby jsou hlášeny ze stejných důvodů jako u jednotky ČVUT 9, tedy chyby při přechodu do režimu chlazení a chyba v intervalech chlazení, kdy se spíná čerpadlo. To pravděpodobně může za vyšší teplotu přívodního vzduchu, než je teplota nasávaného venkovního vzduchu i přes to, že jednotka chladí. Problémy mohou být

způsobeny špatným umístěním teploměrů, jejich nesprávnou funkcí, nebo samozřejmě chybou v regulaci chlazení a ohřevu.

Na dvoukanálové jednotce se zpětným výměníkem tepla (CH 2) hlásí pravidlo chybovost 1,42%. Jde o 49 chybných intervalů z celkových 345. Chyby jsou stejného charakteru, jako chyby dvou předchozích jednotek - vyskytují se buď na začátku chlazení, nebo spolu se spouštěním čerpadla ohřevu.

Pravidlo 20 – dtw

Pravidlo kontroluje, zda je v chladiči na straně chladicího média rozdíl teplot.

Ani jedna z jednotek bohužel není vybavena čidly potřebnými pro funkci tohoto pravidla.

Pravidlo 21 – dt A/w

Pravidlo kontroluje, zda teplotní spád na straně chladicího média odpovídá teplotnímu spádu na straně vzduchu.

Jednokanálová jednotka bez směšovací klapky (ČVUT 10), ani jednokanálová jednotka se směšovací klapkou (CH 1) bohužel nejsou vybavené čidly potřebnými pro funkci tohoto pravidla.

Na dvoukanálové jednotce se zpětným výměníkem tepla (CH 2) hlásí pravidlo chybovost 0,41%. To je 14 chybných časových kroků z celkových 3451 kontrolovaných kroků. Chyba je vždy na začátku chlazení. Chladič běží, ale než se dostatečně ochladí, do místnosti se dostává vzduch o něco teplejší, než venkovní.

3.5 Souhrn analýzy:

Jak je zřejmé z analýzy chyb jednotlivých pravidel, celkově se objevené chyby dají zařadit do dvou důležitých skupin. A to chyby vypadající skutečně, signalizované opodstatněně a chyby způsobené omezeními tabulkového procesoru, nebo jejich nevhodnou implementací.

Mezi nejzávažnější a nejčastější chyby patří neustálé spouštění čerpadel ohřevu během chlazení, ventilace, i pokud je jednotka vypnutá. Dále jejich velmi dlouhý doběh při vytápění. Nejvýznamnějšími chybami z pohledu vnitřního prostředí je nedostatečný výkon jednotky při chlazení a nespouštění větrání během provozních hodin v době velmi nízké kvality vzduchu.

Velké a řekl bych převážně množství chyb je signalizováno, aniž by skutečně došlo k chybě. Chyby signalizované pravidlem 1 jsou způsobeny komplikovanou prací s časem

v tabulkovém procesoru. Program tak bere v potaz pouze celé hodiny, a pokud se má jednotka zapnout v 6:30, pravidlo signalizuje 6x chybu od 6:00 do 6:30, nebo od 6:30 do 7:00 v závislosti na zadané hodnotě. Není to tak chybně zkonstruovaným pravidlem. Skutečná implementace pravidla do kontrolního systému bude pravděpodobně provedena tak, aby pravidlo mohlo kontrolovat data s přesností na minuty.

Další, nezanedbatelné množství chyb je také způsobeno samotným principem, na jakém tento program funguje - odebrání dat v pravidelných intervalech a práci s hodnotami, jakoby hodnoty mezi nimi byli spojitě. Ve skutečnosti se v pětiminutovém úseku, který je v této práci používán stihne například dvakrát otevřít a zavřít trojcestný ventil v rámci regulace. Pravidlo 11, kontrolující zda je otevřený ventil a spuštěné čerpadlo, potom může hodinu hlásit při vytápění uzavřený ventil. Pokud jednotka nemá datový bod reprezentující požadavek ohřevu a ventil se v rámci regulace na chvíli uzavře, celá jednotka se začne tvářit jako v režimu ventilace a jsou signalizované chyby pravidla 9 – předávání tepla v režimu ventilace a chyby pravidla 6 – běh čerpadla v režimu ventilace. Opět, samotné pravidlo je zkonstruované správně. Skutečná implementace by měla zkontrolovat data ve více časových bodech, například v posledních pěti minutách, před signalizací chyby.

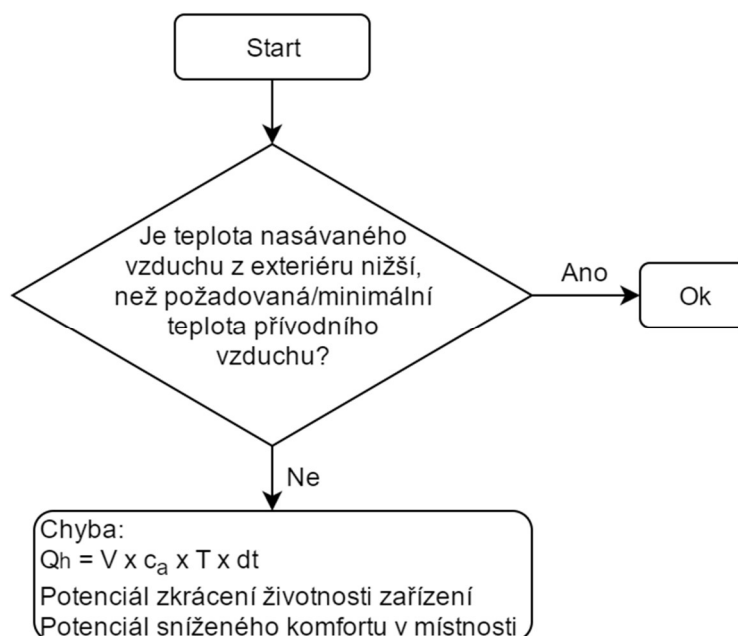
Některé chyby jsou vyvolány režimy, které mají jinak definované požadavky na vzduch – režimy typu náhřev, temperace, den, noc... Program by pravděpodobně měl mít možnost měnit mezi stejnými sety pravidel s rozdílným tagováním veličin apod. To by předešlo všem chybám tohoto typu.

Poslední skupinou chyb na straně programu jsou pravidla, která nezohledňují situaci, ve které vysoká teplota v místnosti nemusí být způsobena jednotkou v případě, že topí, nebo chladí. Jde konkrétně o pravidla 12 a 18. Problematika těchto pravidel bude blíže popsána v následující kapitole.

4 ZMĚNA SOUČASNÝCH A NÁVRH NOVÝCH PRAVIDEL:

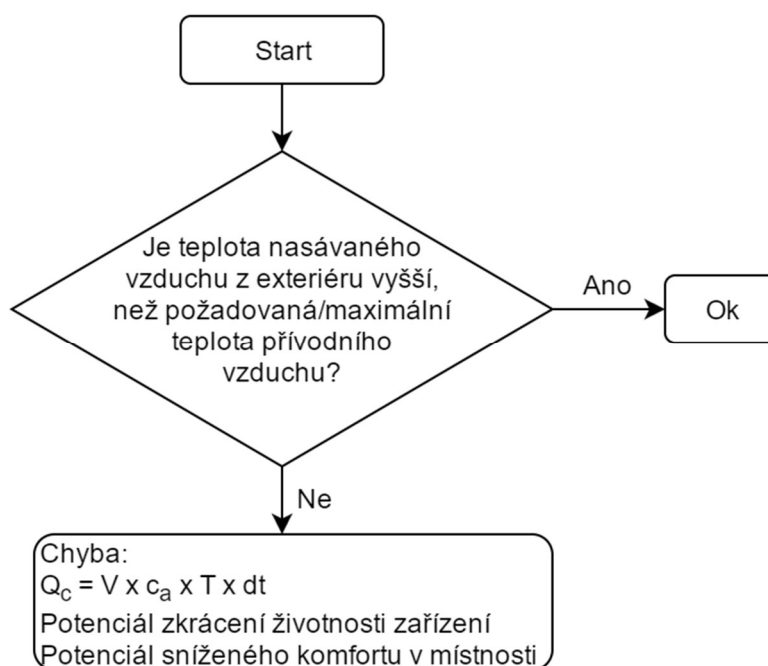
Jak je v textu několikrát zmíněno, implementace pravidel 12 a 18 není dle mého názoru správná. Pravidla ověřují, zda je jednotka ve správném režimu vzhledem k teplotě přívodního vzduchu a teplotě vzduchu v místnosti. Přestože má teplota v místnosti jistý vliv na režim jednotky, může být kvůli vysokým tepelným ziskům na režimu jednotky velmi nezávislá, rozhodující vliv by proto měla mít teplota nasávaného vzduchu. Pravidlo by podle mě mělo být rozděleno na dvě. Jedno by zjišťovalo, zda je jednotka ve správném režimu a druhé, jestli jsou v prostoru splněné požadavky na teplotu vzduchu.

Vývojový diagram v režimu HEATING vypadá následovně:



Obrázek 23: Vývojový diagram - vhodnost režimu HEATING

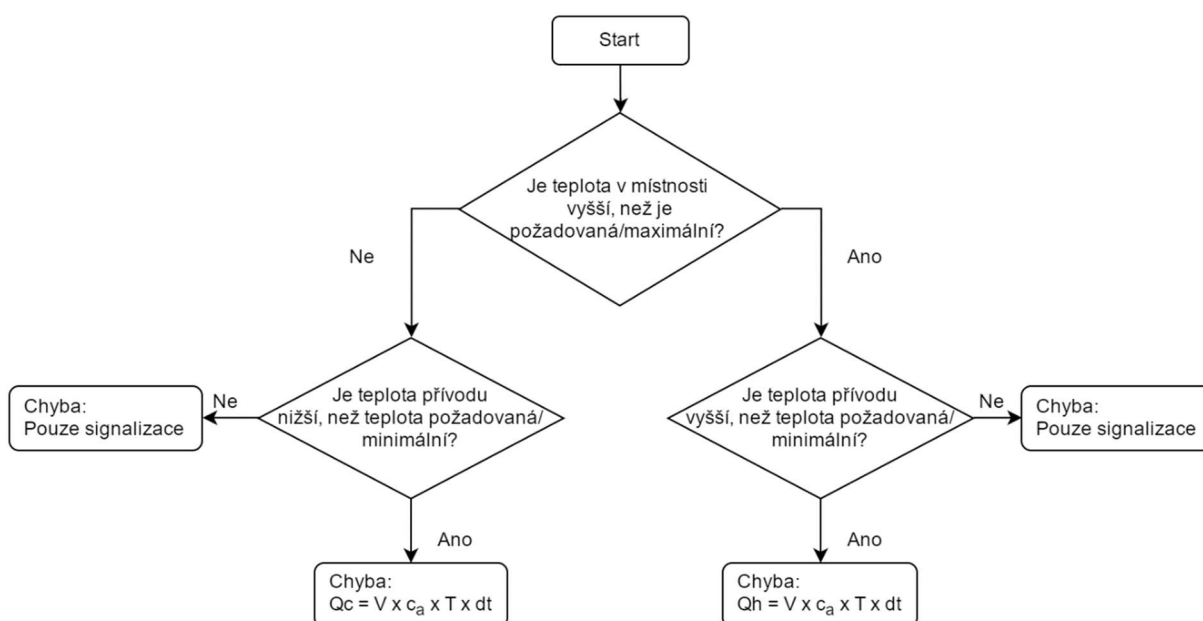
V režimu COOLING bude pravidlo analogické:



Obrázek 24: Vývojový diagram - vhodnost režimu COOLING

Pravidlo by mělo teplotu v přívodním kanálu kontrolovat nejen aktuálně, ale i několik minut nazpět, protože po sepnutí chlazení chvíli trvá, než se chladič ochladí a vzduch ochladí. Také by mělo brát v potaz nastavitelnou toleranci.

Doplňující pravidlo pro kontrolu vnitřní teploty vzduchu:



Obrázek 25: Vývojový diagram - pravidlo kontrolující teplotu větraného prostoru pro režim COOLING a HEATING

Všechny chyby by v tomto případě měli potenciál snížit komfort v prostoru. Výpočet tepla by se prováděl pouze v případě ohřevu a výpočet chladu pouze v případě chlazení. Pravidlo by mělo teplotu v přívodním kanálu kontrolovat nejen aktuálně, ale i několik minut nazpět, protože po sepnutí chlazení, nebo ohřevu chvíli trvá, než se chladič/ohřívač ochladí/ohřeje. Také by mělo brát v potaz nastavitelnou toleranci.

Výpočet by měl brát v potaz nastavitelnou toleranci.

Pokud je teplota v místnosti mimo rozsah hodnot a jednotka nemá k dispozici teplotu přiváděného vzduchu, je nepravděpodobné, že by byla teplota v místnosti regulovaná pomocí teploty přívodního vzduchu. Proto také pravděpodobně teplota vzduchu nemůže ovlivnit spotřebu tepla.

5 ZÁVĚR

V této práci byl ověřen program obsahující existující systém pravidel pro hledání chybových stavů při provozu vzduchotechnických jednotek. Tento program slouží jako vzor algoritmicke pravidel pro jejich implementaci do komplexnějšího systému. Ověření bylo provedeno aplikováním tohoto systému pravidel na daný soubor vzduchotechnických jednotek, vyhodnocením výsledků a bližší analýzou objevených chyb jednotlivých pravidel.

Bylo uvedeno, na jaké jednotky je program možný použit a jaký je princip, na kterém pravidla fungují – kontrolování a vzájemné porovnávání historických dat vzduchotechnických jednotek v pětiminutových intervalech. Datové body byly získány ze SCADA systému MERVIS a reprezentovaly hodnoty parametrů kvality vzduchu a stavy jednotlivých komponent jednotky. U všech pravidel, která mohla být vzhledem k souboru jednotek využita, byl popsán mechanismus hledání chyby a mechanismus vyhodnocení dopadů chyby na spotřebu elektrické energie, tepla, chladu a zda, může mít chyba dopad na životnost zařízení, nebo komfort uživatelů.

V další kapitole byly představeny a popsány jednotky, ze kterých byla získána historická data – soubor jednokanálových jednotek z FS a FEL ČVUT a jednotka z UCEEBu pro ověření obecných pravidel, pravidel týkajících se stavu ventilace, ohřevu a pravidel vypnutého stavu jednotky. Další tři jednotky ověřují pravidla týkající se pouze chlazení, dvě z nich nevyhovují plně požadavkům programu, ale jejich použití umožnilo lepší, alespoň částečné ověření pravidel kontrolující stav chlazení. Výsledek hledání chyb programem je v práci shrnut v několika tabulkách, zobrazující výstupy programu zvláště po jednotkách i pravidlech se souhrnem. Pravidla ukázala, že v podstatě na všech jednotkách je velké množství chyb. Za ty je ovšem ve velké míře zodpovědné zjednodušené modelování pravidel v tabulkovém procesoru, nebo jejich nevhodná implementace.

Podrobná analýza chyb objevených jednotlivými pravidly objevila jako největší skutečný problém náhodné spínání čerpadel, koordinaci čerpadel s trojcestnými ventily a občasné nevyhovující vnitřní prostředí, které jednotky ignorovaly. Na analýze je dobře vidět, jak velký vliv má způsob implementace pravidel na výsledky a jak velké množství chyb je planých. Naštěstí implementace pravidel do komplexnějšího softwaru nebude omezená pravidly tabulkového procesoru a většina planých chyb nebude vůbec signalizována. Dvě pravidla hlásící velké množství planých chyb jsou podle mě nevhodně navržena. Tato

pravidla mají ověřovat, zda je zvolený režim jednotky vhodný vzhledem k parametrům vzduchu v exteriéru, v přívodním kanále jednotky a v interiéru.

V současnosti se nevhodná pravidla snaží postihnout, zda je zvolený režim vhodný vzhledem k teplotě přívodního vzduchu a teplotě vzduchu v místnosti najednou. Teplota vzduchu v místnosti však úplně nesouvisí s režimem jednotky, protože například při teplotě venkovního vzduchu -10°C musí být ohřev vzduchu zapnutý i pokud je teplota v místnosti příliš vysoká. Pravidla jsou dvě – jedno pro stav ohřevu a jedno pro stav chlazení. Každé z pravidel navrhuji rozdělit na dvě. Jedno by pouze kontrolovalo, zda je ohřev/chlazení správným režimem vzhledem k teplotě venkovního vzduchu. Druhé by kontrolovalo teplotu v místnosti. Pokud by byla moc vysoká a teplota přívodu by byla vyšší, než teplota v místnosti, nebo než požadovaná teplota, byla by spuštěná chyba. Analogicky při chlazení. Návrhy pravidel jsou doplněny o vývojové diagramy s výpočtem dopadů na spotřebu energií.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

[1] Evropský parlament a Rada Evropské unie:

- DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
- Online: Publikováno 19.5.2010, navštíveno 28.6.2016.
- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>

[2] U.S. Energy Information Administration:

- FAQ: How much energy is consumed in residential and commercial buildings in the United States?
- Online: Publikováno 6.4.2016, navštíveno 28.6.2016
- <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=86&t=1>

[3] Srinivas Katipamula, PhD. Michael R. Brambley, PhD:

- Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems— A Review, Part I
- Online: Publikováno 20.6.2014, navštíveno 28.6.2016
- <https://pdfs.semanticscholar.org/a992/de71d68db9c1d5160d957eefdfdb0b816190.pdf>

[4] Jeffrey Schein, Steven T. Bushby, Natascha S. Castro, John M. House

- A rule-based fault detection method for air handling units
- Online: Publikováno 2.4.2005, Navštíveno 28.6.2016

[5] Architectural Energy Corporation (Donald Frey, Vernon Smith):

- Advanced Automated HVAC Fault Detection and Diagnostics commercialization program
- Online: Publikováno 12/2008, navštíveno 5.1.2017
- <http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-054/CEC-500-2013-054.pdf>

[6] In-počasí.cz, archiv

- Online: publikováno 17.12.2015 Navštíveno 18.12.2016
- http://www.in-pocasi.cz/archiv/archiv.php?historie=17-12-2015&stanice_kraj=14&klima_kraj=14

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Souhrnná tabulka chyb na jednotkách bez chladiče

Tabulka 2: Souhrnná tabulka dopadů chyb na jednotkách bez chladiče

Tabulka 3: Souhrnná tabulka chyb na jednotkách s chladičem

Tabulka 4: Souhrnná tabulka dopadů na jednotkách s chladičem

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma možného rozdělení metod FDD	9
Obrázek 2: Typická jednokanálová VZT jednotka z FS a FEL ČVUT.....	31
Obrázek 3: Jednokanálová VZT jednotka z UCEEBu.	32
Obrázek 4: Jednotka s chladičem a směšovací klapkou.	33
Obrázek 5: Typická jednotka s ZZT z UCEEBu.	34
Obrázek 6: Opakované spínání čerpadla při vypnuté jednotce (ČVUT 3).....	41
Obrázek 7: Otvírání klapky s předstihem před ventilátorem (ČVUT 10)	43
Obrázek 8: Běh čerpadla při vypnuté jednotce ČVUT 1.....	44
Obrázek 9: Výsek z grafu ze systému Mervis, ve kterém se neustále opakuje bezdůvodné spouštění čerpadla ohřivače. Toto spínání je pozorovatelné během chladnějších měsíců téměř neustále. Vpravo v červeném rámečku je výpadek jednotky. (ČVUT 1).....	45
Obrázek 10: Výjimečné zpoždění otevření klapky. (ČVUT 2).....	46
Obrázek 11: Opakované zavírání trojcestného ventilu v rámci regulace ústí v signalizaci chyby. (ČVUT 8).....	47
Obrázek 12: Ventil zůstává zavřený, i když ventilátor a čerpadlo běží. (ČVUT 8).....	49
Obrázek 13: První spuštění mrazové ochrany předchází signálu mrazová ochrana. (ČVUT 1).....	51
Obrázek 14: Neotevírání třicestného ventilu. (ČVUT 5)	52
Obrázek 15: Po pádu teplot v čase po 10:30 program zaznamená několik chyb. (ČVUT 3)	54
Obrázek 16: Teploty vody za registrem jsou nižší, než venkovní teplota.	56
Obrázek 17: Spouštění čerpadla ohřevu při chlazení.	57
Obrázek 18: Dlouhodobý běh čerpadla ohřevu(COH), při běhu chladiče (CH31b), otevření ventilu ohřevu (VOH).....	58
Obrázek 19: Spínání čerpadla ohřevu.....	59
Obrázek 20: Spouštění chyby, než se teplota v místnosti (teplota odtahu) dostane pod toleranci pravidla.	60
Obrázek 21: Chyba způsobená přechodem do režimu chlazení v 13:30:00.....	61
Obrázek 22: Teplota přiváděného vzduchu je vyšší, než teploty ohřivače i chladiče a zároveň teplota venkovního vzduchu je nižší než obě.	62
Obrázek 23: Vývojový diagram - vhodnost režimu HEATING.....	65
Obrázek 24: Vývojový diagram - vhodnost režimu COOLING	66
Obrázek 25: Vývojový diagram - pravidlo kontrolující teplotu větraného prostoru pro režim COOLING a HEATING.....	66