

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VYUŽITÍ A ANALÝZA DAT V ENERGETICKÉM
MANAGEMENTU BUDOV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Tereza Vernerová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Akademický rok:

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bc.Vernerová</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>466034</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra Technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Inteligentní budovy</u>		
Studijní obor: <u>Inteligentní budovy</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Využití a analýza dat v energetickém managementu budov</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Data analysis in building energy management</u>	
Pokyny pro vypracování: Analyzujte data z vybrané skupiny budov se zaměřením na otopné soustavy Určete klíčové hodnoty podstatné pro energetickou analýzu Proveďte energetickou analýzu dat Vytvořte system vhodný pro vyhodnocování větší skupiny dat	
Rozšiřující studie na téma Big data a energetický management	
Seznam doporučené literatury: N. Koseleva a G. Ropaite, „Big Data in Building Energy Efficiency: Understanding of Big Data and main Challenges,“ 1 2017 K. Zhou, C. Fu a S. Yang, „Big data driven smart energy management: From big data to big insights,“ 4 2016. A. B. L. K. A. L. Abdellah Daissaoui, „IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey,“ 2020.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>21.2.2022</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>15.5.2022</u> <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“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu doc. Ing. Michalovi Kabrhelovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, všechny cenné rady, podporu a čas, který mi věnoval v celém průběhu řešení této diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Janu Šírokému za poskytnutá data, bez kterých by část tato práce nevznikla. Děkuji také rodině, která mě podporovala během celého studia.

Prohlášení

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

Praha, 15.5.2022

Tereza Vernerová

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam grafů.....	8
Seznam použitých zkratk.....	10
Abstrakt.....	11

A. ROZŠÍŘUJÍCÍ STUDIE

1. Úvod	13
2. Big data.....	14
2.1. Historie a vývoj big dat.....	14
2.2. Charakteristika big dat	14
3. Data v budovách.....	16
3.1. Energetická efektivita budov.....	16
3.2. Zdroje dat v budovách.....	18
3.3. Využití dat ke zlepšení kvality vnitřního prostředí	19
3.4. Využití dat v energetickém managementu budov	19
3.4.1. Predikce energetické zátěže.....	20
3.4.2. Provoz budovy.....	20
3.4.3. Detekce a předcházení poruch.....	20
3.5. Strategie pro zpracování dat za účelem úspory energie v budovách	21
4. Analýza a zpracování dat.....	23
4.1. Proces zpracování dat.....	23
4.2. Metody analýzy dat v energetickém managementu budov	24
4.2.1. Klasifikace.....	24
4.2.2. Regrese.....	25
4.2.3. Shluková analýza	26
4.2.4. Asociační analýza	27
4.2.5. Hledání sekvencí.....	27
4.2.6. Detekce anomálií.....	28
4.2.7. Analýza časových řad	28
5. Sémantický popis dat v budovách.....	29
5.1. Brick schéma	29
5.1.1. Pojmy.....	30
5.1.2. Práce s Brick	32
5.2. Haystack	32

B. PRAKTICKÁ ČÁST

1. Cíle práce.....	34
2. Analýza dat.....	35
2.1. Použitá data	35
2.2. Filtrace dat	35
2.3. Zpracování v MATLAB	37
3. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 1	39
3.1. Souhrnná analýza	39
3.2. Detailní analýza	40
3.3. Závěr.....	44
4. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 2	45
4.1. Souhrnná analýza	45
4.2. Detailní analýza	46
4.3. Závěr.....	49
5. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 3	50
5.1. Souhrnná analýza	50
5.2. Detailní analýza	51
5.3. Závěr.....	53
6. Návrh systému sběru a vyhodnocování dat.....	54
6.1. Popis budovy	54
6.2. Otopná soustava	55
6.2.1. Popis otopné soustavy	55
6.2.2. Sběr dat v otopné soustavě.....	58
6.2.3. Vyhodnocování dat z otopné soustavy	59
6.3. Vzduchotechnika	62
6.3.1. Popis VZT – větrání.....	62
6.3.2. Sběr dat v systému VZT	62
6.3.3. Vyhodnocování dat ze systému VZT.....	63
6.4. Chlazení	64
6.4.1. Popis systému chlazení	64
6.4.2. Sběr dat v systému chlazení.....	69
6.4.3. Vyhodnocování dat ze systému chlazení	69
6.5. Zásobování vodou	73
6.5.1. Sběr dat v systému zásobování vodou.....	73
6.5.2. Vyhodnocování dat ze systému zásobování vodou	73
7. Automatizované vyhodnocování (historických) dat.....	74
7.1. Noční útlum.....	74
7.2. Víkendový útlum	79
7.3. Vyhodnocení nastavení nočního a víkendového útlumu.....	83
7.3.1. Noční útlum.....	87
7.3.2. Víkendový útlum	87

7.3.3.	Korelace mezi nočním a víkendovým útlumem	88
7.3.4.	Vyhodnocení technologií v rámci jedné budovy	89
7.4.	Závěr.....	90
8.	Závěr práce.....	91
	Reference	92

Seznam obrázků

Obrázek 1 – „5V“ model big dat.....	15
Obrázek 2 – Proces predikce.....	16
Obrázek 3 – Využití IoT a big dat v administrativní budově [7]	17
Obrázek 4 – Příklad zdrojů dat v administrativní budově [9].....	18
Obrázek 5 – Základní parametry kvality vnitřního prostředí budovy	19
Obrázek 6 – Proces zpracování dat	24
Obrázek 7 – Technika rozhodovacího stromu.....	25
Obrázek 8 – Lineární regrese [15]	26
Obrázek 9 – Hledání sekvencí [20]	27
Obrázek 10 – Detekce anomálií [21]	28
Obrázek 11 – Data časové řady, predikce průběhu a interval, který ohraničuje pravděpodobnost výskytu dalšího bodu [22]	28
Obrázek 12 – Brick schéma, třídy [25]	30
Obrázek 13 – Brick schéma, vztahy mezi entitami [25]	30
Obrázek 14 – Brick schéma, grafy [25].....	31
Obrázek 15 – Brick model [25].....	31
Obrázek 16 – Administrativní budova Dock03 v Praze, ilustrativní obrázek [28]	54
Obrázek 17 – Zjednodušený půdorys budovy Dock03.....	55
Obrázek 18 – Schéma připojení na zdroj tepla	56
Obrázek 19 – Schéma napojení větví otopného okruhu na stoupací potrubí v typickém podlaží	57
Obrázek 20 – Vztahy mezi veličinami v otopné soustavě	58
Obrázek 21 – Zjednodušené schéma zdroje chladu	65
Obrázek 22 – Připojení okruhu indukčních jednotek na zdroj chladu	66
Obrázek 23 – Napojení větví chlazení na stoupací potrubí v typickém podlaží.....	67
Obrázek 24 – Typické zapojení výměníku indukční jednotky	67
Obrázek 25 – Vztahy mezi veličinami v systému chlazení.....	68

Seznam grafů

Graf 1 – Naměřená teplota teplé vody a procento otevření ventilu (budova 002, technologie 056)	35
Graf 2 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 017)	36
Graf 3 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 017)	36
Graf 4 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – celý rok	39

Graf 5 – Procento směšovacího otevření ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – celý rok	39
Graf 6 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 1.–21. 1. 2019.....	40
Graf 7 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 1.–21. 1. 2019.....	40
Graf 8 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 1.–14. 7. 2019.....	41
Graf 9 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 1.–14. 7. 2019.....	41
Graf 10 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 23.–29. 9. 2019.....	42
Graf 11 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 23.–29. 9. 2019.....	42
Graf 12 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 31. 10.–4. 11. 2019.....	43
Graf 13 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 31. 10.–29. 9. 2019.....	43
Graf 14 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – celý rok	45
Graf 15 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – celý rok	45
Graf 16 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 1.–21. 1. 2019.....	46
Graf 17 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 1.–21. 1. 2019.....	46
Graf 18 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 1.–14. 7. 2019.....	47
Graf 19 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 1.–14. 7. 2019.....	47
Graf 20 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 23.–29. 9. 2019.....	48
Graf 21 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 23.–29. 9. 2019.....	48
Graf 22 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – celý rok	50
Graf 23 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – celý rok	50
Graf 24 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 2. 2019.....	51

Graf 25 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 2. 2019.....	51
Graf 26 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 7. 2019.....	52
Graf 27 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 7. 2019.....	52
Graf 28 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 23.–29. 9. 2019.....	53
Graf 29 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 23.–29. 9. 2019.....	53
Graf 30 – Počet případů nesplňujících podmínku nočního útlumu a míra nesplnění podmínky	87
Graf 31 – Počet víkendů nesplňujících podmínku víkendového útlumu a míra nesplnění podmínky	88
Graf 32 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 022)	89
Graf 33 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 002)	89
Graf 34 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 020)	89
Graf 35 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 010)	89

Seznam použitých zkratk

AFDD = Automated Fault Detection and Diagnostics (automatická detekce a diagnostika poruch)

BMS = Building Management System (řídící systém budovy)

CZT = Centrální zásobování teplem

HVAC = Heating Ventilation and Air Conditioning (vytápění, větrání a klimatizace)

ICT = Information and Communication Technology (informační a komunikační technologie)

IoT = Internet of Things (Internet věcí)

MaR = Měření a regulace

R + S = Rozdělovač a sběrač

SVM = Support Vector Machines (metoda podpůrných vektorů)

TZB = Technická zařízení budov

VS = výměňková stanice

VZT = vzduchotechnika

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku big dat v budovách a možnosti jejich využití ke zlepšení energetické efektivity budov a jejich vnitřního prostředí. Praktická část se věnuje energetické analýze dat z vybrané skupiny administrativních budov se zaměřením na otopnou soustavu. Tyto poznatky jsou dále využity při návrhu systému sběru a vyhodnocování dat z otopné soustavy, systému chlazení a vzduchotechniky na konkrétním příkladě administrativní budovy v Praze. Nakonec je pomocí programu MATLAB vytvořen systém pro vyhledávání vybraných chyb ve velkém množství dat z otopných soustav.

Klíčová slova

Analýza dat, Datová věda, Energetický management budov, Matlab, Big data

Abstract

This diploma thesis' focus is big data in buildings and the possibility of their use to improve energy efficiency of buildings and their indoor environment. The practical part is devoted to energy analysis of data from selected group of office buildings with focus on the heating system. These findings are further used in the design of a system for collecting and evaluating data from HVAC technology on a specific example of an office building in Prague. Finally, MATLAB is used to create a system for searching for selected errors in a large amount of data from heating systems.

Key words

Data Analysis, Data Science, Building Energy Management, Matlab, Big Data

A. Rozšiřující studie

1. Úvod

Budovy po celém světě přispívají velkou mírou k produkci skleníkových plynů a spotřebovávají poměrně velký podíl primární energie. V rozvinutých zemích se staví stále nové budovy a stávající stárnoucí budovy jsou energeticky náročné. Právě ve stavebním a dopravním sektoru existuje největší potenciál ke zlepšení této situace.

Zároveň roste poptávka po kvalitním vnitřním prostředí v budovách. Lidé tráví v budovách většinu svého života a zdravé kvalitní vnitřní prostředí nejen snižuje jejich nemocnost, ale má vliv i na celkový „well-being“ uživatele a jeho produktivitu práce.

Tyto dva požadavky se velmi neslučují, u obou ale existuje velký potenciál na zlepšení. Budoucností jsou tzv. chytré budovy, které dokážou nalézt optimální rovnováhu mezi energeticky efektivní budovou a kvalitním vnitřním prostředím, přičemž ani jedno kritérium neupřednostní na úkor druhého. Velkou roli v návrhu chytrých budov hrají data.

V posledních letech, zejména s rozšířením a vývojem ICT technologií a IoT, se v budovách sbírá a kumuluje obrovské množství dat a zároveň roste jejich hodnota. Data různého druhu jsou sbírána celosvětově v obrovském objemu, tato práce se ale zaměřuje pouze na data v budovách.

Tento velký objem nejrůznějšího typu dat představuje výzvu nejen v možnostech jejich ukládání a zapisování, ale také v jejich zpracování. Tomu se věnuje datová analýza. Jedná se o mezioborovou disciplínu, kde najdou uplatnění IT odborníci, specialisté na danou problematiku (např. technické zařízení budov a energetiku budov) nebo datoví analytici.

2. Big data

Termínem big data se jednoduše řečeno rozumí obrovské množství dat, které není možné zpracovat obyčejnými nástroji a běžně dostupným softwarem. Jedná se o datové soubory velikosti v řádech terabytů (10^{12} bytů) až petabytů (10^{15} bytů), někdy dokonce i exabytů (10^{18} bytů). Nejde však pouze o sběr a uchování velkého objemu dat. Cílem celého konceptu je datová analýza, vyhodnocení a nalezení potřebných informací. [1]

2.1. Historie a vývoj big dat

Koncept big dat je v historii relativně nový i když jeho vývoj se může předpokládat již od 60. a 70. let se začátkem prvních data center a databází. Termín „big data“ byl poprvé použit a zpopularizován v 90. letech minulého století. V češtině se objevuje termín velká data, veledata nebo přímo big data. [2]

V posledních letech raketově roste množství sbíraných dat po celém světě. Například už jen sami lidé generují skrz sociální sítě a jiné online platformy ohromné množství dat o sobě a svém chování. S pokrokem v datové analýze se mění i vnímání toho, kdo tato data vlastní a kdo z nich má prospěch. Lidé si čím dál tím více uvědomují hodnotu dat, která o sobě generují a poskytují.

Nejsou to ale pouze lidé, kteří vytvářejí data. S příchodem IoT je více a více zařízení a předmětů připojeno k internetu. Tato zařízení pak shromažďují data o vzorcích chování svých uživatelů a chodu systému. [3] V budovách mohou být data sbírána přes nejrůznější senzory a měřidla, které měří parametry vnitřního i vnějšího prostředí (teplotu, vlhkost, tlak atd.), energetické toky nebo pohyb a chování lidí (senzory pohybu, obsazenosti místnosti atd.). Využitelnost dat ještě více posouvá tzv. cloud computing, tedy ukládání a dostupnost dat odkudkoli přes serverové úložiště na internetu.

2.2. Charakteristika big dat

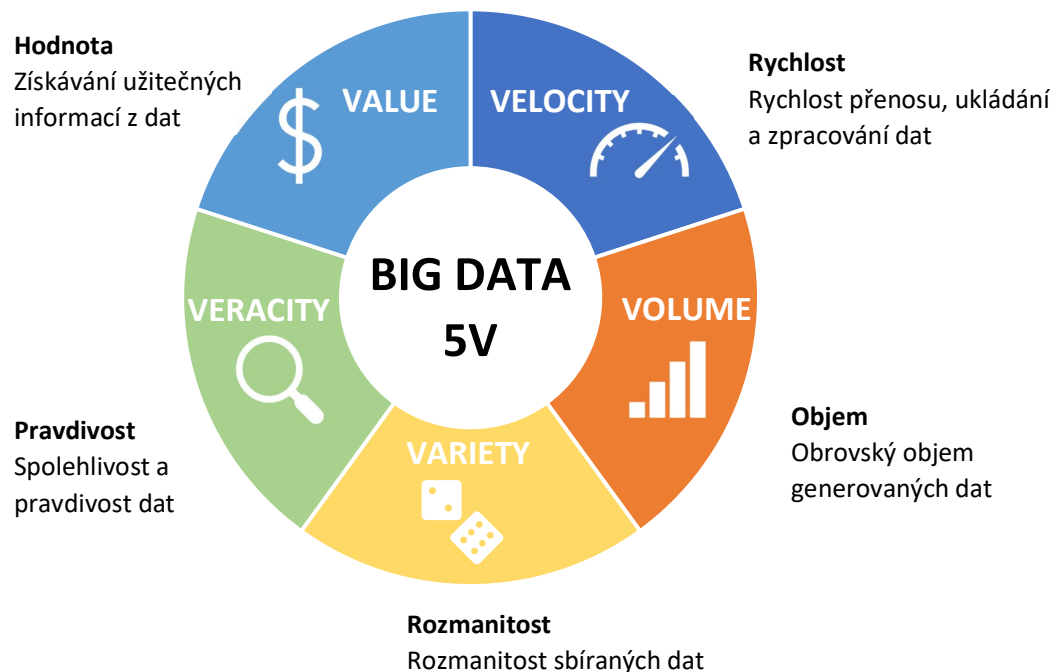
Koncept big dat byl definován modelem „3 V“¹, který představil v roce 2001 p. Laney jako: „*velkoobjemové, vysokorychlostní a různorodé informační zdroje, které vyžadují nákladově efektivní, inovativní formy zpracování pro lepší přehled a zpracování*“. Později v roce 2012 p. Gartner upravil definici takto: „*Big data představují velký objem, vysokou rychlost a/nebo rozmanitost informací, které vyžadují nové přístupy zpracování k jednoduššímu rozhodování, hledání porozumění a optimalizaci procesů*“. Obě definice odkazují na tři základní vlastnosti big dat – objem, rozmanitost a rychlost. V posledních letech bývá model rozšiřován na „4 V“² o

¹ Z angl. volume, velocity, variety

² Z angl. volume, velocity, variety, value

hodnotu dat, někdy dokonce na „5 V“³ o pravdivost dat. [1] Krátké vysvětlení jednotlivých vlastností:

- **Objem** – odkazuje na obrovské množství surových dat z různých zdrojů. V odvětví energetiky budov je toto velké množství dat získáváno především z chytrých měřicích zařízení a senzorů. Např. data o spotřebě elektřiny sbíraná každých 15 minut z 1 milionu chytrých elektroměrů dosáhnou za 1 rok velikosti kolem 2920 TB. [1] Tato vlastnost představuje nejen problém s ukládáním, ale také analytický problém, jak množství dat vhodně a efektivně zpracovat.
- **Rychlost** – odkazuje na rychlost přenosu, ukládání a zpracování dat. V energetice budov se například rychlost sběru a zpracování dat pohybuje od méně než sekundových přes 5minutové až po 15minutové intervaly. [4]
- **Rozmanitost** – odkazuje na různé typy dat nasbírané z různých zdrojů jako jsou senzory, chytré telefony a zařízení nebo sociální sítě. Data mohou mít různou podobu a formát, například video, obraz, audio, datové protokoly atd.
- **Hodnota** – odkazuje na proces získávání užitečných informací z velkého objemu dat. Data jsou v podstatě bezcenná, dokud neproběhne jejich analýza a není nalezena cílová užitečná informace.
- **Pravdivost** – odkazuje na pravdivost dat, tedy na to, jak získaná data odpovídají skutečnému stavu a jak moc se na ně dá spolehnout.



Obrázek 1 – „5V“ model big dat

³ Z angl. volume, velocity, variety, value, veracity

3. Data v budovách

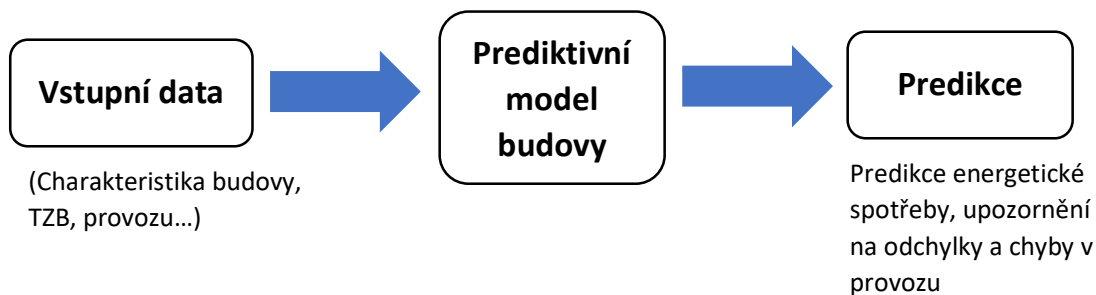
3.1. Energetická efektivita budov

Budovy po celém světě mají velký podíl na celkové spotřebě energie a tím přispívají také ke zvyšování uhlíkové stopy a urychlování klimatických změn. Uvádí se, že budovy v Evropě jsou zodpovědné za 40 % spotřeby veškeré energie a produkují kolem 36 % z celkového objemu skleníkových plynů produkovaných člověkem. [5] Kombinace neefektivního energetického managementu ve stárnoucích budovách a pokračujících stavebních činnostech v rozvinutých zemích bude mít nevyhnutelně za následek další stoupaní spotřeby energie ve stavebním sektoru a s tím spojené negativní dopady na životní prostředí. [6]

Celosvětový meziroční růst spotřeby energie (především kvůli HVAC), množství CO₂ emisí a skleníkových plynů v atmosféře a klimatické změny vedly k rozsáhlému výzkumu v oblasti udržitelnosti produkce energie a snižování energetické náročnosti, která se týká z velké části právě budov. Vznikla tak potřeba stavět energeticky úsporné budovy. Dle požadavku směrnice Evropského parlamentu musí mít od 1. ledna 2020 každá nově postavená budova v České republice téměř nulovou spotřebu energie. Energeticky úsporná budova přitom dokáže nejen minimalizovat spotřebu energie, ale zároveň zachovat kvalitní a zdravé vnitřní prostředí. Tato problematika přilákala velkou pozornost zejména v posledních letech.

Zvyšování energetické efektivity budov se může dít několika způsoby. Jedním z nich je zlepšování tepelně technických vlastností obálky budovy a tím snižování spotřeby energie na vytápění a chlazení. Dalším způsobem je využívání obnovitelných zdrojů energie a tím snižování spotřeby energie z neobnovitelných zdrojů. V neposlední řadě je to optimalizace technických zařízení budov nebo vylepšování energetického managementu ve stávajících budovách

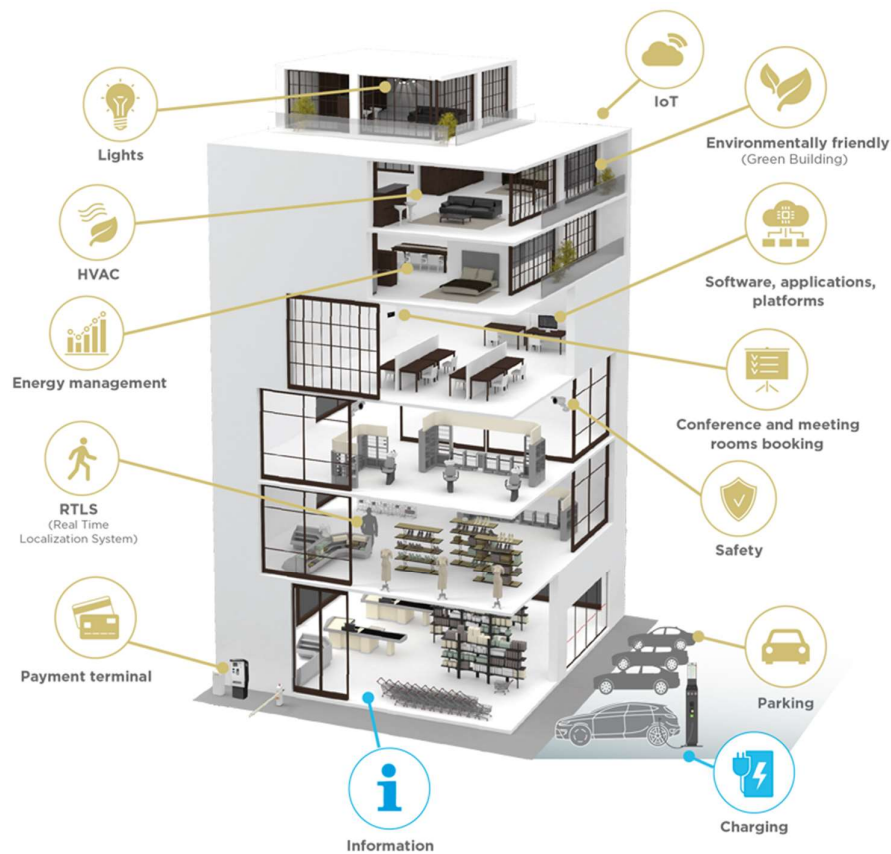
Vývoj a integrace ICT a IoT technologií v budovách přinesly velké množství nových aplikací a využití jak pro správu budov, tak pro samotné uživatele. Tyto prvky jsou dnes nedílnou součástí tzv. smart buildings a z velké části jsou právě tím, co budovu dělá chytrou. Nasbíraná data z těchto technologií je možné využít ke snížení energetické náročnosti nebo v energetickém managementu budovy.



Obrázek 2 – Proces predikce

Jedním z možných řešení využití dat ke snižování energetické náročnosti je vytvoření prediktivního modelu budovy. Jedná se o softwarové vymodelování budovy na základě dostupných dat o budově, znalosti profilu využívání budovy a klimatických dat. Vytváření prediktivního modelu je však náročné, drahé, a ne vždy je k dispozici dostatek dat, aby model fungoval správně.

Většina aplikací dnes nabízí pouze částečné jednosměrné řešení, které zahrnuje monitorování, sběr dat a regulaci jedné veličiny, aniž by poskytovalo širší souvislosti. Potenciál využití IoT a big dat v budovách může jít přitom mnohem dále. K pochopení širších vztahů o fungování budovy je možné toto obrovské poskytované množství dat analyzovat a poznatky přenést do modelu budovy, který dokáže efektivně předvídat její chování v reálném čase, reagovat na náhlé změny a tím optimalizovat spotřebu energie v budovách. [5]

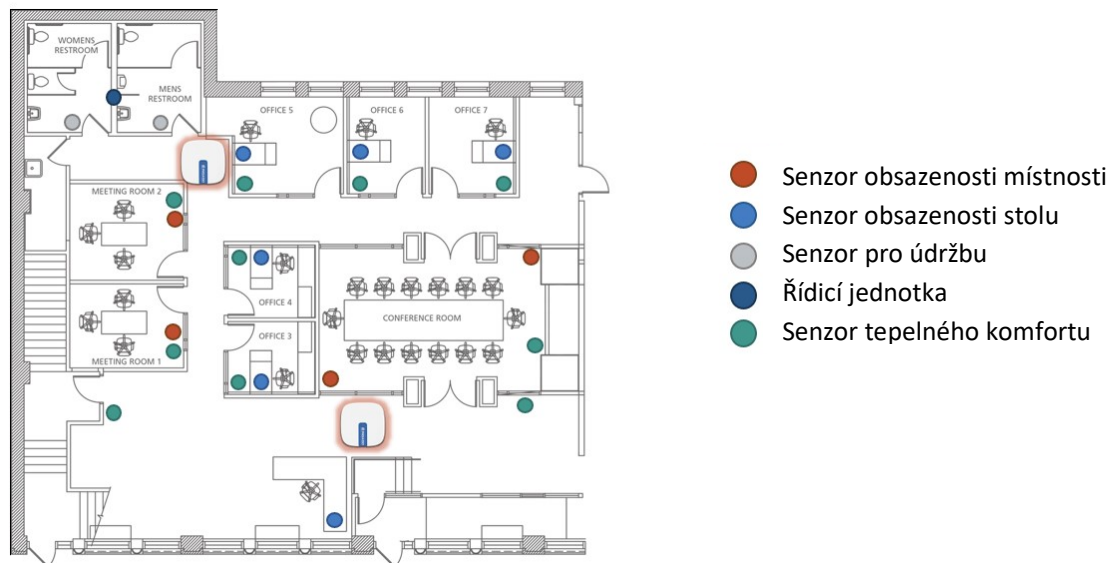


Obrázek 3 – Využití IoT a big dat v administrativní budově [7]

3.2. Zdroje dat v budovách

Množství důležitých dat o provozu budovy nabízí řídicí systém budovy BMS, který sbírá data o technických zařízeních budovy a o vnitřním prostředí pomocí senzorů a IoT technologií umístěných přímo v budově.

Velkým zdrojem dat jsou i samotní lidé v budovách, např. jejich rozmístění po budově může být cennou informací při hospodaření s energiemi. Data o pohybu mohou být použita k lepšímu pochopení chování uživatelů budovy, efektivnímu využívání energií v budově a omezení plýtvání. Současné GPS systémy mají s přesným určením polohy v budově problém, s tímto ale dokážou pomoci nové IoT technologie, které umí velmi přesně určit polohu jakéhokoli chytrého předmětu a trasovat jeho pohyb. [8]



Obrázek 4 – Příklad zdrojů dat v administrativní budově [9]

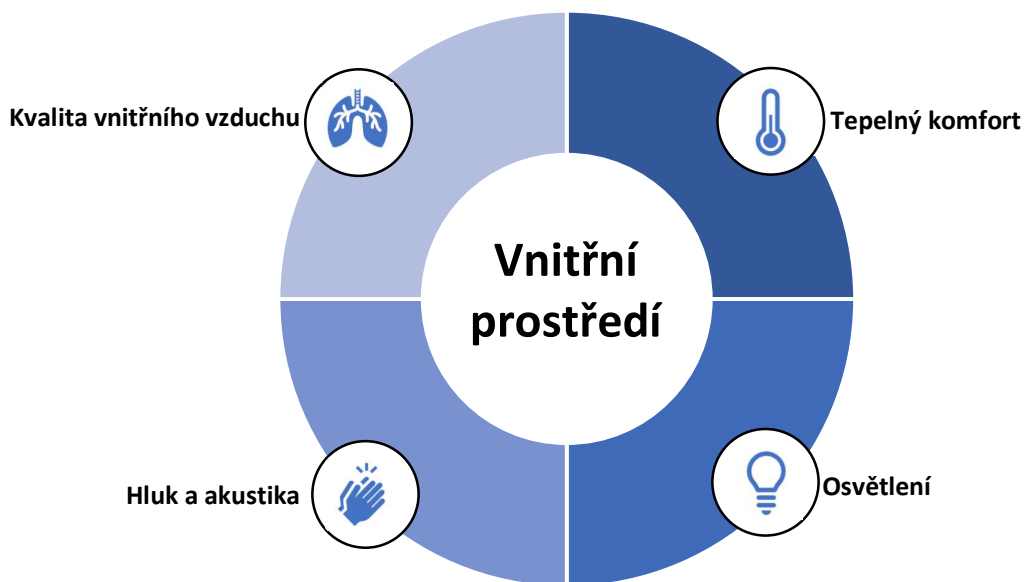
Dalším z velkých zdrojů dat v budovách jsou inteligentní měřiče energií tzv. „smart meters“. Jedná se o podružné měřiče energií, které většinou odečítají data o spotřebě každých 15 minut a tím generují velké množství záznamů z pouhých odečtů stavu. Inteligentní měřiče informují spotřebitele nebo dodavatele energie o aktuální spotřebě téměř v reálném čase. Měřiče komunikují buď bezdrátově, nebo po sběrnici. [4]

Dalšími užitečnými parametry v energetickém managementu budov jsou externí data o počasí, jako venkovní teplota vzduchu, rychlost větru nebo intenzita slunečního záření. Tato data mohou být využita např. k predikci množství generované energie z obnovitelných zdrojů (fotovoltaické elektrárny, solárních kolektorů apod.) nebo k odhadnutí budoucí potřeby energie. [4]

3.3. Využití dat ke zlepšení kvality vnitřního prostředí

Důležitým cílem chytrých budov je kromě zvyšování energetické efektivity také kvalitní vnitřní prostředí, i když jsou tyto dva cíle protichůdné. Lidé v budovách tráví více než 80 % svého života, navíc zdravé a příjemné vnitřní prostředí může snížit nemocnost, zlepšit pohodlí a zvýšit produktivitu práce. K zajištění takového prostředí je potřeba téměř kontinuálně monitorovat stav parametrů vnitřního prostředí. [8]

Pokročilejší systémy HVAC v sobě mohou mít v budoucnu zabudované senzory a akční členy ovládající nastavení teploty, které bude díky tomu automaticky řízeno na základě předchozích zkušeností s uživateli a jejich minulého chování. Takový systém bude založen na tzv. strojovém učení. [8]



Obrázek 5 – Základní parametry kvality vnitřního prostředí budovy

3.4. Využití dat v energetickém managementu budov

Chytrá budova musí umět najít optimální nastavení mezi energetickou efektivitou a kvalitou vnitřního prostředí. I když systémy energetického managementu, které monitorují, kontrolují a optimalizují aktuální energetické spotřeby dnes v budovách běžně fungují, je v tomto ohledu ještě potenciál ke zlepšení. U inteligentních budov je žádané řešení na míru, které je přizpůsobené specifickým požadavkům budovy. K tomu je zapotřebí znalost kontextu konkrétní budovy a jejího fungování. Ke zlepšení efektivity energetického managementu je důležitý sběr dat z měřičů ale i data o vnitřním a okolním prostředí. Např. pro regulaci HVAC je klíčový počet lidí v místnosti, pro systém osvětlení jsou zase důležitá data o aktuální intenzitě slunečního záření. [8]

Sběr dat a techniky datové analýzy najdou v energetickém managementu široké využití. Jedná se např. o predikci poptávky energie pro efektivní provoz budovy, optimalizaci samotného provozu energie, detekci a předcházení poruch v systémech budovy, optimalizaci ekonomiky provozu budovy nebo odhalování energetických podvodů.

3.4.1. Predikce energetické zátěže

Predikcí energetické zátěže je myšlena energetická zátěž, kterou je potřeba v daném okamžiku v budově pokrýt dodávkou energie (tepelné, elektrické). Cílem budovy je pokrýt měnící se poptávku po energii za každých okolností. Jednoduše nesmí dojít během špičkové spotřeby energie k výpadku např. elektrické energie. Energie musí být stále k dispozici.

Důležitým faktorem, který hraje roli v poptávce po energii, jsou samotní uživatelé budovy. Různé studie prokázaly, že velmi záleží na aktivitě uživatelů. Vytvoření prediktivního modelu, který dokáže udělat krátkodobý i dlouhodobý odhad spotřeby energie, včetně predikce energetických špiček, může usnadnit efektivnější řízení budovy a vést k úspoře. [6]

3.4.2. Provoz budovy

Řídicí systémy BMS, které slouží k regulaci vnitřního prostředí pomocí řízení technického vybavení budov, dnes generují obrovské množství dat. Generovaná data obsahují informace o teplotě, vlhkosti, rychlosti proudění vzduchu, tlaku vzduchu, stavu řízení apod. Tato data lze analyzovat za účelem optimalizace provozu budovy. Častým případem je využití dat k nalezení pravidel typu „*když A → tak B*“ a tím vytvoření doporučení ke zlepšení řízení a provozu budovy. [6]

3.4.3. Detekce a předcházení poruch

Odhaduje se, že 5–30 % spotřebované energie v komerčních budovách se vyplývá kvůli chybám v řízení TZB systémů. [10] Pomocí různých technik datové analýzy lze kontrolovat provozní stav budovy a detekovat poruchy v infrastruktuře technického zařízení budov.

Jednou z nabízených možností na dnešním trhu jsou nástroje pro automatickou detekci a diagnostiku poruch zkráceně AFDD. Tyto nástroje včas detekují odchýlení od normálu nebo od předpokládaného průběhu, provedou diagnostiku (typ problému, kde k problému došlo, možná nabízená řešení atd.) a tím minimalizují potřebu manuální analýzy dat a zároveň se omezí výše zmíněné plýtvání energiemi. [10]

Na trhu existuje celá řada těchto nástrojů, které se od sebe odlišují různými parametry. Jedná se například o způsob implementace (aplikace v počítači, cloudová aplikace nebo zabudování softwaru přímo do řídicího zařízení), zdrojová data (historická data, data téměř v reálném čase, data z řídicího systému budovy, data z místního zařízení, data z externího senzoru nebo kombinace zmíněných dat), druh algoritmu, pokryté TZB systémy, nebo další přídavné funkce (vizualizace, kvantifikace energetického dopadu nebo prioritizace chyb). [10]

Detekce poruch je možná zejména v případě kontinuálního sběru dat, kdy lze určit konkrétní čas a místo poruchy a vyvodit, jaký vliv měla na jiné části a zařízení budovy. Zpětně je pak možné identifikovat události, které k poruše vedly, a v budoucnu se jim vyhnout nebo poruchu předvídat. Existují sice náhodné události, které nelze předvídat a vyhnout se jim, jako např. sabotáž nebo náhodné selhání, lze ale takové případy zkoumat alespoň zpětně a v budoucnu snížit pravděpodobnost jejich výskytu. [6]

Příčin poruch systémů TZB může být celá řada a mohou se vyskytovat v průběhu celé životnosti budovy od implementace až po provoz. Chyba může nastat už ve fázi návrhu systému, dále také při instalaci a uvádění do provozu. Další chyby jsou způsobené nesprávnou manipulací a údržbou systému. [11]

Automatizovaná diagnostika provozních dat dokáže zpracovávat data z několika desítek budov najednou a včas detekovat chyby a poruchy, které lze mnohdy vyřešit bez nutnosti větších investic. Lze tak nejen včas snížit energetickou spotřebu budovy, ale také předejít diskomfortu uživatele budovy, nebo selhání zařízení v důsledku nesprávného fungování v provozu.

3.5. Strategie pro zpracování dat za účelem úspory energie v budovách

Optimalizace energetické efektivity je komplexní úkol, který probíhá celý životní cyklus budovy od návrhu do konce životnosti. Během celé této doby se mění styl užívání budovy, podmínky v budově i jejím okolí a je potřeba stále přehodnocovat parametry energetické efektivity, které byly na začátku návrhu budovy vybrány jako klíčové a kterým byla přiřazena optimální hodnota.

Při optimalizaci je důležitým prvním krokem určení hlavních energetických toků v budově a nalezení těch nejvýznamnějších. Tyto vybrané parametry se následně monitorují, analyzují a vyhodnocuje se jejich dopad na celkovou energetickou bilanci budovy. Následně jsou navržena úsporná opatření.

Jelikož každá budova plní jinou funkci a má tedy i jiné využití energie, je nutné při analýze a vyhodnocování dat z budovy vzít v úvahu také o jaký druh budovy se jedná a jaké je rozložení využití energie v průběhu dne. Např. v rezidenčních budovách se energie spotřebovává především k udržení komfortu obyvatel budovy, zatímco u průmyslových budov je energie využívána hlavně na technologické procesy. [5]

Autoři práce „Big data: the key to energy efficiency in smart buildings, 2016“ popsali hlavní kritéria, která je potřeba vzít v úvahu při výběru strategie k úspoře elektrické energie v budově:

- **Elektrická zařízení, která jsou vždy zapojena do sítě** – tato zařízení určují minimální hodnotu spotřebované elektrické energie.
- **Elektrická zařízení, která jsou občas zapojena do sítě** – podle typu budovy je vhodné zjistit spotřebu a frekvenci používání těchto zařízení.
- **Chování uživatelů** – má velký vliv na spotřebu energie, ale nedá se přesně předvídat.
- **Klimatické podmínky** – veličiny jako teplota, tlak, vlhkost vzduchu a přirozené světlo mají přímý dopad na množství spotřebované elektřiny.
- **Informace o generované elektrické energii v budově** – elektřina vyráběná pomocí alternativních zdrojů energie přímo v budově.
- **Informace o spotřebované energii v budově** – měřená spotřeba energie v budově, kterou je možné porovnat s předpokládanou hodnotou a vyvodit závěry. Zároveň informovanost uživatelů budovy o reálné spotřebě energie může mít za následek zodpovědnější nakládání s elektřinou z jejich strany.

Při návrhu optimální strategie autoři práce nejprve provedou analýzu spotřeby energie. Dále analyzují vztah mezi proměnnými a spotřebou energie, aby našli, co má největší dopad na spotřebu. Dalším krokem je nalézt vzorec v chování uživatelů budovy a následně poznatky využít při vytváření prediktivního modelu budovy, který sám odhaduje spotřebu elektrické energie. Z vytvořeného modelu se pak hledá optimální strategie kontroly spotřeby na základě odhadované spotřeby energie.

4. Analýza a zpracování dat

Analýza a zpracování dat v budovách, především v oblasti energetického managementu budov, jsou využívány k následujícím cílům: [6]

- **Predikce poptávky energie** – cílem je optimalizace výroby a distribuce energie.
- **Analýza provozu budovy a zařízení** – jedná se především o hledání chyb v chodu budovy a jejích zařízeních, optimalizaci provozu a snížení nákladů na údržbu.
- **Detekce vzorců spotřeby energie** – tyto vzorce mohou energetickým společenstvem sloužit k vytvoření personalizované nabídky a k odhalování podvodů.

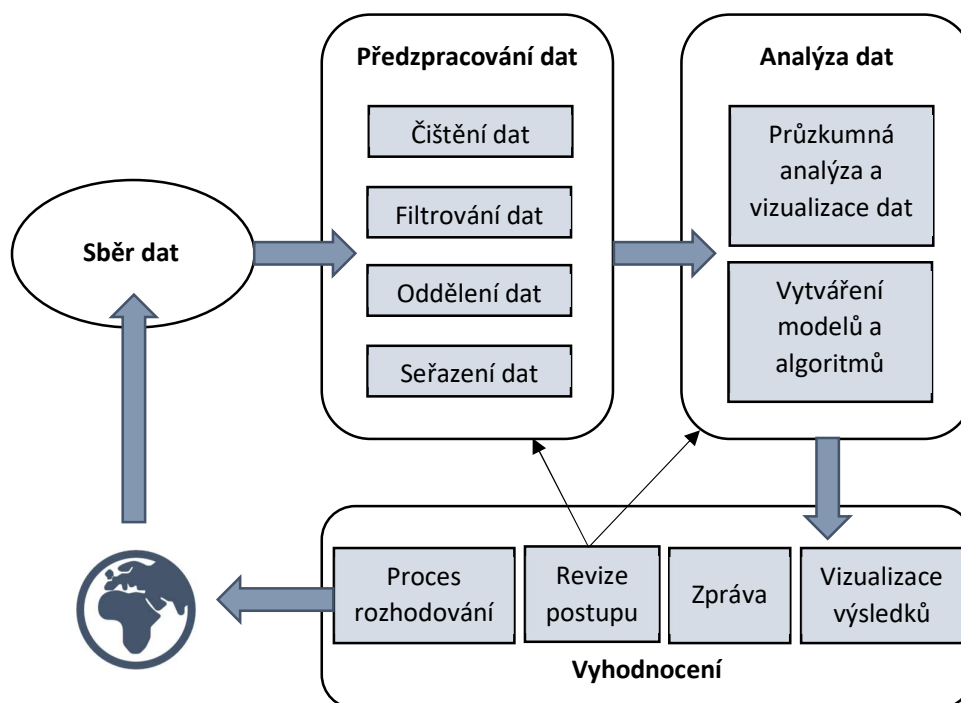
Samotnému zpracování dat předchází sběr dat týkající se provozu budovy a chování uživatelů. Tato data mohou pocházet z velmi různorodých zdrojů, jako jsou senzory v budově měřící parametry vnitřního prostředí, senzory umístěné v zařízeních (např. IoT) nebo externí data o počasí, cenách energií atd. [6]

K analýze dat z budov mohou být použity metodiky, techniky a nástroje z různých oborů. K dosažení užitečných výsledků je totiž nutná kromě znalosti nástrojů analýzy dat také znalost dané problematiky a schopnost data interpretovat.

4.1. Proces zpracovávání dat

Data science (datová věda) jako mezioborová disciplína zahrnuje vytváření algoritmů k nalezení užitečných informací, odhalení vzorců a vytváření užitečných predikcí a postřehů ve velkém objemu dat. Jedná se o celý proces zpracování dat, tedy od prvotního sběru dat a jejich čištění, vlastní analýzu až po popis a souhrn výsledků. Výstupem je predikce hodnot sledovaných veličin a jejich vizualizace. Ve velké míře využívá matematickou a statistickou analýzu v kombinaci s nástroji informační techniky.

Proces začíná sběrem surových dat, která jsou následně potřeba vyčistit a ze kterých se vybere množina dat, která obsahuje relevantní informace pro daný účel. Eliminovat nepotřebná data lze např. pomocí vhodných filtrů nebo logických otázek. Když jsou data připravená, provádí se tzv. průzkumná analýza (včetně vizualizačních technik), která pomůže určit, které algoritmy a metody zpracování budou pro danou množinu dat nejefektivnější k dosažení užitečného výsledku. Finální proces vede k výsledkům, které mohou být zpracovány také vizuálně a o které je možné opřít další rozhodování. V závislosti na primárních výsledcích je možné celý proces opakovat a optimalizovat s jinak nastavenými hodnotami nebo jinak vybranými daty. Rozhodování, které hraje důležitou roli v celém procesu, nelze zautomatizovat a v analýze je nezbytně nutná účast experta na danou problematiku. [6]



Obrázek 6 – Proces zpracování dat

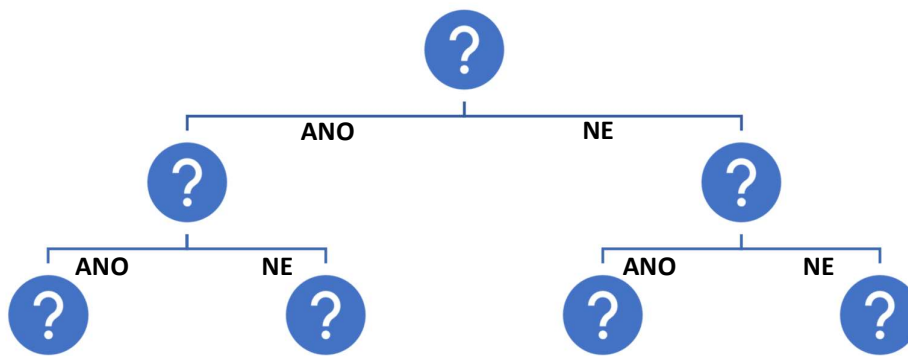
4.2. Metody analýzy dat v energetickém managementu budov

V analýze dat z budov existuje řada technik a nástrojů, jak tato data zpracovávat. Jednotlivé techniky se liší vhodností použití při konkrétních situacích nebo podle požadovaného výsledku. Nejvíce známé a používané metody jsou např. klasifikace, regrese, shluková analýza nebo asociační analýza.

4.2.1. Klasifikace

Cílem metody klasifikace je rozdělit data mezi konečný počet dílčích podmnožin na základě společných vlastností. Vlastnosti, podle kterých se data třídí do skupin, jsou dány klasifikačními kritérii. Podmnožina dat se společnými či podobnými vlastnostmi se nazývá klasifikační třída. Pomocí klasifikace jsou roztříděna všechna data, tedy každému zápisu je přiřazena klasifikační třída, zároveň nemůže být jeden prvek ve více třídách najednou. [12]

Často používaným algoritmem ke klasifikaci dat je **technika rozhodovacích stromů** („*decision trees*“), která rozhoduje na základě poskytnuté sady pravidel podobně, jako člověk. Základním předpokladem je vytvoření otázek s odpověďmi ano/ne, podle kterých algoritmus postupuje. Soubor dat se tak s každou další otázkou rozděluje na další dvě části. Výsledkem jsou data zorganizovaná do stromové struktury. [13]



Obrázek 7 – Technika rozhodovacího stromu

Další používanou technikou je **náhodný les** („*random forest*“), kde algoritmus vytvoří množství rozhodovacích stromů a predikuje klasifikační třídu na základě spojování hodnot z více stromů. [6] Další technikou je **metoda podpůrných vektorů** (SVM), kde jsou data reprezentována jako body v prostoru a následně rozdělena jednou nebo více nadrovinami na dvě či více částí s cílem vytvořit co nejširší pruh bez bodů okolo samotné nadroviny. [14]

Dalšími možnostmi jsou např.: [6]

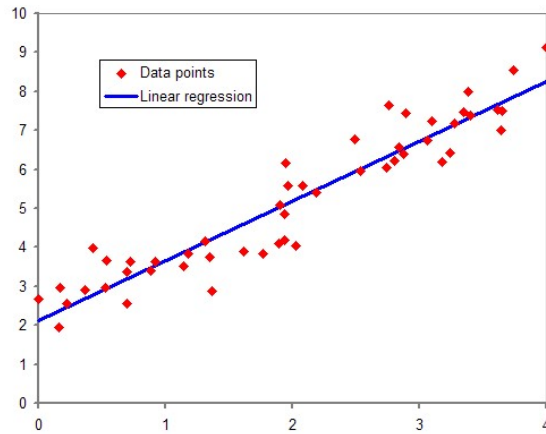
- Bayesovský klasifikátor („*Bayesian classification*“)
- Neuronové sítě („*neural Networks*“)
- Samoorganizační mapa („*self-organizing map = SOM*“)
- Algoritmus k-nejbližších sousedů („*k-nearest neighbors*“)

4.2.2. Regrese

Výsledkem regresní analýzy je matematický model vztahu mezi dvěma nebo více proměnnými. Součástí analýzy je také odhad, zda se jedná o závislou či nezávislou proměnnou. Pokud se jedná o závislou proměnnou, je pak nutné určit vztah její závislosti.

Metoda se používá k predikci závislé proměnné na základě vědomosti jiných veličin. Uplatní se ale také při porozumění tomu, jak se mění proměnné závislé hodnoty, zatímco nezávislé hodnoty zůstávají fixní.

Regrese může být lineární a nelineární. U lineární regrese se předpokládá, že proměnné jsou lineární kombinací parametrů, což ale většinou neodráží reálný svět. [6]



Obrázek 8 – Lineární regrese [15]

4.2.3. Shluková analýza

Princip shlukové analýzy spočívá v třídění jednotlivých dat do skupin (shluků) na základě stupně podobnosti. Prvky z jednoho shluku jsou si mezi sebou podobnější než s ostatními prvky z jiných shluků. [16] Třídy, do kterých jsou data přiřazována, nejsou dopředu známy, protože shluky nejsou dopředu definovány. Shluky jsou vytvářeny až v rámci samotné analýzy.

Metody shlukové analýzy se obecně dělí na hierarchické a nehierarchické. Mezi algoritmy hierarchického shlukování patří např.: [16] [17] [18]

- **Metoda nejbližšího souseda** – vytváří shluky z objektů, které mezi sebou mají nejmenší vzdálenost.
- **Metoda nejvzdálenějšího souseda** – slučuje do jednoho shluku objekty, které mezi sebou mají nejdelší vzdálenost.
- **Centroidní metoda** – vzdálenost shluků je určena na základě nejmenší vzdálenosti mezi těžišti objektů nebo shluků.
- **Párová vzdálenost** – měří vzdálenost všech párů objektů z různých shluků a vytváří shluky na základě průměru této vzdálenosti.



Metoda shlukování bývá používána jako první krok v případě klasifikace dat, pokud nejsou známy žádné informace o klasifikačních třídách, a až poté se použije metoda klasifikace přiřazení objektů k již známým skupinám. [6]

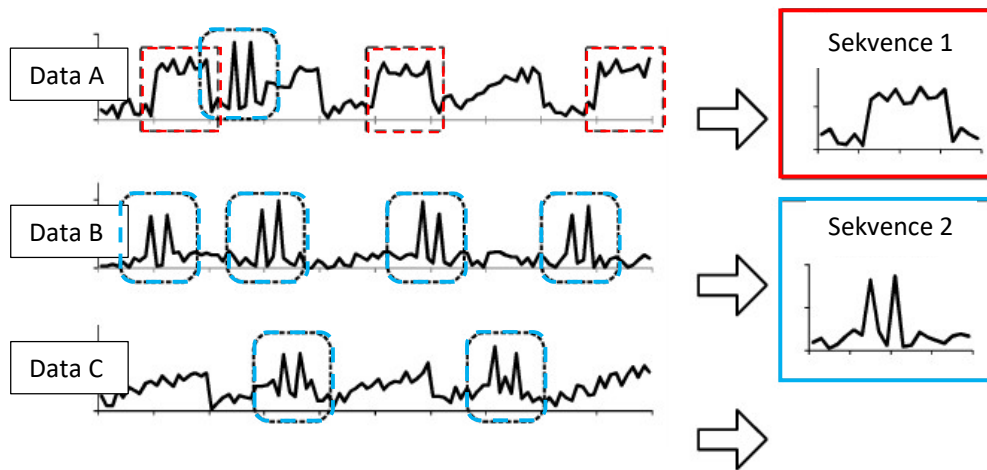
4.2.4. Asociační analýza

Asociační analýza slouží k získání nových znalostí a informací ze surových dat pomocí hledání souvislostí, vzorců a asociací mezi jednotlivými prvky databáze. Objevují se nejčastěji v podobě asociačního pravidla typu „*když A → tak B*“. Tato pravidla mohou obsahovat také informace o statistickém výskytu pravidla, jeho spolehlivosti a důležitosti.

Tato metoda se typicky používá pro analýzu nákupního chování. Například pokud si zákazník koupí plavky a ručník, v 60 % případů si koupí také sluneční brýle. Kombinace všech tří produktů se vyskytuje ve 24 % všech nákupů. [19] V budovách se může asociační analýza uplatnit v případě odhalování vzorců ve spotřebě energie a vztahů mezi jednotlivými proměnnými.

4.2.5. Hledání sekvencí

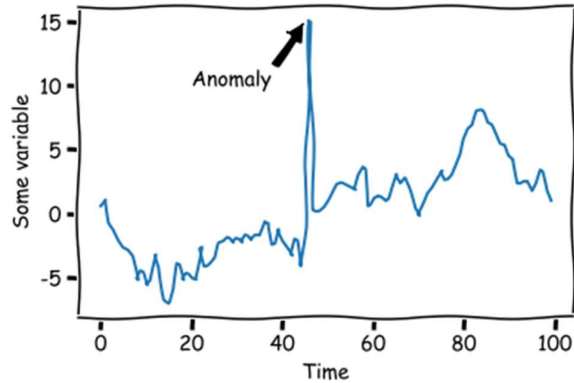
Touto technikou lze hledat relevantní vzorce v posloupných datech. Lze takto nalézt např. často se opakující vzorce v datech, podobné části řady dat posunuté v čase nebo nahradit chybějící data v datové řadě. [6]



Obrázek 9 – Hledání sekvencí [20]

4.2.6. Detekce anomálií

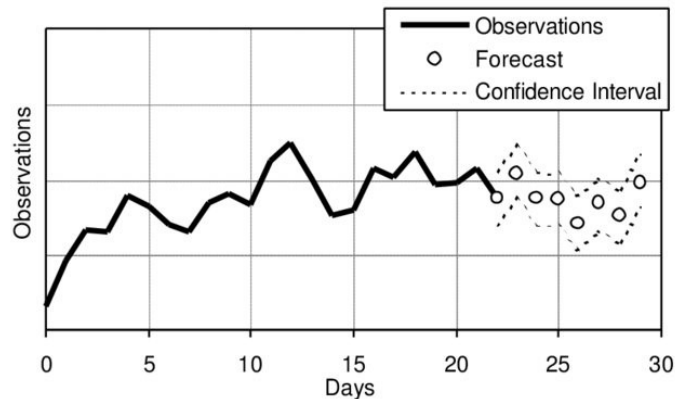
Cílem této techniky je odhalení událostí, které se odchyľují od předpokládaného vzorce chování nebo obvyklého chování zbytku dat. Objevování datových anomálií v kontextu budov může pomoci s odhalováním podvodů s energiemi, chyb v přenosech dat nebo poruch technických zařízení v budovách. Na hledání anomálií mohou být např. použity variace výše zmíněných metod klasifikace. [6]



Obrázek 10 – Detekce anomálií [21]

4.2.7. Analýza časových řad

Jedná se o soubor metod, který je prováděn s daty časové řady, tedy s daty, která jsou zaznamenávána v čase. Cílem této analýzy je vymodelovat průběh dat, který je následně využit k predikci jejich budoucího chování. [6]



Obrázek 11 – Data časové řady, predikce průběhu a interval, který ohraničuje pravděpodobnost výskytu dalšího bodu [22]

5. Sémantický popis dat v budovách

V současné době se rychle zvyšuje množství inteligentních zařízení v budovách, řídicí a monitorovací systémy se stávají dostupnějšími. Přibývá tak chytrých budov generujících obrovské množství informací a dat. Většina těchto dat ale nebývá zužitkována, přestože v sobě ukrývají potenciál k ušetření nákladů nebo předcházení poruch např. v případě automatické diagnostiky.

Jelikož programovat a automatizovat každou budovu zvlášť dle individuálních požadavků a okrajových podmínek je neúměrně drahé a časově náročné, vzniká tím poptávka po standardizovaném systému metadat, který je přenositelný a dokáže pracovat s daty z kterékoli budovy.

V rámci datové analýzy je nejprve zapotřebí datům porozumět. Označování dat je však nejednoznačné a nesystematické. Jedna proměnná může nést i několik variant stejného názvu podle zvyklostí programátora a požadavků zákazníka (např. „*venkovní_teploata*“, „*venkovní_teploataSV*“ a „*teplota_exterier*“). S takovým označováním sice programátor problém nemá, ale počítač by nedokázal automaticky rozeznat, o jakou proměnnou se jedná. Vznikla proto poptávka po systematickém označování proměnných. Jedná se o tzv. „tagování“ neboli štítkování a principu využívá hned několik ontologií. [23]

Díky společným metadatům tak mohou význam dat z budovy pochopit i lidé nebo další softwarové aplikace, které se nepodíleli na původním sběru a zpracování dat [24]. Diagnostickému systému je poskytnuta strojově čitelná informace o druhu proměnné i o vztahu mezi proměnnými a zařízeními v budově. [11]

Mezi nejčastěji zmiňované standardy v rámci managementu budovy a zpracovávání dat patří např. Brick, Haystack nebo Digital Buildings Project.

5.1. Brick schéma

Celý koncept je snahou o standardizaci popisu jednotlivých částí a prvků chytré budovy a vystihnoutí důležitých vztahů mezi nimi. Jedná se o schéma založené na grafu, který využívá třídní hierarchii. Zdrojový kód je otevřený a volně dostupný. [25]

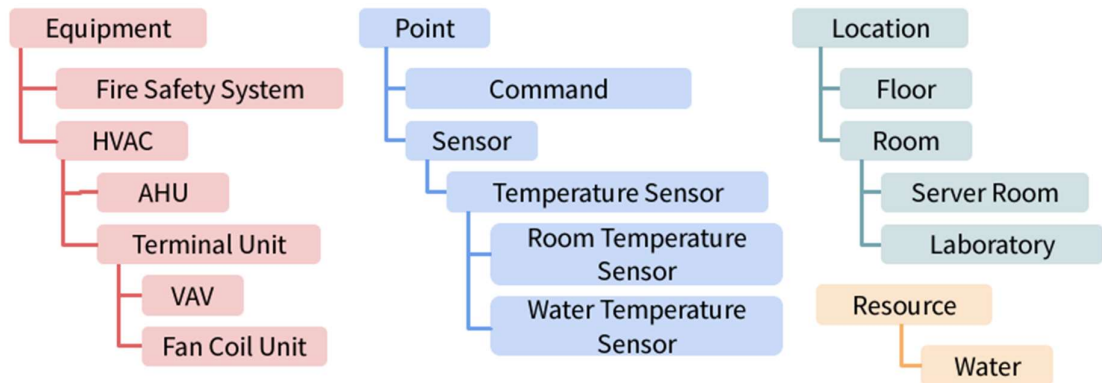
Brick schéma lze využít např. k detekci závad, k vytvoření prediktivního modelu řízení systému, k odhadu obsazenosti nebo sledování spotřeb. Lze ho využít pro různé druhy budov podle účelu, např. rezidenční, administrativní nebo výrobní prostory. Do schématu lze zahrnout zařízení HVAC systému, osvětlení, měřidla nebo spotřebiče. [25]

5.1.1. Pojmy

Entita je abstraktní vyjádření jakéhokoli fyzického, virtuálního nebo logického prvku v chytré budově. [25]

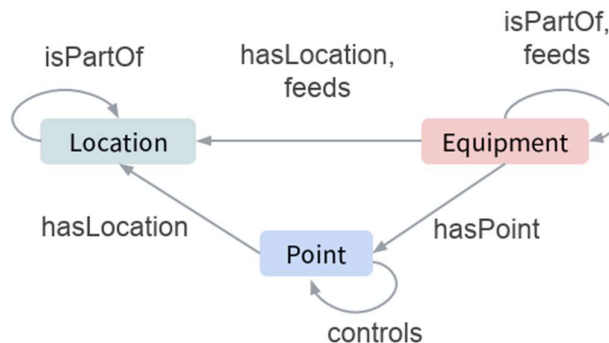
Tag je základní vlastnost nebo název entity v budově. Příkladem je např. senzor, set point, vzduch, voda, vypouštění nebo VAV. Koncept tagů je zachován z modelu Haystack, s tím rozdílem, že Brick se při určování druhu entity neřídí pouze tagem. [25]

Třída je pojmenovaná kategorie, která shlukuje entity na základě vlastností. Třídy jsou následně rozděleny do hierarchického uspořádání, kde každá další úroveň je specifitější verze svého nadřazeného pojmu. Např. teplotní senzor je konkrétní druh senzoru nebo laboratoř je druh místnosti. Jedna entita může být rozdělena do jedné i více tříd. K třídám jsou také přiřazeny tagy, které usnadňují vyhledávání. [25]



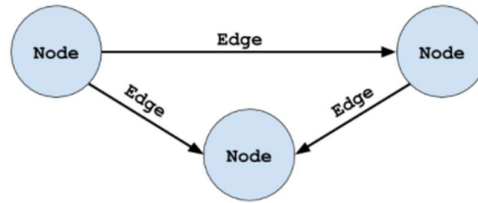
Obrázek 12 – Brick schéma, třídy [25]

Vztah definuje povahu vazby mezi dvěma souvisejícími entitami. Příkladem je např. zapouzdření (jedna entita je obsažena v jiné), sekvence (jedna entita nabývá účinnosti před druhou v nějakém procesu) nebo konkretizace (typ jedné entity je dán jinou entitou). [25]



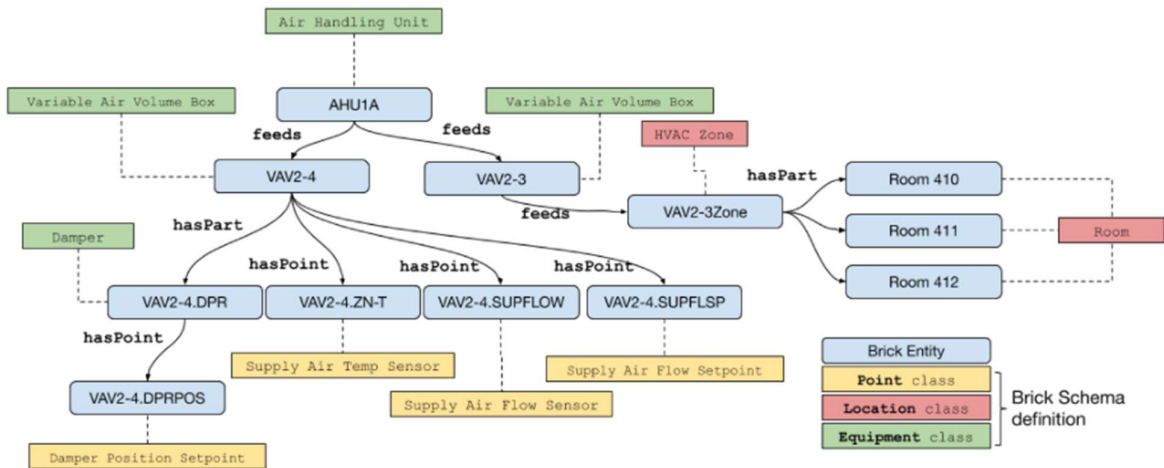
Obrázek 13 – Brick schéma, vztahy mezi entitami [25]

Graf je abstraktní organizovaná datová struktura. Sestává z jednotlivých entit (uzlů) a vztahů (hran).



Obrázek 14 – Brick schéma, grafy [25]

Brick model je digitální obraz budovy vytvořený podle Brick schématu a je reprezentovaný grafem. Entity v Brick modelu (viz obrázek 15 označeno modře) jsou roztříděny hierarchicky do tříd viz (obrázek 15 označeno žlutě) a tím jim jsou přiřazeny standardní názvy pro vybavení, umístění atd. Šipkami s popisem jsou pak definovány vztahy mezi jednotlivými entitami, které popisují, jak jsou entity spojeny. [25]



Obrázek 15 – Brick model [25]

5.1.2. Práce s Brick

Práce s Brick ontologií se začala rozšiřovat nejprve v USA, už s ní ale postupně začínají pracovat i firmy a lidé v Česku. Jedná se o volně dostupný open source program. Pro usnadnění vývoje a vyhodnocování analytických aplikací pro budovy existují otevřené datové sady, které jsou ale omezené v rozsahu a kontextu. Tyto datové sady obsahují data z více než 100 budov z USA, kde pro každou budovu je vytvořen odpovídající Brick model. Tato data jsou dostupná na webové stránce <https://mortardata.org/>.

Pro přístup a práci s těmito poskytnutými daty je zapotřebí hlubší znalost programovacího jazyku Python a softwarů Jupyter Notebooks a Pandas. Z toho důvodu jsem nemohla tato data hlouběji prozkoumat a nebudu se jimi dále v práci zabývat.

5.2. Haystack

Stejně jako Brick schéma, i Haystack nabízí standardizaci sémantických datových modelů, kde cílem je využít hodnotu generovaných dat z budov. Jedná se rovněž o open source sadu technologií dostupnou pro kohokoli. Haystack řeší stejný problém nekonvenčního pojmenování dat a veličin v rámci datové analýzy budov a vytváří pro popis budovy štítkový systém („tagging system“). [26] Brick i Haystack používají podobné štítky, na rozdíl od Brick zde ale neexistují formální pravidla o tom, jak štítky používat a vznikají tak náhodné sady štítků a s tím i individuální řešení u každého projektu. Důležitým rozdílem oproti Brick je také absence informací o vztazích mezi zařízeními a proměnnými. [26]

B. Praktická část

1. Cíle práce

Praktická část této práce se skládá z práce s poskytnutými daty a z návrhu koncepce sběru dat na konkrétním příkladu budovy.

Nejprve je provedena energetická analýza dat z vybrané budovy se zaměřením na otopnou soustavu, viz kapitoly 2–5. Cílem je zpracování historických dat z otopných soustav z blíže nespecifikované budovy.

Uvedená analýza následně dává základ pro definování obecných pravidel pro vyhodnocování dat z otopných soustav z jakékoli jiné budovy. Samotná pravidla jsou dále formulována v kapitole 6. Zde jsou na konkrétní budově vybrány a definovány klíčové veličiny pro sledování a sběr dat především z oblasti otopné soustavy, vzduchotechniky a systému chlazení. Následně jsou vytvořena pravidla pro vyhodnocování těchto vybraných veličin v reálném čase s cílem upozornit správce budovy na havárie v systému nebo na možné úniky energií. Důsledkem tohoto způsobu využití dat v reálném čase je včasná detekce úniků energií a zamezení nadměrné spotřeby.

V poslední části se práce zabývá návrhem automatizovaného vyhodnocování poskytnutých dat. Pomocí programu MATLAB R2021b [27] je vytvořen program, díky kterému je možné vyhledat konkrétní chybu ve velkém množství dat. Konkrétně program vyhodnocuje, zda dochází či nedochází k nočnímu a víkendovému útlumu teploty otopné vody.

2. Analýza dat

2.1. Použitá data

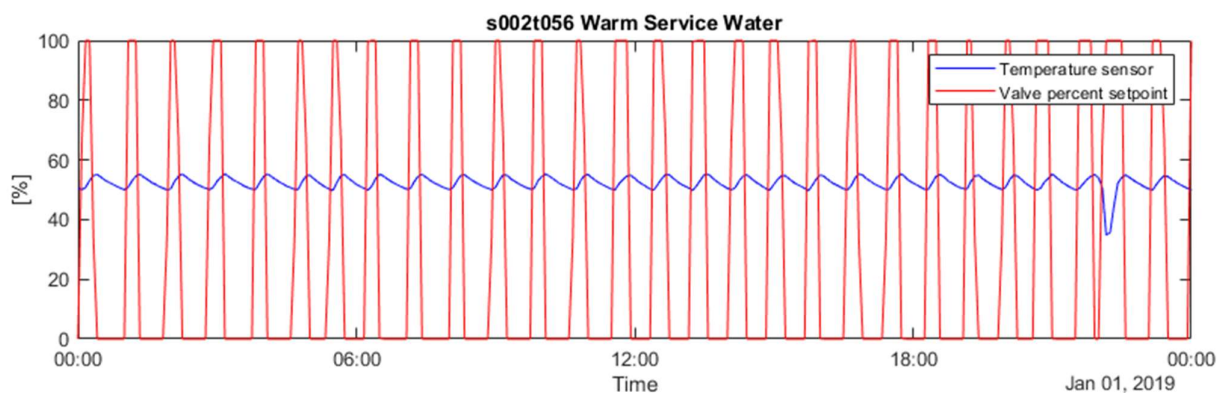
K datové analýze budou použita poskytnutá data z otopné soustavy ze 60 blíže nespécifikovaných kancelářských budov. Uvedená data byla sbírána v průběhu jednoho roku (rok 2019) s 5minutovým vzorkováním. Data jsou k dispozici ve formátu „csv“, přičemž každý soubor obsahuje data jedné proměnné z jednoho místa měření. Název každého ze souborů obsahuje identifikátor technologie a budovy pro lepší porovnání vztahů mezi jednotlivými proměnnými. Všechny tabulky obsahují stejný počet záznamů, celkem se jedná o 105 120 řádků a 2 sloupce v každém souboru.

K podrobné analýze dat z otopných soustav budou použita nejprve jen vybraná data ze tří budov. Data ze všech 60 budov budou využita později v práci v kapitole 7.

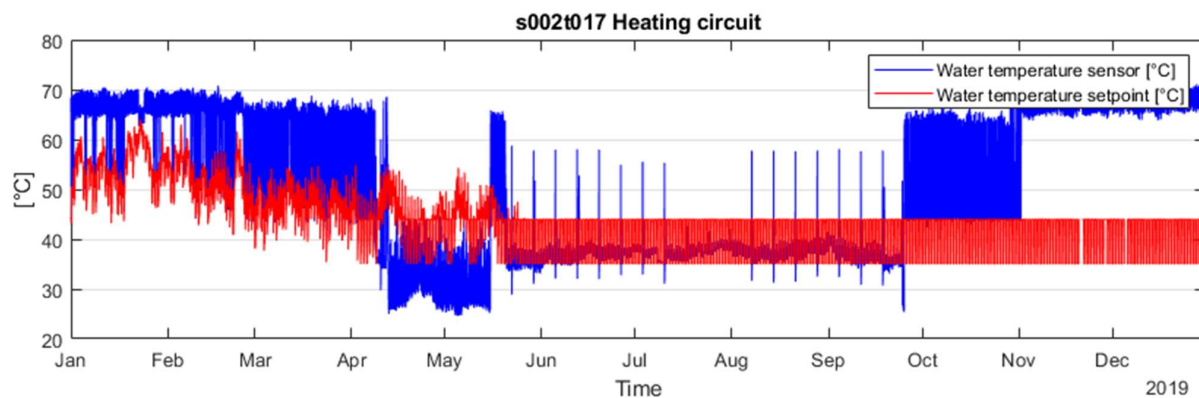
2.2. Filtrace dat

Poskytnutá data byla z důvodu velkého množství údajů (data po 5 minutách po dobu jednoho kalendářního roku, tedy 105 120 řádků) a rozdělení do několika „csv“ souborů po jednotlivých proměnných zpracovávána v programu MATLAB R2021b [27].

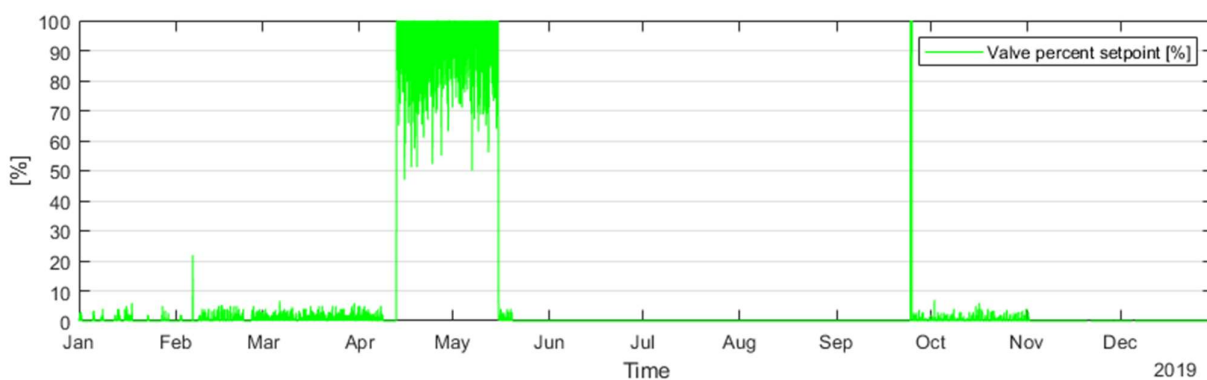
K získání lepší představy o datech byla data nejprve zobrazena za celý kalendářní rok v samostatných grafech. Proměnné, které spolu mají souvislost a vzájemně se ovlivňují, byly zobrazeny pod sebou nebo v jednom grafu.



Graf 1 – Naměřená teplota teplé vody a procento otevření ventilu (budova 002, technologie 056)



Graf 2 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 017)



Graf 3 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 017)

Po prvotní analýze byla vybrána k dalšímu zpracování data týkající se otopné soustavy, kde lze sledovat souvislost mezi třemi veličinami zároveň. Dále není uvažováno s daty týkajícími se teplé užitkové vody (procento otevření ventilu teplé vody a teplota teplé vody).

Další analýza dat proběhla pouze s daty z otopné soustavy. Byly mezi sebou porovnávány tyto proměnné:

- Požadovaná teplota otopné vody (dále „temperature setpoint“)
- Naměřená teplota otopné vody (dále „temperature sensor“)
- Procento otevření ventilu (dále „valve percent setpoint“)

V samotné analýze poskytnutých dat byla mezi sebou porovnávána data ze tří technologií otopné soustavy v jedné z blíže nespecifikovaných administrativních budov.

2.3. Zpracování v MATLAB

Poskytnutá data byla rozdělena do několika „csv“ souborů po jednotlivých veličinách. Prvním krokem byl import dat jako jednotlivých tabulek a vytvoření souboru s příponou „mat“ obsahujícího data a později pomocné proměnné. Import surových dat proběhl za pomoci příkazového řádku.

Data byla dále zpracovávána v nástroji MATLAB R2021b Live Editor [27] v několika krocích.

1. Importované tabulky s daty byly převedeny do časových tabulek, aby proměnné spolu související mohly být následně jednoduše sjednoceny. Každá časová tabulka nesla v názvu číselné označení budovy a technologie.

```
%%Heating circuit
%Create timetables
tt_s002t009hcsw_temperature_sensor =
table2timetable(s002t009heatingcircuitsupplywatertemperaturesensor25e16d5ac5582);

tt_s002t009hcsw_temperature_setpoint =
table2timetable(s002t009heatingcircuitsupplywatertemperaturesetpoint25e16d5ad59);

tt_s002t009hc_valve_percent_setpoint =
table2timetable(s002t009heatingcircuitvalvepercentsetpoint25e16d5afeb00975);

%Synchronize timetables
tt_s002t009 = synchronize (tt_s002t009hc_valve_percent_setpoint,
tt_s002t009hcsw_temperature_sensor, tt_s002t009hcsw_temperature_setpoint);
```

2. Po sjednocení spolu souvisejících dat do jedné časové tabulky byla data zobrazena v grafu. Pomocí proměnných x1 a x2 byl ohraničen časový úsek pro zobrazení dat. Při změně těchto údajů bylo možné zobrazovat různé časové úseky. Vygenerované grafy jsou dále představeny v kapitolách 5–7.

```
%Time limits:
x1 = datetime ("01-01-2019", "InputFormat", "dd-MM-yyyy");
x2 = datetime ("31-12-2019", "InputFormat", "dd-MM-yyyy");
```

```

%create plot s002t009
figure
tiledlayout(2,1)

nexttile
plot (tt_s002t009.ts,tt_s002t009.v0_tt_s002t009hcsw_temperature_sensor, "blue")
set (gca,'XGrid','off','YGrid','on')
title ("s002t009 Heating circuit")
xlabel ("Time")
ylabel ("[°C]")
yticks (0:10:100)
xlim ([x1, x2])

hold

plot (tt_s002t009.ts,tt_s002t009.v0_tt_s002t009hcsw_temperature_setpoint, "red")
legend ("Water temperature sensor [°C]","Water temperature setpoint [°C]")
hold off

nexttile
plot (tt_s002t009.ts,tt_s002t009.v0_tt_s002t009hc_valve_percent_setpoint, "green")
legend ("Valve percent setpoint [%]")
set (gca,'XGrid','off','YGrid','on')
xlabel ("Time")
ylabel ("[%]")
yticks (0:10:100)
xlim ([x1, x2])

```

3. Na základě dat byl proveden výpočet doby přehřívání a nedotápění otopné vody. V případě přehřívání byl sečten počet případů měření, kdy naměřená hodnota byla vyšší než požadovaná hodnota s rezervou 3 K. Následně bylo spočteno procento případů, kdy docházelo k přehřívání otopné vody oproti žádané teplotě. V tomto případě se jednalo o 69 % případů v roce. Obdobně bylo spočteno procento případů, kdy docházelo naopak k nedotápění otopné vody.

```

s002t009_overheating =
sum(tt_s002t009.v0_tt_s002t009hcsw_temperature_sensor(:)>(tt_s002t009.v0_tt_s002t009hcsw
_temperature_setpoint)+3)
s002t009_overheating_percent = (s002t009_overheating/105120)*100

```

Výsledek:

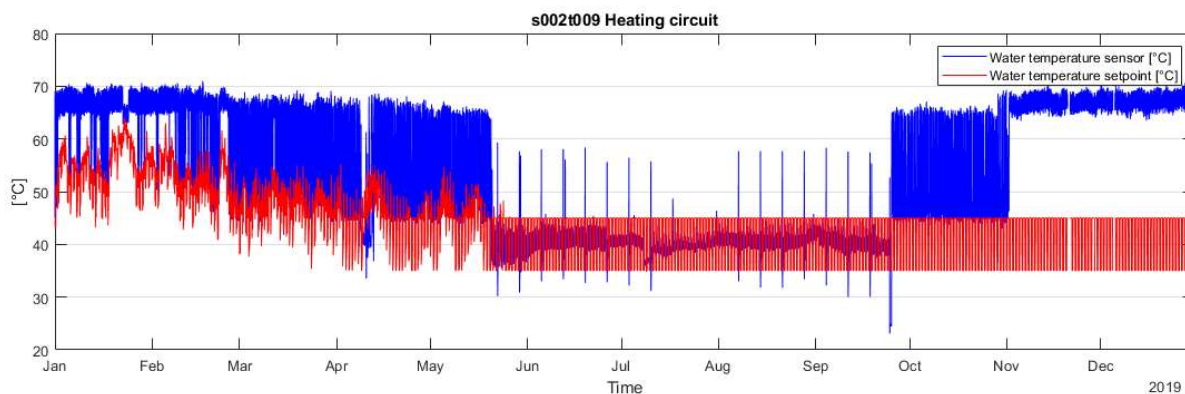
```

s002t009_overheating = 72768
s002t009_overheating_percent = 69.2237

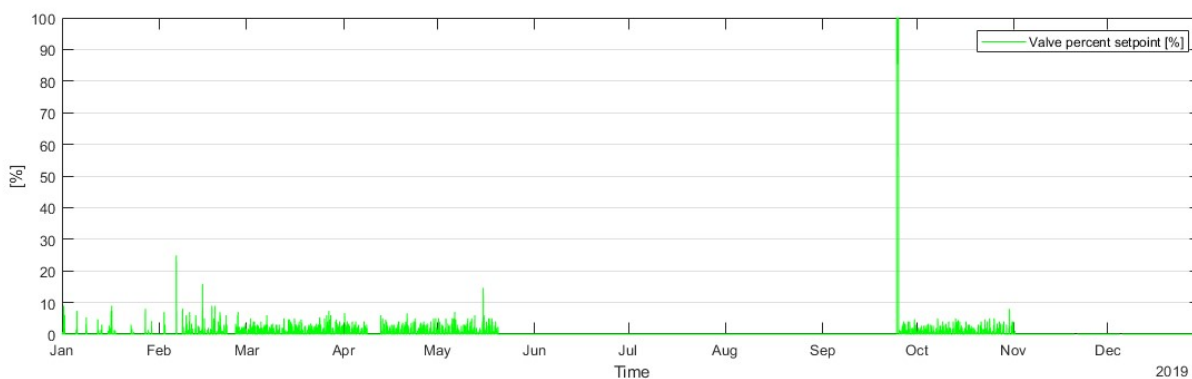
```

3. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 1

3.1. Souhrnná analýza



Graf 4 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – celý rok



Graf 5 – Procento směšovacího otevření ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – celý rok

V grafech 4 a 5 je zobrazen průběh proměnných z technologie s označením „t009“. Z grafu 4 vyplývá, že topná sezóna trvala od začátku roku 2019 do druhé poloviny května 2019 a od konce září 2019 do konce měřeného období. Toto platí i pro ostatní úseky ve stejné budově.

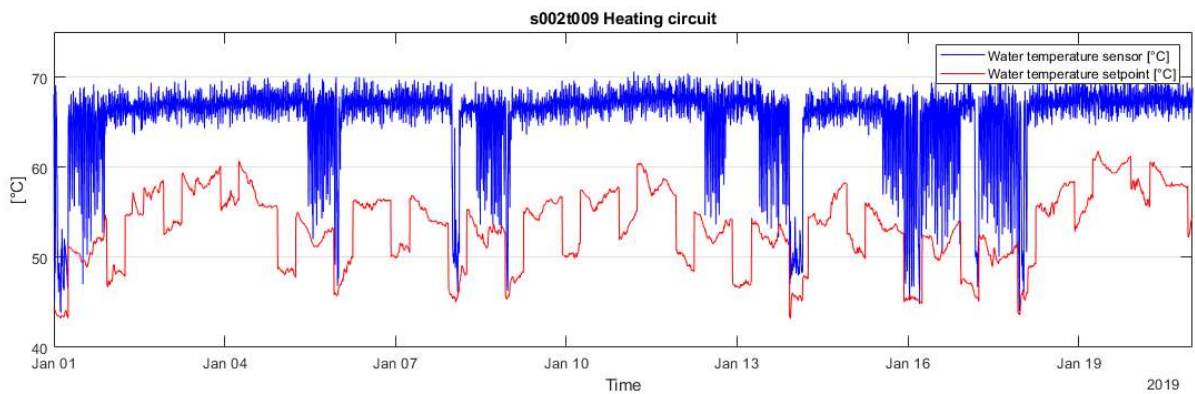
Ze zobrazení celého roku je patrné, že po celou dobu topné sezóny docházelo konstantně k přehřívání otopné vody (modře) oproti požadované teplotě (červeně). Při porovnání rozdílu požadované a naměřené teploty větším než ± 3 °C bylo spočteno, že k přehřívání vody dochází 69,2 % času, a naopak k nedohřívání vody ve 22,9 % případů.

Dále bylo zjištěno, že ventil pracuje po většinu roku pouze v rozmezí 0–10 %, což má za následek horší regulovatelnost teploty otopné vody (viz graf 5). Tyto chyby mohou být způsobeny systematicky chybným způsobem měření veličin v daném místě (např. měření teploty vody v úseku, kde není konstantní průtok vody) nebo špatným nastavením regulování otopné soustavy.

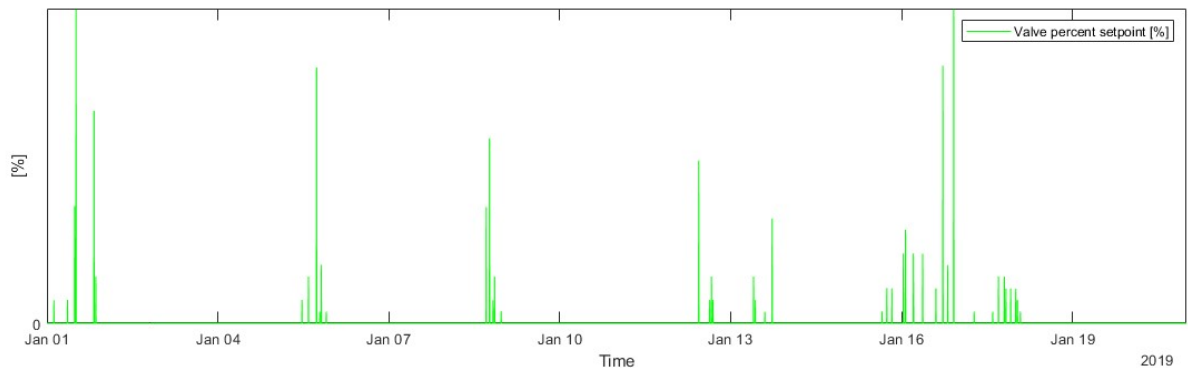
3.2. Detailní analýza

Dalším krokem v datové analýze je detailnější rozbor jednotlivých událostí, které se vymykají předpokládanému průběhu. Byly proto dále zkoumány tyto časové úseky:

- Typický průběh v zimní topné sezóně (1. – 21. 1. 2019)
- 8. – 12. 4. 2019 – zavřené ventily v celé budově a tomu odpovídající pokles teploty otopné vody. Jednalo se pravděpodobně o úmyslné uzavření nebo výpadek v rámci celé budovy. Dále není řešeno.
- Typický průběh v letním období (1. – 14. 8. 2019)
- Začátek podzimní topné sezóny (23. – 29. 9. 2019)
- Přelom října a listopadu (31. 10. – 4. 11. 2019) – změna v chování teploty otopné vody

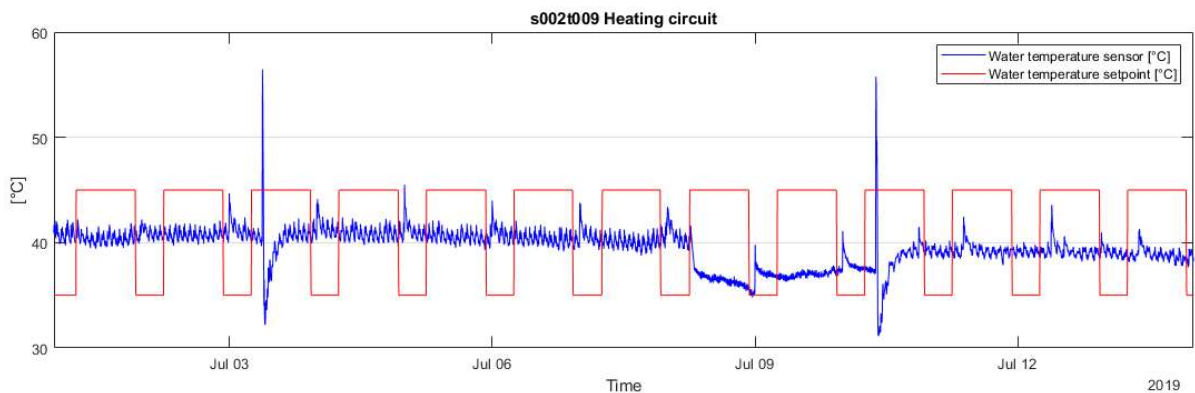


Graf 6 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 1.–21. 1. 2019

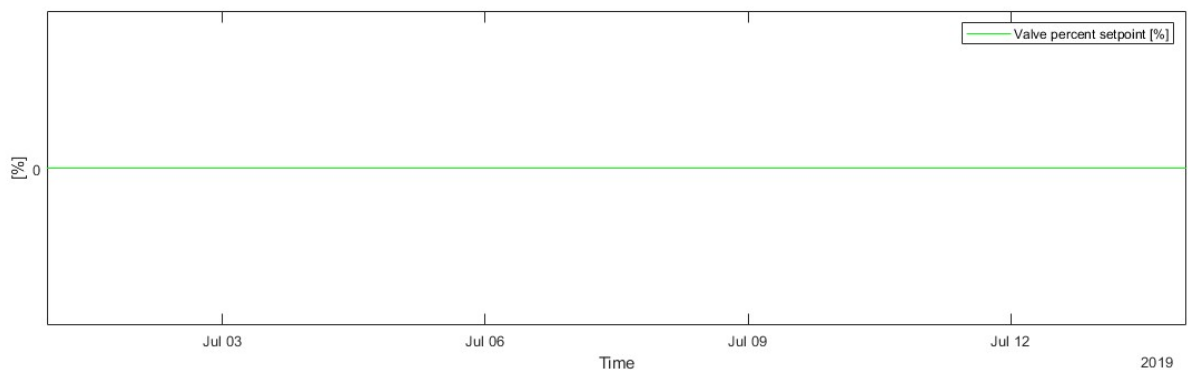


Graf 7 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 1.–21. 1. 2019

V grafech 6 a 7 je znázorněn detailní průběh veličin za první tři týdny v lednu 2019 z technologie „t009“. Tyto grafy potvrzují výše zmíněné přehřívání vody vůči nastavené teplotě a malý rozsah pohybu ventilu. Teplota vody se většinu času pohybuje stabilně kolem 65–70 °C a nerespektuje křivku požadované teploty, čímž dochází ke zbytečným ztrátám. Naopak je vidět, že křivka požadované teploty pravděpodobně funguje správně, ať už se jedná o regulaci dle venkovní teploty (ekvitermní regulace) nebo dle teploty vnitřního vzduchu. Z grafu požadované teploty vody je patrné nastavení nočních útlumů. Naopak víkendové útlumy nejsou znatelné. Podle funkce a obsazenosti budovy o víkendu by zavedení víkendových teplotních útlumů mohlo také přinést značné úspory.

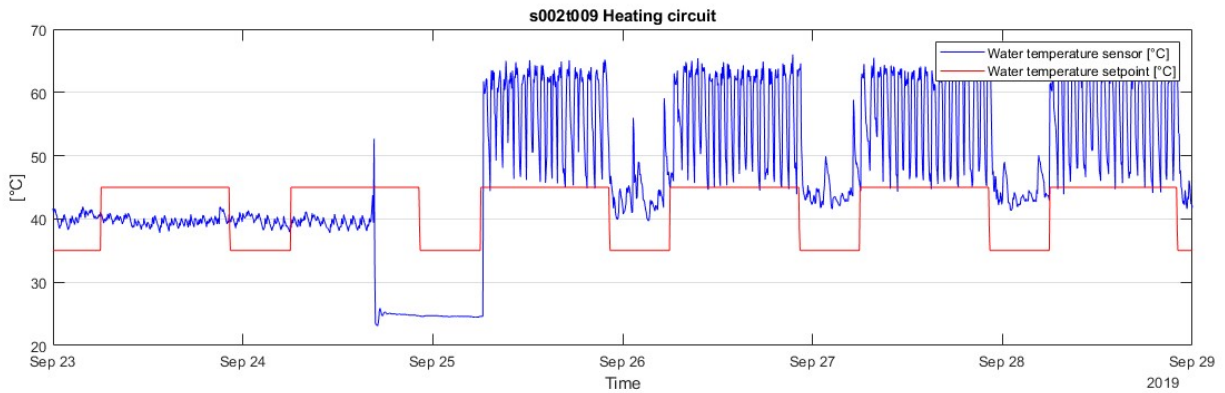


Graf 8 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 1.–14. 7. 2019

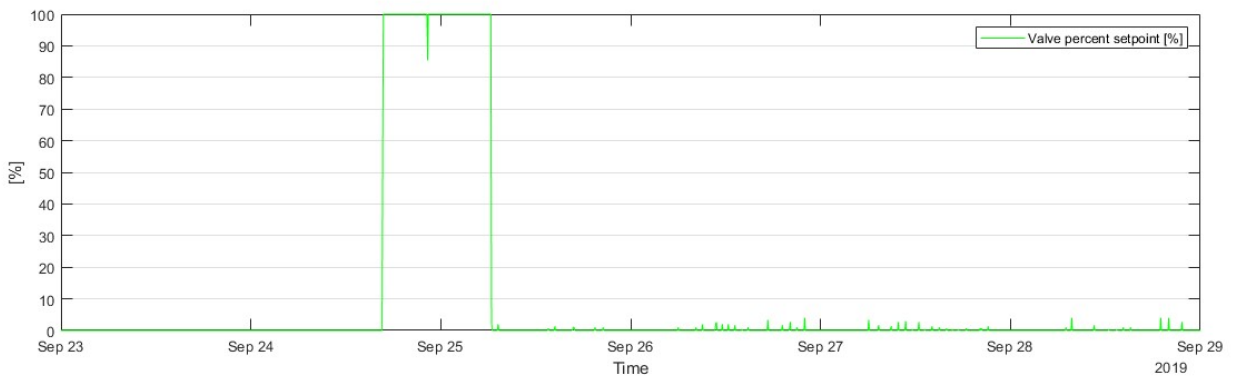


Graf 9 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 1.–14. 7. 2019

Grafy 8 a 9 zobrazují chování otopné soustavy v typickém letním období od 1. do 14. července 2019. Po celé letní období je ventil plně uzavřený. Změnil se ale charakter křivky požadované teploty, která je přes den nastavena pevně na 45 °C a v noci na 35 °C a má čtvercový průběh. Vzhledem k nevyužívání otopné soustavy v létě by bylo pravděpodobně v této situaci vhodné zkontrolovat nastavení systému MaR. Navzdory plně uzavřenému ventilu také kolísá modrá křivka s naměřenou teplotou otopné vody, kde se pravděpodobně jedná o chybu v měření, která se v datech promítá po celý rok, nebo jiný problém v otopné soustavě.



Graf 10 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 23.–29. 9. 2019

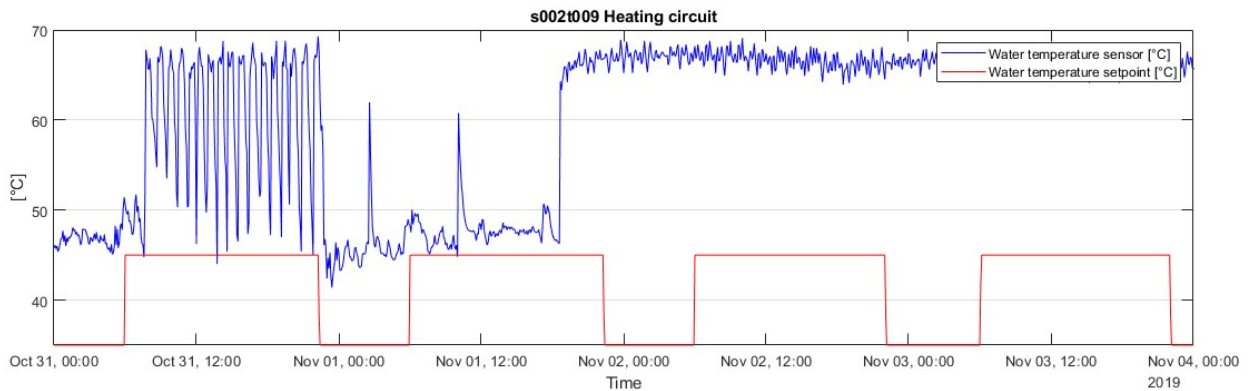


Graf 11 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 23.–29. 9. 2019

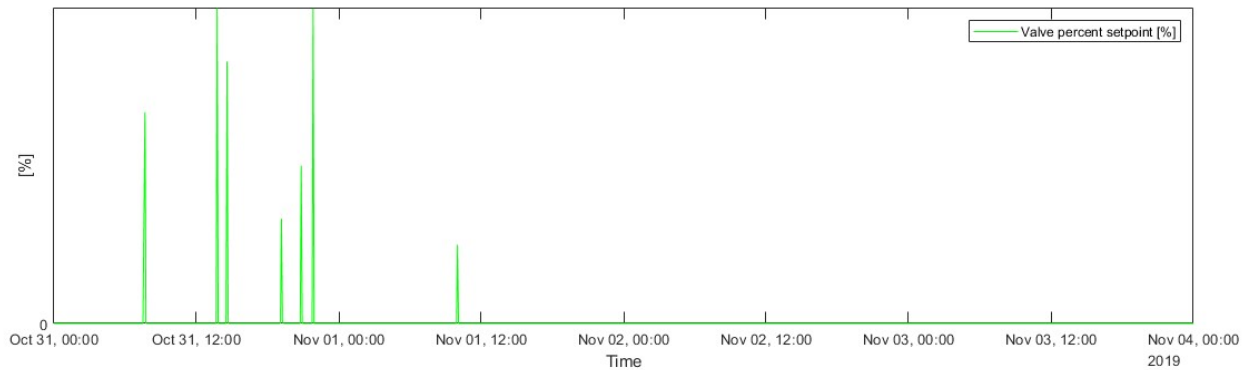
V grafech 10 a 11 je vidět změna průběhu veličin na začátku topné sezóny. Tomu odpovídá také 100% otevření ventilů v daný den, zbylý průběh ale opět vykazuje malý rozsah práce ventilu a konstantní přehřívání otopné vody jako na začátku roku. Novým problémem, který se zde objevuje, je neměnící se tvar křivky požadované teploty, která pokračuje ve stejném trendu jako před začátkem topné sezóny a neodpovídá požadavkům místní regulace. V tomto případě je chyba pravděpodobně v nastavení požadované teploty způsobená např. lidským faktorem.

Dalším objevujícím se nežádoucím jevem je kolísání teploty otopné vody od začátku topné sezóny v rozmezí cca 45–65 °C, které se může odvíjet od výše zmíněného malého rozsahu práce ventilu. Malé otevření ventilu má pravděpodobně za následek výrazný ohřev teploty na 65 °C, poté následuje úplné zavření ventilu a pokles teploty k zadané požadované teplotě 45 °C. Voda se výrazně přehřívá a dochází ke zbytečným ztrátám tepla.

V posledních detailních grafech 12 a 13 je zobrazena událost ze začátku listopadu 2019, kdy došlo k úplnému uzavření ventilu zároveň se zvýšením teploty otopné vody. Chyba je způsobena buď špatným návrhem úseku otopné soustavy, nebo chybou v měření.



Graf 12 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 009) – 31. 10.–4. 11. 2019



Graf 13 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 009) – 31. 10.–29. 9. 2019

3.3. Závěr

Byl analyzován průběh sledovaných veličin (požadovaná teplota otopné vody, naměřená teplota otopné vody a procentuální otevření ventilu) otopné soustavy s označením „t009“. Bylo zjištěno, že po celé sledované období dochází k výraznému přehřívání otopné vody. To mohlo být zapříčiněno nevhodně zvoleným místem měření, chybou v měření nebo chybou v nastavení otopné soustavy, což by mohlo potvrdit místní šetření.

Dále byla zjištěna chyba v průběhu požadované teploty, která měla od začátku letního režimu do konce sledovaného období čtvercový průběh. Požadovaná teplota se po zbytek roku nechovala v závislosti na podmínkách v budově nebo počasí, ale byla nastavená na teplotu 45 °C přes den a 35 °C v noci. Tato chyba systému MaR je pozorována v rámci celé budovy (viz kapitoly 5 a 6).

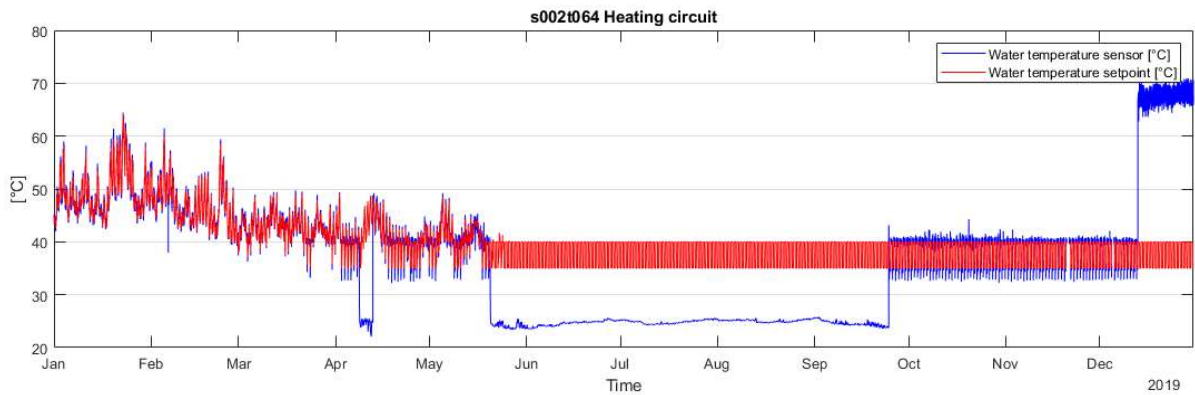
V budově jsou dodržovány noční útlumy teploty. Podle způsobu využití dané administrativní budovy je vhodné zvážit také zavedení víkendových útlumů, které by mohlo přinést značné úspory.

V analýze chování ventilu bylo zjištěno, že po většinu roku se ventil pohybuje ve velmi malém rozsahu (0–5 % otevření), nebo vykazuje výjimečně úplné otevření (začátek otopné sezóny). Tento rozsah není vhodný k regulování otopné soustavy. Rozsah ventilu by se měl pohybovat po většinu roku od 30 do 70 % otevření.

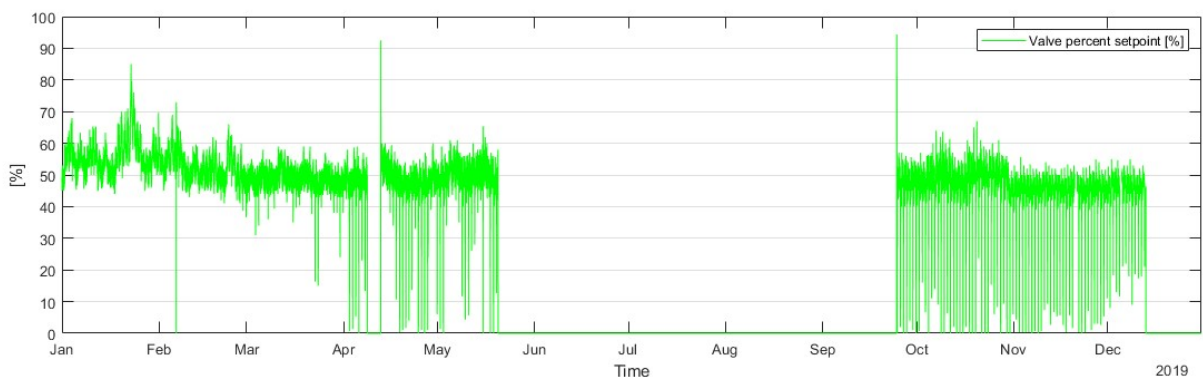
4. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 2

V druhém příkladu jsou analyzována data ze stejné budovy jako v Příkladu 1, jedná se pouze o jinou technologii.

4.1. Souhrnná analýza



Graf 14 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – celý rok



Graf 15 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – celý rok

Stejně jako v Příkladu 1 byl nejprve zobrazen průběh chování vybraných na sobě závislých veličin otopné soustavy za celý rok (graf 14 a 15). V grafu lze opět rozlišit konec a začátek topné sezóny. Na rozdíl od Příkladu 1 nedochází v první polovině roku k výraznému přehřívání a křivka teploty otopné vody kopíruje křivku požadované teploty. Toto chování opisuje také ventil, který pracuje nejčastěji v rozmezí od 40 do 70 % otevření a jeho křivka odpovídá křivce teploty otopné vody.

V letním období je ventil plně zavřen a teplota otopné vody se výrazně nemění a zůstává kolem 25 °C, což může být v létě považováno za pokojovou teplotu. Neklesla ale křivka požadované teploty vody, kde pravděpodobně nastala chyba v nastavení systému.

Na podzim teplota otopné vody opět kopíruje křivku požadované teploty vody, která se ale od léta nezměnila a pravděpodobně neodpovídá aktuálním požadavkům budovy. Požadovaná teplota by měla v tomto období vykazovat podobné chování, jako bylo vidět v první polovině roku.

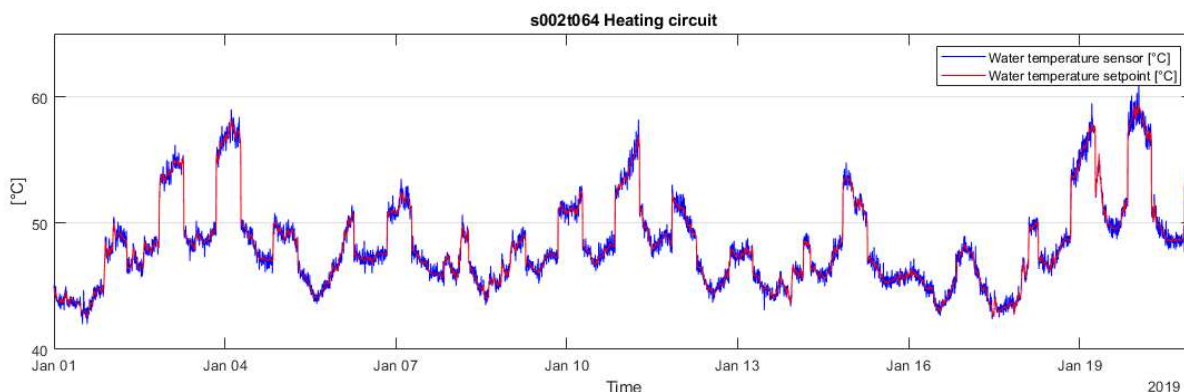
Zhruba v polovině prosince došlo k tomu, že se plně uzavřel ventil a zároveň teplota otopné vody stoupla řádově o desítky stupňů Celsia. Možným vysvětlením je buď chyba v měření, nebo konkrétní událost v budově, nebo otopném systému, kterou by bylo potřebné vyšetřit podrobněji na místě.

Dále budou přiblíženy a analyzovány tyto vybrané časové úseky:

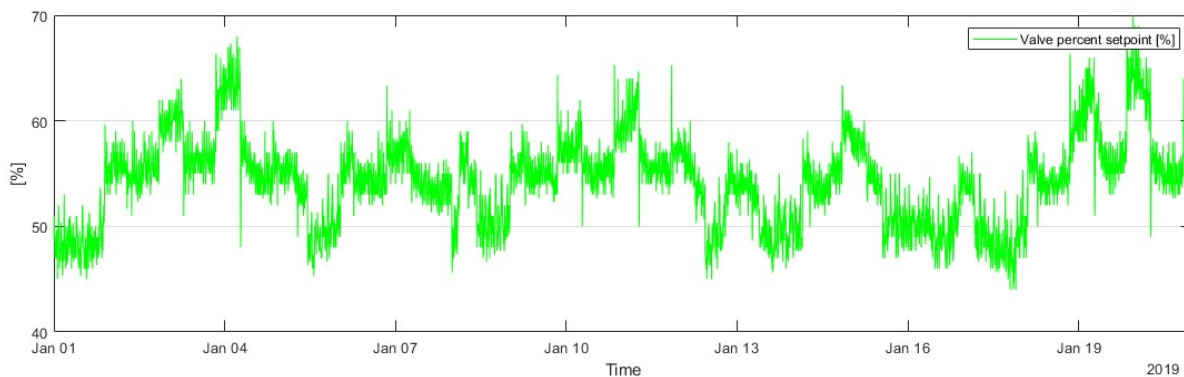
- Typický průběh v zimní topné sezóně (1. – 21. 1. 2019)
- Typický průběh v letním období (1. – 14. 7. 2019)
- Začátek podzimní topné sezóny (23. – 29. 9. 2019)

4.2. Detailní analýza

V rámci detailnějšího pohledu byly zkoumány stejné události a časové úseky jako v Příkladu 1 (viz kapitulu 4.2).

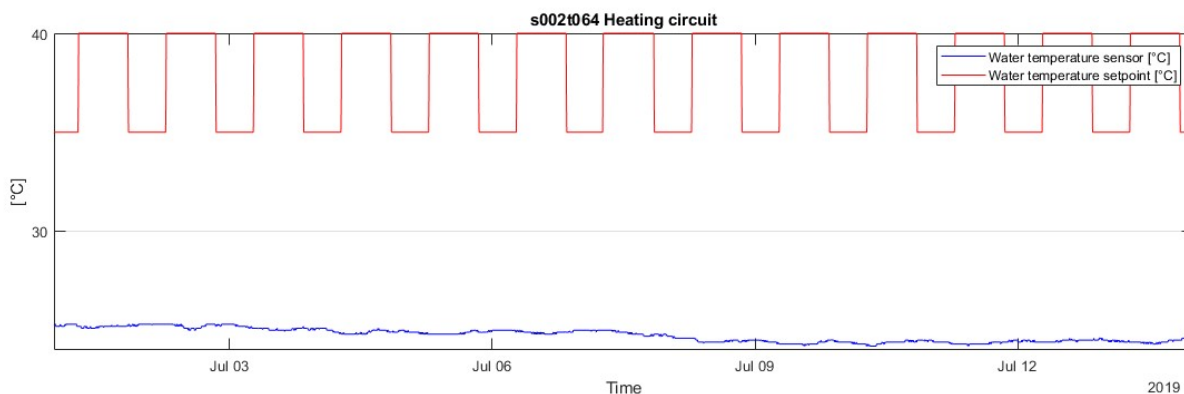


Graf 16 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 1.–21. 1. 2019

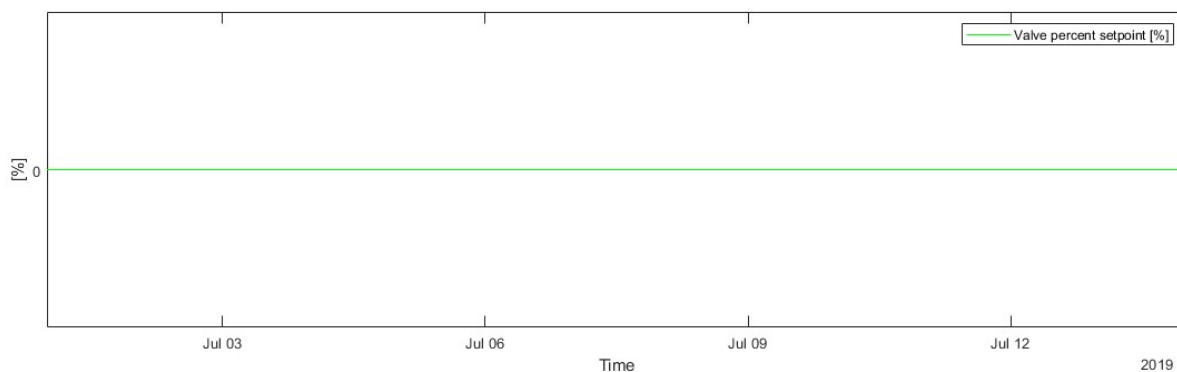


Graf 17 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 1.–21. 1. 2019

V grafech 16 a 17 je znázorněn typický průběh veličin v zimní topné sezóně za první tři týdny v roce. Potvrzuje se zde, že křivka teploty otopné soustavy kopíruje tvar křivky požadované teploty a nedochází nikde k výraznému přehřívání nebo naopak nedohřívání otopné vody. Teplota vody je zřetelně korigována otevřením ventilu, který se pohybuje v rozmezí od 45 do 70 % otevření a jeho chování přibližně kopíruje křivku požadované a naměřené teploty. Z průběhu teplot je patrný noční útlum činnosti otopné soustavy.



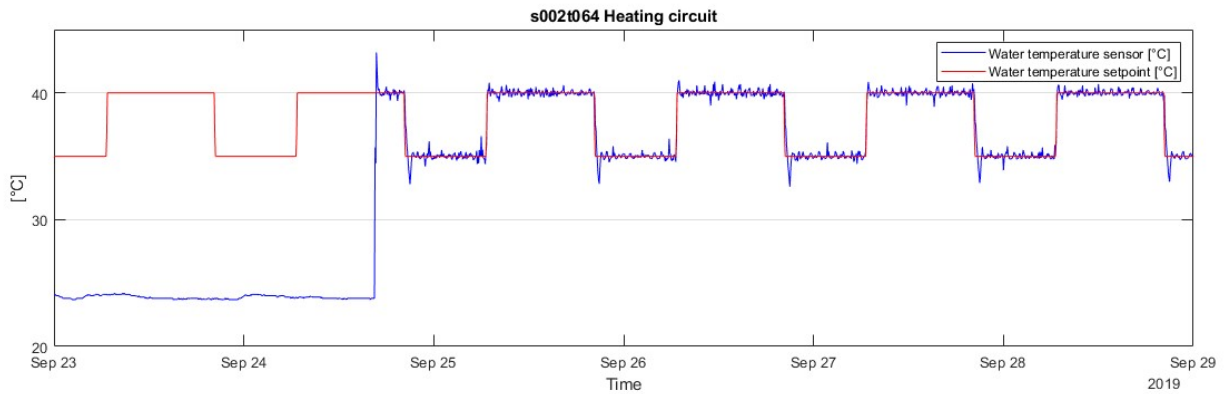
Graf 18 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 1.–14. 7. 2019



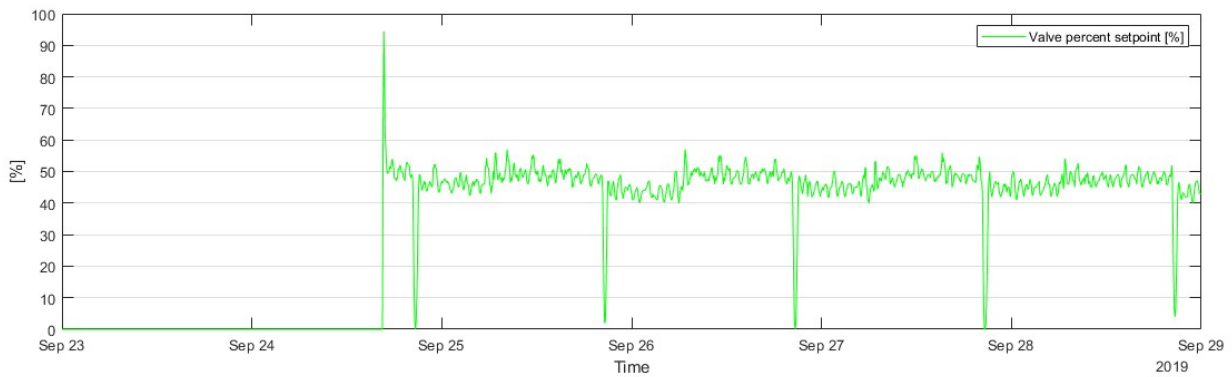
Graf 19 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 1.–14. 7. 2019

Grafy 18 a 19 detailněji přibližují průběh sledovaných proměnných v typickém letním období. Ventil je po celou dobu mimo topnou sezónu plně zavřen. Teplota otopné vody se pohybuje kolem letní pokojové teploty a její křivka nevykazuje výraznější výkyvy. Požadovaná teplota otopné vody je v létě nastavena na 40 °C přes den a 35 °C v noci. Jedná se pravděpodobně o chybu v nastavení, kdy byl ventil uzavřen manuálně, ale nebyl přepnut systém, který generuje údaje o požadované teplotě.

Grafy 20 a 21 zobrazují přechod z letního chodu otopné soustavy do topné sezóny. Je patrný téměř okamžitý náběh teploty otopné vody při zhruba 95% otevření ventilu. Ventil pak dále pokračuje v práci kolem 50 % otevření. Teplota otopné vody opět věrně kopíruje křivku požadované teploty vody, která se ale nezměnila od letního průběhu a s největší pravděpodobností neodpovídá změnám počasí a podmínkám v budově. Požadovaná teplota by měla v tomto případě mít podobný průběh jako v první polovině roku. Pravděpodobně zde nedošlo ke změně v nastavení požadované teploty.



Graf 20 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 064) – 23.–29. 9. 2019



Graf 21 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 064) – 23.–29. 9. 2019

4.3. Závěr

Byl analyzován průběh vybraných proměnných z otopné soustavy s označením „t064“ za jeden kalendářní rok.

V nastavení požadované teploty byla zjištěna chyba, která trvala od konce topné sezóny v polovině května do konce sledovaného období. Požadovaná teplota v létě nerespektovala požadavek na nečinnost otopné soustavy a od začátku topné sezóny vliv počasí a podmínek v budově. Po většinu roku měla čtvercový průběh s pevně nastavenou teplotou přes den (40 °C) a útlumovou teplotou v noci (35 °C). Tato chyba mohla být způsobena např. špatným nastavením systému MaR.

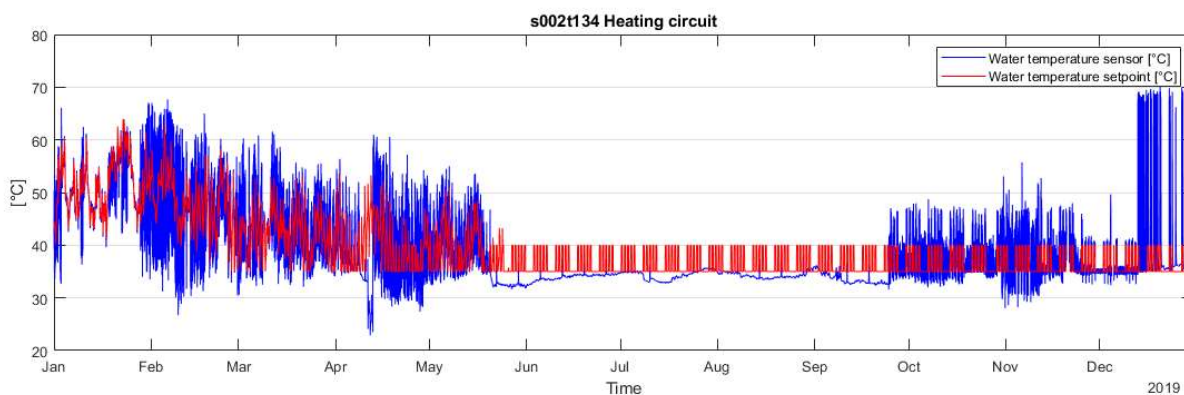
Průběh teploty potvrzuje nastavené noční útlumy u vytápění, pro zajištění větších úspor energetických zdrojů by bylo vhodné v závislosti na využití budovy zvážit zavedení víkendových teplotních útlumů. Pro správné fungování soustavy je rovněž nutné zjistit příčinu nesprávného nastavení požadované teploty a v budoucnu se tomuto jevu vyhnout. Je pravděpodobně též nutné zjistit místním šetřením důvod změny chování ventilu a teploty otopné vody v polovině prosince sledovaného roku.

Ze sledovaného období dále vyplývá správnost funkce ventilu, který pracuje ve vhodném rozmezí (cca 40–70 % otevření). Pohyb ventilu zároveň odpovídá změnám v naměřené teplotě otopné vody. Teplota otopné vody se v topné sezóně pohybuje správně podle křivky požadované teploty a pohyb teploty je plynulý.

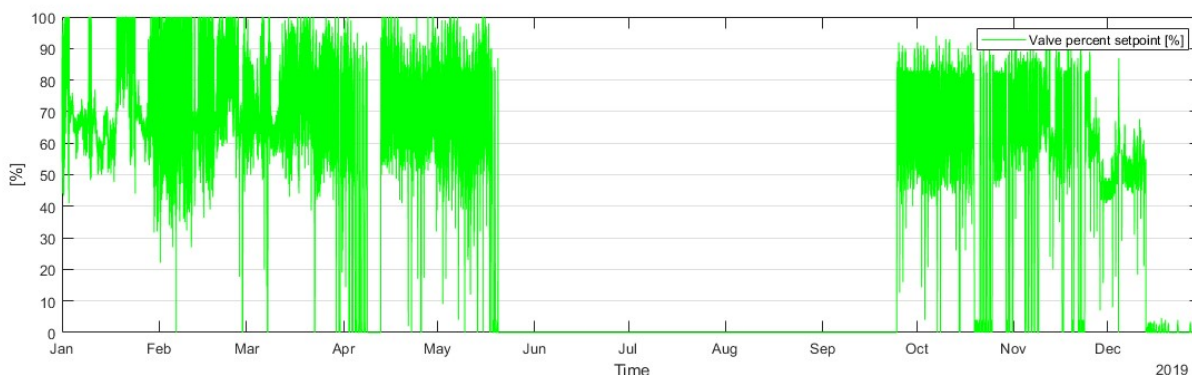
5. Analýza dat z otopných soustav – Příklad 3

Jako poslední příklad byla analyzována část otopné soustavy s označením „t134“ ze stejné budovy jako v Příkladu 1 a 2.

5.1. Souhrnná analýza



Graf 22 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – celý rok



Graf 23 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – celý rok

Grafy 22 a 23 zobrazují sledované veličiny z technologie s označením „t134“ v průběhu celého roku. V první polovině roku se požadovaná teplota vody pohybuje dle podmínek v budově a/nebo venkovní teploty. Naměřená teplota tuto křivku kopíruje, i když pravděpodobně s většími odchylkami, než je žádané. Požadovaná teplota vody se od začátku léta pohybuje jako v Příkladu 1 a 2, tedy s pevně nastavenou teplotou přes den a v noci / o víkendu. Procento otevření ventilu se během roku pohybuje od 0 do 100 %. V polovině prosince se soustava chová podobně jako v Příkladu 2, kdy dojde k zavření ventilu na 0–5 % a zároveň vzrůstu měřené teploty.

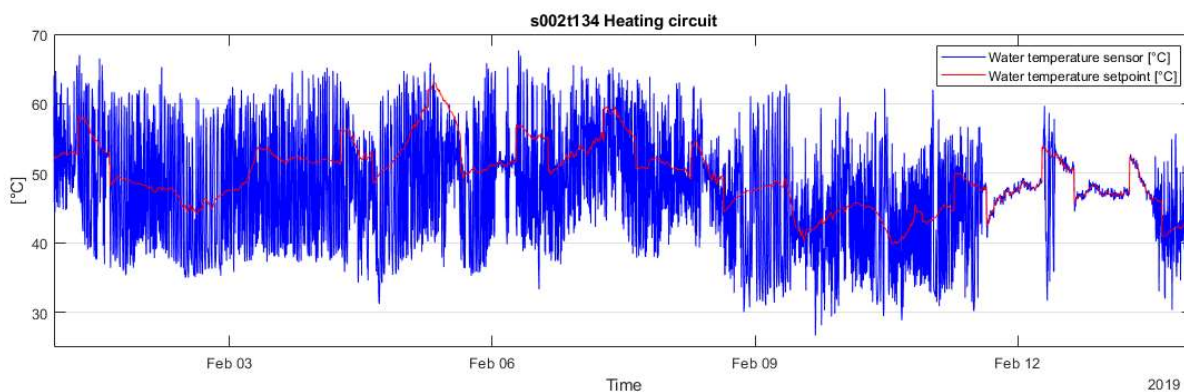
Dále budou přiblíženy a analyzovány tyto vybrané časové úseky:

- Typický průběh v zimní topné sezóně (1.–14. 2. 2019)
- Typický průběh v letním období (1.–14. 7. 2019)
- Začátek podzimní topné sezóny (23.–29. 9. 2019)

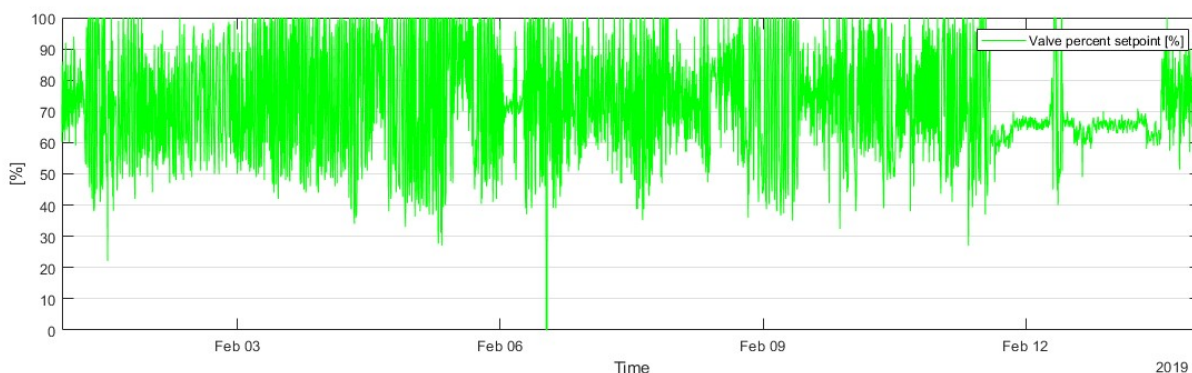
5.2. Detailní analýza

V grafech 24 a 25 je přiblížen průběh sledovaných veličin v prvním týdnu února. Křivka požadované teploty se pohybuje podle očekávání pravděpodobně podle průběhu venkovní teploty. Naměřená teplota otopné vody se pohybuje podobným směrem jako křivka požadované teploty ovšem s velkými rozdíly nad i pod křivkou. Naměřená teplota má téměř celý týden odchylku ± 10 °C od požadované teploty. Tento trend trvá celou topnou sezónu.

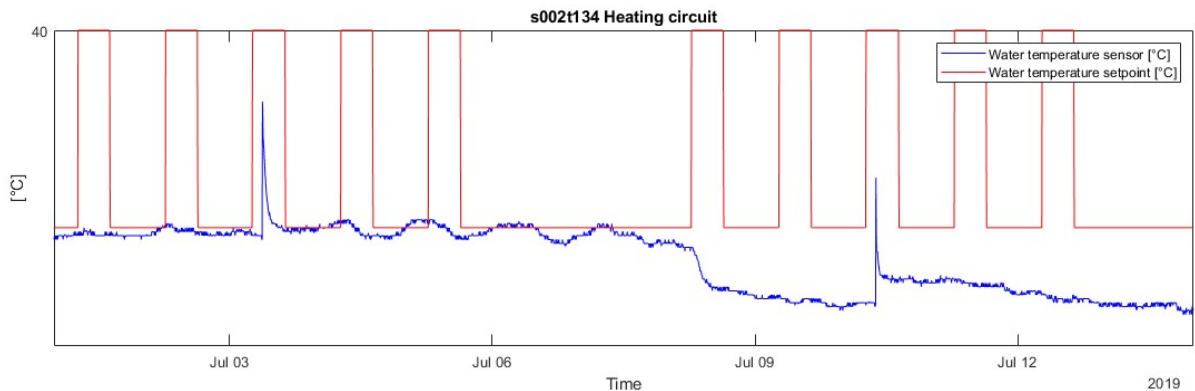
Ventil v daném období pracuje nejčastěji v rozmezí 30–100 % otevření v korelaci s chováním naměřené teploty otopné vody.



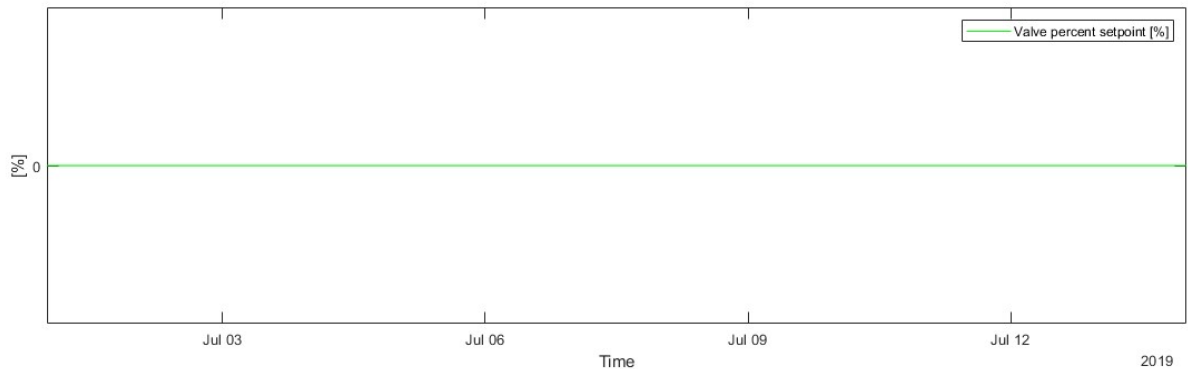
Graf 24 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 2. 2019



Graf 25 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 2. 2019



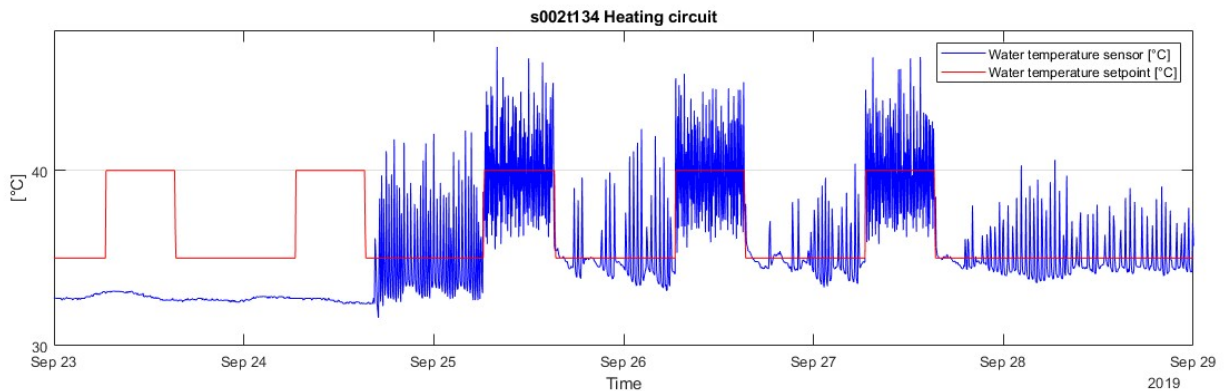
Graf 26 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 7. 2019



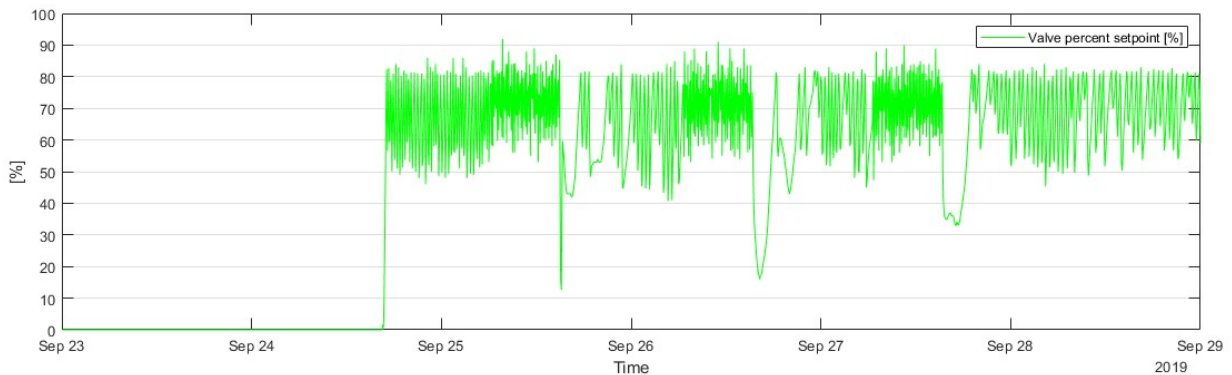
Graf 27 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 1.–14. 7. 2019

Grafy 26 a 27 přibližují chování veličin v typickém letním období na začátku července. Z grafu 26 vyplývá, že na rozdíl od Příkladů 1 a 2 vykazuje požadovaná teplota nastavení nočního i víkendového útlumu teploty. Stejně jako v ostatních případech zůstává problém s nastavením požadované teploty, která mimo topnou sezónu nemusí být tak vysoká jako ukazuje graf 26. Ventil je podle předpokladů plně zavřený. Naměřená teplota otopné vody se pohybuje mezi 30–40 °C a výrazně se nemění. Občasné změny mohou být zapříčiněny způsobem měření nebo jinými nesledovanými vlivy v soustavě.

V grafech 28 a 29 je zobrazeno období přechodu do topné sezóny. Je patrný začátek práce ventilu, který se podle potřeby pohybuje nejčastěji v rozmezí 50–85 % otevření. Jako u Příkladu 1 a 2 zde se objevuje problém s nastavením požadované teploty, která pokračuje ve stejném trendu jako v létě a nemění se podle kritéria pro regulaci teploty otopné vody. Pokračuje také problém, který se objevil v topné sezóně na začátku sledovaného období (viz graf 24 a 25), kdy se pohyb ventilu i naměřená teplota pohybuje s velkým rozpětím pod i nad křivkou požadované teploty.



Graf 28 – Naměřená a požadovaná teplota otopné vody (budova 002, technologie 134) – 23.–29. 9. 2019



Graf 29 – Procento otevření směšovacího ventilu v otopné soustavě (budova 002, technologie 134) – 23.–29. 9. 2019

5.3. Závěr

Byla provedena energetická analýza části otopné soustavy sledované administrativní budovy s označením „t134“.

Z analýzy jsou patrné velké výkyvy naměřené teploty, která se pohybuje v topném období až 10 °C pod nebo nad křivkou požadované teploty. Dochází proto střídavě k nedohřívání a přehřívání otopné vody. Tyto výkyvy jsou pozorovatelné i u práce ventilu, který pracuje v poměrně velkém rozmezí procentuálního otevření a je pravděpodobně příčinou skokových změn teploty otopné vody. Seřízení ventilu by mohlo přinést plynulejší řízení teploty otopné vody a tím i efektivnější využití zdroje tepla a méně tepelných ztrát systému.

U nastavení požadované teploty byl zjištěn stejný problém jako u Příkladů 1 a 2. V létě je požadovaná teplota 40 °C přes den a 35 °C v noci a o víkendu, ačkoli otopná soustava není v provozu. Na začátku podzimní topné sezóny se křivka požadované teploty nemění, a tedy nereaguje na změny kritérií pro řízení teploty otopné vody jako na začátku sledovaného roku.

6. Návrh systému sběru a vyhodnocování dat

Energetická analýza dat z otopné soustavy nespécifikované administrativní budovy (viz kapitulu 5–7) poskytla základ pro samotný návrh systému sběru a vyhodnocování dat ve vybrané administrativní budově. Poznatky z analýzy dat budou nyní uplatněny na praktickém příkladu a využity pro návrh koncepce systému, který by měl automaticky vyhodnocovat data v reálném čase a upozorňovat obsluhu na chyby v systému. Automatický systém umožní efektivnější provoz budovy a úsporu energií.

Návrh se bude týkat těchto technologií:

- a) Otopná soustava
- b) Vzduchotechnika
- c) Chlazení
- d) Zásobování vodou

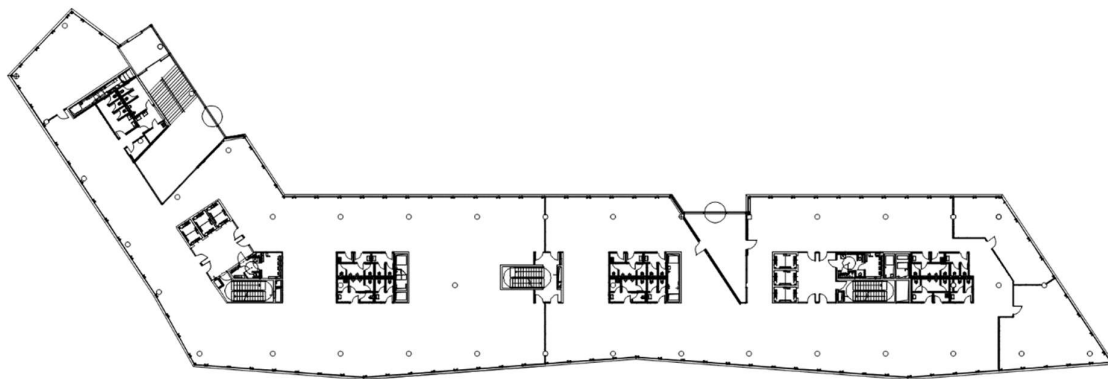
Zhruba po jednom roce provozu dojde k energetické analýze a zhodnocení dosavadního fungování systému a k případnému přehodnocení nastavených pravidel, aby bylo dosaženo např. ještě větších energetických úspor a byly odladěny případné nedostatky.

6.1. Popis budovy

Pro účel návrhu koncepčního řešení sběru a vyhodnocování dat byla vybrána administrativní budova s názvem Dock03 v Praze, objekt J6. Tato budova je součástí rozsáhlého komplexu několika kancelářských budov. Objekt J6 má 3 podzemní podlaží a 7 nadzemních podlaží. V podzemních podlažích se nacházejí garáže pro zaměstnance a jejich návštěvy. Část prvního nadzemního podlaží je vyhrazena pro restaurační provoz, část pro obchodní jednotky. Zbylá nadzemní podlaží jsou využita jako kancelářské plochy. Práce se bude dále věnovat pouze kancelářským prostorům.



Obrázek 16 – Administrativní budova Dock03 v Praze, ilustrativní obrázek [28]



Obrázek 17 – Zjednodušený půdorys budovy Dock03

6.2. Otopná soustava

6.2.1. Popis otopné soustavy

Zdrojem tepla pro vytápění kancelářských prostorů v zimě je výměníková stanice připojená na dálkový teplovod.

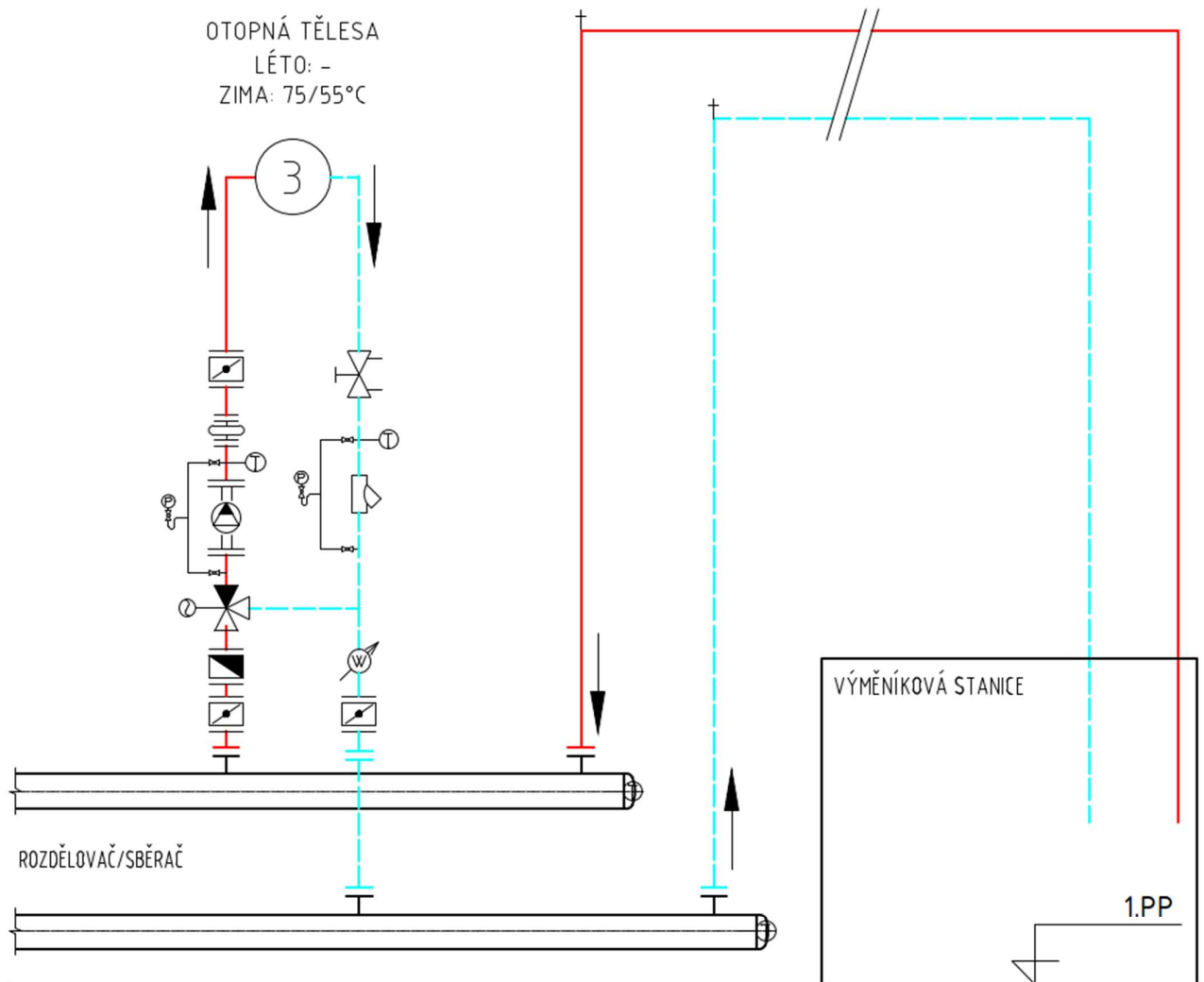
VS je propojena potrubím s kombinovaným rozdělovačem topných okruhů, kde je systém rozdělen na jednotlivé topné okruhy. Na každé větvi jsou osazena jednohlavá oběhová čerpadla s frekvenčním řízením otáček dle diferenčního tlaku, uzavírací, vyvažovací a měřicí armatury, filtry, zpětné klapky a další armatury. VS je vybavena vlastním regulačním systémem.

Okruh pro otopná tělesa je osazen trojcestným směšovacím ventilem pro ekvitermní regulaci teploty topné vody se jmenovitým teplotním spádem 75/55 °C, výstupní teplota otopné vody je řízena systémem MaR objektu ekvitermně se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu ve vytápěných místnostech (auto-adaptibilní řízení) s cílem přivádět do objektu otopnou vodu o co nejnižší teplotě, která postačí na pokrytí požadavků na vnitřní teplotu ve vytápěných místnostech.

Systém MaR spíná cirkulační čerpadla jednotlivých topných okruhů při požadavku na vytápění a řídí ekvitermní regulaci teploty otopné vody pro okruh otopných těles. Výchozí nastavení topné křivky je pro teplotní spád 75/55 °C.

Prostory kanceláří v 2.–8. NP jsou vytápěny deskovými otopnými tělesy umístěnými podél prosklené fasády. Ovládání jednotlivých radiátorů je napojeno na systém KNX.

Na výměníkovou stanici v 1. PP jsou pomocí R+S připojeny celkem 3 topné okruhy. Tato kapitola se týká třetího topného okruhu, který zajišťuje přívod otopné vody do otopných těles v kancelářských prostorech 2.–7.NP.

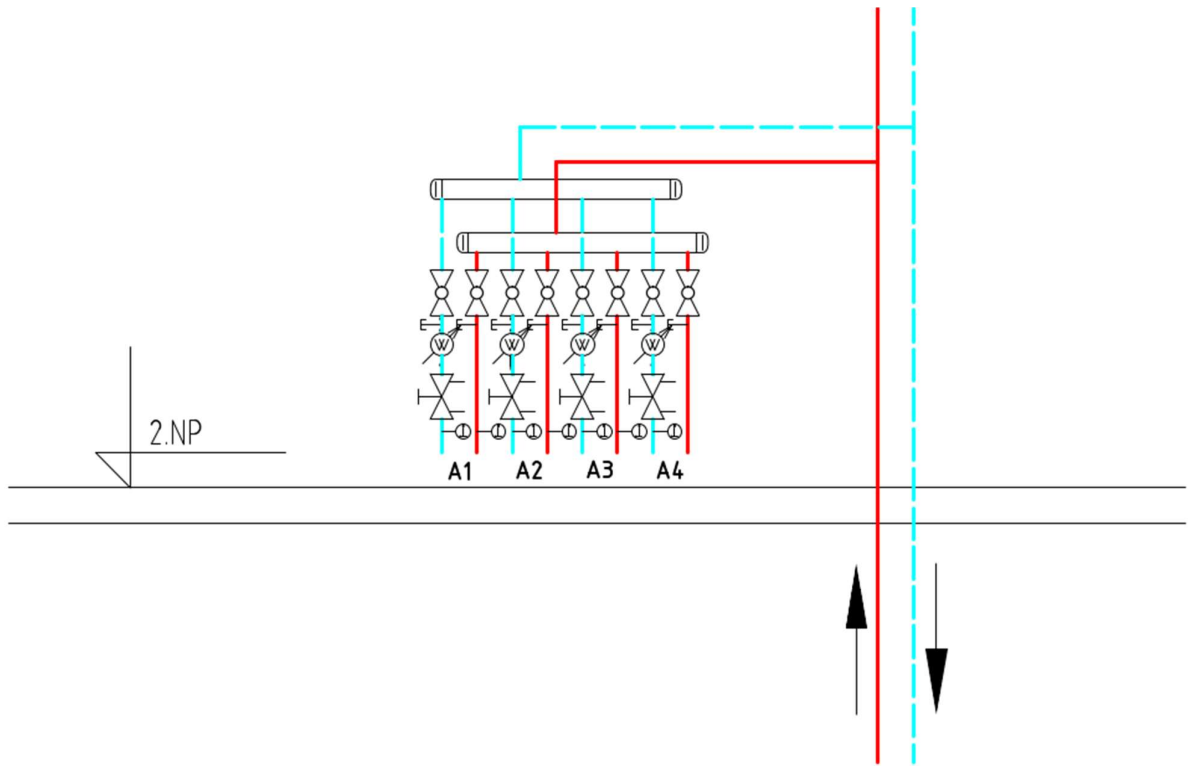


LEGENDA:

	KULOVÝ KOHOUT - KK; KK S VYPOUŠTĚNÍM	+	ODVZDUŠNĚNÍ
	UZAVÍRACÍ Klapka - UK		TEPLOMĚR
	VYVAŽOVACÍ VENTIL STAD		TLAKOMĚR
	ZPĚTNÁ Klapka - ZK		KALORIMETRICKÝ MĚŘIČ TEPLA
	TROJCESTNÝ VENTIL - TRV		ČERPADLO S PLYNULOU ZMĚNOU OTÁČEK (PŘÍRUBOVÉ)
	FILTR - F		VYTÁPĚNÍ-PŘÍVOD
	KOMPENZÁTOR CHVĚNÍ PŘÍRUBOVÝ		VYTÁPĚNÍ-ZPÁTEČKA

Obrázek 18 – Schéma připojení na zdroj tepla

Na obrázku 19 je zobrazeno typické schéma připojení jednotlivých větví topného okruhu pro otopná tělesa. V každém patře (2.–7.NP) se stejné schéma zapojení opakuje 2x (2x stoupací potrubí v každém patře).



LEGENDA:

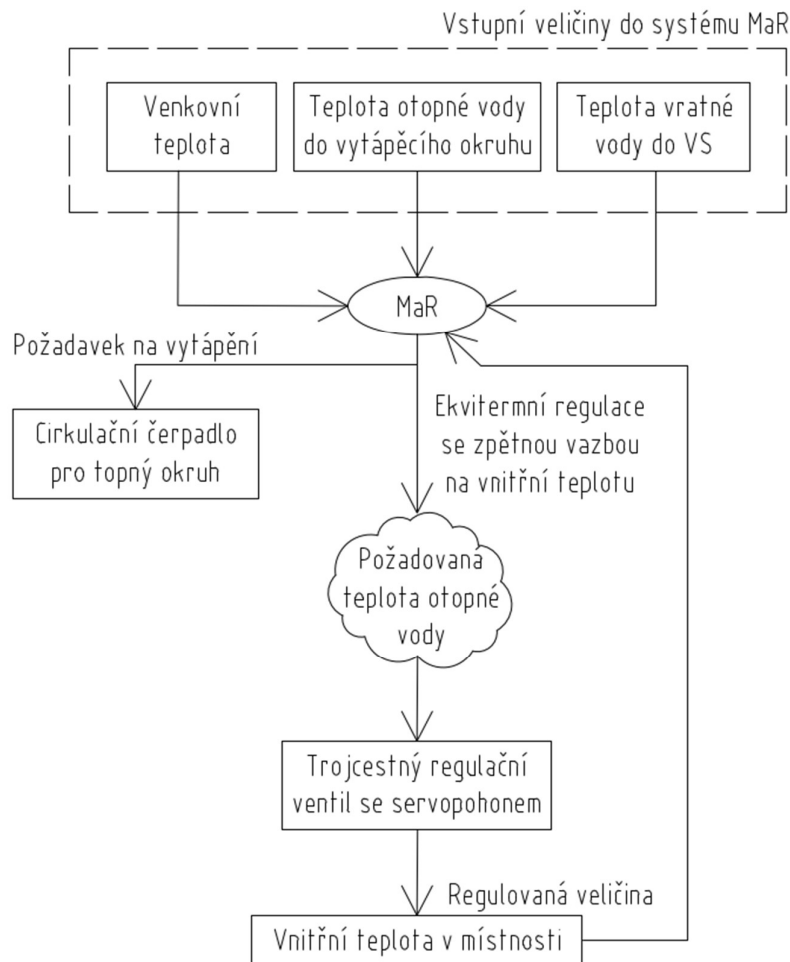


Obrázek 19 – Schéma napojení větví otopného okruhu na stoupací potrubí v typickém podlaží

6.2.2. Sběr dat v otopné soustavě

Sběr dat by měl probíhat s 5minutovými intervaly. V rámci topného okruhu s otopnými tělesy jsou měřeny, sledovány a vyhodnocovány například tyto veličiny:

- **Venkovní teplota** – měřeno na severní fasádě objektu
- **Teplota otopné vody do vytápěcího okruhu** – měřeno 1x za R+S pomocí teploměru
- **Teplota vratné vody** – měřeno 1x před R+S
- **Procento otevření trojcestného směšovacího ventilu** – měřeno 1x na výstupu topného okruhu z R+S
- **Požadovaná teplota otopné vody ze systému MaR** – vyhodnoceno systémem MaR
- **Vnitřní teplota ve vytápěných místnostech** – měřeno v každém patře ve vhodné referenční místnosti (v případě open space prostoru na několika k tomu vhodných místech – např. mimo přímé sluneční záření)
- **Otáčky oběhového čerpadla s frekvenčním řízením otáček** – 1x na soustavě armatur za R+S



Obrázek 20 – Vztahy mezi veličinami v otopné soustavě

Závislost jednotlivých veličin je zjednodušeně představena na obrázku 20. Do systému MaR vstupují údaje o venkovní teplotě, o teplotě otopné vody do vytápěcího okruhu a teplotě vratné vody z vytápěcího okruhu. Systém MaR tato data vyhodnocuje podle předem nastavené ekvitermní křivky. Při požadavku na vytápění dává systém MaR pokyn k chodu cirkulačnímu čerpadlu pro daný topný okruh. Na základě vstupních informací vyhodnocuje systém MaR, jakou teplotu by měla mít otopná voda, a určuje na kolik procent se má v daném okamžiku otevřít trojcestný směšovací ventil. Informace o vnitřní teplotě se vrací zpět do systému MaR, který případně následně upraví požadavek na teplotu otopné vody.

6.2.3. Vyhodnocování dat z otopné soustavy

Nasbíraná data jsou samostatně i v závislosti na jiných veličinách vyhodnocována pomocí jednoduchých pravidel, která jsou obecně aplikovatelná na administrativní budovy. Pokud nastane v otopné soustavě stav, kdy některá z veličin překročí nastavený limit, bude upozorněna obsluha. Systém rozlišuje dvě úrovně upozornění, tzv. „havarijní stav“, kdy je nutný okamžitý zásah obsluhy nebo odstavení VS a „stav upozornění“, kdy je doporučeno zkontrolovat stav a funkci zařízení.

Pravidla týkající se otopné soustavy vychází z poznatků v kapitolách 5–7. Uvedená pravidla jsou vytvořena pro budovu připojenou na CZT. V případě jiného zdroje tepla nebo systému vytápění by se pravidla mohla lišit.

1. Teplota otopné vody

HAVÁRIE: Teplota otopné vody dosáhne 90 °C.

2. Teplota vratné vody

HAVÁRIE: Teplota vratné vody klesne na 20 °C.

3. Procento otevření trojcestného směšovacího ventilu

UPOZORNĚNÍ: Ventil během topné sezóny pracuje 3 a více dní pouze v rozmezí 0–10 % nebo 90–100 %.

Ventil by se měl většinu času pohybovat v rozmezí 20–80 % otevření, aby zůstal dostatečný prostor na regulaci tepoty vody.

4. Oběhové čerpadlo

UPOZORNĚNÍ: Oběhové čerpadlo je v provozu mimo topnou sezónu (v létě) nebo není v provozu v období topné sezóny.

Oběhové čerpadlo je v chodu pouze při požadavku na vytápění. Mimo topnou sezónu by mělo být oběhové čerpadlo vždy vypnuté. Naopak se předpokládá, že bude zapnuté po celou topnou sezónu.

5. Přehřívání a nedotápění

UPOZORNĚNÍ: Teplotní rozdíl mezi požadovanou teplotou ze systému MaR a teplotou topné vody do vytápěcího okruhu je větší než ± 3 K.

Stav nedotápění a přehřívání je signalizován zvlášť. Obsluha bude upozorněna v případě, že k tomuto stavu bude docházet nepřetržitě během dne po dobu několika za sebou jdoucích měření.

6. Noční útlumy

UPOZORNĚNÍ: Teplota v místnosti je v době nočního útlumu rovna nebo větší než 20 °C a menší než 16,5 °C.

Od zvoleného konce pracovní doby (od začátku teplotního útlumu) do rána příštího dne by měla teplota v místnosti klesat a otopná soustava by měla přes noc udržovat nastavenou útlumovou teplotu např. 17 °C. (Pravidlo výše je uvedené pro případ, kdy je vnitřní teplota přes den nastavena na 20 °C a útlumová teplota na 17 °C.)

7. Víkendové útlumy

UPOZORNĚNÍ: Teplota v místnosti je o víkendu rovna nebo větší než 20 °C a zároveň je zapnuté oběhové čerpadlo nebo teplota v místnosti klesne pod 16,5 °C.

Za účelem snížení spotřeby energie na vytápění je zaveden víkendový útlum, kdy budova není využívána. Teplota o víkendu bude tím pádem menší než 20 °C. V případě, že tomu tak nebude z důvodu slunečních tepelných zisků, měl by být zrušen požadavek systému na vytápění, a tedy by mělo být zastavené oběhové čerpadlo. (Pravidlo výše je uvedené pro případ, kdy je vnitřní teplota přes den nastavena na 20 °C a útlumová teplota na 17 °C.)

8. Začátek topné sezóny

UPOZORNĚNÍ: Požadovaná teplota se přes den nemění (je konstantní), tzn. nereaguje na venkovní teplotu dle ekvitermní křivky.

System hlídá hodnoty požadované teploty, aby se zamezilo chybnému provozu systému po přepnutí režimu z letní do topné sezóny (např. jako je popsáno v kapitolách 5–7).

9. Data z kalorimetrů

UPOZORNĚNÍ: Data z podružných kalorimetrů osazených na každé odbočce v jednotlivých patrech se neslučují s údajem z kalorimetru za R+S pro celý okruh s otopnými tělesy.

Nesoulad mezi daty z podružných kalorimetrů a hlavním kalorimetrem na okruhu s otopnými tělesy by mohl být způsoben např. velkými ztrátami tepla v rozvodech nebo chybně seřízenými kalorimetry.

6.3. Vzduchotechnika

6.3.1. Popis VZT – větrání

Centrální VZT jednotky celoročně upravují centrálně přiváděný vzduch na požadovanou teplotu a relativní vlhkost. Tyto VZT jednotky jsou umístěny ve strojovnách v 1. PP. Nasávání čerstvého vzduchu je vyvedeno na fasádu v 1. NP. Výfuk znehodnoceného vzduchu je veden do garáží. Rozvody vzduchu od centrálních klimatizačních jednotek jsou vedeny pod stropem garáží v 1. PP do centrálních šachet.

VZT jednotka je vybavena ventilátory s frekvenčními měniči. Pro předehřev vzduchu je využito rotačního rekuperátoru pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu. Pro vlhčení vzduchu při zimním provozu jsou k jednotlivým centrálním klimatizačním jednotkám navrženy elektrické parní vyvíječe. Výměníky VZT jednotek jsou napojeny na zdroj tepla a chladu.

Na každém patře je ze stoupacího VZT potrubí vyvedena odbočka opatřena požární klapkou a regulátorem proměnného průtoku vzduchu se servopohonem opatřené tlumiči hluku. Centrální klimatizační jednotky jsou regulovány na konstantní tlak v síti.

Distribuce vzduchu je provedena indukčními jednotkami. Před každou indukční jednotkou je umístěn regulátor konstantního průtoku vzduchu. Chladicí výkon je regulován indukčními jednotkami.

6.3.2. Sběr dat v systému VZT

Sběr dat by měl probíhat s 5minutovými intervaly. V rámci systému VZT (pouze větrání kancelářských prostorů) jsou měřeny, sledovány a vyhodnocovány například tyto veličiny:

- **Výkon ventilátorů VZT jednotky**
- **Teplota vzduchu přiváděného do větraného prostoru** – měřeno na vhodně zvolených místech v budově
- **Koncentrace CO₂ v místnosti** – měřeno na vhodně zvolených místech v budově
- **Snímač tlakové difference** – umístěn na filtru, měří tlak v potrubí před filtrem a za filtrem

6.3.3. Vyhodnocování dat ze systému VZT

1. Noční a víkendový provoz

UPOZORNĚNÍ: Chod ventilátorů VZT jednotky vykazuje v době útlumu více než třetinový výkon oproti běžnému dennímu provozu.

V době nočního nebo víkendového útlumu (příp. o svátcích) je sníženo celkové množství vzduchu přiváděného centrálními VZT jednotkami. Výkon centrální VZT jednotky je v tu dobu snížen pomocí EC motorů ventilátorů na cca 1/3 nominálního vzduchového výkonu.

2. Teplota vzduchu přiváděného do prostoru

HAVÁRIE: Teplota vzduchu přiváděného do prostoru klesne v zimě pod 20 °C nebo stoupne v létě nad 19 °C.

Návrhový stav teploty přiváděného vzduchu v zimním období je 22 °C. V létě je návrhový stav teploty přiváděného vzduchu 17 °C. V obou případech je uvažováno s tolerancí 2 K.

3. Sledování koncentrace CO₂ v místnostech

UPOZORNĚNÍ: Koncentrace CO₂ v místnosti nestoupá (tedy nejsou přítomni lidé), ale neklesá výkon ventilátorů VZT jednotky.

V případě, že např. jedno patro kanceláří není pronajaté, mělo by tomu odpovídat také snížení výkonu ventilátorů, které nemusejí pracovat na svůj nominální výkon.

4. Zanesené filtry

UPOZORNĚNÍ: Snímač tlakové difference překročil nastavenou hodnotu pro výměnu filtru.

Snímač tlakové difference měří tlak vzduchu v potrubí před a za filtrem. Filtry se časem zanáší a pokud rozdíl tlaků dosáhne nastavené mezní hodnoty, je správce budovy upozorněn na potřebu výměny filtrů za nové.

5. Provoz výměníku chlazení VZT v zimě

UPOZORNĚNÍ: Na chladicím okruhu pro VZT jednotky je v zimním období zapnuté oběhové čerpadlo.

V zimním období není chlazení čerstvého vzduchu potřeba.

6.4. Chlazení

6.4.1. Popis systému chlazení

Prostory kanceláří jsou částečně chlazeny přívodem chlazeného vzduchu pomocí VZT zařízení a částečně dvoutrubkovými indukčními jednotkami napojenými na chladicí vodu s teplotním spádem 16/19 °C, do kterých je přiváděn primární vzduch o teplotě 18 °C. Tato kapitola se bude dále týkat pouze chlazení indukčními jednotkami.

Zdroj chladu

Jako zdroj chladu pro okruh indukčních jednotek je navržena chladicí jednotka s teplotním spádem chlazené vody 14,5/19 °C, která je osazena 1 ks šroubovým kompresorem. Chladicí jednotka je napojena na vlastní akumulční zásobník chladu. Chladicí jednotky i akumulční zásobníky vč. ostatního strojního zařízení jsou umístěny ve strojovně tepla a chladu v 1. PP objektu.

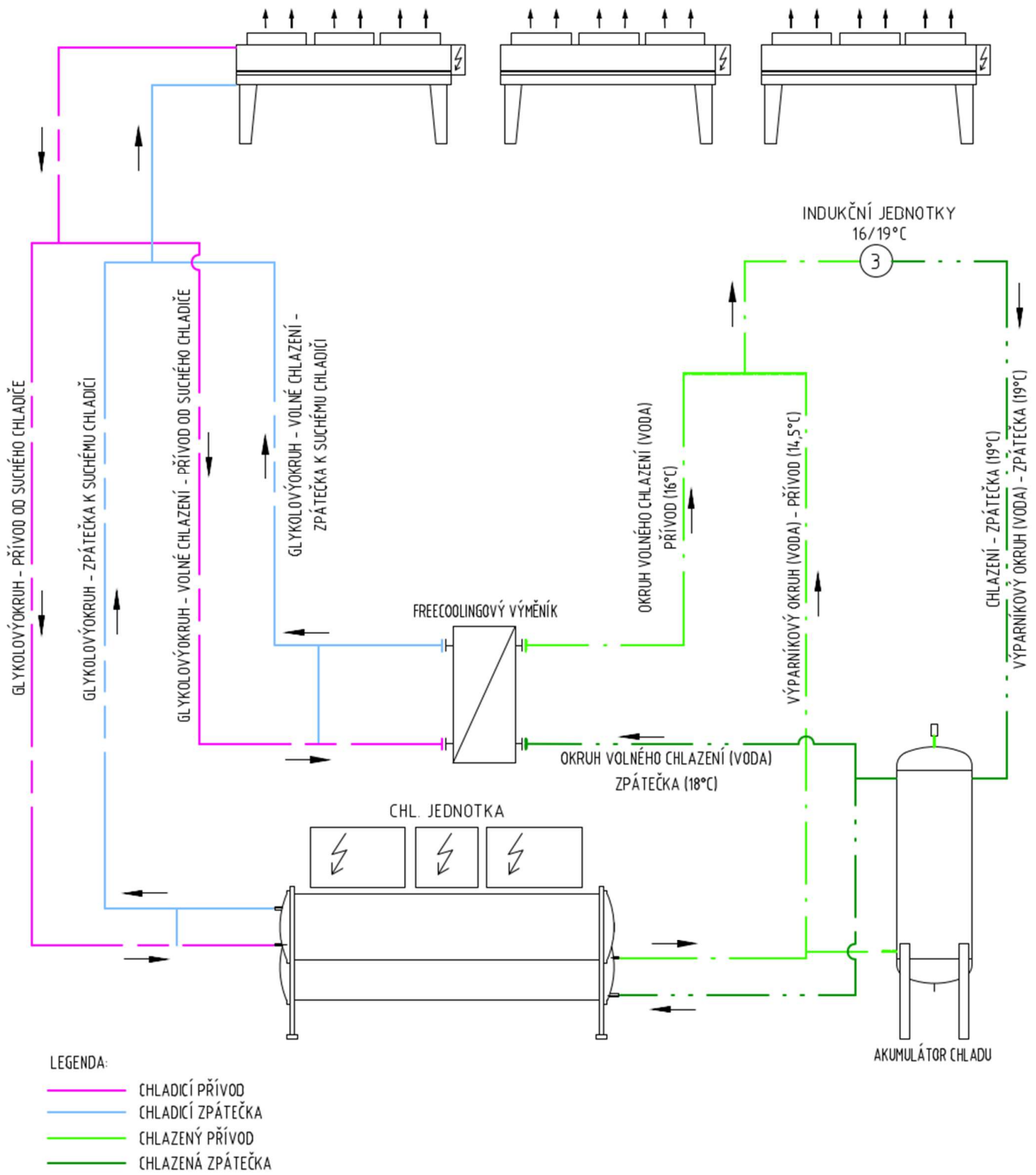
Okruh chlazení kondenzátorů je plněn nemrznoucí směsí na bázi 30% ethylenglykolu, teplotní spád okruhu chlazení kondenzátorů je uvažován 40,5/48,5 °C. Nucený oběh v kondenzátorovém (glykolovém) i výparníkovém (vodním) okruhu chladicí jednotky zajišťují elektronicky řízená oběhová čerpadla. Vstupní teplota chladiva na kondenzátorové straně chladicí jednotky je regulována na minimální požadovanou teplotu 30 °C pomocí trojcestných regulačních ventilů se servopohonem.

Pro odvod kondenzačního tepla jsou navrženy tři adiabatické chladiče kapalin se sprchováním. Adiabatické chladiče jsou umístěny na střeše objektu.

Zdroj chladu je koncipován tak, aby mohl být provozován i v zimním období.

Volné chlazení (freecooling)

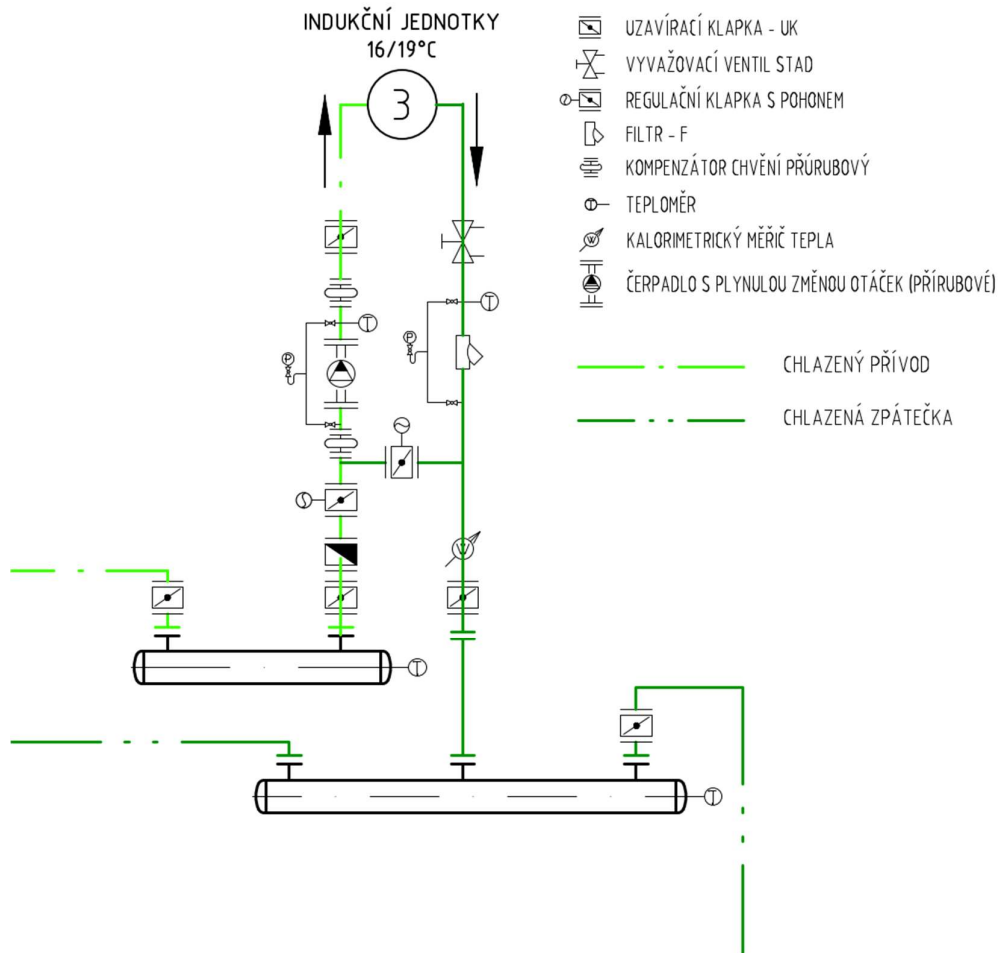
Pro venkovní teploty nižší než 10 °C je pro okruh indukčních jednotek využíváno volné chlazení. Pro pokrytí požadovaného chladicího výkonu jsou využity dva suché chladiče pro výrobu chlazené vody (30% ethylenglykol) pro chlazenou vodu 14/17 °C a venkovní teplotu 10 °C. Chlad je předáván do soustavy chlazení objektu přes deskový výměník volného chlazení, do objektu je přiváděna voda s teplotním spádem 16/19 °C.



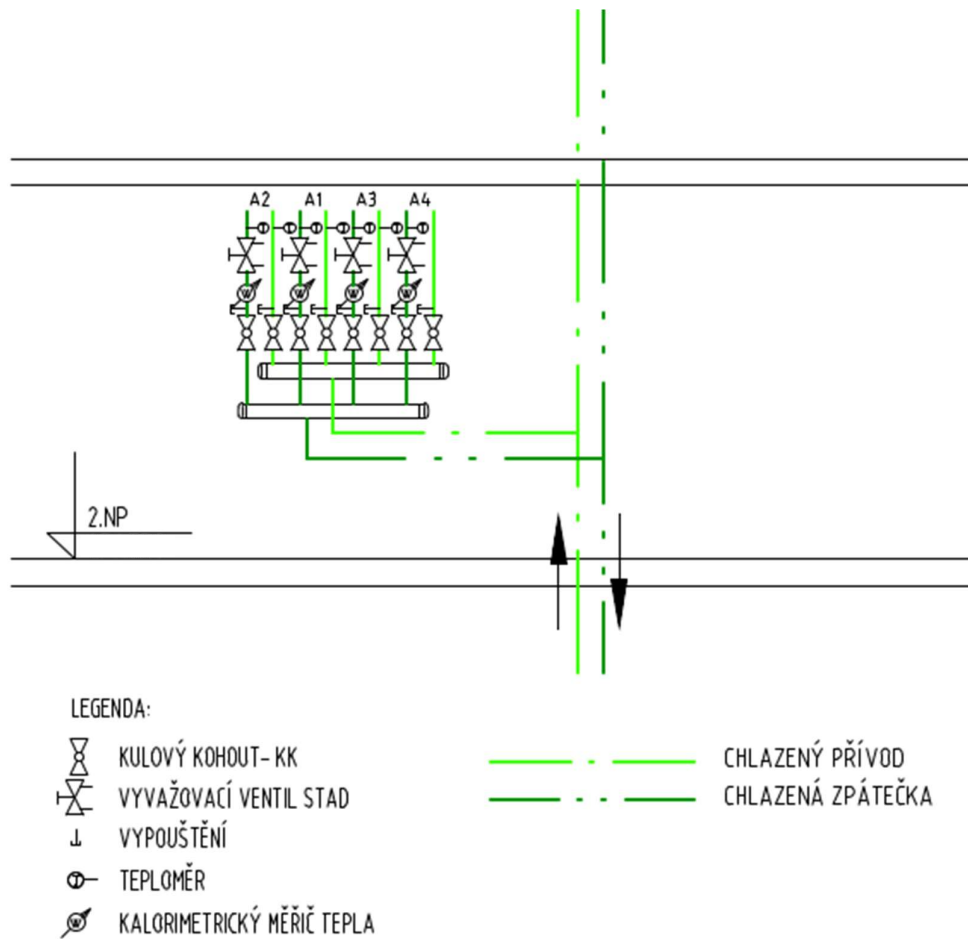
Obrázek 21 – Zjednodušené schéma zdroje chladu

Chladicí okruh indukčních jednotek

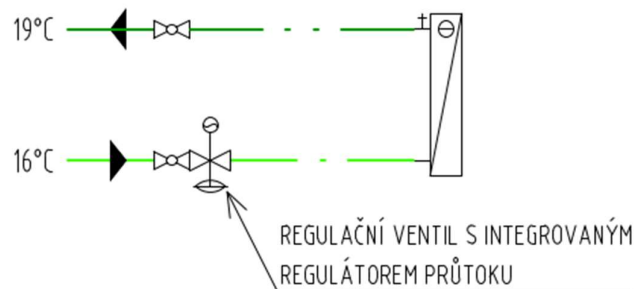
Na větvi indukčních jednotek za R+S je osazeno jednohlavé oběhové čerpadlo s frekvenčním řízením otáček dle diferenčního tlaku, uzavírací a vyvažovací armatury, filtry a zpětné klapky. Pro chlazení objektu je uvažován dvourubkový systém s nuceným oběhem chlazené vody. Regulaci teploty chladicí vody v okruhu indukčních jednotek zajišťuje nadřazený systém MaR objektu pomocí dvojice motorických servoklapek.



Obrázek 22 – Připojení okruhu indukčních jednotek na zdroj chladu



Obrázek 23 – Napojení větvi chlazení na stoupací potrubí v typickém podlaží



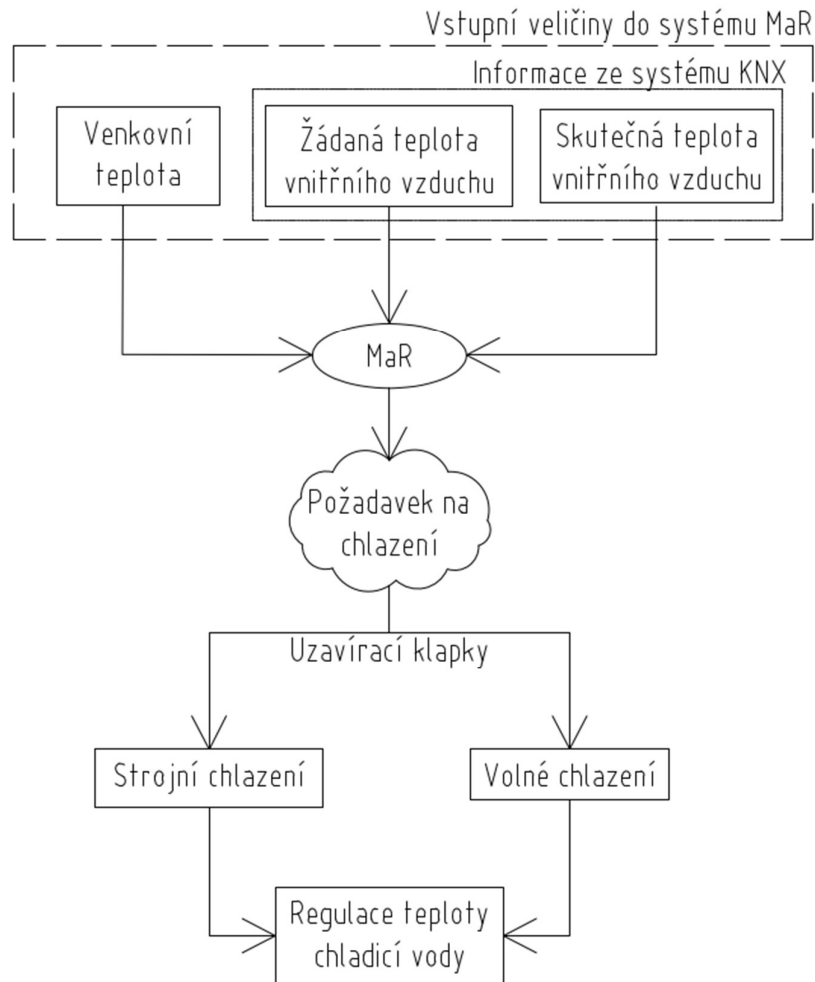
Obrázek 24 – Typické zapojení výměníku indukční jednotky

Regulace chlazení

Spínání chladicích jednotek je řízeno nadřazeným systémem MaR dle požadavku na chlazení, další jejich chod je ponechán na vlastním regulačním systému jednotek, aby se předešlo překročení četnosti sepnutí stroje.

Adiabatický chladič je vybaven vlastní regulací výkonu dle nastavené výstupní teploty. Z nadřazeného systému MaR pouze dostává signál, zda má pracovat v režimu strojního chlazení (regulace na výstupní teplotu 40,5 °C) nebo v režimu freecoolingu (regulace na výstupní teplotu 14 °C) a dále signál, zda se jedná o denní režim (standardní provoz) nebo noční režim (omezení otáček ventilátorů s ohledem na hlučnost zařízení).

Regulace jednotlivých indukčních jednotek v kancelářích je napojena na systémovou elektroinstalaci KNX.



Obrázek 25 – Vztahy mezi veličinami v systému chlazení

6.4.2. Sběr dat v systému chlazení

Sběr dat by měl probíhat s 5minutovými intervaly. V rámci okruhu chlazení s indukčními jednotkami jsou měřeny, sledovány a vyhodnocovány tyto veličiny:

- **Venkovní teplota** – měřeno na severní fasádě objektu
- **Teplota chladicí vody do okruhu chlazení indukčními jednotkami** – měřeno 1x v rámci soustavy armatur za R+S
- **Teplota chladicí vody z okruhu chlazení indukčními jednotkami** – měřeno 1x na zpátečním potrubí v rámci armatur před R+S
- **Požadovaná teplota chladicí vody** – vyhodnoceno systémem MaR
- **Vnitřní teplota v chlazených místnostech** – měřeno v každém patře ve vhodné referenční místnosti (v případě open space prostoru na několika k tomu vhodných místech – např. mimo přímé sluneční záření)
- **Otáčky oběhového čerpadla** – oběhové čerpadlo s frekvenčním řízením otáček je umístěno na okruhu s indukčními jednotkami za R+S
- **Výstup z magnetických kontaktů na otevíravých oknech** – magnetické kontakty jsou osazeny na rámech otevíravých oken s výstupní informací otevřeno/zavřeno.
- **Data z kalorimetrů (příp. elektroměrů)** – kalorimetry je osazeny mezi armaturami na okruhu s indukčními jednotkami za R+S a dále na každé větvi rozvodu chladicí vody v jednotlivých patrech (viz obrázky 22 a 23). Podružný elektroměr měří spotřebu oběhových čerpadel na okruhu s indukčními jednotkami.

6.4.3. Vyhodnocování dat ze systému chlazení

Data sbíraná v rámci chladicí soustavy jsou vyhodnocována podobně jako v předchozích kapitolách. V této kapitole není zahrnuta problematika úniku chladiva. Vzhledem ke složitosti systému chlazení a počtu armatur a měřených údajů jsou vybrána pouze některá data.

1. Režim volného chlazení

UPOZORNĚNÍ: Venkovní teplota je menší než 10 °C a je zapnutý kompresor chladicí jednotky.

Při venkovních teplotách pod 10 °C mají dle návrhu systému indukční jednotky pro výrobu chladu využívat nízké venkovní teploty. Kompresorové chlazení je vypnuté a v běhu zůstávají pouze ventilátory, které mají mnohem menší spotřebu energie.

2. Vstupní teplota chladiva do výměníku volného chlazení

HAVÁRIE: Teplota na vstupu do výměníku je 2 °C.

Vstupní teplota chladiva do výměníku je pomocí trojcestného regulačního ventilu se servopohonem regulována na minimální požadovanou teplotu 5 °C. Jestliže teplota na vstupu chladiva do výměníku poklesne na 2 °C, bude tento stav signalizován jako havárie.

3. Teplota chladicí vody do okruhu indukčních jednotek

HAVÁRIE: Teplota na vstupu do okruhu s indukčními jednotkami za R+S je vyšší než 16 °C.

4. Teplota chladicí vody z okruhu indukčních jednotek

HAVÁRIE: Teplota na výstupu z okruhu s indukčními jednotkami na chlazené zpátečce je vyšší než 20 °C.

5. Přehřívání a podchlazování

UPOZORNĚNÍ: Teplotní rozdíl mezi požadovanou teplotou chladicí vody ze systému MaR a naměřenou teplotou chladicí vody je větší než ± 3 K.

Stav přehřívání a podchlazování je signalizován zvlášť. Obsluha bude upozorněna v případě, že k tomuto stavu bude docházet nepřetržitě během dne po dobu několika za sebou jdoucích měření.

6. Noční útlumy

UPOZORNĚNÍ: Na okruhu s indukčními jednotkami je zapnuté oběhové čerpadlo v době nočního útlumu.

Ve zvoleném nočním útlumu (např. od 20:00 do 6:00 dle provozu budovy) by mělo být chlazení vypnuté. V noci jsou vnější i vnitřní teplotní zisky minimalizovány a není důvod využívat pro prostory kancelářský systém chlazení.

7. Víkendové útlumy

UPOZORNĚNÍ: Na okruhu s indukčními jednotkami je zapnuté oběhové čerpadlo v době víkendového útlumu.

V době víkendového útlumu a o svátcích by mělo být chlazení vypnuté.

8. Souběžný provoz indukčních jednotek a otopných těles

UPOZORNĚNÍ: Data z podružných kalorimetrů osazených na jednotlivých větvích otopného a chladicího systému ukazují na souběžný provoz.

Při vyhodnocování dat z kalorimetrů osazených na jednotlivých větvích v každém patře na okruhu vytápění i na okruhu chlazení byl zjištěn souběžný provoz obou systémů. K takovému provozu by nemělo nikdy dojít. Jedná se o technologie, které by nejen z ekonomických důvodů neměly být provozovány v jeden okamžik. Upozornění by mělo nastat i v případě častého přepínání mezi chlazením a topením ve stejný den.

9. Provoz chlazení při otevření oken

UPOZORNĚNÍ: Jsou v provozu indukční jednotky a zároveň jsou otevřená okna.

V případě že by byla otevíravá okna osazena kontakty s výstupem otevřeno/zavřeno, bylo by možné porovnávat otevření/zavření oken s provozem indukčních jednotek. Provoz indukčních jednotek může být sledován pomocí údajů z podružných kalorimetrů na jednotlivých větvích chladicích rozvodů v každém patře.

Při současném otevření oken a provozu chlazení v části budovy v letním období dochází ke zbytečným tepelným ziskům z teplého venkovního vzduchu. Dostatek čerstvého vzduchu by měl být zajištěn pomocí VZT. Pokud dochází k otevření oken a zároveň chlazení v chladnějším období (např. v důsledku velkých vnitřních tepelných zisků od osob), je zbytečně spotřebovávána energie na provoz indukčních jednotek.

10. Data z podružných kalorimetrů

UPOZORNĚNÍ: Data z podružných kalorimetrů osazených na každé odbočce v jednotlivých patrech se neslučují s údajem z kalorimetru za R+S pro celý okruh s indukčními jednotkami.

Nesoulad mezi daty z podružných kalorimetrů a hlavním kalorimetrem na okruhu indukčních jednotek by mohl být způsoben např. velkými ztrátami v rozvodech nebo chybně seřízenými kalorimetry.

11. Příliš velká spotřeba energie

UPOZORNĚNÍ: Elektroměry příp. kalorimetry ukazují na neobvyklou spotřebu energie na chlazení.

V případě, že jsou k dispozici historická data z podružných elektroměrů nebo kalorimetrů měřících spotřebu energie na chlazení, je možné porovnávat spotřebu v jednotlivých obdobích s podobnou venkovní teplotou s odběrem v reálném čase. Tímto způsobem je možné včas odhalit příliš vysokou spotřebu energie na chlazení. Lze porovnávat také spotřebu v reálném čase v noci nebo o víkendu a svátcích s historickými údaji ze stejné budovy a včas upozornit správce budovy na možný provoz zařízení v útlumových hodinách.

6.5. Zásobování vodou

Současná legislativa nebere v rámci energetického auditu a průkazu energetické náročnosti množství spotřebované pitné vody jako ukazatel energetické náročnosti budovy. Přesto je to možnost, jak ušetřit nejen finanční prostředky, ale také životní prostředí.

V celém objektu je využívána pouze pitná voda. V budově není zavedeno využívání šedé ani dešťové vody. Dešťová voda z retenčních nádrží slouží pouze k závlaze. Teplá voda je připravována lokálně pomocí systému elektrického ohřevu v zásobnících o objemu 50–100 l.

V rámci zásobování objektu vodou je možné měřit množství vody podružnými vodoměry na vhodně zvolených místech a data z vodoměrů následně použít např. k odhalování úniků pitné vody a tím omezit plýtvání.

6.5.1. Sběr dat v systému zásobování vodou

V rámci systému zásobování vodou jsou sbírána data o spotřebě pitné vody na několika vhodně zvolených místech pomocí podružných vodoměrů s dálkovým odečtem po 5 minutách.

6.5.2. Vyhodnocování dat ze systému zásobování vodou

Data z podružných vodoměrů jsou vyhodnocována v reálném čase a jsou sledovány následující situace.

1. Neobvyklý nárůst spotřeby vody

UPOZORNĚNÍ: Podružné vodoměry ukazují neobvyklý nárůst odběru pitné vody mezi jednotlivými měřeními.

Upozornění na neobvyklý nárůst spotřeby pitné vody v budově může signalizovat poruchu v systému a včas odhalit únik vody.

2. Neobvyklý odběr v nepracovních hodinách

UPOZORNĚNÍ: Podružné vodoměry ukazují neobvyklý odběr pitné vody v nepracovních hodinách, tj. v noci, o víkendu nebo o svátcích.

Odběr vody v nepracovních hodinách je možné v reálném čase porovnávat s historickými daty o spotřebě v tomto čase a včas odhalit únik vody.

7. Automatizované vyhodnocování (historických) dat

Poskytnutá data z otopných soustav, která byla již dříve využita k energetické analýze (kapitoly 2–5) jsou využita opět v 7. kapitole. Cílem této kapitoly je vyhodnocení většího množství dat z vícero budov na základě poznatků z předchozích kapitol a vytvoření obecného systému pro vyhodnocování dat. Díky vhodně nastaveným pravidlům by měl systém dokázat odhalit vybranou chybu a urychlit a zautomatizovat vyhodnocování dat. Tento princip je možné využít nejen na historických datech jako v této práci, ale je možné ho přenést i do vyhodnocování dat sbíraných v reálném čase.

Pro zjednodušení se tato kapitola soustředí na vyhledávání jedné konkrétní chyby, která se častěji opakovala při analýze dat v kapitolách 3–5. Dále je proto zkoumáno pouze nastavení nočních a víkendových útlumů. Vyhledávání žádaných informací v datech je zpracováváno v programu MATLAB R2021b.

Data z otopných soustav jsou poskytnuta ve formátu „csv“ a jsou k dispozici data ze 154 technologií s 5minutovým vzorkováním. Ke hledání informací o nočním a víkendovém útlumu jsou využity údaje o požadované teplotě otopné vody.

Cílem není vytvoření programu či softwaru běžně využitelného v praxi, ale vytvoření jednoduchého pravidla pro vyhledávání konkrétní chyby a vyzkoušení jeho funkčnosti na datech z několika blíže nespecifikovaných budov.

Velký podíl v celkovém množství spotřebované energie budovy má právě spotřeba energie na vytápění. Nastavení nočního a víkendového útlumu přináší v závislosti na velikosti útlumu úspory energie na vytápění až 15 %. [29]

7.1. Noční útlum

V této podkapitole je uveden popis postupu při vytvoření pravidel vyhodnocujících správné nastavení nočního útlumu pomocí programu MATLAB R2021b. Velikost útlumu není brána v úvahu. Cílem vyhodnocení je zjistit, zda k útlumu v budovách dochází alespoň v malé míře. Jako klíčová veličina je brána požadovaná teplota otopné vody. Základní podmínkou je, aby průměr požadované teploty otopné vody v době nočního útlumu (22:00 – 06:00) byl menší než průměr hodnot požadované teploty otopné vody předchozí den. Jsou vyhodnocovány pouze údaje z pracovních dnů. Tato podmínka by ve většině případů měla odhalit, zda k nočnímu útlumu dochází.

Protože požadovaná teplota otopné vody závisí na vícero faktorech (teplota v místnosti, tepelné zisky v místnosti, teplota venkovního vzduchu, charakteristika systému apod.), je možné, že tato podmínka nebude zachována, i když noční útlum je nastaven. To se může stát například v případě velmi teplého dne (velké tepelné zisky od slunce a od lidí a technologií) a extrémně chladné noci, je to však málo pravděpodobné.

1. Data ve formátu „csv“ jsou importovány do pracovního prostředí ve formátu tabulky a následně převedeny na časovou tabulku (timetable).

```
%timetable
tt_01 = table2timetable(s002t009heatingcircuitsupplywatertemperaturesetpoint25e16d5ad59);
```

2. Je vytvořena pomocná tabulka s názvem „averages“, kam jsou v dalších krocích ukládány mezi výpočty a pomocné hodnoty.

```
%new table
averages = table;
```

3. Je proveden pomocný výpočet průměru hodnot požadované teploty otopné vody v noci v době předpokládaného nočního útlumu (hodnoty od 22:00 do 06:00 následujícího dne). Výpočet je proveden nejprve pro všechna pondělí v roce. Výpočet probíhá pomocí „for“ cyklu a počítá průměr z požadovaného rozmezí hodnot pomocí funkce „mean“. Výpočet začíná 1993. hodnotou (7. 1. 2019 22:00) a posouvá se po 2016 údajích (2016 záznamů po 5 minutách = 1 týden) až do poslední možné hodnoty. Průměr je počítán z 96 po sobě jdoucích hodnot. Výsledkem je zapsání nočního průměru z každého pondělí v roce do pomocné tabulky „averages“ do sloupce s názvem „night_mean_MON“.

```
%night average - MONDAY
night_MON = 1;
for i_MON = 1993:2016:104809
    night_mean_MON = mean(tt_01.v0(i_MON:(i_MON+96)));
    averages.night_mean_MON(night_MON,1) = night_mean_MON;
    night_MON = night_MON + 1;
end
```

4. Principiálně stejný výpočet jako pro noční průměr hodnot požadované teploty otopné vody je proveden i pro výpočet denního průměru hodnot od 06:05 do 21:55. Průměr je tentokrát počítán ze 192 hodnot za den. Výsledkem je opět zapsání denního průměru za každé pondělí do pomocné tabulky do sloupce s názvem „day_mean_MON“.

```
%day average - MONDAY
day_MON = 1;
for j_MON = 1802:2016:104618
    day_mean_MON = mean(tt_01.v0(j_MON:(j_MON+192)));
    averages.day_mean_MON(day_MON,1) = day_mean_MON;
    day_MON = day_MON + 1;
end
```

5. Následně je provedeno porovnání pondělních pomocných průměrných hodnot požadované teploty otopné vody z noci a z předcházejícího dne. Pro porovnání je využita podmínka „if – else – end“, pomocí které jsou otestovány všechny řádky v pomocné tabulce. Pokud je splněna podmínka, že noční průměr hodnot je vyšší než denní průměr hodnot, je do pomocného sloupce s názvem „night_attenuation_MON“ vepsána hodnota „1“. V případě nesplnění podmínky je vepsána hodnota „0“. S takto definovaným pravidlem je velmi pravděpodobné odhalení chyby v nastavení požadované teploty otopné vody, zejména, pokud by se chyba vyskytovala víckrát v roce. Výhodou je také univerzálnost použití pravidla bez ohledu na jiná specifika dané administrativní budovy a využití pouze jedné ze sledovaných veličin.

```
%compare night and day means - MONDAY
for k_MON = 1:height(averages)
    if averages.night_mean_MON(k_MON) > averages.day_mean_MON(k_MON)
        averages.night_attenuation_MON (k_MON,1) = 1;
    else
        averages.night_attenuation_MON (k_MON,1) = 0;
    end
end
end
```

6. Kroky 3–5 popsané dříve jsou provedeny i pro ostatní pracovní dny v týdnu. Vyhodnocení, zda dochází k nočnímu útlumu dle dané podmínky, je tedy provedeno pro každé pondělí až pátek v roce.
Vyhodnocení pro úterý:

```
%night average - TUESDAY
night_TUE = 1;
for i_TUE = 2281:2016:103081
    night_mean_TUE = mean(tt_01.v0(i_TUE:(i_TUE+96)));
    averages.night_mean_TUE(night_TUE,1) = night_mean_TUE;
    night_TUE = night_TUE + 1;
end

%day average - TUESDAY
day_TUE = 1;
for j_TUE = 2090:2016:102890
    day_mean_TUE = mean(tt_01.v0(j_TUE:(j_TUE+192)));
    averages.day_mean_TUE(day_TUE,1) = day_mean_TUE;
    day_TUE = day_TUE + 1;
end

%compare night and day means - TUESDAY
for k_TUE = 1:height(averages)
    if averages.night_mean_TUE(k_TUE) > averages.day_mean_TUE(k_TUE)
        averages.night_attenuation_TUE (k_TUE,1) = 1;
    else
        averages.night_attenuation_TUE (k_TUE,1) = 0;
    end
end
end
```

Vyhodnocení pro středu:

```
%night average - WEDNESDAY
night_WED = 1;
for i_WED = 553:2016:103369
    night_mean_WED = mean(tt_01.v0(i_WED:(i_WED+96)));
    averages.night_mean_WED(night_WED,1) = night_mean_WED;
    night_WED = night_WED + 1;
end

%day average - WEDNESDAY
day_WED = 1;
for j_WED = 362:2016:103178
    day_mean_WED = mean(tt_01.v0(j_WED:(j_WED+192)));
    averages.day_mean_WED(day_WED,1) = day_mean_WED;
    day_WED = day_WED + 1;
end

%compare night and day means - WEDNESDAY
for k_WED = 1:height(averages)
    if averages.night_mean_WED(k_WED) > averages.day_mean_WED(k_WED)
        averages.night_attenuation_WED (k_WED,1) = 1;
    else
        averages.night_attenuation_WED (k_WED,1) = 0;
    end
end
```

Vyhodnocení pro čtvrtek:

```
%night average - THURSDAY
night_THU = 1;
for i_THU = 841:2016:103657
    night_mean_THU = mean(tt_01.v0(i_THU:(i_THU+96)));
    averages.night_mean_THU(night_THU,1) = night_mean_THU;
    night_THU = night_THU + 1;
end

%day average - THURSDAY
day_THU = 1;
for j_THU = 648:2016:103464
    day_mean_THU = mean(tt_01.v0(j_THU:(j_THU+192)));
    averages.day_mean_THU (day_THU,1) = day_mean_THU;
    day_THU = day_THU + 1;
end

%compare night and day means - THURSDAY
for k_THU = 1:height(averages)
    if averages.night_mean_THU(k_THU) > averages.day_mean_THU(k_THU)
        averages.night_attenuation_THU (k_THU,1) = 1;
    else
        averages.night_attenuation_THU (k_THU,1) = 0;
    end
end
```

Vyhodnocení pro pátek:

```
%night average - FRIDAY
night_FRI = 1;
for i_FRI = 1129:2016:103945
    night_mean_FRI = mean(tt_01.v0(i_FRI:(i_FRI+96)));
    averages.night_mean_FRI(night_FRI,1) = night_mean_FRI;
    night_FRI = night_FRI + 1;
end

%day average - FRIDAY
day_FRI = 1;
for j_FRI = 938:2016:103754
    day_mean_FRI = mean(tt_01.v0(j_FRI:(j_FRI+192)));
    averages.day_mean_FRI (day_FRI,1) = day_mean_FRI;
    day_FRI = day_FRI + 1;
end

%compare night and day means - FRIDAY
for k_FRI = 1:height(averages)
    if averages.night_mean_FRI(k_FRI) > averages.day_mean_FRI(k_FRI)
        averages.night_attentuation_FRI (k_FRI,1) = 1;
    else
        averages.night_attentuation_FRI (k_FRI,1) = 0;
    end
end
```

7. Pomocí funkce „sum“ jsou sečteny všechny pracovní dny, kdy nedocházelo k nočnímu útlumu. Následně jsou nastavena pravidla pro zpětné hlášení na základě provedeného výpočtu. Jsou definovány dvě možnosti zpětného hlášení pomocí podmínky „if – else – end“. V případě, že jakýkoli pracovní den v roce nebyla podmínka nočního útlumu splněna, zobrazí se upozornění s počtem dnů, ve kterých nedošlo k útlumu. Pokud podmínka pro noční útlum byla splněna, program zobrazí, že nastavení útlumů je v pořádku.

```
%evaluation
night_att_sum = sum(averages.night_attentuation_MON)
+sum(averages.night_attentuation_TUE) +sum (averages.night_attentuation_WED)
+sum(averages.night_attentuation_THU) +sum (averages.night_attentuation_FRI);

if night_att_sum > 0
    disp("Zkontrolovat nastavení nočního útlumu požadované teploty otopné vody.")
    disp("(Noční útlum nebyl zaznamenán v " + night_att_sum + " dnech v roce.)")
else
    disp("Noční útlumy nastaveny v pořádku.")
end
```

Zpětná vazba z programu pak může vypadat například takto:

Zkontrolovat nastavení nočního útlumu požadované teploty otopné vody.
(Noční útlum nebyl zaznamenán v 2 dnech v roce.)

8. Pomocná tabulka s názvem „averages“ má na konci výpočtů 15 sloupců a 52 řádků.
Tabulka může vypadat například takto:

night_mean_MON	day_mean_MON	night_attenuation_MON	night_mean_TUE	day_mean_TUE	night_attenuation_TUE	night_mean_WED	day_mean_WED	night_attenuation_WED	night_mean_THU	day_mean_THU	night_attenuation_THU	night_mean_FRI	day_mean_FRI	night_attenuation_FRI
48,89	52,26	0	44,72	48,77	0	48,05	-	0	48,89	50,39	0	45,01	50,20	0
49,51	45,66	1	41,70	45,95	0	46,29	46,58	0	47,81	48,08	0	45,82	49,89	0
55,59	53,71	1	54,17	56,73	0	46,95	43,27	1	40,05	44,49	0	49,78	46,59	1
48,86	47,61	1	55,36	48,18	1	50,21	56,16	0	51,21	53,71	0	48,33	52,78	0
50,31	46,77	1	53,79	52,05	1	54,05	57,37	0	47,29	51,35	0	35,41	43,38	0
42,51	43,20	0	47,23	45,23	1	54,32	51,75	1	46,63	52,07	0	47,48	46,79	1
47,60	44,06	1	44,01	43,69	1	40,53	44,04	0	40,01	41,53	0	45,54	42,21	1
47,39	45,76	1	42,30	40,55	1	42,45	42,07	1	39,55	41,04	0	49,15	46,19	1
36,91	35,84	1	43,56	39,22	1	47,49	42,12	1	35,31	39,13	0	40,15	38,27	1
43,68	43,65	1	43,53	43,27	1	35,78	40,40	0	35,31	34,60	1	39,74	36,34	1
...

7.2. Víkendový útlum

V této podkapitole je uveden popis postupu při vytvoření pravidel vyhodnocujících správné nastavení víkendového útlumu pomocí programu MATLAB R2021b.

1. Data ve formátu „csv“ jsou importovány do pracovního prostředí ve formátu tabulky a následně převedeny na časovou tabulku (timetable) – tento krok je stejný jako pro vyhodnocení nastavení nočního útlumu.

```
%timetable
tt_01 = table2timetable(s002t009heatingcircuitsupplywatertemperaturesetpoint25e16d5ad59);
```

2. Je vytvořena pomocná tabulka s názvem „averages_2“, kam jsou v dalších krocích ukládány mezi výpočty a pomocné hodnoty.

```
%new table
averages_2 = table;
```

3. Je proveden pomocný výpočet průměru hodnot požadované teploty otopné vody pro každý pátek v roce (od 06:05 do 21:55) pomocí „for“ cyklu a funkce „mean“. Jedná se o průměr 192 hodnot, kdy první pátek ve sledovaném roce 2019 vychází na 938. hodnotu měření. Výpočet se dále posouvá po 2016 hodnotách (2016 po 5 minutách = 1 týden) až do poslední možné hodnoty v daném roce. Výsledkem je zapsání pátečních denních průměrů do vytvořené pomocné tabulky „averages_2“ s názvem „friday_mean“.

```
%friday day average
friday = 1;
for m = 938:2016:103680
    friday_avrg = mean(tt_01.v0(m:(m+192)));
    averages_2.friday_mean(friday,1) = friday_avrg;
    friday = friday + 1;
end
```

4. Podobný výpočet průměru požadované teploty otopné vody jako v předchozím bodě je proveden i pro sobotu a neděli. Jedná se v obou případech o denní hodnoty od 06:05 do 21:55. Výsledné hodnoty pro každou sobotu a neděli v roce jsou zapsány do příslušného řádku pomocné tabulky „averages_2“ do sloupců s názvy „saturday_mean“ a „sunday_mean“. Pro vyloučení malých rozdílů mezi průměrnými hodnotami v pátek a o víkendu je k víkendovým průměrům přičten 1 stupeň.

```
%weekend day average (saturday and sunday) + 1 degree
saturday = 1;
for n = 1226:2016:103968
    saturday_avrg = mean(tt_01.v0(n:(n+192)))+1;
    averages_2.saturday_mean(saturday,1) = saturday_avrg;
    saturday = saturday + 1;
end

sunday = 1;
for p = 1514:2016:104256
    sunday_avrg = mean(tt_01.v0(p:(p+192)))+1;
    averages_2.sunday_mean(sunday,1) = sunday_avrg;
    sunday = sunday + 1;
end
```


5. Následně je provedeno porovnání průměrných hodnot požadované teploty otopné vody z každého pátku v roce s hodnotami z příslušného víkendu. Pro porovnání hodnot je využita podmínka „if – else – end“, pomocí které jsou stejně jako u nočního útlumu pomocí cyklu „for“ postupně ověřeny všechny řádky pomocné tabulky. Pokud je splněna podmínka, kdy průměr pátečních hodnot je menší než průměr sobotních hodnot, je do pomocné tabulky do sloupce „saturday_attenuation“ zapsána hodnota „1“. V opačném případě je zaznamenána hodnota „0“. Stejný postup je zopakován v případě porovnání nedělních průměrných hodnot s pátečními a výsledek je zapsán do sloupce „sunday_attenuation“.

```
%compare friday to weekend averages
for q = 1:height(averages_2)
    if averages_2.friday_mean(q) < averages_2.saturday_mean(q)
        averages_2.saturday_attenuation (q,1) = 1;
    else
        averages_2.saturday_attenuation (q,1) = 0;
    end
end

for r = 1:height(averages_2)
    if averages_2.friday_mean(r) < averages_2.sunday_mean(r)
        averages_2.sunday_attenuation (r,1) = 1;
    else
        averages_2.sunday_attenuation (r,1) = 0;
    end
end
```

6. Pro vyhodnocení hodnot za celý víkend v pozdějších krocích je do pomocné tabulky přidán sloupec „weekend_attenuation“, do kterého je zapsána hodnota „1“ nebo „0“. Pomocí „for“ cyklu jsou postupně zkontrolovány hodnoty z posledních dvou sloupců („saturday_attenuation“ a „sunday_attenuation“) ve všech řádcích. Pokud se v jednom řádku vyskytuje alespoň jednou hodnota „1“, je i do nového sloupce zapsána tato hodnota. Pokud v obou sloupcích se sobotním i nedělním údajem je hodnota „0“, stejná hodnota se zapíše do posledního sloupce.

```
for s = 1:height(averages_2)
    if averages_2.saturday_attenuation(s) == 1 || averages_2.sunday_attenuation(s) == 1
        averages_2.weekend_attenuation (s,1) = 1;
    else
        averages_2.weekend_attenuation (s,1) = 0;
    end
end
```

7. Stejně jako u nočního útlumu i u víkendových útlumů jsou nastavena pravidla pro zpětné hlášení na základě provedeného výpočtu. Pomocí podmínky „if – else – end“ jsou definovány dvě možnosti. Pokud je alespoň jedna hodnota ve sloupci „weekend_attenuation“ rovna 1, objeví se upozornění na zkontrolování nastavení víkendového útlumu teploty otopné vody.

Jsou nastavena pravidla pro zpětné hlášení na základě provedeného výpočtu. Jsou definovány dvě možnosti zpětného hlášení pomocí podmínky „if – else – end“. V případě, že je v jakémkoli řádku pomocné tabulky ve sloupci „night_attenuation“ vepsána hodnota „1“, je zobrazena výzva ke zkontrolování nastavení nočního útlumu spolu s počtem víkendů, kdy dle výpočtu k víkendovému útlumu nedochází. V opačném případě, tedy kdy je v celém sloupci uvedena hodnota „0“, je zobrazeno, že je nastavení víkendových útlumů v pořádku.

```
%weekend attenuation evaluation
weekend_att_sum = sum(averages_2.weekend_attenuation);
if any(averages_2.saturday_attenuation == 1) || any(averages_2.sunday_attenuation == 1)
    disp("Zkontrolovat nastavení víkendového útlumu teploty otopné vody.")
    disp("(Víkendový útlum nebyl zaznamenán v " + weekend_att_sum + " víkendech v roce.)")
else
    disp("Víkendové útlumy nastaveny v pořádku.")
end
```

Zpětná vazba z programu pak může vypadat například takto:

```
Zkontrolovat nastavení víkendového útlumu požadované teploty otopné vody.
(Víkendový útlum nebyl zaznamenán v 47 víkendech v roce.)
```

8. Pomocná tabulka s názvem „averages_2“ má na konci výpočtů 51 řádků a 6 sloupců. Tabulka může vypadat například takto:

Friday_ mean	Saturday_ mean	Sunday_ mean	Saturday_ attenuation	Sunday_ attenuation	Weekend_ attenuation
50,20	43,47	45,29	0	0	0
49,89	42,57	42,00	0	0	0
46,59	48,67	46,21	1	0	1
52,78	46,77	43,39	0	0	0
43,38	33,72	39,84	0	0	0
46,79	42,39	40,85	0	0	0
42,21	41,18	40,93	0	0	0
46,19	48,03	45,81	1	0	1
38,27	37,88	33,65	0	0	0
36,34	34,16	35,53	0	0	0
...

7.3. Vyhodnocení nastavení nočního a víkendového útlumu

Teorie z předešlých dvou podkapitol je nyní vyzkoušena na příkladu 154 technologií z několika různých a blíže nespecifikovaných administrativních budov. Cílem je ověřit správnost dříve uvedených vzorců týkajících se vyhodnocování nočního a víkendového útlumu a vyhodnotit nastavení útlumů požadované teploty otopné vody ve sledovaných budovách pomocí obecně nastavených pravidel.

Všechny poskytnuté soubory s údaji o požadované teplotě otopné vody byly otestovány dle dříve uvedeného programu na noční i víkendový útlum. Výsledkem je tabulka s počtem dnů a víkendů bez útlumu.

Případ	Budova	Technologie	Počet pracovních dní bez splnění podmínky nočního útlumu	% pracovních dní v roce bez nočního útlumu	Počet víkendů bez splnění podmínky víkendového útlumu	% víkendů v roce bez víkendového útlumu
1	002	009	3	1,2%	47	92%
2	002	013	7	2,8%	1	2%
3	002	017	4	1,6%	47	92%
4	002	057	45	17,7%	44	86%
5	002	064	71	28,0%	48	94%
6	002	087	77	30,3%	11	22%
7	002	134	51	20,1%	8	16%
8	004	003	8	3,1%	2	4%
9	006	005	11	4,3%	4	8%
10	008	040	7	2,8%	1	2%
11	008	150	148	58,3%	12	24%
12	008	163	219	86,2%	45	88%

13	008	170	110	43,3%	47	92%
14	008	172	7	2,8%	2	4%
15	010	057	70	27,6%	1	2%
16	010	064	180	70,9%	2	4%
17	010	080	191	75,2%	1	2%
18	010	105	190	74,8%	1	2%
19	010	115	60	23,6%	0	0%
20	010	134	86	33,9%	2	4%
21	010	196	63	24,8%	1	2%
22	012	009	22	8,7%	19	37%
23	012	017	37	14,6%	21	41%
24	014	009	13	5,1%	2	4%
25	014	017	56	22,0%	7	14%
26	016	015	5	2,0%	1	2%
27	016	112	34	13,4%	46	90%
28	016	122	5	2,0%	1	2%
29	016	207	5	2,0%	1	2%
30	018	009	7	2,8%	2	4%
31	018	017	32	12,6%	3	6%
32	020	019	167	65,7%	22	43%
33	020	076	188	74,0%	25	49%
34	020	084	185	72,8%	24	47%
35	020	104	184	72,4%	24	47%
36	020	114	185	72,8%	24	47%
37	020	138	185	72,8%	24	47%
38	020	147	175	68,9%	19	37%
39	020	164	192	75,6%	25	49%
40	020	171	165	65,0%	23	45%
41	020	174	184	72,4%	24	47%
42	020	206	183	72,0%	24	47%
43	022	021	2	0,8%	0	0%
44	022	025	5	2,0%	0	0%
45	022	028	2	0,8%	0	0%
46	022	039	5	2,0%	0	0%
47	022	086	3	1,2%	51	100%
48	022	109	2	0,8%	0	0%
49	022	124	2	0,8%	0	0%
50	022	144	11	4,3%	51	100%
51	022	151	0	0,0%	51	100%
52	022	175	254	100,0%	0	0%
53	022	179	18	7,1%	6	12%
54	022	197	2	0,8%	0	0%
55	022	198	5	2,0%	0	0%
56	022	201	2	0,8%	44	86%
57	022	204	2	0,8%	0	0%
58	024	023	63	24,8%	7	14%
59	024	187	63	24,8%	7	14%
60	024	199	8	3,1%	10	20%
61	027	026	254	100,0%	51	100%

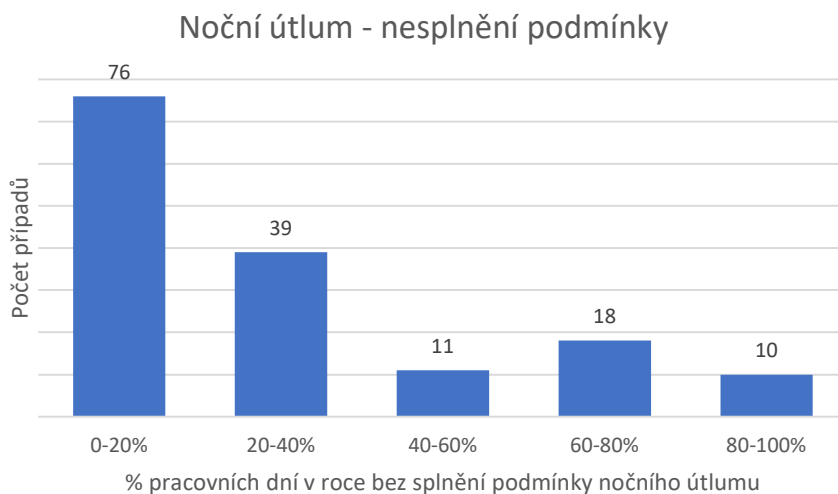
62	027	071	8	3,1%	19	37%
63	030	029	8	3,1%	2	4%
64	030	047	8	3,1%	1	2%
65	030	054	8	3,1%	1	2%
66	030	072	8	3,1%	1	2%
67	030	073	8	3,1%	2	4%
68	030	193	0	0,0%	45	88%
69	032	031	53	20,9%	31	61%
70	032	113	52	20,5%	31	61%
71	032	117	7	2,8%	1	2%
72	034	033	59	23,2%	2	4%
73	034	095	218	85,8%	16	31%
74	034	141	93	36,6%	7	14%
75	036	053	130	51,2%	11	22%
76	036	083	17	6,7%	0	0%
77	036	120	32	12,6%	0	0%
78	036	194	8	3,1%	1	2%
79	037	009	10	3,9%	1	2%
80	042	125	222	87,4%	34	67%
81	042	129	135	53,1%	5	10%
82	042	176	142	55,9%	7	14%
83	042	180	143	56,3%	7	14%
84	042	188	226	89,0%	34	67%
85	044	113	92	36,2%	43	84%
86	044	117	81	31,9%	25	49%
87	046	045	12	4,7%	1	2%
88	049	048	8	3,1%	2	4%
89	052	051	96	37,8%	24	47%
90	055	048	21	8,3%	16	31%
91	058	009	98	38,6%	26	51%
92	058	013	55	21,7%	20	39%
93	058	017	74	29,1%	19	37%
94	059	048	19	7,5%	19	37%
95	061	060	34	13,4%	24	47%
96	061	097	54	21,3%	46	90%
97	061	153	125	49,2%	18	35%
98	063	062	42	16,5%	4	8%
99	063	186	42	16,5%	4	8%
100	066	065	28	11,0%	22	43%
101	066	182	59	23,2%	26	51%
102	066	183	59	23,2%	26	51%
103	066	190	29	11,4%	23	45%
104	068	045	17	6,7%	1	2%
105	070	069	242	95,3%	46	90%
106	070	181	212	83,5%	44	86%
107	075	074	39	15,4%	2	4%
108	075	088	39	15,4%	2	4%
109	077	048	216	85,0%	19	37%
110	082	009	74	29,1%	34	67%

111	082	013	66	26,0%	32	63%
112	082	017	27	10,6%	42	82%
113	082	057	119	46,9%	40	78%
114	082	126	55	21,7%	42	82%
115	090	089	9	3,5%	1	2%
116	090	135	9	3,5%	1	2%
117	091	003	21	8,3%	2	4%
118	093	092	48	18,9%	5	10%
119	093	157	53	20,9%	4	8%
120	094	048	58	22,8%	44	86%
121	096	003	173	68,1%	20	39%
122	096	095	64	25,2%	2	4%
123	099	098	13	5,1%	25	49%
124	099	131	91	35,8%	2	4%
125	100	098	40	15,7%	23	45%
126	100	123	18	7,1%	23	45%
127	103	102	42	16,5%	6	12%
128	103	185	161	63,4%	47	92%
129	103	189	87	34,3%	17	33%
130	106	048	108	42,5%	41	80%
131	106	162	91	35,8%	46	90%
132	110	048	9	3,5%	28	55%
133	118	003	56	22,0%	3	6%
134	118	007	117	46,1%	34	67%
135	119	069	45	17,7%	7	14%
136	119	181	21	8,3%	6	12%
137	133	132	151	59,4%	47	92%
138	133	140	153	60,2%	47	92%
139	137	136	62	24,4%	19	37%
140	137	152	68	26,8%	23	45%
141	139	048	166	65,4%	43	84%
142	145	048	60	23,6%	7	14%
143	149	148	10	3,9%	18	35%
144	156	155	8	3,1%	38	75%
145	159	009	44	17,3%	22	43%
146	159	013	3	1,2%	17	33%
147	166	165	12	4,7%	2	4%
148	166	184	12	4,7%	2	4%
149	169	168	85	33,5%	11	22%
150	178	048	209	82,3%	43	84%
151	191	003	11	4,3%	18	35%
152	192	003	10	3,9%	3	6%
153	195	048	76	29,9%	15	29%
154	203	202	99	39,0%	11	22%

7.3.1. Noční útlum

Z počtu pracovních dní, kdy nedocházelo k nočnímu útlumu, bylo spočítáno procento pracovních dní z celého roku, kdy nebyla splněna podmínka nočního útlumu. Z výsledné statistiky vyplývá, že v nejvíce případech byla podmínka nočního útlumu splněna nebo docházelo k nesplnění podmínky v méně než 20 % pracovních dní v roce – celkem 76 případů z celkového počtu 154 míst měření (viz graf 30). 20–40 % pracovních dní v roce nedocházelo k nočnímu útlumu ve 39 případech. Objevovaly se ale i případy, kdy nedošlo ke splnění podmínky téměř ve všech pracovních dnech.

V rámci revize a kontroly nastavení nočních útlumů doporučuji na základě provedeného vyhodnocení zkontrolovat převážně ta místa měření a nastavení MaR, kde docházelo k porušování nastaveného pravidla pro noční útlum větší část roku. Byla-li podmínka naopak z velké části splněna, je velmi pravděpodobné, že nastavení funguje správně. Jak již bylo dříve uvedeno, zvolená podmínka pro noční i víkendový útlum není exaktním ukazatelem. V rámci vyhodnocování navíc nejsou brány v úvahu např. svátky.

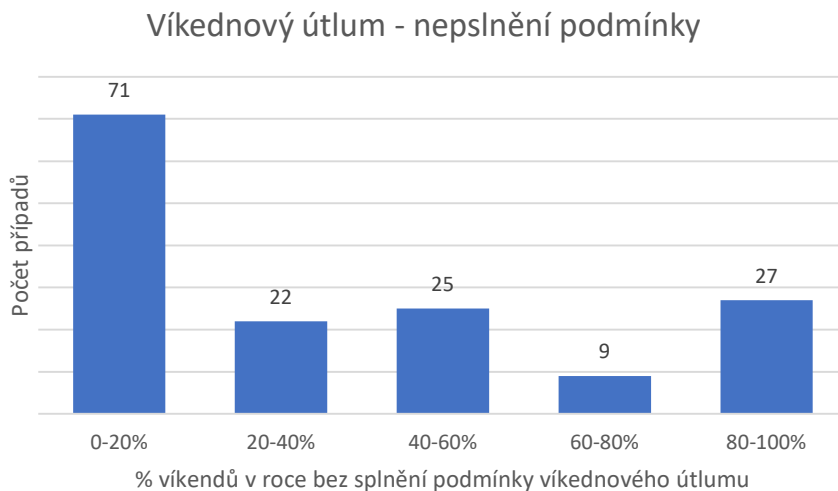


Graf 30 – Počet případů nesplňujících podmínku nočního útlumu a míra nesplnění podmínky

7.3.2. Víkendový útlum

Obdobně bylo vyhodnoceno také nastavení víkendového útlumu. Z grafu 31 je patrné, že v nejvíce případech byla podmínka víkendového útlumu splněna, nebo nebyla splněna v méně než 20 % víkendech. Zbytek případů (cca 50 % případů) se téměř rovnoměrně rozložilo do jednotlivých procentních skupin. Stejně jako noční útlum, ani u víkendového útlumu se nejedná o přesné určení případů, kde není nastaven vůbec nebo je nastaven chybně víkendový útlum. Z výsledků je možné se zaměřit na budovy a technologie, kde nebyl víkendový útlum

zaznamenán ve většině víkendů a je pravděpodobné, že k němu v těchto případech opravu nedocházelo.



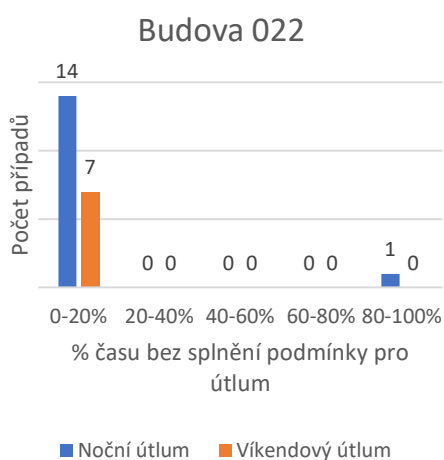
Graf 31 – Počet víkendů nesplňujících podmínku víkendového útlumu a míra nesplnění podmínky

7.3.3. Korelace mezi nočním a víkendovým útlumem

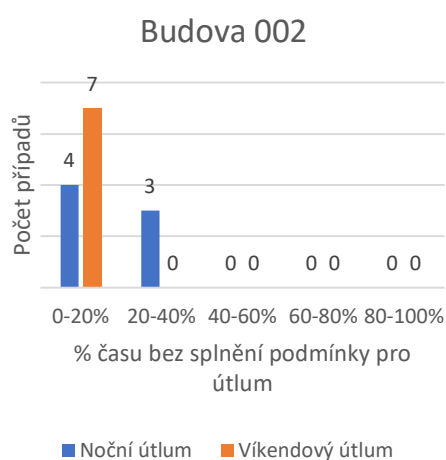
Dále bylo zkoumáno, zda mezi nočním a víkendovým útlumem je korelace. Podmínka nočního útlumu nebyla splněna ve více než 50 % pracovních dní u 34 případů. Podobný počet 40 případů nevykazovalo víkendový útlum ve více než 50 % víkendů. K situaci, kdy nebyla splněna podmínka pro noční útlum ani podmínka pro víkendový útlum ve více než 50 % času, došlo v 11 případech. Z těchto čísel se dá soudit, že mezi nastavením nočního a víkendového útlumu není přímá souvislost.

7.3.4. Vyhodnocení technologií v rámci jedné budovy

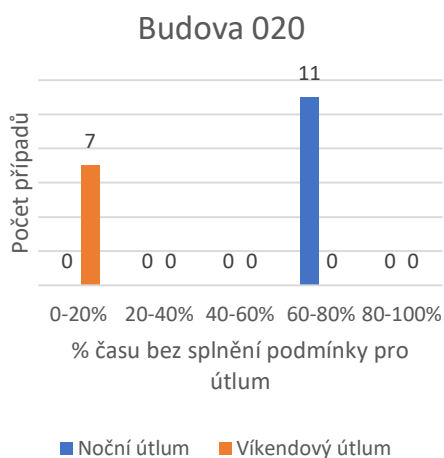
Dále bylo zjišťováno, zda technologie, které se nachází ve stejné budově, mají podobný počet dní nebo víkendů bez splnění podmínky pro útlum. Pro tento účel byly vybrány čtyři budovy s nejvíce měřicími místy. Stejným způsobem, jaký je uvedený v předchozích podkapitolách, byly vyhodnoceny tyto čtyři budovy zvlášť viz grafy 32–35. Ze sledovaných budov je patrné, že se jednotlivé technologie většinou pohybují ve stejném procentuálním rozmezí nedodržení buď jedné, nebo druhé podmínky a z toho vyplývá, že nastavení nočního nebo víkendového útlumu se pravděpodobně týká vždy celé budovy. Jedná se ale o velmi malý vzorek čtyř budov a bylo by potřeba tento závěr ověřit na více budovách.



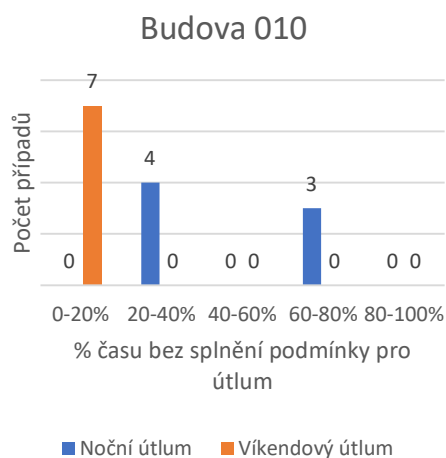
Graf 32 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 022)



Graf 33 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 002)



Graf 34 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 020)



Graf 35 – Nesplnění podmínky nočního a víkendového útlumu (Budova 010)

7.4. Závěr

Pomocí sestaveného programu v MATLAB R2021b bylo vyhodnoceno celkem 154 technologií z celkem 60 blíže nespécifikovaných administrativních budov. Byly nastaveny obecné podmínky pro automatické vyhodnocení většího množství dat v souvislosti s nastavením nočního a víkendového útlumu v administrativní budově. Klíčovou veličinou byla požadovaná teplota otopné vody. V případě nočního útlumu byl porovnáván průměr požadované teploty otopné vody v noci s průměrem této veličiny za předchozí den. Pro splnění podmínky nočního útlumu bylo nutné, aby noční průměr teploty otopné vody byl menší než průměr ze dne. Do výpočtu byly zahrnuty pouze pracovní dny. Podobným způsobem bylo vyhodnocováno i správné nastavení víkendového útlumu. Podmínkou bylo v tomto případě, aby průměr požadované teploty otopné vody v sobotu i v neděli přes den byl menší než průměr požadované teploty otopné vody v pátek před sledovaným víkendem.

Bylo zjištěno, že k nočnímu i víkendovému útlumu dochází zhruba v 50 % případů. V případě, že bylo nesplnění podmínky buď pro noční, nebo víkendový útlum zaznamenáno ve více než 20 % času, doporučuji překontrolovat nastavení teplotních útlumů pro danou technologii.

Souvislost mezi nastavením nočního útlumu a nastavením víkendového útlumu nebyla zjištěna. Pouze v 11 ze 154 případů došlo k nedodržení podmínek pro noční i pro víkendový útlum zároveň, a to ve více než 50 % času.

V čtyřech budovách s nejvíce měřicími místy bylo zjištěno, že nastavení nočního nebo víkendového útlumu v jedné budově má podobné procentuální rozmezí nedodržení podmínek pro útlumy a je pravděpodobné, že problém nastavení teplotního útlumu se týká vždy celé budovy. Pro tento závěr byl však vybrán příliš malý vzorek budov.

8. Závěr práce

Byla provedena energetická analýza historických dat se zaměřením na otopnou soustavu pro tři vybrané dále nespecifikované budovy (viz kapitoly 3–5). V rámci této analýzy byly odhaleny některé často se vyskytující chyby v otopné soustavě.

Tato znalost dala základ pro samotný návrh souboru pravidel, sloužící k vyhodnocování dat v reálném čase. Návrh byl prováděn na příkladu administrativní budovy Dock03 v Praze s cílem, aby pravidla byla univerzálně použitelná také pro jakoukoli jinou budovu podobného typu. Kromě otopné soustavy se výběr klíčových veličin a návrh způsobu vyhodnocování týká také oblasti vzduchotechniky, chlazení a zásobování vodou. Cílem návrhu bylo najít taková pravidla, která správci budovy pomohou uspořit energii, včas detekovat únik energie nebo upozornit na havárii systému.

V poslední části práce byl pomocí programu MATLAB R2021b navržen systém pro vyhodnocování většího množství historických dat se zaměřením vyhledání konkrétní chyby. Pro tento účel bylo zvoleno vyhledávání nočního a víkendového útlumu. Z celkového počtu 154 technologií z 60 administrativních budov bylo vyhodnoceno, že ve zhruba 50 % případů dochází k nočnímu útlumu a v 50 % případů dochází k víkendovému útlumu, většinou však ne v jedné budově.

Reference

- [1] N. Koseleva a G. Ropaite, „Big Data in Building Energy Efficiency: Understanding of Big Data and main Challenges,“ 1 2017. [Online].
- [2] „Big data - Wikipedia,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data.
- [3] „What Is Big Data? | Oracle,“ [Online]. Available: <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>.
- [4] K. Zhou, C. Fu a S. Yang, „Big data driven smart energy management: From big data to big insights,“ 4 2016. [Online].
- [5] L. D. A. F. S. A. J. J. D. G. e. a. M. Victoria Moreno, „Big data: the key to energy efficiency in smart buildings,“ 2016. [Online].
- [6] M. R. M. D. R. J. G.-R. M. M.-B. Miguel Molina-Solana, „Data science for building energy management: A review,“ 2017. [Online].
- [7] „BMS - Building management system - ElkoEP,“ [Online]. Available: <https://www.elkoep.com/bmsko>.
- [8] A. B. L. K. A. L. Abdellah Daissaoui, „IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey,“ 2020. [Online].
- [9] „IoT Edge Solutions for Smart Buildings,“ [Online]. Available: <https://www.iotsworldcongress.com/iot-edge-solutions-for-smart-buildings-deploy-and-scale-your-smart-building-solutions-with-rigado/>.
- [10] L. G. S. R. M. E. E. P. V. D. F. S. Granderson J., „Commercial Fault Detection and Diagnostics Tools: What They Offer, How They Differ, and What's Still Needed,“ 2019. [Online].
- [11] V. M. L. D. M. H. V. Š. O. N. J. Široký, „Diagnostika provozu otopných soustav založená na datové analýze,“ 2021. [Online].
- [12] C. prof. Ing. Jiří Holčík, „Analýza a klasifikace dat,“ 2012. [Online].
- [13] „Decision Tree Classifier explained in real-life: picking a vacation destination,“ [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/decision-tree-classifier-explained-in-real-life-picking-a-vacation-destination-6226b2b60575>.
- [14] „Support vector machines - Wikipedia,“ [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machines.
- [15] „Regression analysis - Wikipedia,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Regression_analysis.

- [16] „Cluster analysis - Wikipedia,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis#Algorithms.
- [17] J. Kučera, „Shluková analýza,“ [Online]. Available: <https://is.muni.cz/th/w8lgz/5739129/web/web/hiermet.html>.
- [18] S. L. Jiří Jarkovský, *Vícerozměrné statistické metody - Shluková analýzy*.
- [19] „Characteristics of association rules and item sets,“ [Online]. Available: <https://www.ibm.com/docs/en/db2/9.7?topic=visualizer-characteristics-association-rules-item-sets>.
- [20] S. H. K, „Classification system for time series data based on feature pattern extraction,“ 2011. [Online].
- [21] „Anomaly Detection for time series data,“ [Online]. Available: <https://github.com/DHI/tsod>.
- [22] E. M. F. a. K. W. Axhausen, „Day on Day Dependencies in Travel: First R e-sults using ARIMA Modelling,“ 2001. [Online].
- [23] „Automatizovaná kontrola provozu TZB - YouTube,“ [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=8LPqyMtl7S4&ab_channel=TZB-info.
- [24] „A Comparison of the Brick Schema and Project Haystack | by Erik Paulson | Medium,“ [Online]. Available: https://medium.com/@erik_paulson/a-comparison-of-the-brick-schema-and-project-haystack-2a9adde5013a.
- [25] „BrickSchema,“ [Online]. Available: <https://brickschema.org/>.
- [26] „Project Haystack,“ [Online]. Available: <https://project-haystack.org/>.
- [27] „MATLAB - MathWorks - MATLAB & Simulink,“ [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [28] „DOCK IN THREE, Praha 8 Libeň,“ [Online]. Available: <https://www.pragueoffices.com/properties/dock-in-three-praha-8-liben-voctarova-ul/>.
- [29] „Vliv přerušovaného vytápění na spotřebu energie při vytápění administrativní budovy - TZB-info,“ [Online]. Available: <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/21604-vliv-prerusovaneho-vytapani-na-spotrebu-energie-pri-vytapani-administrativni-budovy>.