

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky

## Inteligentní regulace vytápění rodinného domu

**Jakub Matějů**

Vedoucí: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
Studijní program: Elektronika a komunikace  
Květen 2024



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matějů** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **507351**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Inteligentní regulace vytápění rodinného domu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Intelligent Control of Heating in a Family House**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši současného stavu možností řešení a řízení vytápění v rodinném domě.
2. Navrhněte model elektrické soustavy pro měření a regulaci daného objektu.
3. Naprogramujte řízení vytápění v rodinném domě, model řešte v grafickém programovacím editoru propojováním prvků s využitím připravených driverů (logických driverů jako OR, AND apod, driverů připraveným ke konkrétním aktuátorům, například oběhovým čerpadlům apod.).
4. Vyhodnoťte dosažené parametry navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Neumann, P., Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky I, II, ČVUT.  
[2] PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings [online]. 2008, roč. 40, č. 3, s. 394–398 [cit. 2023-12-07]. ISSN 03787788. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.  
[3] DOUBRAVA, Jiří. Regulace ve vytápění. 2., upr. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2007. ISBN978-80-02-01951-0.  
[4] Etážové vytápění [online]. 2018. [cit. 2023-12-07]. <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/etazove/>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Miroslav Husák, CSc. katedra mikroelektroniky FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **08.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Poděkování

Děkuji firmě Brand-Tech s.r.o. za poskytnutí podkladů konkrétní budovy pro účely tohoto projektu, konkrétně Ing. Arch. Janu Řandovi a Ing. Jakubu Brůhovi za ochotu a spolupráci.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 14. května 2024

## Abstrakt

Práce uvádí čtenáře do problematiky vytápění obytných prostor a současných možností inteligentní regulace tohoto procesu. Popsanou teorii následně aplikuje při návrhu elektrického schématu a algoritmu pro řízení kotelny, která souží k vytápění rodinného domu. Aplikaci návrhu nakonec graficky demonstruje a komentuje dosažené parametry.

**Klíčová slova:** měření a regulace, inteligentní regulace vytápění

**Vedoucí:** prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

## Abstract

The bachelor thesis introduces readers to the issue of heating residential spaces and the current possibilities of intelligent regulation of this process. It then applies the described theory in the design of an electrical schematic and algorithm for controlling heating in a family house. Finally, it graphically demonstrates the application of the design and comments on the achieved parameters.

**Keywords:** HVAC control, smart heating regulation

**Title translation:** Intelligent Control of Heating in a Family House

## Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	<b>6 Zhodnocení dosažených parametrů navrženého systému</b>	<b>31</b>
<b>2 Technologie vytápění budov</b>	<b>3</b>	<b>7 Závěr</b>	<b>35</b>
2.1 Dělení vytápění podle umístění zdroje tepla . . . . .	3	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>37</b>
2.2 Dělení podle technologie přenosu tepla . . . . .	5		
2.3 Dělení podle typu zdroje tepla . . .	5		
<b>3 Regulace</b>	<b>7</b>		
3.1 Regulátory . . . . .	8		
3.1.1 ON/OFF regulátory . . . . .	8		
3.1.2 PID regulátory . . . . .	8		
3.2 Regulace vytápění objektů . . . . .	10		
3.2.1 Nízkoúrovňová regulace . . . . .	10		
3.2.2 Nadřazená regulace . . . . .	10		
3.3 Regulační prvky topných systémů	12		
3.3.1 Senzory . . . . .	12		
3.3.2 PLC . . . . .	13		
3.3.3 Aktuátory . . . . .	13		
<b>4 Návrh elektrické soustavy pro měření a regulaci</b>	<b>15</b>		
4.1 Zadané topenářské schéma . . . . .	15		
4.2 Navržená elektrická soustava . . .	15		
4.2.1 Senzory . . . . .	15		
4.2.2 Aktuátory . . . . .	17		
4.2.3 PLC . . . . .	19		
<b>5 Návrh algoritmu pro měření a regulaci</b>	<b>21</b>		
5.1 Software iQtec Architekt . . . . .	21		
5.2 Systémový driver a driver CPU .	21		
5.3 Regulace jednotlivých aktuátorů	21		
5.3.1 Tepelné zdroje . . . . .	22		
5.3.2 Oběhová čerpadla . . . . .	25		
5.3.3 Ventily . . . . .	25		
5.4 Bezpečnostní funkce a statistika systému . . . . .	27		
5.4.1 Topný kabel . . . . .	27		
5.4.2 Chyba TČ . . . . .	27		
5.4.3 Elektroměry a kalorimetry, výpočet COP . . . . .	28		
5.4.4 Statistické informace o systému . . . . .	28		
5.4.5 Grafický náhled algoritmu . . .	28		

## Obrázky

## Tabulky

2.1	Etážové vytápění [5] .....	4
2.2	Ústřední topení [6] .....	4
2.3	Graf zastoupení způsobu vytápění v ČR podle dat ze sčítání lidu z roku 2021 [7] .....	5
3.1	Graf kmitání reálné hodnoty kolem nastavené hodnoty při regulaci ON/OFF regulátorem. [20] .....	9
3.2	Blokové schéma PID regulátoru [22] .....	9
3.3	Ekvitermní křivky [23] .....	11
3.4	Výsledky denního trhu s elektřinou v ČR - 04.02.2024 [25] .....	11
4.1	Převodní charakteristika senzoru Pt1000 .....	16
4.2	Schéma kotelny .....	20
5.1	Přepínání pracovního módu tepelného čerpadla .....	22
5.2	Žádost o topení tepelným čerpadlem .....	23
5.3	Regulace výkonu tepelného čerpadla .....	23
5.4	Detekce topení v krbu a spuštění oběhového čerpadla .....	24
5.5	Spouštění elektrokotle .....	24
5.6	Regulace cirkulačního oběhového čerpadla .....	25
5.7	Regulace třícestného zónového uzávěru u TČ .....	26
5.8	Regulace třícestného zónového uzávěru u krbu .....	27
5.9	Spouštění topného kabelu .....	27
5.10	Přehled algoritmu 1 .....	29
5.11	Přehled algoritmu 2 .....	29
6.1	Elektrický příkon, tepelný výkon a topný faktor TČ .....	31
6.2	Časový průběh natápění nádrží pomocí TČ a krbu .....	32
6.3	Časový průběh spínání OČ krb a ventilu krb .....	32
6.4	Časový průběh topení .....	33





# Kapitola 1

## Úvod

Inteligentní regulace vytápění a energetická efektivita je čím dál tím zásadnějším faktorem při výstavbě nových budov i při jejich rekonstrukci a to z důvodů ekonomických i ekologických. Ve všech vyspělých zemích světa tvoří spotřeba energií budov 20-40 % celkové spotřeby energií a v Evropské unii i Spojených státech amerických dokonce přesahuje množství energie spotřebované v průmyslu i dopravě [1]. Podle Dextera [2] by zařazení efektivního energetického managementu budov, tedy především regulace vytápění a chlazení, mohlo snížit celkovou spotřebu energií EU až o 8 %. Při využití jednoduché ekvitermní regulace lze dlouhodobě docílit úspory o 10-20 % z nákladů na vytápění [3]. Navíc kromě ekonomicko-ekologické výhody přináší konečnému uživateli objektu inteligentní regulace často i zvýšený komfort a bezpečnost.

Práce uvádí dělení systémů vytápění, jejich způsob využití, klasifikuje způsoby regulace a jednotlivé regulátory. Dále na reálném příkladu rodinného domu teorii aplikuje a navrhuje vhodný systém regulace kotelny pro vytápění jednoho konkrétního objektu. Dosažené parametry systému následně graficky demonstruje.



## Kapitola 2

### Technologie vytápění budov

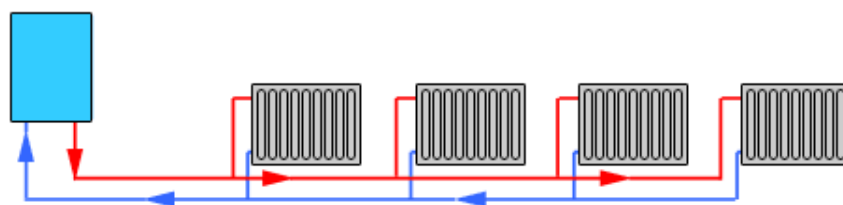
Vytápění je klíčovým prvkem pohodlí v domácnosti, poskytujícím teplotní komfort během chladných období a vytvářejícím příjemné prostředí pro obyvatele. Efektivní vytápění má zásadní vliv na zdraví, eliminuje rizika podchlazení a pomáhá udržovat optimální teplotu prostoru pro fungování lidského organismu. V průmyslu a podnikání hraje vytápění klíčovou roli při udržení ideálních pracovních podmínek a prevenci poškození zařízení způsobeného nízkými teplotami.

Způsoby vytápění budov dělíme na základě umístění zdroje tepla, technologie přenosu tepla a podle typu zdroje tepla.

#### 2.1 Dělení vytápění podle umístění zdroje tepla

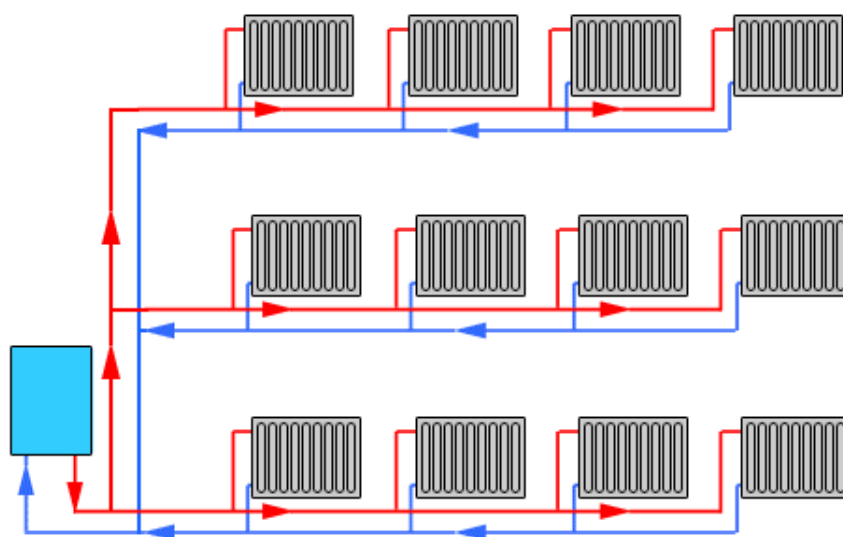
Na základě umístění zdroje tepla se systémy vytápění dělí na:

- **Lokální vytápění** - zdroj tepla se nachází přímo v místnosti, ve které je požadavek na vytápění. Díky přímému vytápění odpadá nutnost vedení teplovodního potrubí. K tomuto způsobu vytápění se přistupuje v místnostech, které jsou zřídka obývané, je v nich nemožné teplovodní vedení dodělat nebo má investor s lokálním topidlem estetický záměr. Do této kategorie spadají např. elektrické přímotopy, nástěnné infrazářiče a krby na tuhá paliva. Lokální topidla se zpravidla obtížně regulují a je potřeba je obsluhovat samostatně [4].
- **Etážové vytápění** - topidlo pro otopný systém se nachází zhruba ve stejné rovině jako prostory s požadavkem na vytápění a teplo je v rámci objektu rozvedeno trubkovými rozvody. Nejčastěji slouží jeden okruh etážového topení k vytápění jedné bytové jednotky, jednoho patra domu, kanceláří firmy apod. Výhodami etážového vytápění jsou nízké ztráty na teplovodním vedení, snadné rozdělení výdajů na topení (zpravidla je v rámci etážového vytápění za celý systém zodpovědný pouze jeden spotřebitel), poměrně snadná regulace a vysoký teplotní komfort [4]. (viz obr. 2.1)
- **Ústřední vytápění** - zdroj tepla pro celý komplex (bytový dům, vícepatrový rodinný dům, apod.) se nachází v kotelně, odkud je teplo



Obrázek 2.1: Etážové vytápění [5]

rozdáváno teplovodním vedením a stoupačkami do všech pater a místností s požadavkem na vytápění. Jedná se v podstatě o rozšířené etážové vytápění. Výhodou ústředního vytápění je nutnost investice pouze do jednoho kotelnového systému, nevýhodou jsou větší teplotní ztráty na vedení (v závislosti na vzdálenosti vytápěných místností od kotelny) a nutnost spotřebu tepla rozdělovat mezi více spotřebitelů [4]. (viz obr. 2.2)



Obrázek 2.2: Ústřední topení [6]

- **Dálkové vytápění** - teplotní zdroj je umístěn mimo vytápěný objekt v samostatné budově (teplárna, kotelna, výměník tepla). Do vytápěných objektů je teplo přenášeno teplovodními rozvody, kde je pak do místností předáváno otopnými tělesy. Tento způsob vytápění eliminuje potřebu údržby a servisu individuálních topných zařízení, což přispívá ke zjednodušení správy otopného systému. Nevýhodou jsou značné ztráty na teplovodech a tím často zvýšená cena dodávky tepla a v případě havárie i odstávka tepla pro větší množství spotřebitelů [4].

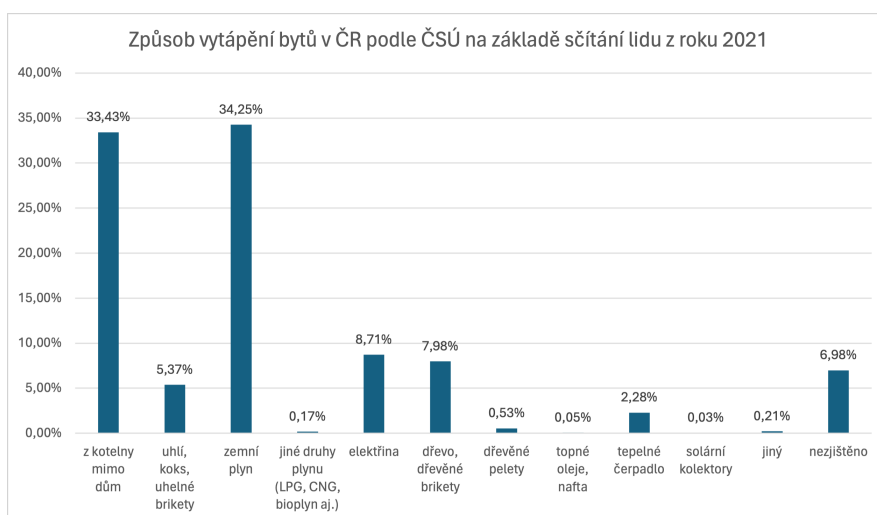
## 2.2 Dělení podle technologie přenosu tepla

Podle technologie přenosu tepla se zdroje dělí na [4]:

- **Otopná tělesa** - teplovodné rozvody vedou teplo od zdroje přímo do těles (nejčastěji radiátorů), kde se předává do místnosti. Regulace radiátorů probíhá přímo na nich pomocí termostatických hlavic, které na základě průtoku regulují vyzařované teplo.
- **Podlahové vytápění** - teplé médium je vedeno v podlaze do místnosti s požadavkem na topení, kde je z trubky vytvořena „spirála“, která teplo vyzařuje. Regulace teploty je prováděna směřováním teplé vody z nádrže se studenou vodou pomocí směšovačů, tak aby nebylo médium v podlaze příliš horké a mělo přibližně teplotu, která je v prostoru požadována.
- **Stěnové vytápění** - podobný způsob jako podlahové vytápění, akorát jsou teplovodné rozvody umístěny ve stěnách.
- **Teplovzdušné vytápění** - vytápění místností pomocí vzduchu ohřívávaného v teplovzdušných topidlech, například ve vzduchotechnických jednotkách, elektrických přímotopech nebo klimatizačních jednotkách.

## 2.3 Dělení podle typu zdroje tepla

Jednotlivé zdroje tepla mohou být děleny na základě několika faktorů. Tato práce uvádí dělení na základě typu paliva.



**Obrázek 2.3:** Graf zastoupení způsobu vytápění v ČR podle dat ze sčítání lidu z roku 2021 [7]

- **Kotle na tuhá paliva** - jako palivo se využívají hořlavé látky v pevném skupenství jako např. dřevo, uhlí, brikety apod. Kotle na tuhá paliva

dosahují účinnosti 50-85% [8] a v ČR je využívá jako primární zdroj tepla kolem 14% bytů [7]. Regulace otopného systému, který jako primární zdroj tepla využívá právě kotle na tuhá paliva, případně na paliva kapalná, je zpravidla velmi obtížná, protože výkon takového zdroje přímo závisí na přikládání, které většinou nepravidelně vykonává člověk.

- **Kotle na kapalná paliva** - k výrobě tepla se využívá spalování kapalných hořlavín jako jsou topné oleje a nafta. Podle českého statistického úřadu je v roce 2021 jako primární zdroj tepla využívala necelá desetina procenta bytů v ČR [7].
- **Plynové kotle** - nejčastější způsob vytápění obytných prostor v ČR, zdroje tepla na bázi spalování hořlavých plynů, podle českého statistického úřadu využívalo jako primární zdroj více než 34% bytů v ČR [7]. Dosahují účinnosti 80-98% [9]. Jejich regulace je možná - dá se ovládat přívod plynu, zapalování i výkon kotle.
- **Elektrické kotle** - přestože dosahují účinnosti bezmála 100%, v ČR je využívalo v roce 2021 pouze necelých 9% bytů [7]. To je především z důvodu, že cena za MWh elektřiny je téměř trojnásobná oproti ceně za MWh plynu [10]. Jejich výhodou je pak například poměrně jednoduchá konstrukce, tichý chod a snadná regulace výkonu.
- **Krby a kamna** - jiná forma kotlů na tuhá paliva, často s důrazem na estetiku, vzhledem k umístění přímo v obytném prostoru. Pro ohřev teplovodného média se většinou využívá výměník, který může být umístěn v ohništi nebo až na kouřovodu. Vzhledem k výkonu bývá vhodný pouze pro objekty s nízkým požadavkem na topení, případně pouze na ohřev teplé užitkové vody v objektu apod.
- **Tepelná čerpadla** - fungují na principu tepelné výměny dvou prostředí. Využívá principu obráceného Carnotova cyklu, probíhajícího ve čtyřech cyklech (vypařování - komprese - kondenzace - expanze). Účinnost tepelného čerpadla se vyjadřuje topným faktorem, počítaným z následujícího vzorce [11]:

$$COP = \frac{|Q|}{\Delta P}, \quad (2.1)$$

kde  $COP$  je topný faktor,  $Q$  je výroba tepla tepelným čerpadlem v kWh a  $P$  je spotřeba elektrické energie v kWh. Topný faktor je pak zpravidla větší než jedna. Tepelné čerpadlo může pracovat i v reverzním módu, kdy přiváděné médium ochlazuje.

- **Solární vytápění** - může být realizováno dvěma způsoby - solárními kolektory, kde se solárním zářením přímo ohřívá teplovodné médium a fotovoltaickým systémem, kde se sluneční záření přeměňuje na elektrickou energii, a ta je následně přeměněna na energii tepelnou. Solární kolektory můžeme dále dělit například na základě teploty nosné látky na kapalné a vzduchové [12].

## Kapitola 3

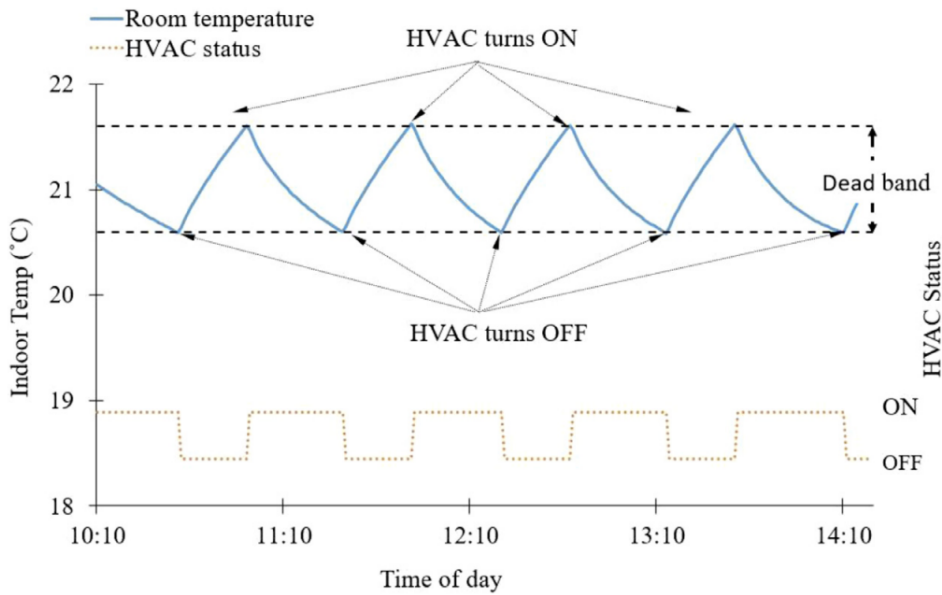
### Regulace

Regulace vytápění obytných prostor je v dnešní době zajišťována mnoha různými způsoby, které je možné podle Aframa [13] dělit do následujících skupin:

- **Klasická regulace** - sem spadají regulace pomocí ON/OFF regulátorů a PID regulátorů, kterým se budu dále detailně věnovat, protože následně využívám jejich softwareovou analogii i ve svém algoritmu pro řízení kotelny.
- **Hardwareová regulace** - základem je návrh regulátoru, který funguje optimálně i v případě velkých změn vstupních parametrů a to konstantně v čase. V teorii pro plánovaný teplotní rozdíl, je nelineární systém rozdělen do téměř lineárních částí. Pro každou takovou část je pak navržen PI nebo PID regulátor s vhodnými parametry, například pro regulaci klasických radiátorových otopných systémů s elektrotermickými hlavicemi [14].
- **Softwareová regulace** - např. regulace založená na fuzzy logic regulátorech, které rozhodují na základě *if-then-else* logiky [15] nebo na neuronových sítích, které jsou trénované na parametrických datech daného systému, a navržený algoritmus je výsledkem black box modelování a nevyžaduje hlubší porozumění fyzikální podstatě regulačního a regulovaného procesu [16].
- **Hybridní regulace** - kombinace hardwareové a softwareové regulace. Z obou typů regulace si přináší jejich výhody i nevýhody - návrh komponent softwareové regulace vyžaduje expertízu a dostupnost dostateku trénovacích dat a hardwareové komponenty je složité dobře nastavit při regulaci vytápění z důvodu velkého rozptylu pracovních podmínek, výsledkem však může být optimálně fungující systém regulace, kterého by bez obou složek nebylo možné dosáhnout [13].
- **Ostatní způsoby regulace** - další regulační techniky jako například využití pulzně modulačního adaptivního regulátoru (zkráceně PMAC), který se využívá výhradně pro on/off systémy. Jeho účelem je snížit frekvenci přepínání ON/OFF stavů s cílem snížit kmitání reálného parametru (podrobněji viz 3.1.1) a zároveň snížit náklady na provoz spojené







**Obrázek 3.1:** Graf kmitání reálné hodnoty kolem nastavené hodnoty při regulaci ON/OFF regulátorem. [20]

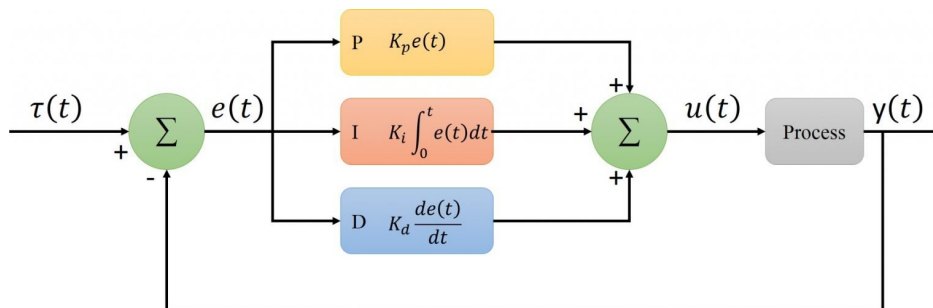
následovný:

$$e(t) = \tau(t) + (-1)y(t). \quad (3.1)$$

Chybový signál  $e(t)$  je dále přiveden na vstup třech paralelních bloků označovaných jako  $P$ ,  $I$ ,  $D$ . Každý blok provádí s chybovým signálem výpočet a součet výsledků těchto bloků je nastaven jako nový signál pro regulaci procesu, označovaný jako  $u(t)$ . Jeho výpočet je tedy následovný:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (3.2)$$

kde  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  jsou koeficienty jednotlivých složek, které je potřeba vhodně nastavit, aby systém na změny reagoval podle požadavku, který se velice liší podle způsobu použití PID regulátoru [21].



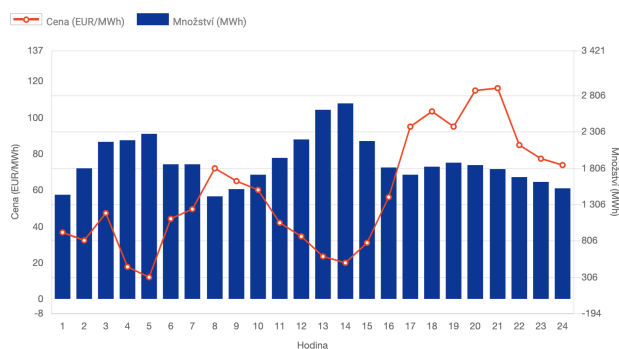
**Obrázek 3.2:** Blokové schéma PID regulátoru [22]





Obrázek 3.3: Ekvitemní křivky [23]

- Prediktivní regulace** - prediktivní regulace neřeší pouze aktuální stav systému, ale hledá optimální posloupnost zásahů pro daný horizont predikce, a to na základě modelu procesu. Základem prediktivního řízení je řešení optimalizační úlohy s daným modelem procesu [24]. Volba těchto kritérií závisí na konkrétní řešené úloze. Běžně se setkáme s požadavkem na maximalizaci objemu výroby a zisku, minimalizaci vstupních nákladů, minimalizaci množství vedlejších produktů apod. V případě vytápění budov je to nejčastěji dodržení požadovaných vnitřních teplot a snižování spotřeby energie na vytápění.
- Časová regulace a regulace na základě spotových cen** - regulace teploty místnosti a tomu odpovídajících procesů jako je řízení zdroje tepla, podle předem definovaného časového profilu a podle spotových cen energií, které se v průběhu dne mění viz. obr. 3.4. Systém může například pracovat s informací, kdy bude potřeba mít akumulaci nádrž pro topení natopenou a podle algoritmu ji do požadovaného stavu dostat ve chvíli, kdy je energie nejlevnější a v natopeném stavu ji pak pouze udržovat, což pro uživatele vyjde levněji, než ji za vyšší náklady natopět přesně ve chvíli, kdy je topení spouštěno. Jedná se o formu prediktivní regulace.



Obrázek 3.4: Výsledky denního trhu s elektřinou v ČR - 04.02.2024 [25]

### 3.3 Regulační prvky topných systémů

K regulaci topných systémů se využívá klasického propojení mikrosystémů. Vstupní informace se získává senzory, zpracování informací a řízení vykonává procesor a aktuátory jsou procesorem řízeny [26]. Tato sekce se věnuje krátkému popisu principů fungování jednotlivých prvků mikrosystému vhodného k řízení vytápění obytných prostor.

#### 3.3.1 Senzory

Senzory obecně fungují jako převodníky neelektrických veličin, jako jsou teplota, tlak apod., na elektrické, jako jsou napětí, proud, odpor, a podobně [26]. Při regulaci otopných systémů se setkáme především s následujícími senzory.

##### Teplotní senzory

Existuje jich několik druhů jako jsou odporové, polovodičové, termoelektrické a další [26]. V případě regulace vytápění se nejčastěji setkáme se senzory odporovými. Odpor senzoru při určité teplotě se dá popsat následující teplotní funkcí [27]:

$$R(\theta) = R_{\theta_0}(1 + A(\theta - \theta_0) + B(\theta - \theta_0)^2), \quad (3.3)$$

kde  $R(\theta)$  je teplotně závislý odpor,  $R_{\theta_0}$  je odpor při referenční teplotě,  $\theta$  je teplota,  $\theta_0$  je referenční teplota a  $A$  a  $B$  jsou lineární a kvadratický teplotní koeficient materiálu. V rozsahu 0-100°C lze tuto rovnici velmi dobře lineárně aproximovat, když se kvadratický koeficient  $B$  zanedbá. Za předpokladu, že referenční teplota je 0°C, dostáváme při aproximaci zjednodušenou rovnici:

$$R(\theta) = R_0(1 + A\theta). \quad (3.4)$$

Drobnou úpravou rovnice 3.4 pak dostáváme rovnici pro převod odporu na teplotu:

$$\theta(R) = \frac{R - R_0}{R_0 A}. \quad (3.5)$$

Vyhodnocení teploty probíhá v PLC, kam je senzor připojen a to pomocí převodu odporu na napětí.

##### Tlakové senzory

Tlakové senzory se v topných systémech využívají pro kontrolu tlaku topného média a případnou signalizaci přetlaku či podtlaku systému. Princip tlakových senzorů je založen na vyhodnocování elektrického odporu několika tenzometrů na měřicí membráně. Tenzometry vlivem deformace membrány mění svůj elektrický odpor a měření tlaku je tedy předmětem převodu měřeného odporu na napětí. Senzory mívají mikroprocesor pro vyhodnocení tlaku zabudovaný v sobě a s připojeným PLC běžně komunikují analogově v rozmezí 0-10V [28].

## ■ Elektroměry a kalorimetry

Elektroměry a kalorimetry jsou měřicí přístroje, které slouží k monitorování spotřeby elektrické a tepelné energie. V případě regulace topných systémů se běžně do soustavy integrují, přestože pro regulaci nejsou důležité a to z toho důvodu, že majiteli objektu poskytují data o spotřebě, případně výrobě energie a mohou například sloužit k rozpočtu finančních nákladů mezi několik majitelů bytových jednotek nebo k určení topného faktoru tepelného čerpadla [29].

### ■ 3.3.2 PLC

Zkratka PLC je z anglického *programmable logic controller*. Je to speciální forma počítačového řídicího systému na bázi mikroprocesoru, který nepřetržitě sleduje stav vstupních zařízení - senzorů, a na základě vlastního programu rozhoduje o řízení výstupních zařízení - aktuátorů. U PLC rozlišujeme dva typy vstupů a výstupů - digitální a analogové. Digitální vstupy a výstupy mohou dosahovat pouze stavů 0 nebo 1 a to podle provozního napětí PLC, zatímco analogové vstupní a výstupní svorky na sobě mívají napětí v určitém rozmezí, například 0-10V. Sensory a aktuátory mohou být také sběrnicového typu, proto jednotky mívají svorky vyhrazené pro jednotlivé sběrnicové protokoly, například ModBus.

### ■ 3.3.3 Aktuátory

Poté, co byly senzory potřebné veličiny změřeny a převedeny na elektrické, procesor rozhodne, jaký bude následující postup podle implementovaného algoritmu. Tento postup je aplikován ve formě změny stavu některého ventilu, uvedení do chodu tepelného čerpadla nebo regulace jiného koncového bodu. Tyto koncové body nazýváme aktuátory [30]. Obecně se jedná o převodníky elektrických veličin na neelektrické, jinak řečeno jsou to elektrické spotřebiče, které můžeme regulovat různými způsoby [26].

### ■ Teplotní zdroje

Teplotní zdroje lze regulovat různými způsoby, některé zdroje naopak regulovat nelze. Běžně se setkáme se zdroje, které se regulují pouze stavem 0 a 1, dále zdroji, jejichž výkon se reguluje analogově, například napětím 0-10V, případně zdroje s vlastní řídicí jednotkou která může například umožňovat různé způsoby sběrnicové komunikace.

### ■ Ventily

Ventily slouží v topném systému pro otevírání a uzavírání okruhů, případně ke směšování teplé a studené vody pro dosažení požadované teploty vody. Nejčastěji se setkáme s dvoucestnými a třícestnými ventily. Dvoucestné slouží k uzavěru potrubí nebo regulaci průtoku, třícestné slouží ke směřování vstupní

vody do jednoho ze dvou výstupních potrubí, případně k rozdělení vstupního proudu mezi dvě výstupní potrubí nebo slučování dvou vstupních potrubí do jednoho výstupního podle poměru. Pro regulaci se využívá motorických pohonů pro ventily, které se regulují stavem 0-1, pokud jde o ventily uzavírací, nebo 0-10V v případě plynule regulovatelných ventilů.

#### ■ Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla zajišťují cirkulaci topného média v systému, Pro převod elektrické energie na mechanickou se v nich využívá elektromotorů, které roztáčí turbínu, která médium odstředivou silou vytlačuje. V regulaci se zaměřujeme právě na elektromotor, který je u menších čerpadel regulován pomocí relé nebo stykačů pouze jako ON/OFF. Větší oběhová čerpadla mohou mít kromě plynulého ovládání výkonu pomocí analogového výstupu PLC nebo sběrnicového připojení také kontakt pro indikaci poruchy čerpadla.

#### ■ Relé a stykače

Relé a stykače jsou součástky, které fungují jako elektromagneticky ovládané spínače. Při buzení cívky relé nebo stykače vznikne magnetické pole, kterým je přitažena kotva a kontakty se sepnou. Relé se používá pro spínání nižších výkonů jako je například připojení bezpečnostních kontaktů čidel, stykač naopak pro spínání vyšších výkonů jako jsou například třífázové motory, elektrokotle, topné tyče apod.

## Kapitola 4

### Návrh elektrické soustavy pro měření a regulaci

Návrh elektrické soustavy vychází z topenářského schématu kotelny. Důležité je v kotelně vhodně rozmístit senzory teplot, na základě kterých je celá topná soustava regulována.

#### 4.1 Zadané topenářské schéma

Ve schématu (obr. 4.2) můžeme vidět kombinaci třech tepelných zdrojů, které se v rodinném domě využívají pro ohřev teplé užitkové vody (= TUV) a pro vytápění obytných prostor. Konkrétně je to tepelné čerpadlo o výkonu 8kW s deskovým výměníkem, elektrokotel, zaskakující v případě, že tepelné čerpadlo nestíhá natápět obě nádrže na požadovanou teplotu (běžně bývá tento elektrokotel nahrazován také topnými tyčemi instalovanými přímo v nádržích) a krb s výměníkovou vložkou, u kterého se využívá teplo pouze v případě, že se v krbu právě topí - jedná se tedy o jakýsi sekundární zdroj tepla. V kotelně se nacházejí dvě akumulární nádoby - pro TUV a pro podlahové topení, které je v objektu instalováno jako přenosová technologie tepla z kotelny do objektu. V domě se díky tepelnému čerpadlu dá kromě vytápění také chladit. I v sezóně, kdy se přechází z topení na chlazení je však potřeba udržovat bojler natopený, aby v domě fungoval rozvod teplé užitkové vody.

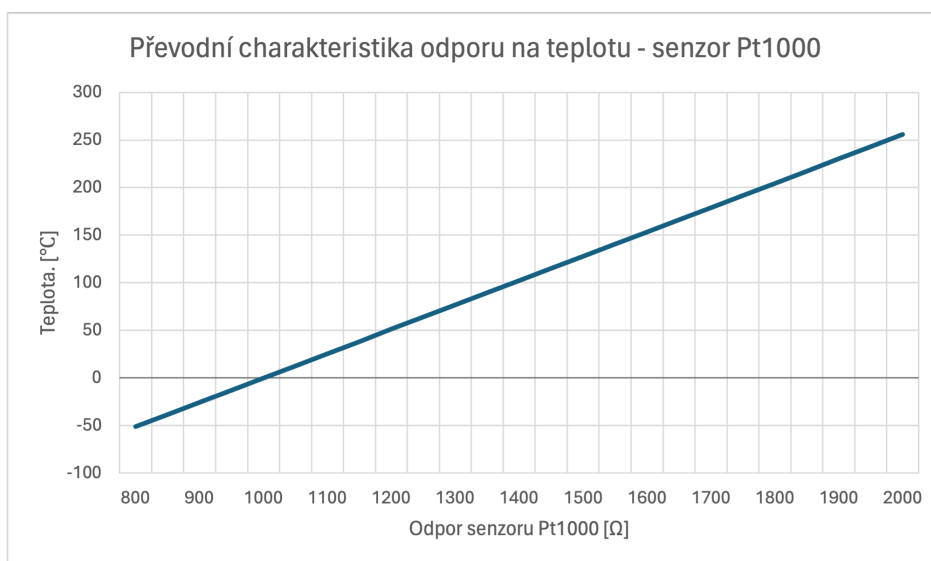
#### 4.2 Navržená elektrická soustava

Elektrická soustava pro měření a regulaci obsahuje množství senzorů a aktuátorů a jeden řídicí prvek. Senzory poskytují řídicímu procesoru veškeré údaje, které jsou pro regulaci důležité znát a dále upozorňují na bezpečnostní rizika. Aktuátory jsou procesorem řízeny a ovlivňují chod systému.

##### 4.2.1 Senzory

- **Teplotní senzory** V projektu se využívá senzorů Pt1000 - tzn. platinových senzorů s odporem  $1000\Omega$  při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ . Při dosažení hodnot pro senzor Pt1000, které jsou  $A = 3,91 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  [27] a  $R_0 = 1000\Omega$

do rovnice 3.5, dostáváme převodní charakteristiku senzoru, která je na obrázku 4.1.



**Obrázek 4.1:** Převodní charakteristika senzoru Pt1000

V PLC je pak odpor vyhodnocován pomocí dvouvodičového měření odporu, kdy se senzor napájí konstantním proudem a odpor je převeden na napětí. V PLC pro nás tedy každý senzor představuje jeden analogový vstup. Rozmístění teplotních senzorů musí pokrýt veškeré teplotní údaje, které jsou důležité pro regulaci a další teplotní údaje, které jsou pro správce a uživatele zajímavé. Prakticky jsou tedy senzory umístěny v obou akumulacích nádobách v horní a dolní části nádoby, u krbového výměníku (viz. 4.2.2) a na topné a zpětné větvi z krbového výměníku, v rozdělovači podlahového topení, kvůli regulaci směšované vody do podlahového vytápění, na topné a zpětné větvi u tepelného čerpadla a jeden teplotní senzor je umístěn na venkovní fasádě objektu, pro regulaci pomocí ekvitermních regulačních křivek viz. sekce 3.2.2.

- **Elektroměry a kalorimetry** - elektroměry slouží k měření elektrického příkonu. Podobně kalorimetry slouží k měření topného výkonu. V případě vytápění tepelným čerpadlem jsou pro nás obě tyto hodnoty důležité pro výpočet topného faktoru podle rovnice 2.1. Elektroměr je realizován hardwareově, je instalován jako samostatný měřicí přístroj. Kalorimetr je realizován softwareově - výpočet spotřeby tepla probíhá pomocí teplot topné a zpětné vody a okamžitého průtoku, který udává pulzní průtokoměr. Elektroměr je instalován pouze pro měření elektrického příkonu TČ, kalorimetry, respektive průtokoměry, jsou v kotelně instalovány hned dva - jeden pro měření topného výkonu TČ a jeden pro měření topného výkonu krbu s výměníkem. Data z měřidel získáváme pomocí pulzů - každý z měřicích přístrojů má definovaný počet pulzů na spotřebovanou jednotku, například 800 pulzů na 1kWh elektřiny. V jednotce PLC tak



musíme pro jeden elektroměr a dva kalorimetry počítat tři digitální vstupy typu pulz. Pro měření elektrického příkonu elektrokotle není potřeba zvláštní elektroměr, protože funguje pouze ve stavech zapnuto a vypnuto a jeho příkon ve stavu zapnuto známe, spotřeba je tak jednoduše počítána vynásobením příkonu časem, po který je elektrokotel v chodu.

- **Chybová hlášení TČ** Řídicí jednotka tepelného čerpadla nám kromě ovládání TČ (viz. 4.2.2) umožňuje také přijímat informace o chodu na dvou kontaktech. Konkrétně jsou to:
  - Kontakt pro čtení stavu TČ. Čtení stavu 0 pro normální chod 1 pro odmrazování. Představuje pro nás jeden digitální vstup do PLC.
  - Kontakt pro čtení poruchy TČ. Čtení stavu 0 pro bezchybný stav nebo 1 pro poruchový stav. Opět představuje jeden digitální vstup.

## ■ 4.2.2 Aktuátory

### ■ Teplotní zdroje

- **Tepelné čerpadlo** - instalováno je tepelné čerpadlo značky Mitsubishi o výkonu 8kW s instalovanou řídicí jednotkou PAC-IF012B-E. Na jednotku jsou z PLC vyvedeny následující kontakty:
  - Kontakt pro ovládání pracovního módu TČ. Zapsání stavu 0 pro mód topení nebo 1 pro chlazení.
  - Kontakt pro ovládání výkonu. Výkon v rozmezí 0-100% je řízen napětím na přívodním vodiči proti zemi a to v rozmezí 0-10V.

Dále se u tepelného čerpadla vyskytuje tzv. topný kabel, který má za účel zabránit zamrznání odváděného kondenzátu, viz sekce ostatní 4.2.2.

- **Krb s výměníkem** - jak bylo zmíněno v 2.3 krby s výměníkem nejsou regulovatelný prvek. V systému však potřebujeme vědět, zda se v krbu topí nebo ne a toho je docíleno pomocí teplotního senzoru, umístěného přímo u krbové výměňkové vložky.
- **Elektrokotel** - plní zde funkci sekundárního zdroje tepla, to znamená, že v případě, že TČ nestíhá ohřívat akumulární nádoby dostatečně rychle, k jeho chodu se elektrokotel přidá a nádrže rychle dohřívá. Instalovaný elektrokotel má výkon 6kW a je spínán třífázově přes stykač. V PLC to pro nás znamená jeden digitální výstup typu 0/1.

### ■ Ventily

Ventily mají za úkol směřování topného média do konkrétních větví, případně směšování média ze dvou větví do jedné. V topném systému se nachází tři druhy ventilů - třícestné zónové uzávěry, třícestný regulační ventil a termostatický třícestný ventil.

Termostatický ventil není součástí elektrické soustavy, pouze se sám při dosažení 60°C přeorientuje. Slouží zde pro zamezení prudkého ochlazování krbového výměníku. Dokud se na něm nedosáhne teploty 60°C, udržuje krbový výměník v krátkém okruhu. Teprve jakmile je tato teplota překročena, dovolí nám termostatický ventil pouštět teplonosné médium do bojleru nebo akumulární nádrže.

Třícenčné zónové uzávěry jsou v projektu tři. Dva jsou na potrubí tepelného čerpadla a jeden na potrubí krbového výměníku. Všechny mají za úkol směřovat médium ze zdroje do jedné ze dvou nádob - pro TUV nebo pro podlahové topení. Pro regulaci těchto uzávěrů využijeme pro každý z tepelných zdrojů jeden digitální výstup z PLC, kterým budeme spínat relé, na kterém jsou servopohony připojeny. Přestože jsou v projektu tři zónové uzávěry, budeme potřebovat pouze dva řídicí signály, protože oba uzávěry u TČ se spínají stejným signálem.

Třícenčný regulační ventil slouží v systému pro regulaci teploty vody, která se použije do podlahového topení. Na rozdíl od třícenčných zónových uzávěrů je jeho poloha řízena plynule signálem 0-10V a udává, jak se má výstupní voda směřovat z teplé vody z akumulární nádrže a chladnější vody, která se z okruhu podlahového topení vrací zpět. V projektu pro nás tedy znamená jeden analogový výstup.

#### ■ Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla zajišťují průtok média danou větví. V kotelně jsou instalována tato čerpadla:

- **OČ Tepelné čerpadlo** - nachází se za deskovým výměníkem a slouží k ohřevu akumulárních nádrží pomocí tepelného čerpadla.
- **OČ Krb** - podobně jako OČ Tepelné čerpadlo, ale ohřevu je v tomto případě dosaženo pomocí ohřevu média v krbovém výměníku.
- **OČ Topení** - slouží k rozvodu teplovodného média z akumulární nádoby do objektu.
- **OČ Cirkulace TUV** - slouží k dodávce teplé vody z bojleru do celé rozvodné sítě teplé užitkové vody v objektu. Kromě dodávky je využíváno také pro udržování vody v potrubí teplé, tak aby uživatel nemusel vždy odtáčet veškerou vychladlou vodu v okruhu.

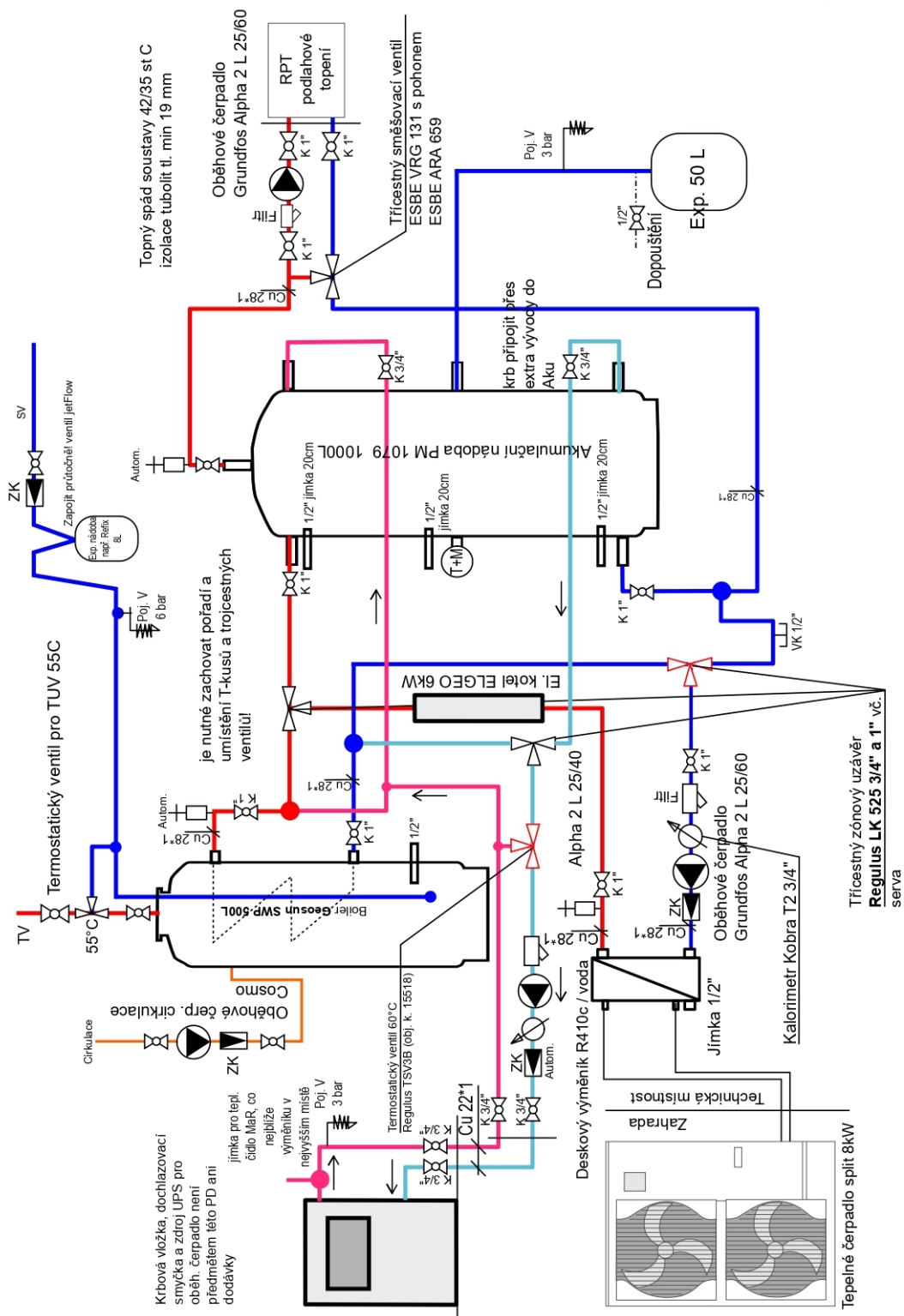
#### ■ Ostatní

Posledním regulovaným prvkem v zadané kotelně je topný kabel. Jedná se o odporový topný článek, který se při průchodu proudem ohřívá. Slouží jako ochrana proti zámrazu odváděného kondenzátu z venkovní jednotky tepelného čerpadla. Spínán je přes relé, v systému tak představuje jeden digitální výstup 0/1.

### ■ 4.2.3 PLC

PLC využité v tomto projektu je jednotka iQC12A od firmy iQtec. Disponuje 6 digitálními výstupy, třemi sběrnicovými linkami Q. Pro obsluhu všech zmíněných vstupních a výstupních kontaktů se využije přidaná aktuátorová jednotka QM82A od stejného výrobce, která disponuje další sadou digitálních i analogových vstupů a s PLC komunikuje sběrnicově po sběrnici Q.

#### 4. Návrh elektrické soustavy pro měření a regulaci



Obrázek 4.2: Schéma kotelny

## Kapitola 5

### Návrh algoritmu pro měření a regulaci

V této sekci se věnuji popisu návrhového softwaru iQtec Architekt, ve kterém byl projekt zpracován. Dále popisují funkční princip jednotlivých částí algoritmu.

#### 5.1 Software iQtec Architekt

Jedná se o software, sloužící k přípravě a konfiguraci algoritmů pro regulaci pomocí PLC jednotek firmy iQtec. Algoritmus se buduje propojováním vstupů a výstupů jednotlivých systémových driverů. To jsou například logické drivery jako OR, AND, matematické drivery, drivery představující PID regulátory a drivery připravené ke konkrétním aktuátorům, například oběhovým čerpadlům apod. Budování algoritmu probíhá přímo na grafickém podkladu kotelny a umožňuje tak udržovat lepší přehled o způsobu regulace jednotlivých částí kotelny.

#### 5.2 Systémový driver a driver CPU

Základní částí algoritmu je systémový driver *SYSTEM* a PLC driver *CPU*. Driver *CPU* poskytuje všem podřazeným driverům hodnoty konstantních 0 a 1, kde jsou potřeba. Dále poskytuje informaci o tom, zda je povoleno systémem topit nebo chladit a sběrníkovým zařízením přiřazuje číslo sběrnice, na které jsou zapojena.

Driver *SYSTEM* poskytuje ostatním driverům informaci o venkovní teplotě a bezchybném fungování softwaru nahraného na PLC.

#### 5.3 Regulace jednotlivých aktuátorů

Další zásadní částí algoritmu je regulace všech aktuátorů. Pro přehlednost je dělím stejně jako v kapitole 4 v sekci 4.2.2 na tepelné zdroje, ventily a oběhová čerpadla.

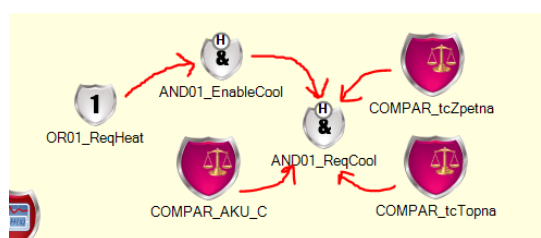
### 5.3.1 Tepelné zdroje

Každému z teplotních zdrojů topného systému se budu věnovat podrobně ve vlastní sekci.

#### Tepelné čerpadlo

Jak bylo zmíněno v sekci 4.2.2, u tepelného čerpadla řešíme dva výstupy - provozní mód a výkon kompresoru.

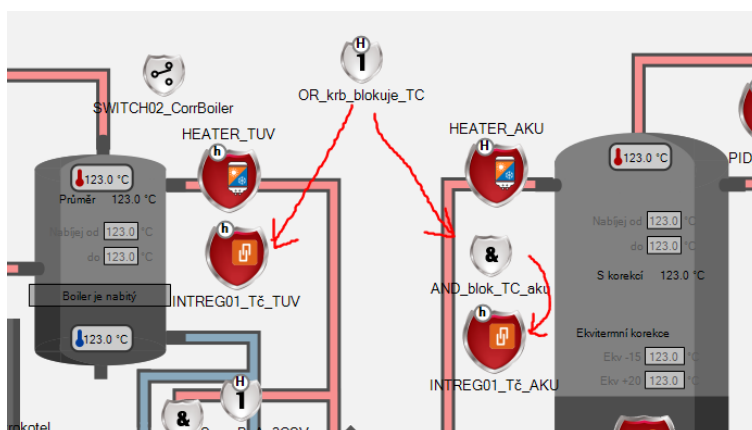
Přepínání pracovního módu tepelného čerpadla se řeší v logickém bloku *AND01-ReqCool* který dává 1 pokud je ze systému požadavek na chlazení a jsou splněny náležitě podmínky a 0 v případě, že nějaká z podmínek splněna není. Tyto podmínky jsou, že je chlazení v první řadě povoleno v logickém bloku *AND01-EnableCool*, dále že průměrná teplota v akumulární nádobě má více než 15°C a že nedochází k zamrznání výměníku tepelného čerpadla. Driver *AND01-EnableCool* rozhoduje, zda je chlazení povoleno na základě dvou proměnných: je aktivní chladicí sezóna a zároveň zrovna není požadavek na topení ani v jedné z nádrží. Výstup z logického bloku *AND01-ReqCool* je přiveden přímo na řídicí jednotku TČ, kde k přepínání dochází. Schéma kaskády je naznačeno na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Přepínání pracovního módu tepelného čerpadla

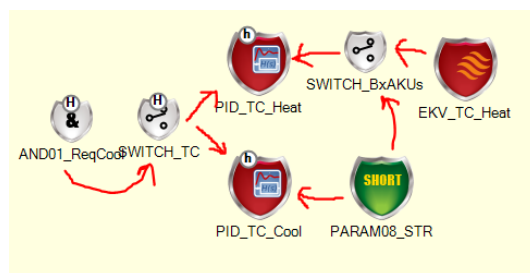
Žádost o topení tepelným čerpadlem přichází z driverů *INTREG01-Tč-TUV* a *INTREG01-Tč-AKU*, které tuto žádost vydávají na základě měřených teplot v dané nádrži. Tento požadavek může být zároveň blokován vstupní hodnotou. U obou nádob blokujeme požadavek v případě, že se právě topí v krbu a u akumulární nádrže blokujeme požadavek na topení navíc také když je systém přepnut do chladicí sezóny, tehdy je natápění akumulární nádoby nežádoucí. Sběr požadavku na topení je znázorněn na obrázku 5.2.

Výkon tepelného čerpadla se reguluje různě podle pracovního módu. V případě, že je tepelné čerpadlo v módu topení, je jeho výkon řízen PID regulátorem *PID-TC-Heat*, pokud je tepelné čerpadlo v módu chlazení, je jeho výkon řízen PID regulátorem *PID-TC-Cool*. Přepínání mezi těmito dvěma regulátory je dosaženo pomocí logického bloku *SWITCH-TC*, který podle vstupního parametru *AND01-ReqCool*, který nám dává 1, když je TČ v chladícím módu a 0 pokud je v módu topení, přepíná na analogový výstup PLC hodnoty z *PID-TC-Heat* a *PID-TC-Cool*. Hlavním důvodem, proč při požadavku na chlazení nestačí pouze přehodit tepelné čerpadlo do chladícího módu je fakt, že pro chlazení v domě stačí daleko menší výkon tepelného čerpadla a rozsah



Obrázek 5.2: Žádost o topení tepelným čerpadlem

PID regulátoru *PID-TC-Cool* je tak snižen oproti *PID-TC-Heat*. Kaskáda řízení výkonu je graficky znázorněna na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3: Regulace výkonu tepelného čerpadla

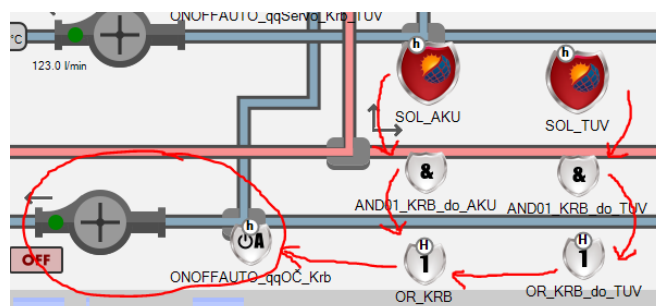
Při topení tepelným čerpadlem je dále nutné regulovat výstupní teplotu podle toho, kam se má topit. Pokud se topí do bojleru, je hodnota výstupní topné vody v PID regulátoru výkonu TČ fixně nastavena na 52°C, pokud se však topí do akumulární nádrže, teplota topné vody je nastavena podle aktuální venkovní teploty ekvitemní křivkou v driveru *EKV-TC-Heat*. Tato požadovaná teplota je opět přepínána pomocí bloku *switch* na základě toho, kam se zrovna topí. Při chlazení, které probíhá pouze do akumulární nádoby, je výstupní teplota fixně nastavena na 16,5°C.

### ■ Krb s výměníkem

U krbu s výměníkem není možné regulovat výkon zdroje, ten je regulován pouze manuálním přikládáním paliva uživatelem. Jsme však schopni detekovat, kdy se v krbu topí a na základě toho zbytek systému regulovat, svým způsobem je tedy vytápění krbem nadřazené zbytku tepelných zdrojů. Konkrétně je potřeba zařídit, že když se topí v krbu, tepelné čerpadlo se nerozběhne.

V algoritmu se využívá driverů *SOL-TUV* a *SOL-AKU*, které slouží k vydání informace, že se v krbu topí a že odpovídající akumulární nádoba nepřesahuje kritické teploty. V případě, že se alespoň jeden z driverů nachází

ve stavu 1, rozběhne se oběhové čerpadlo krbové větve a blokuje se chod TČ v driverech *INTERG01-Tč-TUV* a *INTERG01-Tč-AKU*. Na obrázku 5.4 je tato detekce naznačena společně s vizualizační komponentou pro oběhové čerpadlo. Blokace chodu tepelného čerpadla krbem je vidět na obrázku 5.2.

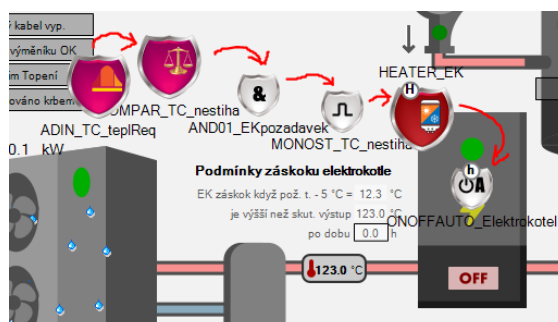


Obrázek 5.4: Detekce topení v krbu a spuštění oběhového čerpadla

## Elektrokotel

Elektrokotel v topném systému představuje sekundární zdroj tepla - je určen pouze k přehřevu akumulčních nádrží, když tepelné čerpadlo nestíhá požadavek naplnit. Algoritmus je navržen tak, že je elektrokotel spouštěn ve chvíli, kdy tepelné čerpadlo po dobu dvou hodin nedokáže do nádrží posílat požadovanou teplotu.

Na začátku řídicí kaskády je driver *COMPAR-TC-nema-pozad-tepl*, který porovnává požadovanou teplotu fixně sníženou o 5 stupňů s teplotou topné větve tepelného čerpadla. Výstup komparátoru je připojen na logický blok *AND01-EKpozadavek*, který doplňuje podmínku zaskoku tím, že musí běžet kompresor tepelného čerpadla. Následuje zpoždovací člen *MONOST-TC-nestiha*, který dodá podmínku, že se elektrokotel spustí pouze tehdy, kdy TČ nestíhá nádrže natápět po dobu dvou hodin. Driverem, který elektrokotel spouští, respektive spíná stykač, na kterém je elektrokotel připojen, je driver *ONOFFAUTO-Elektrokotel*. Na jeho vstup je napojen zmíněný zpoždovací člen přes driver *HEATER-EK*, který je zde vřazen z důvodu udržování statistiky o běhu elektrokotle. Tato část algoritmu je znázorněna na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5: Spuštění elektrokotle



### 5.3.2 Oběhová čerpadla

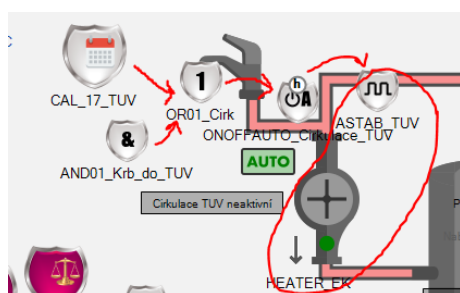
Jak bylo zmíněno v kapitole o návrhu elektrického schématu (4.2.2), v topné soustavě se nacházejí 4 oběhová čerpadla, které je potřeba algoritmem řídit.

Oběhové čerpadlo za deskovým výměníkem tepelného čerpadla se spouští společně s kompresorem TČ a to konkrétně driverem *AND01-TCcomp*, který sdružuje podmínku bezchybného průtoku v driveru *OR01-tcok* a požadavek na chod kompresoru z driveru *OR01-kompres*, který hlídá zda je ze systému požadavek na topení nebo chlazení tepelným čerpadlem.

Oběhové čerpadlo za krbovým výměníkem se spouští driverem *ONOFFAUTO-ggOČ-Krb*, na základě driverů *SOL-AKU* a *SOL-TUV*, které indikují, zda je možné akumulární nádoby natápět.

Oběhové čerpadlo topení se spouští ve chvíli, kdy z domu přichází požadavek na vytápění libovolné místnosti. Tento požadavek se získává z driveru *PIPE-P*.

Oběhové čerpadlo pro cirkulaci TUV v domě má za účel udržovat teplou vodu v rozvodu TUV do objektu tím, že jednou za určitou dobu vymění vychladlou vodu v potrubí. Časy, kdy má oběhové čerpadlo udržovat vodu teplou si definuje uživatel v kalendáři, přednastavené je povolení cirkulace v časech, kdy běžný uživatel využívá TUV nejintenzivněji, tedy ráno a večer. Kalendář zde představuje driver *CAL-17-TUV*, jehož výstup je 1 v časech, které si uživatel nastaví. Výstup kalendáře je připojen na logický blok *OR01-Cirk* společně s výstupem logického driveru *AND01-Krb-do-TUV*, který značí topení krbem do TUV. Výstupem je tedy signál, který říká, že se má cirkulovat buď protože přišel časový požadavek z kalendáře nebo protože se topí krbem do bojleru a je potřeba bojler promíchávat, aby se nepřehříval. Tento výstup je přiveden do klopného logického bloku *ASTAB-TUV*, který způsobí, že pokud je cirkulace spuštěna, oběhové čerpadlo se spíná v cyklu 5 min zapnuto, 5 min vypnuto, protože není potřeba mít čerpadlo neustále zapnuté. Výstup tohoto bloku je připojen přímo na relé, které příslušné čerpadlo spíná. Na obrázku 5.6 je kaskáda znázorněna.



Obrázek 5.6: Regulace cirkulačního oběhového čerpadla

### 5.3.3 Ventily

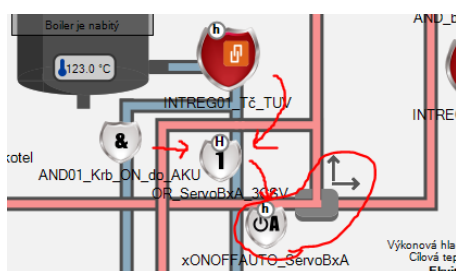
V topném systému se nachází tři druhy ventilů - třícestné zónové uzávěry, třícestný regulační ventil a termostatický třícestný ventil.

Třícestné zónové uzávěry jsou v kotelně hned 3. Slouží k určení, zda se topí do bojleru nebo do akumulární nádrže. Jejich počet je dán fungováním hydraulického systému, ale z pohledu řízení řešíme pouze dva signály, nezávisle na tom kolik ventilů každý z nich ovládá. Jsou to ventily pro krb a TČ. Poloha vždy určuje, zda konkrétní ventil otevře potrubí do bojleru nebo do akumulární nádoby.

Kaskáda pro ovládání ventilu tepelného čerpadla začíná u požadavku na natápění bojleru, který se získá z driveru *INTREG01-Tč-TUV*. Topení do akumulární nádoby pro podlahové topení probíhá vždy, když zrovna není požadavek na topení do bojleru, ten má tedy v natápění přednost. Požadavek na topení v bojleru se v driveru *OR-ServoBxA-3CSV* kombinuje se stavem, kdy se topí v krbu a topí se zrovna do akumulární nádoby. Tedy ventil u TČ je přetočen do bojleru když:

1. se topí tepelným čerpadlem a je požadavek na topení do bojleru, nebo
2. se topí krbem do akumulární nádoby.

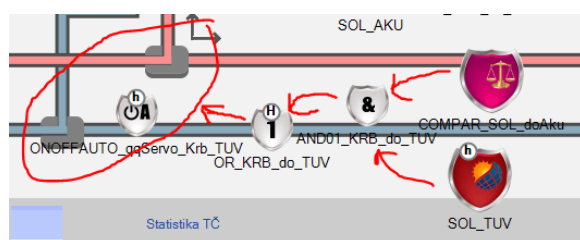
Druhá situace je v algoritmu implementována z důvodu, že když se topí v krbu mohlo by bez tohoto ošetření docházet k nechtěnému ohřevu obou nádob. Driver pro ovládání ventilu u TČ je *xONOFFAUTO-ServoBxA* a je řízen právě signálem z logického driveru *OR-ServoBxA-3CSV*. Regulace je znázorněna na obrázku 5.7.



**Obrázek 5.7:** Regulace třícestného zónového uzávěru u TČ

Třícestný zónový uzávěr u krbu je regulován driverem *ONOFFAUTO-qqServo-Krb-TUV*, který směřuje teplou vodu z krbu do bojleru pokud je v něm aktuálně nižší teplota než v akumulární nádobě pro topení, nebo pokud je systém v chladicí sezóně, aby nedocházelo k ohřívání akumulární nádoby. Pokud není splněna ani jedna z podmínek, ventil směřuje do akumulární nádoby. Porovnávání teplot v nádržích řeší driver *COMPAR-SOL-do-Aku* a jeho výstup je 1, když je v bojleru vyšší teplota než v akumulární nádobě. Negovaná hodnota se v driveru *AND01-KRB-do-TUV* kombinuje s tím, že se v krbu topí a výstup tohoto driveru je připojen do driveru *OR-KRB-do-TUV*, který přidává druhou variantu, kdy má být ventil přetočen do bojleru, tedy aktivní chladicí sezónu. Na obrázku 5.8 je logika znázorněna.

Třícestný směšovací ventil je v projektu jeden a slouží ke směšování vody do podlahového topení na správnou teplotu. Tento ventil je regulován PID regulátorem na základě ekvitermní křivky.



Obrázek 5.8: Regulace třífázového zónového uzávěru u krbu

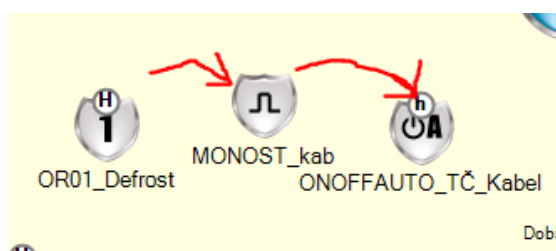
Prakticky je tedy ventil regulován driverem *PID-Podlahy*, který má povoleno regulovat pouze v případě, že je v chodu oběhové čerpadlo topení (viz 5.3.2). Výpočet správné výstupní teploty je, jak bylo zmíněno, na základě ekvitermní křivky v driveru *EKV-P*. Tato teplota, společně se skutečnou výstupní teplotou jsou dvě hlavní vstupní proměnné PID regulátoru.

## 5.4 Bezpečnostní funkce a statistika systému

Poslední logickou částí algoritmu jsou bezpečnostní funkce a získávání statistických dat o provozu systému.

### 5.4.1 Topný kabel

Spouštění topného kabelu pro prevenci zámruzu odváděného kondenzátu je řízeno driverem *ONOFFAUTO-TČ-Kabel*, kterému předchází zpožďovací člen *MONOST-kab*, který způsobí, že po přechodu řídicího signálu do 0 je topný kabel ještě 50 sekund v provozu. Řídicí signál je čten z driveru *OR01-Defrost*, kam je přímo připojen jako digitální vstup kontakt TČ, který informuje o stavu, v 1 tepelné čerpadlo odmrazuje. Návaznost driverů demonstruje obrázek 5.9.



Obrázek 5.9: Spouštění topného kabelu

### 5.4.2 Chyba TČ

Chybový stav tepelného čerpadla se vyčítá driverem *OR01-TC-ERROR*, který má jako jediný vstup fyzický chybový kontakt tepelného čerpadla. V projektu je driver navázán na grafickou komponentu, která na chybový stav upozorní uživatele vizuálně.

### ■ 5.4.3 Elektroměry a kalorimetry, výpočet COP

V kotelně se nachází dva průtokoměry pro výpočet topného výkonu TČ a krbu a jeden elektroměr pro měření spotřeby elektrické energie TČ. Všechny tyto měřicí přístroje udávají hodnotu aktuálního příkonu respektive průtoku pomocí pulzů. V systému je potřeba tyto pulzy počítat a převádět je na kWh respektive litry. O přepočty se starají jednotlivé drivery. Pro elektroměr je to driver *WATT-TC* a přepočty je 800 pulzů na spotřebovanou kWh. Pro výpočet topného výkonu jsou to drivery *FLOW-TC* a *FLOW-KRB* a jejich přepočty je 10 pulzů na 100 litrů. Kromě okamžitého příkonu nebo výkonu nám také zmíněné drivery poskytují celkovou spotřebu a výkon. Dále lze z údajů z driveru počítat topný faktor tepelného čerpadla. K tomuto účelu je v projektu zařazen driver *TC*, který počítá COP na základě údajů z *WATT-TC* a *FLOW-TC*.

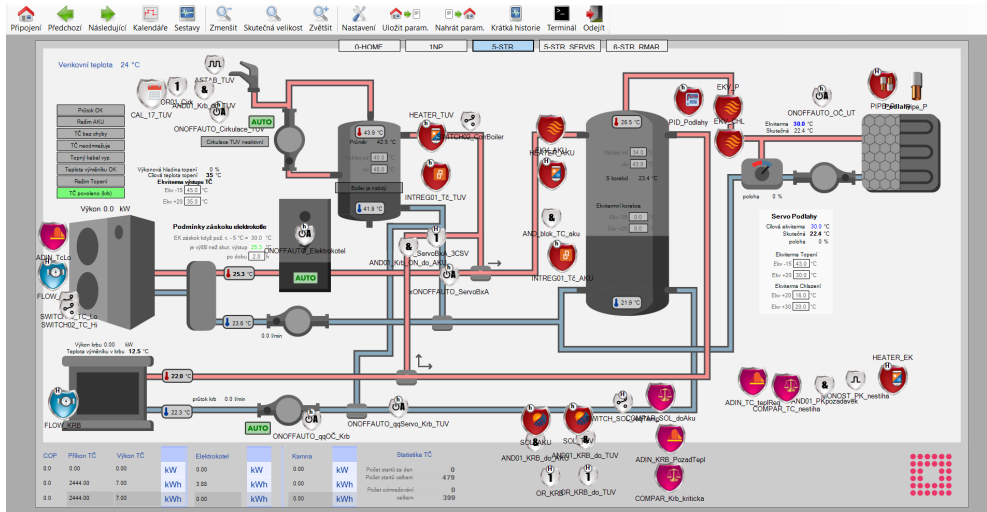
### ■ 5.4.4 Statistické informace o systému

Důležitými údaji pro uživatele je právě zmíněná celková výroba tepla, celková spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla a elektrokotle a topný faktor tepelného čerpadla.

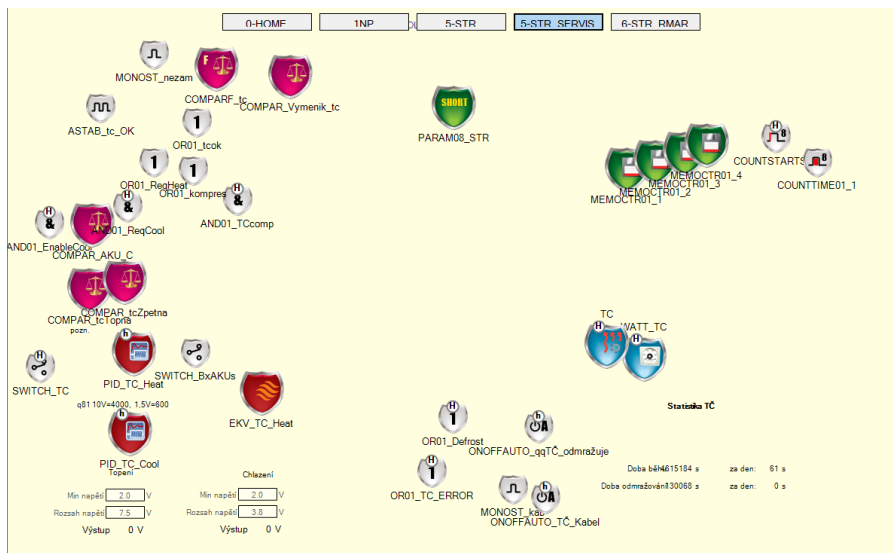
Kromě toho, může být zajímavá i statistika o době provozu tepelného čerpadla, o počtu odmrazovacích cyklů nebo o počtu startů kompresoru. K tomu v projektu slouží drivery *COUNTSTARTS01* a *COUNTTIME01*, které u zadané vstupní proměnné počítají počet přechodů ze stavu 0 do stavu 1 respektive dobu, po kterou byl vstup ve stavu 1.

### ■ 5.4.5 Grafický náhled algoritmu

Celkový grafický přehled algoritmu je znázorněn na obrázcích 5.10 a 5.11. Je rozdělen na řízení jednotlivých aktuátorů kotelny a regulaci tepelného čerpadla.



Obrázek 5.10: Přehled algoritmu 1



Obrázek 5.11: Přehled algoritmu 2

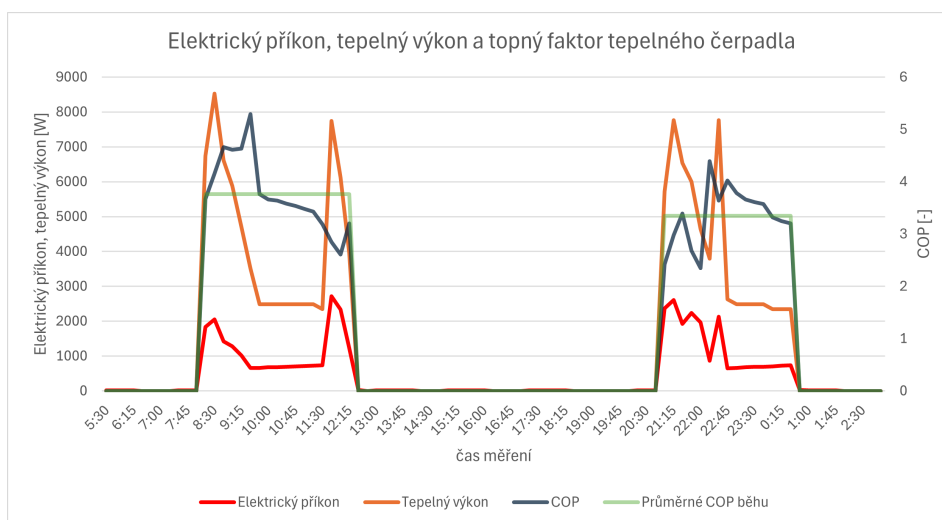


## Kapitola 6

### Zhodnocení dosažených parametrů navrženého systému

Navržený systém je od začátku roku 2024 plně v provozu a díky tomu lze částečně zhodnotit funkčnost systému a jeho dosažené parametry. Software iQtec Asistent, který funguje jako uživatelské rozhraní pro naprogramovaný systém, umožňuje vyexportovat csv soubor s časovým průběhem proměnných, u kterých se nastaví ukládání historie. Následující grafy jsou vykreslené právě z exportovaných csv souborů.

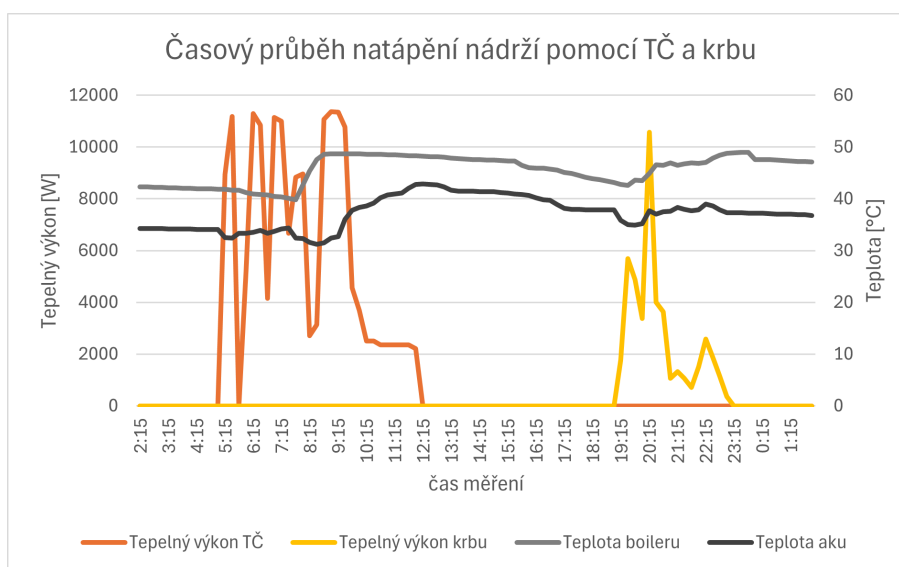
Prvním parametrem ke zhodnocení je elektrický příkon a tepelný výkon tepelného čerpadla a z nich počítaný topný faktor. Na grafu 6.1 je zachycen časový průběh těchto veličin, společně se spočítaným průměrným topným faktorem běhu. U zaznamenaných běhů vyšlo průměrné COP kolem 3,6, což odpovídá očekávané hodnotě. Po několika měsících fungování algoritmu se COP ustálilo na hodnotě 2,9.



**Obrázek 6.1:** Elektrický příkon, tepelný výkon a topný faktor TČ

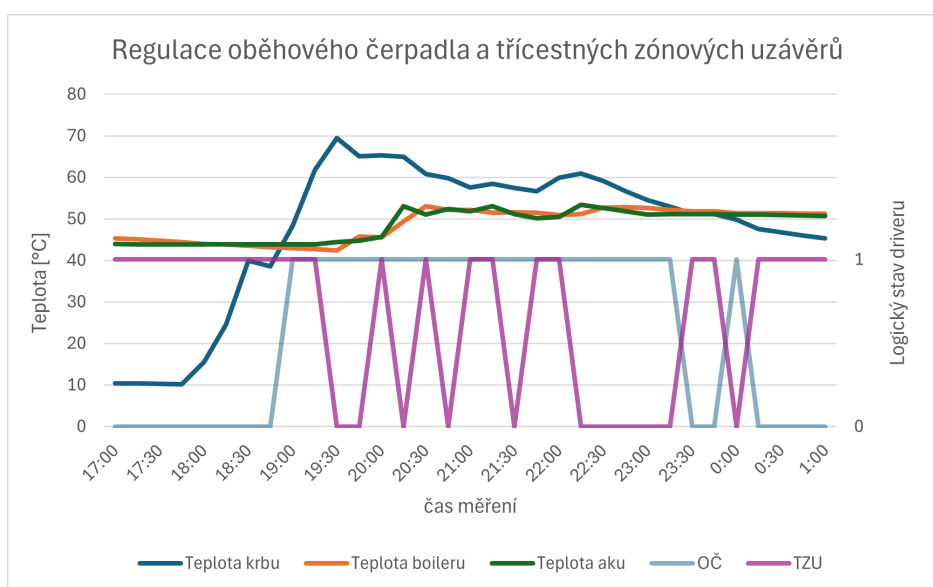
Na grafu 6.2 je vyobrazen časový průběh natápění obou nádob a to pomocí tepelného čerpadla (oranžová) a krbu s výměníkem (žlutá). Dle časového průběhu lze konstatovat, že oba tepelné zdroje dokáží nádoby ohřívat, především

pak u tepelného čerpadla je vidět rychlý nárůst teploty vody v bojleru, kde je nastavené rozmezí teplot, v jakém se má bojler udržovat.



**Obrázek 6.2:** Časový průběh natápění nádrží pomocí TČ a krbu

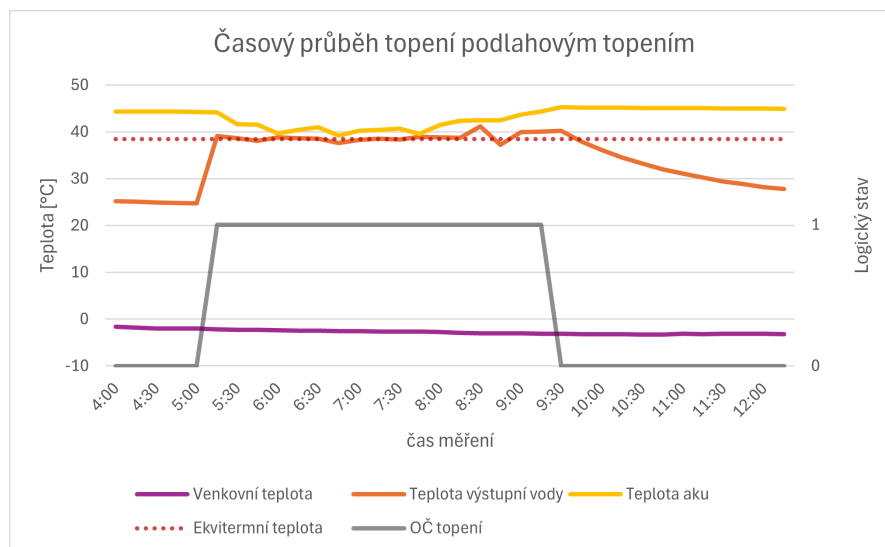
Na grafu 6.3 demonstrují konkrétní regulaci třicestného zónového uzávěru u krbu, který rozhoduje, zda se má krbem natápet do boileru nebo akumulační nádoby. Jak bylo popsáno v sekci 5.3.1, v případě, že je zapnutá topná sezóna, rozhodujícím faktorem pro regulaci ventilu je teplota v nádržích - kde je aktuálně nižší, tam se ventil přetočí. Dále je na grafu demonstrováno zapnutí oběhového čerpadla při překročení určité teploty výměníku. Obě implementované části regulují podle očekávání.



**Obrázek 6.3:** Časový průběh spínání OČ krb a ventilu krb



Graf 6.4 zobrazuje časový průběh regulace teploty topného média pomocí PID regulátoru. Červenou přerušovanou čarou je naznačena cílová výstupní teplota za směšovací ventilem vypočítaná z ekvitermní křivky podle venkovní teploty (fialová). Je vidět, že jakmile přichází z domu požadavek na topení, rozbíhá se oběhové čerpadlo (šedá) a třicestný směšovací ventil řízený zmíněným PID regulátorem během cca 10 minut ustaluje výstupní teplotu (oranžová) na úrovni požadované, aniž by docházelo k výrazným zákmitům. Topení v domě samozřejmě způsobuje pokles teploty v akumulaci, což je vidět na žluté křivce.



**Obrázek 6.4:** Časový průběh topení

Grafy demonstrují, že systém funguje, alespoň v režimu pro topení, podle očekávání a splňuje nároky na obyvatelnost rodinného domu i v případě chladného počasí.





## Kapitola 7

### Závěr

Inteligentní regulace vytápění budov dává vzhledem k energetické náročnosti tohoto procesu v současné době čím dál tím větší smysl. Uživatelé běžně přinášejí kromě zvýšeného komfortu také značné úspory, kterých je dosaženo zefektivněním vytápění díky řízení všech jednotlivých aktuátorů jedním procesorem, který udržuje o systému celkový přehled. Práce uvádí do problematiky technologie vytápění různých typů objektů, možných způsobů přenosu tepla od zdroje ke koncovému bodu a možností inteligentní regulace otopných systémů. Dále připravenou teorii aplikuje na návrhu elektrické soustavy a algoritmu pro řízení kotelny se třemi teplotními zdroji, která slouží pro vytápění rodinného domu. Nakonec práce uvádí zhodnocení dosažených parametrů navrženého algoritmu a graficky znázorňuje průběh jednotlivých procesů.



## Seznam použité literatury

1. PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings* [online]. 2008, roč. 40, č. 3, s. 394–398 [cit. 2023-12-07]. ISSN 03787788. Dostupné z DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
2. DEXTER, Arthur L. Intelligent Buildings: Fact or Fiction? *HVAC&R Research* [online]. 1996, roč. 2, č. 2, s. 105–106 [cit. 2024-04-02]. ISSN 1078-9669. Dostupné z DOI: 10.1080/10789669.1996.10391336.
3. DOUBRAVA, Jiří. *Regulace ve vytápění*. 2., upr. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2007. ISBN ISBN978-80-02-01951-0.
4. *Systémy vytápění* [online]. 2018. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/>.
5. *Etážové vytápění* [online]. 2018. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/etazove/>.
6. *Ústřední vytápění* [online]. 2018. [cit. 2023-12-07]. Dostupné z: <https://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/ustredni/>.
7. Výsledky sčítání lidu, domů a bytů 2021: Způsob vytápění. In: *Český statistický úřad* [online]. 2021 [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt%5C&pvo=SLD21057-KR%5C&z=T%5C&f=TABULKA%5C&skupId=4871%5C&katalog=33815%5C&pvo=SLD21057-KR%5C&str=v240>.
8. RYŠAVÝ, Jiří; HORÁK, Jiří; HOPAN, František; KRPEC, Kamil; KUBESA, Petr; KREMER, Jiří. Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva. *Tz-binfo* [online]. 2018, roč. 2018 [cit. 2024-04-13]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>.
9. Návod k obsluze a údržbě kotlů. In: *Thermona* [online]. [B.r.], s. 4 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/getattachment/10da1d5f-8b13-4734-9dea-fd56fd39ea74/THERM-20,-28-LX>.
10. ČSÚ rozšířil statistiku cen energií o nová data. In: *Český statistický úřad* [online]. [B.r.], s. 1 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/csu-rozsiril-statistiku-cen-energii-o-nova-data>.

11. KLAZAR, Luděk. Topný faktor tepelného čerpadla (I). *Tzbinfo* [online]. 2005, roč. 2022, č. 5, s. 1 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/2432-jak-je-to-vlastne-s-topnym-faktorem-i>.
12. MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. *Tzbinfo* [online]. [B.r.] [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>.
13. AFRAM, Abdul; JANABI-SHARIFI, Farrokh. Theory and applications of HVAC control systems – A review of model predictive control (MPC). *Building and Environment* [online]. 2014, roč. 72, s. 343–355 [cit. 2023-12-07]. ISSN 03601323. Dostupné z DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.11.016.
14. TAHERSIMA, F; STOUSTRUP, J; RASMUSSEN, H; NIELSEN, P Gammeljord. Thermal analysis of an HVAC system with TRV controlled hydronic radiator. In: *2010 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering* [online]. IEEE, 2010, s. 1–100 [cit. 2024-04-28]. ISBN 978-1-4244-5447-1. Dostupné z DOI: 10.1109/COASE.2010.5584535.
15. GOUDA, M M; DANAHAR, S; UNDERWOOD, C P. Thermal comfort based fuzzy logic controller. *Building Services Engineering Research and Technology* [online]. 2001, roč. 22, č. 4, s. 237–253 [cit. 2024-03-26]. ISSN 0143-6244. Dostupné z DOI: 10.1177/014362440102200403.
16. KUSIAK, Andrew; XU, Guanglin. Modeling and optimization of HVAC systems using a dynamic neural network. *Energy* [online]. 2012, roč. 42, č. 1, s. 241–250 [cit. 2024-03-26]. ISSN 03605442. Dostupné z DOI: 10.1016/j.energy.2012.03.063.
17. SALSURY, Timothy I. A new pulse modulation adaptive controller (PMAC) applied to HVAC systems. *Control Engineering Practice* [online]. 2002, roč. 10, č. 12, s. 1357–1370 [cit. 2024-03-26]. ISSN 09670661. Dostupné z DOI: 10.1016/S0967-0661(02)00099-0.
18. SEEM, John E. A New Pattern Recognition Adaptive Controller with Application to HVAC Systems. *Automatica* [online]. 1998, roč. 34, č. 8, s. 969–982 [cit. 2024-03-26]. ISSN 00051098. Dostupné z DOI: 10.1016/S0005-1098(98)00033-8.
19. WANG, Shengwei; MA, Zhenjun. Supervisory and Optimal Control of Building HVAC Systems: A Review. *HVAC&R Research* [online]. 2008, roč. 14, č. 1, s. 3–32 [cit. 2024-04-02]. ISSN 1078-9669. Dostupné z DOI: 10.1080/10789669.2008.10390991.
20. CETIN, Kristen S; FATHOLLAHZADEH, Mohammad Hassan; KUNWAR, Niraj; DO, Huyen; TABARES-VELASCO, Paulo Cesar. Development and validation of an HVAC on/off controller in EnergyPlus for energy simulation of residential and small commercial buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2019, roč. 183, s. 467–483 [cit. 2024-04-02]. ISSN 03787788. Dostupné z DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.11.005.

21. ÅSTRÖM, Karl Johan; HÄGGLUND, Tore. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. Research Triangle Park, North Carolina: ISA - The Instrumentation, Systems a Automation Society, 1995. ISBN 1-55617-516-7.
22. *PID zpětnovazební smyčka* [online]. 2020. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://plcynergy.com/pid-controller/>.
23. MATZ, Václav. Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění. *Tzbinfo* [online]. 2010, roč. 2010, s. 1 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapeni>.
24. ŠIROKÝ, Jan; KUBEČEK, Jan. Prediktivní řízení soustav vytápění budov. *TZB Haustechnik* [online]. 2010, roč. 2010, č. 2, s. 1 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7541-prediktivni-rizeni-soustav-vytapeni-budov>.
25. *Výsledky denního trhu ČR - 04.02.2024* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh?date=2024-02-04>.
26. HUSÁK, Miroslav. ÚVOD, proč senzory: seznámení se senzory a jejich aplikacemi. In: *Předmět na FEL, ČVUT - Senzory v elektronice* [online]. [B.r.], s. 101 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/381573/mod\\_resource/content/2/01a\\_Uvod-proc\\_senzory\\_2022.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/381573/mod_resource/content/2/01a_Uvod-proc_senzory_2022.pdf).
27. Odpor závislý na teplotě. *Autosen* [online]. [B.r.], s. 1 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://autosen.com/cs/Co-je-treba-vedet/Aplikace-a-reseni/Odpor-zavisly-na-teplote>.
28. KADLEC, Karel. Snímače tlaku. *Automa* [online]. 2011, roč. 2011, č. 1, s. 4 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: [https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/42719.pdf](https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf).
29. HOLYSZEWSKI, Peter. Optimální návrh měřidla tepla v soustavách vytápění a chlazení. *Tzbinfo* [online]. 2018, roč. 2018, č. 11, s. 1 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/18241-optimalni-navrh-meridla-tepla-v-soustavach-vytapeni-a-chlazení>.
30. STOECKER, W. F.; STOECKER, P. A. *Microcomputer Control of Thermal and Mechanical Systems* [online]. Boston, MA: Springer US, 1988 [cit. 2024-04-02]. ISBN 978-1-4684-6562-4. Dostupné z DOI: 10.1007/978-1-4684-6560-0.