

Fakulta elektrotechnická  
KEE – Katedra elektroenergetiky

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Možnosti regulace vytápění budov pomocí tepelného  
čerpadla s využitím predikce**

Autor práce: **Jan Smeták**  
Vedoucí práce: **Ing. Václav Mužík, Ph.D.**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan SMETÁK**  
Osobní číslo: **E19B0028P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Možnosti regulace vytápění budov pomocí tepelného čerpadla s využitím predikce**  
Zadávající katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

#### Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerši problematiky regulace vytápění budov s využitím predikce.
2. Analyzujte dostupná data z reálných provozních situací.
3. Vytvořte parametrickou simulaci regulace vytápění vybraného objektu pomocí tepelného čerpadla s predikcí.
4. Vyhodnoťte simulaci regulace vytápění v kontextu reálných dat.




Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**



Seznam doporučené literatury:

1. ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Vyd. 1. [Kroměříž]: Antonín Žeravík, 2003. 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
2. BOŠTÍK, Jan. *Hybridní technologie tepelných čerpadel pro rodinné domy*. V Plzni, 2019. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Martin Sirový.
3. MATUŠKA, Tomáš, SEDLÁŘ, Jan a STRAKA, Tomáš. *Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy*. 1. vydání. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2016. 119 stran. ISBN 978-80-02-02662-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Mužík, Ph.D.**  
Research and Innovation Centre for Electrical  
Engineering

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
  
**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na regulaci vytápění budov pomocí tepelného čerpadla s využitím predikce. Cílem práce je zjištění, zda je neuronová síť schopná naučit se fyzikální principy při vytápění budovy tepelným čerpadlem a následné vyhodnocení simulace. Hlavními body této práce je provedení rešerše na problematiku regulace vytápění budov s využitím predikce, následná analýza dostupných dat z reálné provozní situace, vytvoření parametrické simulace regulace vytápění vybraného objektu pomocí tepelného čerpadla s predikcí a na závěr vyhodnocení simulace regulace vytápění kontextu reálných dat.

## **Klíčová slova**

Regulace, tepelné čerpadlo, predikce, teplota, počasí, budova, neuronová síť

## **Abstract**

The present bachelor thesis is focused on the regulation of building heating using a heat pump with the use of prediction. The aim of the thesis is to determine whether a neural network is capable of learning the physical principles involved in heating a building with a heat pump and then evaluating the simulation. The main points of this work are to conduct a research on the problem of building heating control using prediction, then to analyze the available data from a real operational situation, to create a parametric simulation of heating control of a selected building using a heat pump with prediction, and finally to evaluate the heating control simulation in the context of real data.

## **Key words**

Regulation, heat pump, prediction, temperature, weather, building, neural network

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Mužíka, Ph.D. a s použitím uvedené literatury a podkladů.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 25.5.2022

Jan Smeták

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Mužíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavu Ježkovi za poskytnutí dat.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>2</b>
<b>1 VYTÁPĚNÍ BUDOVY ZA POMOCÍ TEPELNÉHO ČERPADLA</b> .....	<b>3</b>
1.1 PRINCIP ČINNOSTI.....	3
1.2 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV .....	4
1.2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) .....	4
1.3 KOMFORT UŽIVATELE .....	5
1.4 CO JE TO VYTÁPĚNÍ BUDOVY? .....	6
1.5 VÝHODY A NEVÝHODY TEPELNÝCH ČERPADEL .....	6
1.5.1 Výhody .....	6
1.5.2 Nevýhody .....	7
<b>2 TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ČERPADEL PRO VYTÁPĚNÍ BUDOV</b> .....	<b>8</b>
2.1 DRUHY VÝMĚN TEPLA .....	8
2.1.1 Vzduch-voda .....	8
2.1.2 Země-voda .....	8
2.2 MĚNĚ ČASTÁ PROVEDENÍ .....	9
<b>3 MOŽNOSTI REGULACE VYTÁPĚNÍ</b> .....	<b>9</b>
3.1 EKVITERMNÍ KŘIVKA/REGULACE.....	9
3.2 TERMOSTATICKÁ HLAVICE .....	10
3.3 VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ STROPNÍMI A STĚNOVÝMI PANELY .....	10
3.3.1 Stropní vytápění a chlazení .....	10
3.3.2 Stěnové vytápění a chlazení.....	11
3.4 SPOJITÁ A NESPOJITÁ REGULACE .....	11



3.5	VYUŽITÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ PRO PREDIKCI VYTÁPĚNÍ.....	11
<b>4</b>	<b>REÁLNÉ HODNOTY Z PROVOZU A JEJICH VYHODNOCENÍ .....</b>	<b>12</b>
4.1	TYP HODNOT .....	12
4.2	REKONSTRUKCE DAT.....	14
4.3	UČENÍ NEURONOVÉ SÍTĚ.....	16
4.4	SIMULACE SAMOSTATNÉHO TČ BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ .....	18
4.5	SIMULACE TČ S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ .....	22
4.6	DOPAD PREDIKCE VYTÁPĚNÍ NA REGULACI .....	26
<b>5</b>	<b>VYHODNOCENÍ SIMULACE .....</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>30</b>

## Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena především na vytápění budovy pomocí tepelného čerpadla s využitím predikce počasí z důvodu snížení energetické náročnosti budov.

Teoretická část práce je zaměřena na zhodnocení celého tématu, počínaje základním vysvětlením vytápění budov z hlediska energetické náročnosti, komfortu uživatelů či možné kooperace s jinými zdroji energie. Následně technologií tepelných čerpadel, možnou výměnou energie ve formě tepla a technologického provedení. Dále jsou uvedené možnosti regulace vytápění budovy pomocí ekvitemní křivky, uživatelem nastavené teploty či termostatem.

V praktické části se zaměřuji na vytvoření parametrické simulace vytápění budovy tepelným čerpadlem s využitím neuronové sítě a porovnáním rozdílů mezi simulací s předpovědí počasí, popř. bez předpovědi počasí. V závěrečné části je uvedené zhodnocení a porovnání simulací a zároveň možnosti zlepšení.

V závěru práce jsem uvedl zjištění, která vyplynula z praktické části bakalářské práce.

## **Seznam symbolů a zkratek**

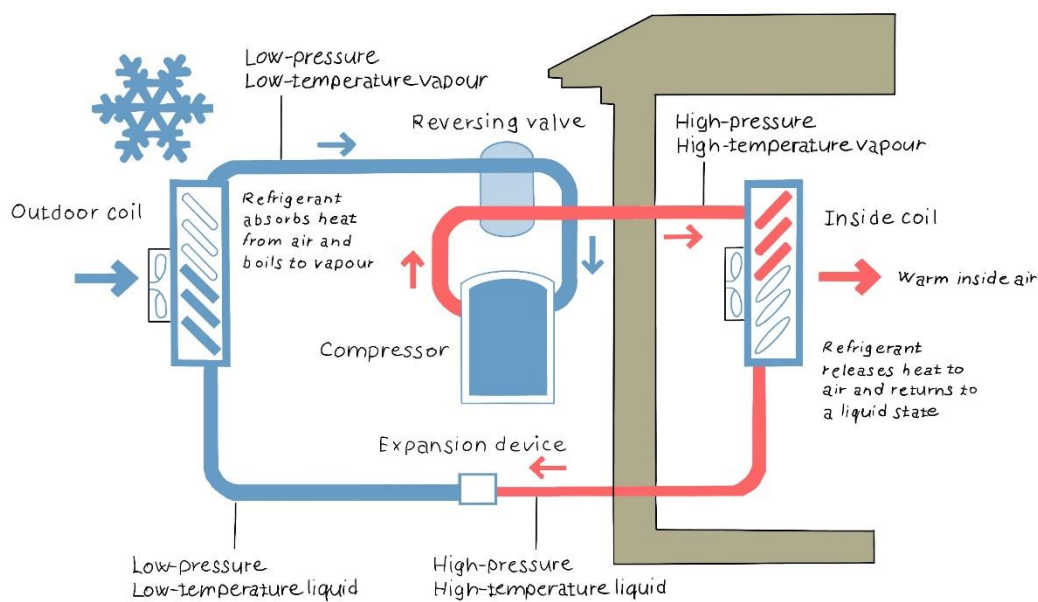
TUV	<i>Teplá Užitková Voda</i>
TČ	<i>Tepelné Čerpadlo</i>
PENB	<i>Průkaz Energetické Náročnosti Budov</i>
ČSN	<i>Česká Státní Norma</i>
ČR	<i>Česká republika</i>
°C	<i>Stupně Celsia</i>
dB	<i>Decibel</i>

# 1 Vytápění budovy za pomoci tepelného čerpadla

## 1.1 Princip činnosti

Základní funkce tepelného čerpadla je založena na výměně venkovní energie ve formě tepla, která je obsažena v okolním vzduchu, zemi, podzemní vodě či vodě povrchové, za energii ve vybraném prostředí či systému. [2,21]

V soustavě s tepelným čerpadlem nalezneme několik úseků. Prvním je výparník, kde je nízká teplota i tlak a teplo z okolního prostředí je zde předáno pracovní látce, zejména to bývá nemrznoucí směs. Používají se zde látky s nízkou teplotou varu. Vlivem předání tepla se látka začne odpařovat a páry z chladiva jdou do kompresoru, kde jsou páry stlačeny a z fyzikálního principu při stlačení páry dochází i k jejímu ohřevu. Dalším úsekem je kondenzátor, kde dochází ke kondenzaci a odevzdává se tak uložená energie do topného systému objektu, například do podlahového vytápění, ohřev teplé užitkové vody (dále jen TUV) či ohřev bazénu. Při přechodu přes expanzní ventil se zkapalněnému chladivu snižuje tlak na požadovanou hodnotu a tím získá zpět svou schopnost akumulovat energii ve formě tepla a putuje zpět do výparníku a celý proces se opakuje. [3,9, 21]



Obrázek 1 - Princip tepelného čerpadla [9]

## 1.2 Energetická náročnost budov

Tento pojem je stále více využíváný a stává se velice častým tématem nejen mezi odborníky, ale i laiky. Spotřeba energie může být až třetinová z celkové spotřeby energetických zdrojů. Dopad to má také na nyní časté téma skleníkových plynů. U nových budov je zcela nezbytné vedle uživatelského komfortu posoudit i spotřebu energie na vytápění, chlazení atp. Velké množství budov bylo postaveno v době, kdy energetická náročnost budovy nezajímala ani majitele ani stavební a projektovou firmu, proto je třeba při rekonstrukci zvážit opatření, která k úspoře energie pomohou. [10]

Z výše uvedených důvodů byla přijata **vyhláška 148/2007 Sb. O energetické náročnosti budov. Povinnost pro splnění těchto požadavků je stanovena normou č. 406/2006 Sb. o hospodaření energií.** Tato norma nám udává požadavky a způsoby pro hodnocení staveb dle spotřeby energie během jejich provozu. Vyhláška se vztahuje na všechny nové budovy a stavby, kde je potřeba stavebního povolení, ale i pro větší rekonstrukce.

Energetická náročnost budov se charakterizuje jako množství energie vynaložené na vytápění, chlazení, ohřev TUV, úpravu teploty větráním či klimatizačním systémem a také energie vynaložené na osvětlení. Množství této energie se stanovuje výpočtem dle požadavků. [6,10]

### 1.2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB)

Průkaz energetické náročnosti budovy (dále jen PENB) je nástroj určený k vyhodnocení energetické náročnosti budov dle **vyhlášky 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov. Povinnost pro splnění těchto požadavků je stanovena normou č. 406/2006 Sb. o hospodaření energií.** PENB se zabývá spotřebovanou energií v budově na vytápění, ohřev TUV, chlazení, osvětlení atp. Náročnost je vyjádřena množstvím dodané energie.

PENB vychází z evropské směrnice 2002/91/ES a postupně ho zavádějí všechny státy EU. Hlavním úkolem této směrnice je snížit spotřebu energií a emise CO<sub>2</sub>. Něco podobného jsme zažili již u domácích spotřebičů a v dnešní době zejména v automobilovém průmyslu. [6,10]

### 1.3 Komfort uživatele

Komfort uživatele při úvaze o tepelných čerpadlech můžeme chápat jako tepelnou pohodu. Je to pojem, který vyjadřuje stav okolí zejména z hlediska tepla, který je pro nás komfortní. Tepelná pohoda má také vliv na náš pracovní výkon nebo třeba relaxaci. I pro odpočinek je velice důležité, abychom se cítili v tepelné pohodě. Pro dosažení této pohody jsou doporučené teploty pro ráno, noc i večer. Například v koupelně ráno a v noci 17 °C a večer, kdy se většinou koupeme, 20°C. Tak či onak je tato teplota zejména individuální, pro každého může být rozdílná. [4,20]

Pro komfort, nebo také tepelnou pohodu, nestačí jen optimální teplota vzduchu v místnostech, ale vzduch by měl mít i vlhkost odpovídající pro danou teplotu. Mimo tyto faktory je také potřeba dodávka čerstvého vzduchu v potřebném množství. Při dodávce čerstvého vzduchu by nemělo docházet k víření prachu či k průvanu. K zajištění tepelné pohody je tedy potřeba nejen optimální teplota, ale také vlhkost, správné proudění a výměna vzduchu v místnostech. Dalšími faktory ovlivňující tepelnou pohodu jsou věk, zdravotní stav, oblečení a činnost, kterou v místnosti provádíme. Jak uvádí Dana Müllerová a kolektiv: „*Ideálním stavem je tepelná pohoda, založená na rovnováze celkové tepelné produkce člověka (včetně metabolického tepla) a množství tepla odváděného z těla. Tento typ komfortu má (někdy nedoceňovaný) velký význam nejen pro subjektivní pocit pohody člověka, ale i pro jeho výkonnost a pro jeho schopnost odpočinku.*“ [4,20]

Optimální teplotu vzduchu pro pocit tepelné pohody nám doporučuje norma ČSN 06 0210 (viz. tabulka 1) [4]

**Tabulka 1** - ČSN 06 0210 doporučené teploty v místnosti

Místnosti	Teplota(°C)
Neobývané (chodba, předsíň)	15
Ložnice	18
Obývané (pokoje, kuchyň)	20-22
Koupelna	24

## 1.4 Co je to vytápění budovy?

Jedná se o systém, který by měl zajišťovat tepelnou pohodu v budově. V našem podnebném pásu jsou v zimním období teploty pod nulou a je potřeba budovy efektivně vytápat. Systém, který je dobře navržený by měl kompenzovat ztráty způsobené úniky tepla. Ideálním případem je budova, která je zaizolovaná tak, že nedochází k žádným únikům tepla, ale taková budova samozřejmě neexistuje. Snahou všech návrhů je dosáhnout takového stavu, kdy se teplo, které dodáme rovná tepelným ztrátám. Teplo se šíří třemi základními způsoby a to vedením, sáláním a prouděním. [7]

Neodmyslitelně sem patří i šíření tepla, které je potřeba ke správnému vytápění budovy. Při vytápění budovy využíváme zejména teplovodní vytápění, kdy topné médium, většinou voda, se pomocí tepelného čerpadla vytopí a poté jde do tepelné soustavy v podobě radiátorů nebo podlahového vytápění. Pro správné proudění vody v topné soustavě je využíván nucený oběh oběhovým čerpadlem, které ve výsledku přináší vyšší účinnost vytápění. Většina systémů s tepelným čerpadlem obstarává i ohřev TUV. [7]

## 1.5 Výhody a nevýhody tepelných čerpadel

V této podkapitole se zaměříme zejména na hlavní výhody a nevýhody využívání tepelných čerpadel.

### 1.5.1 Výhody

Jednou z velkých výhod tepelného čerpadla je jeho bezobslužnost. Na rozdíl od kotlů na pevná paliva stačí jen první nastavení a poté funguje zcela automaticky. Stále častěji se setkáváme s tím, že se do nových staveb ale i při rekonstrukcích pořizují právě tepelná čerpadla.

Druhou výhodou je ekologický aspekt. Tepelné čerpadlo není znečišťovatelem okolí žádnými zplodinami na rozdíl od plynového kotle či kotle na tuhé palivo. Díky této výhodě je to velice vhodný nástroj pro vytápění budov do vesnic i měst. Podíváme-li se na tepelné čerpadlo z hlediska obnovitelných zdrojů, je schopno během topné sezóny tepelné čerpadlo pracující s technologií vzduch – voda vrátit přes  $\frac{3}{4}$  tepla, které uniklo z domu v podobě ztrátového tepla do okolního vzduchu.

Také lze říct, že tepelné čerpadlo má nízké náklady na provoz. Ročně se u rodinného domu pohybují náklady na provoz kolem částky 25 tisíc korun českých a někdy dokonce i méně. Je třeba si uvědomit, že je zde zahrnuta zhruba polovina spotřeby domácnosti.

Čerpadlo pracující na principu voda-voda, by mělo náklady ještě nižší. [15]

### **1.5.2 Nevýhody**

Jednou z hlavních nevýhod je samotné zapojení tepelného čerpadla do oběhu vytápění. Platí zde základní pravidlo: „Tepelné čerpadlo nám dodá teplo tím levněji, čím nižší výstupní teplotu po něm chceme“. Víme, že podlahové vytápění potřebuje nižší teplotu oproti radiátorům. Neplatí zde, že by nešly provozovat zároveň radiátory s tepelným čerpadlem. Pokud se dá přednost radiátorům, musí se dbát na správnou velikost topných těles.

Další velkou nevýhodou, se kterou se potýká v dnešní době většina čerpadel, je hlučnost a vibrace, které pocházejí od kompresoru. Tuto hlučnost lze výrazně utlumit přidavnou protihlukovou výplní, kterou většinou výrobce dodává. Větším problémem je potom hlučnost, která vychází od ventilátoru, i přesto, že je v dnešní době je již minimální. Z těchto důvodů je velice důležité instalovat tepelné čerpadlo společně v souladu s nařízením č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Platí také pravidlo, že čím menší ventilátor máme, tím hlučnější bude. Hygienický limit se pohybuje na hranici 50dB v denní době a 40dB v noční době. Tento předpis nám také říká, že pokud jsou ve spektru tónové složky, je nutné limity ponížít o 5dB a tedy na 45dB v denní době a 35dB v noční době. [15]



## 2 Technologie tepelných čerpadel pro vytápění budov

### 2.1 Druhy výměn tepla

V této podkapitole je vyjmenováno několik druhů výměn tepla tepelným čerpadlem.

#### 2.1.1 Vzduch-voda

Jedná se o vůbec nejčastější provedení v ČR jelikož je vhodné do novostaveb či renovovaných objektů pro podlahové vytápění, ale i pro radiátory. Fungují na principu získávání tepla z okolního vzduchu.

Tepelná čerpadla tohoto typu lze namontovat téměř kdekoliv. Díky jeho snadné instalaci a univerzálnosti. Na rozdíl od tepelného čerpadla typu země-voda, které popisuje dále v této práci, zde odpadají složité zemní práce, a tedy z toho vyplývá, že budou nižší i pořizovací náklady. Za nevýhodu lze považovat závislost výkonu čerpadla na venkovní teplotě, se vzrůstající venkovní teplotou roste i výkon čerpadla a naopak. Při velmi nízkých teplotách, kolem  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je potřeba další topné jednotky na ohřev vody, jelikož čerpadlo již není schopno dále topit. [7, 21]

#### 2.1.2 Země-voda

Tento typ tepelných čerpadel můžeme hodnotit vzhledem k venkovním teplotám jako nejstabilnější. Jsou většinou provozována v bivalentním provozu, to znamená, že pod bodem bivalence což je  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  se spouští ještě přídatný zdroj tepla, zpravidla se jedná o elektrokotel a o tepelnou pohodu se starají oba zdroje. [19]

Jedinou nevýhodou tohoto čerpadla jsou potřebné zemní práce. Pro to abychom mohli ze země čerpat teplo, je potřeba zemního kolektoru nebo geotermálního vrtu. Využívají se dvě studny: „*Jedna se nazývá sací a druhá vsakovací nebo také vratná. Ze sací studny se odebírá voda využívaná jako zdroj tepla. Vsakovací studnou se vrací ochlazená voda zpět.*“ (Jaroslav Dufka, 2003) Naopak výhodou je jeho vysoký a stabilní topný faktor i při mrazech (udává se někdy až  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a tím pádem se dostáváme na nižší provozní náklady. [5,7,21]

## 2.2 Méně častá provedení

Mezi méně častá provedení patří čerpadla typu voda-voda, která využívají principu získávání tepla z povrchové či podzemní vody. Pokud to geologická situace dovolí a pramen je dostatečně silný, je voda tím nejlepším zdrojem energie. V tomto případě představuje podzemní voda se stabilní teplotou 10 °C nejlepší zdroj energie a je tedy z hlediska přírodních zdrojů nejteplejší.

Dalším typem tepelných čerpadel je vzduch-vzduch, která pracují na podobném principu jako čerpadla vzduch-voda, s rozdílem, že teplo předávají namísto vody vnitřnímu vzduchu. Jsou velmi výhodná v objektech, kde klademe požadavek na teplotu, například chaty nebo malé byty. Nevýhodou je, že nelze vytápět větší počet místností. [7,21]

## 3 Možnosti regulace vytápění

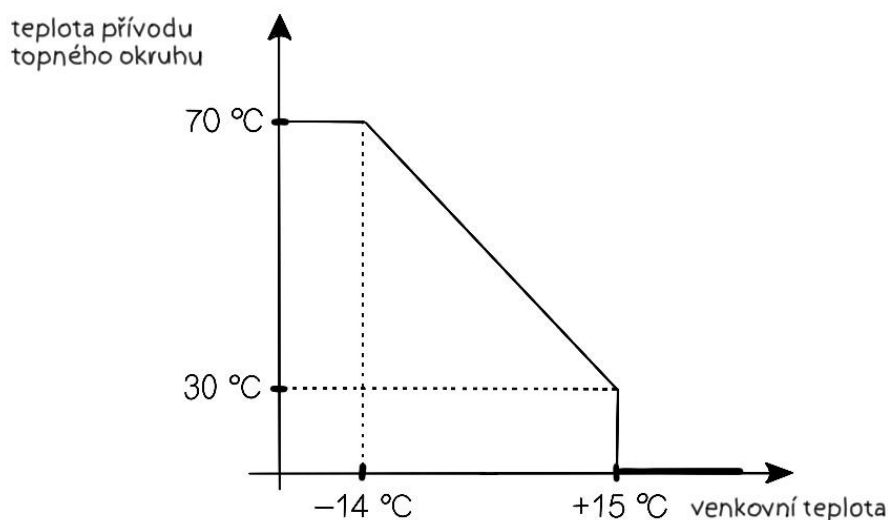
V této kapitole jsou uvedené možnosti regulace vytápění. Ve zkratce se jedná o to, najít co nejlepší možné řešení pro vytápění objektu za co nejnižších energetických nákladů a využít úplný potenciál soustavy pro vytápění, jak uvádí Lázňovský, Kubín a Fišer: „*Přizpůsobit provoz a výkon otopné soustavy okamžitým podmínkám*“.[16] Uvedeny jsou dvě nejčastější možnosti regulace, pomocí ekvitermní křivky a pomocí termostatické hlavičky.

Dále bych rád zmínil, že v dnešní době nastává u novostaveb trend chlazení. Z praxe je zřejmé že až 60 % roku se obytná budova chladí a jen 40 % času se vytápí. Pro dosažení tepelné pohody je právě chlazení stěžejní.

### 3.1 Ekvitermní křivka/regulace

Jedná se zejména o sledování pomocí snímače venkovní teploty a dle této teploty reguluje teplotu vody přívodu do topného okruhu. Pokud se venkovní teplota dostane pod referenční hodnotu, pak se teplota výstupu zvýší na maximum. Naopak pokud přesáhne referenční teplotu, sníží se teplota výstupu na minimum. [18]

Pokud venkovní teploty rostou, klesá náročnost na vytápění objektu a na tomto principu ekvitermní regulace funguje. Tedy jedná se o okamžitou reakci topné soustavy na změnu venkovní teploty. Právě závislost topné vody na teplotě je dána ekvitermní křivkou (Obr. 2). [17]



Obrázek 2 - Ekvitermní křivka [17]

## 3.2 Termostatická hlavice

Termostatické hlavice fungují na principu roztažnosti pracovní látky, kterou bývá vosk, plyn či kapalina. Vlivem okolní teploty se látka uvnitř hlavice rozpíná a tím stlačuje vlnovec, který pomocí dřívku uzavírá ventil a tím omezuje průtok topné látky, většinou vody. Naopak při klesající teplotě se vlnovec uvolňuje a tím zvětšuje průtok topné látky. Termostatická hlavice by měla být umístěna tak, aby k ní byl volný přístup a aby byla schopna správně snímat okolní teplotu. V případě, že není možné, aby mohla být teplota správně snímána, využívá se externího snímače, který je připojen pomocí kapiláry k hlavici. [17]

## 3.3 Vytápění a chlazení stropními a stěnovými panely

### 3.3.1 Stropní vytápění a chlazení

Stropní vytápění i chlazení vychází ze stejných principů. Existuje několik provedení pro vytápění i chlazení, těmi jsou trubky zalité ve stropě, plocha tvořená lamelami, sálavé panely a pasy a v neposlední řadě v dutém podhledu. Také se zde využívají sálavé desky, pasy či panely. Převážně se jedná o ocelový plech, na který jsou z jedné strany přiloženy trubky a ty jsou shora tepelně izolované. Využití těchto desek je zejména v průmyslu, jelikož se volně zavěšují na strop.

U stropního chlazení je potřeba dávat pozor na to, aby teplota chladicí kapaliny byla vyšší než teplota rosného bodu. Teplota chladicí vody se volí tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na povrchu desky. Tento problém je ošetřen regulátorem, který dostává informace od čidla teploty rosného bodu, ten funguje na principu elektrického elementu měnící odpor v závislosti na vlhkosti okolí. [1]

### **3.3.2 Stěnové vytápění a chlazení**

Topné potrubí je uloženo do stěn pod omítku. Stěnové vytápění můžeme dělit na mokré a suché systémy. Mokrý systém se využívá u zděných staveb nebo při rekonstrukcích. Jedná se o to, že se otopné potrubí vkládá přímo do mokré omítky narozdíl od suchých systémů, které se hodí spíše do nízkoenergetických budov, montovaných domů či podkroví, které mají již hotové otopné potrubí založené v sádrovláknitých deskách. [1]

### **3.4 Spojitá a nespojitá regulace**

Obecně regulátorem rozumíme část systému, kde udržujeme regulované veličiny na zadané, předem určené hodnotě. Zařízení, které umožňuje tuto regulaci nazýváme regulátor.

Spojitém regulátorem se označuje takový, kde je vstupní i výstupní signál spojitou funkcí času, tedy vstup i výstup se může časově měnit. Nespojitý regulátor se naopak vyznačuje tím, že se jedna nebo obě veličiny mění nespojitě v čase. To znamená, že v určitém časovém okamžiku dochází ke skokové změně veličiny. V dnešní době pracují regulátory zejména na principu nespojitých regulátorů. [8,19]

### **3.5 Využití neuronových sítí pro predikci vytápění**

Jedním z představitelů nejmodernějšího způsobu predikce jsou neuronové sítě. Ty byly vyvinuty vědci, kteří se chtěli přiblížit fungování lidského mozku. Neuronové sítě jsou schopné předvídat nové události na základě sledování událostí minulých po procesu nazývaného učení.

Neuronové sítě se dají využít tam, kde jsou nelineární funkční normy. Pro problematiku predikce jsou velmi prospěšné tam, kde neznáme žádné matematické vzorce a vztahy mezi vstupy a výstupy. [21]

Více o této problematice je zpracováno v diplomové práci „*Parametrické modelování spotřeby elektrické energie pomocí prediktivních metod*“ od Vojtěcha Müllera.

## 4 Reálné hodnoty z provozu a jejich vyhodnocení

### 4.1 Typ hodnot

Ke zpracování bakalářské práce jsem obdržel data z reálného domu, kde se vytápělo od září 2020 až do konce dubna 2022.

První sloupec je datum a čas, kdy byla zapsaná data

Druhý sloupec dat se týká venkovní teploty. Venkovní teplota je pro nás velice důležitým parametrem, jelikož za využití aktuálních metod regulace, jako je například regulace ekvitermní křivkou, je potřeba znát venkovní teplotu, abychom mohli na jejím základě zvolit požadavek na teplotu topného média uvnitř vytápěcího systému. Venkovní teplota nám také ovlivňuje teplotu uvnitř budovy.

Třetí sloupec je požadovaná teplota od regulátoru. Tato hodnota je závislá na nastavení regulátoru a průběžně se mění v závislosti na požadované teplotě ve vytápěném objektu a na teplotě venkovní. Regulátor si vždy přesně řekne, na kolik se má topná voda vytopit, abychom ve vytápěném objektu dosáhli požadované teploty co nejrychleji. Je také závislá na teplotě TUV, která nám do tohoto parametru vnáší špičkové hodnoty.

Čtvrtý sloupec byla informace o tom, zda je zapnuto topení. Pro tuto bakalářskou práci je tento parametr nepotřebný, ve všech případech nabýval pouze jedné hodnoty *t* charakterizující stav *true*.

Pátý sloupec je požadovaná teplota v místnosti. Tato hodnota je nastavována osobou obývajícím vytápěný objekt. Je to teplota velice individuální a závisí na tepelném komfortu.

Šestý sloupec je aktuální teplota v místnosti. Je zřejmé, že regulátor jako zpětnou vazbu potřebuje znát, kolik stupňů je aktuálně v místnosti, trend růstu teploty, aby mohl snižovat požadavek na teplotu topnou. Pokud by nereguloval hodnotu, tak se místnost může velice rychle stát přetopenou a docházelo by k velkým tepelným ztrátám.

Sedmý sloupec se týká požadované teploty topné vody. Je to hodnota, kterou regulátor zadal tepelnému čerpadlu pro vytopení topného okruhu, aby došlo k co nejrychlejšímu nárůstu teploty v místnosti.

Osmý sloupec je informace o zapnutém či vypnutém chlazení. S touto hodnotou jsem v této práci nepracoval

Devátý sloupec je požadovaná teplota v místnosti po chlazení. Je to obdoba hodnoty ze

sloupce pět s rozdílem, že je hodnota vztažená na režim, kdy by tepelné čerpadlo chladilo.

Devátý sloupec je aktuální teplota v místnosti. Jedná se o stejnou hodnotu jako ve sloupci šest, vztažená na režim chlazení.

Desátý sloupec je požadovaná teplota vody do topného okruhu v režimu chlazení.

Jedenáctý sloupec obsahuje informaci o tom, zda je zapnutý nebo vypnutý ohřev TUV. Všiml jsem si, že hodnoty  $t$  a  $f$  neodpovídají hodnotám, kdy se teplá voda natápěla.

Dvanáctý sloupec je minimální teplota TUV.

Třináctý sloupec je maximální teplota TUV.

Čtrnáctý sloupec je aktuální teplota TUV.

Patnáctý sloupec uvádí požadovanou teplotu TUV po regulátoru.

**Tabulka 2 – Ukázka obdržných dat**

datcas	venku	t_reg_pozad	top_akt_mist	top_poz_voda	tuv_akt	tuv_pozvoda
03.09.2020 6:00	10.017	23.918	22.270	23.918	43.999	48.999
03.09.2020 6:00	10.017	23.918	22.277	23.918	43.963	48.963
03.09.2020 6:01	9.983	23.928	22.274	23.928	43.882	48.882
03.09.2020 6:02	9.950	48.842	22.267	23.938	43.842	48.842
03.09.2020 6:02	9.950	48.816	22.263	23.938	43.816	48.816
03.09.2020 6:03	9.917	48.612	22.253	23.948	43.612	48.612
03.09.2020 6:04	9.883	48.326	22.256	23.958	43.326	48.326
03.09.2020 6:05	9.850	48.220	22.267	23.980	43.220	48.220
03.09.2020 6:05	9.850	48.000	22.268	23.968	42.949	48.000
03.09.2020 6:06	9.817	48.000	22.266	23.978	42.671	48.000
03.09.2020 6:07	9.783	48.000	22.257	23.988	42.529	48.000
03.09.2020 6:08	9.750	48.000	22.245	23.998	42.489	48.000
03.09.2020 6:09	9.717	48.000	22.260	23.854	42.515	48.000
03.09.2020 6:10	9.667	48.000	22.258	23.875	42.551	48.000
03.09.2020 6:11	9.633	48.000	22.257	23.885	42.601	48.000
03.09.2020 6:12	9.583	48.000	22.249	23.906	42.682	48.000
03.09.2020 6:13	9.533	48.000	22.255	23.927	42.842	48.000

## 4.2 Rekonstrukce dat

Data jsem dostal s časovým rozestupem jedné minuty po dobu dvou let, tudíž celkově 982 390 řádků hodnot. Ačkoli se na první pohled mohlo zdát, že jsou data v pořádku, tak jsem zjistil, že některá data byla poškozena tím, že regulátor v jednu chvíli, nebo v rozmezí několika vteřin udělal více akcí zároveň. Tím se do tabulky hodnot zapsala jedna hodnota hned několikrát. Některé minuty zcela chyběly nebo teplotní čidlo, místo zaznamenání teploty, zapsalo nulu.

Nejdříve jsem si v programu Excel chtěl data roztřídit. Pomocí rozšíření Kutools jsem si ze všech dat označil barevnou výplní ta data, která byla duplicitní, tedy kdy datum i čas byly stejné abych docílil toho, že v jednom dni budu mít 1 440 hodnot jako je v jednom dni minut. Pomocí této akce jsem zjistil, že jsem měl přes 140 tisíc chybných hodnot. Dalším krokem bylo tato data zobrazit a odstranit z tabulky. Na základě třídění v programu Excel jsem si nechal zobrazit pouze data označená barevnou výplní a poté jsem všechna data označil a nechal všechny sloupce smazat. Ačkoli se zdálo, že dalším krokem bude dopsání chybějících hodnot zjistil jsem, že to bude obtížné. Od programu Excel jsem tedy upustil a pro lepší výsledky jsem zvolil program Matlab.

Do Matlabu jsem si nejprve nahrál vstupní data a následně si do pomocné proměnné nahrál pouze ta data, se kterými chci pracovat. Samotný cyklus se zdál na první pohled jako velmi složité, ale do problematiky jsem se postupně začal dostávat. Nejprve jsem si zjistil, jestli se aktuální datum rovná nově načtenému datu. Pokud by tomu tak nebylo, tak se do struktury Results vytvoří podsložka s aktuálním čteným rokem a měsícem a načtou se zde všechny potřebné hodnoty. Do proměnné Results přepisují data ve dvou případech s jednou výjimkou, kterými jsou změna měsíce s výjimkou prvního cyklu, jelikož by docházelo k zápisu nulových hodnot a poté když se v datech dojde na úplný konec a je potřeba zapsat neuložené záznamy. Pomocí jednoduché matematické operace jsem od sebe odečetl čas aktuální a předešlý, převedený na vteřiny a přičetl jsem rozdíl sekund aktuálního a předešlého času. Zjistil jsem tím, jestli mi nechybí následující minuta. Nesměla zde chybět podmínka, zda výsledek této operace není záporný z důvodu přechodu mezi hodinami. Pokud by tomu tak bylo, k této proměnné by se přičetlo číslo 3600 reprezentující maximální hodnotu vteřin, abych se posunul do kladných čísel. Poté zjišťuji, zda byla prodleva mezi hodnotami větší než jedna minuta a zda se nejedná o první cyklus. V prvním cyklu totiž nemám předchozí hodnotu, od které bych se mohl orientovat. Pokud se nejedná o první běh programu, tak si prodlevu zaokrouhlím na celé minuty a tím zjistím, kolik řádků mi chybí.

Následně už jen do paralelní matice vypisuji správné nebo případně chybějící hodnoty. Jelikož v původní matici jsem na základě chyb v datech na jiném řádku než v paralelní matici, jenž představuje opravená data, musím zde aplikovat ještě přepočítání, abych se pohyboval souměrně v obou maticích.

Poté co jsem měl všechna data zpracovaná, tak jsem si ještě do původního cyklu dodělal pár nepatrných úprav, které mi doplnily chybějící hodnoty do každého měsíce tak, aby měl každý měsíc přesný počet sloupců 40 320, 43 200 nebo 44 640 podle jeho délky (28, 30 31). Chybějící hodnoty jsem dosadil do měsíce ne na jeho konec, ale v jeho průběhu, abych co nejvíce snížil chybovost tím, že jsem doplnil mezeru pomocí hodnot minulého dne. Jelikož systém není tak dynamický, chová se v průběhu minut, ale i hodin, velmi podobně. Tyto doplňovací akce, které byly nutné pro co nejplynulejší učení neuronové sítě by nebylo potřeba za předpokladu, že by hodnoty již v základu bez problému navazovaly. Je to jedním z hlavních zdrojů možného zkreslení predikce a v případě potřeby by bylo možné tuto chybu zmenšit na základě srovnání známých hodnot v určitých časech s časy minulými. Také jsem si doplnil časová razítka, tedy abych netřídil data dle formátu DD.MM.RRRR HH:MM:SS, ale roztrídil jsem si data na minutu v hodině, hodinu ve dni, den v měsíci, měsíc v roce, den v roce a rozlišil jsem si zda se jedná o pracovní den (1) nebo víkend (2).

**Tabulka 3 - Ukázka opravených dat**

datcas	venku	t_reg_pozad	top_poz_voda	tuv_akt	tuv_poz	d_mes	mes_rok	d_rok
'2020-09-03 06:00:35'	'10.017'	'23.918'	'23.918'	43.963	48.963	3	9	246
'2020-09-03 06:01:36'	'9.983'	'23.928'	'23.928'	43.882	48.882	3	9	246
'2020-09-03 06:02:36'	'9.950'	'48.816'	'23.938'	43.816	48.816	3	9	246
'2020-09-03 06:03:36'	'9.917'	'48.612'	'23.948'	43.612	48.612	3	9	246
'2020-09-03 06:04:36'	'9.883'	'48.326'	'23.958'	43.326	48.326	3	9	246
'2020-09-03 06:05:36'	'9.850'	'48.000'	'23.968'	42.949	48	3	9	246
'2020-09-03 06:06:37'	'9.817'	'48.000'	'23.978'	42.671	48	3	9	246
'2020-09-03 06:07:37'	'9.783'	'48.000'	'23.988'	42.529	48	3	9	246
'2020-09-03 06:08:37'	'9.750'	'48.000'	'23.998'	42.489	48	3	9	246
'2020-09-03 06:09:37'	'9.717'	'48.000'	'23.854'	42.515	48	3	9	246
'2020-09-03 06:10:38'	'9.667'	'48.000'	'23.875'	42.551	48	3	9	246
'2020-09-03 06:11:38'	'9.633'	'48.000'	'23.885'	42.601	48	3	9	246
'2020-09-03 06:12:38'	'9.583'	'48.000'	'23.906'	42.682	48	3	9	246
'2020-09-03 06:13:38'	'9.533'	'48.000'	'23.927'	42.842	48	3	9	246
'2020-09-03 06:14:39'	'9.483'	'48.171'	'23.948'	43.171	48.171	3	9	246

Když jsem měl data ve správném formátu a všechny hodnoty přesně seděly, tak jsem se začal zabývat importem předpovědi počasí. Tu jsem dostal jako hodinovou, tedy každý den se vytvořila předpověď na následujících 24 hodin po hodinách. V mém programu jsem



každou hodnotu nakopíroval 60x, abych měl každou minutu v hodině hodnotu teploty, která bude hodinu následující, případně dle volby. Rozdělil jsem si předpověď na následující 1 hodinu, 3 hodiny, 6 hodin a na 12 hodin.

### 4.3 Učení neuronové sítě

V programu Matlab jsem si pomocí funkce `nftool` spustil neuronovou síť. Nejprve jsem ji začal učit na celkových datech, zahrnul jsem všechna dostupná data včetně časových razítek za rok 2021, tedy 365 dnů, což je celkem 525 600 sloupců hodnot. Vstupními hodnotami byla venkovní teplota, požadovaná teplota v místnosti, aktuální teplota v místnosti, požadovaná teplota topné vody, maximální a minimální rozmezí TUV, aktuální a požadovaná teplota TUV a časová razítka typu minuta v hodině, hodina ve dni, den v měsíci, měsíc v roce, den v roce a jestli se jedná o víkendový nebo pracovní den. Výstupní hodnotu jsem zadal teplotu od regulátoru a výsledkem byla síť, která už od pohledu počítala špatně, jelikož dávala hodnotu regulátoru k hodnotě 1000, což je očividně špatně, když regulátor nejvíce nastavuje hodnotu 55.

Začal jsem s postupným odebíráním dat a zjišťoval jsem jejich dopad na přesnost neuronové sítě. Zjistil jsem, že největší chybu mi dělala hodnota maximální TUV a minimální TUV. Po odstranění těchto prvků začala neuronová síť pracovat velmi pěkně s relativní chybou okolo 1 % kterou jsem zjišťoval na tom, jak si síť poradila s daty, které předtím nikdy neviděla. Neuronová síť byla naučená na celý rok 2021 a já jsem jí dal spočítat hodnoty za leden 2022.

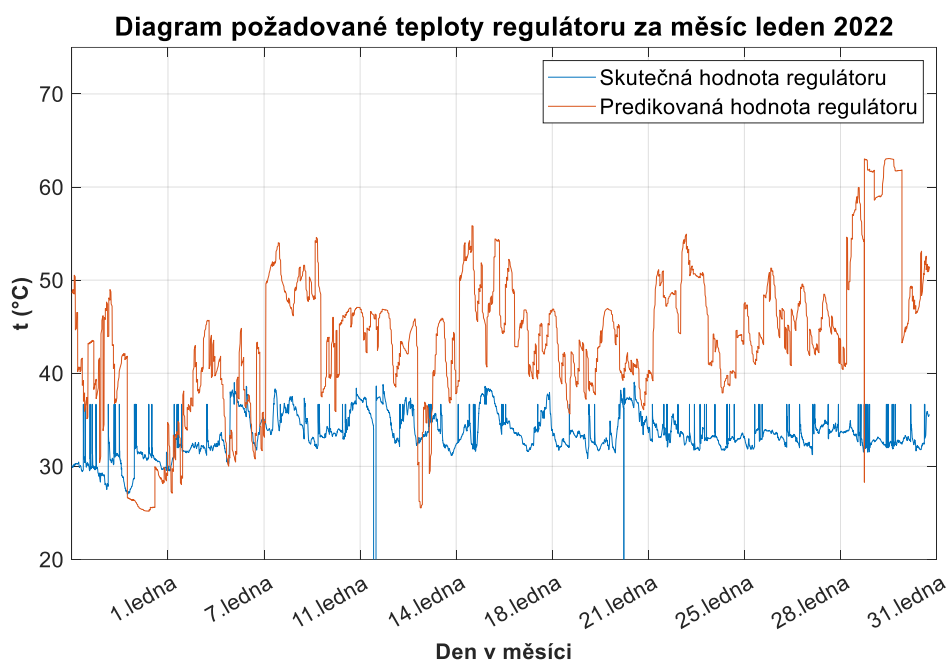
Po zjištění nejlepší kombinace vstupních dat pro neuronovou síť, tedy síť, která měla nejmenší relativní chybu 1,91 % jsem přidal informaci o předpovědi počasí, tedy v našem případě jen teplotě. Měl jsem k dispozici celou řadu hodnot jako jsou rychlost větru nebo oblačnost. Oblačnost by měla velký význam, pokud bychom měli dům disponující fotovoltaickými panely, ale bohužel tuto konfiguraci jsem neměl pro tuto práci k dispozici. Síť jsem tedy učil nejdříve na předpověď plus 1 hodina, poté plus 3 hodiny, plus 6 hodin a na konec plus 12 hodin. Zjistil jsem, že nejlepšího výsledku, tedy nejmenší relativní chyby, docílím předpovědí plus 6 hodin a to 0,664 %.

Následně jsem neuronové síti sebral skoro všechna data a nechal jsem jí pouze požadovanou teplotu v místnosti, maximální a minimální rozmezí TUV, časová razítka a předpovědi počasí na následující hodinu, 3 hodiny, 6 hodin a 12 hodin. S touto kombinací si neuronová síť příliš neuměla poradit, docílil jsem relativní chyby 32,940 % a následným

kombinováním předpovědi počasí se model pouze zhoršoval (viz. Obr. 3).

Zkusil jsem dát neuronové síti data bez předpovědi počasí, abych viděl, která hodnota mi do neuronové sítě vkládá největší chybu. S touto konfigurací mi relativní chyba vyšla skoro 100 %. Dále jsem zkusil neuronové síti dát pouze časová razítka na vstup a na výstup stále požadovanou teplotu regulátoru. S tímto modelem mi relativní chyba vyšla 9,63 %, ale tento model je v reálném nasazení nepoužitelný.

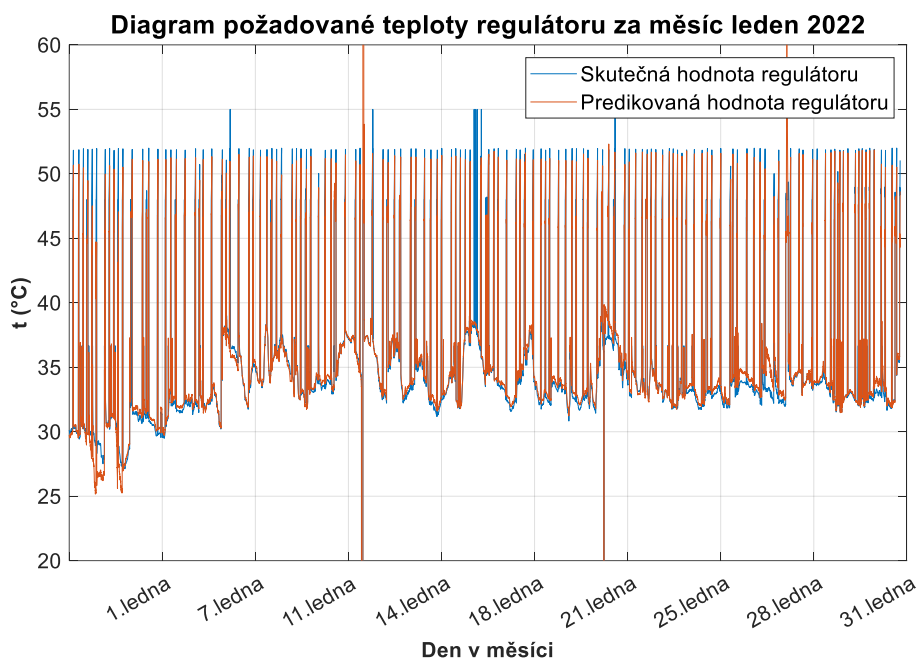
Zjistil jsem, že teplotu od regulátoru nemohu predikovat, jelikož se zde nacházejí špičkové hodnoty způsobené vytápěním TUV, které jsou obtížné pro predikci a není možné je zahrnovat do výpočtu, jestliže známe jen omezené množství hodnot. Rozhodl jsem se predikovat teplotu od regulátoru pouze pro topný systém, nikoli i pro TUV. Zkusil jsem dát neuronové síti také data pouze za první 4 měsíce v roce 2021 a zjišťoval, jaký vliv má méně dat pro učení na relativní chybu. Zde mi relativní chyba za měsíc leden 2022, při konfiguraci s předpovědi počasí a daty jen za 4 měsíce vyšla 5,79 %, bez předpovědi 8,05 %, s daty za celý rok vyšla relativní chyba 6,86 % bez předpovědi a 6,22 % s předpovědi. Opět se s nejlepším výsledkem osvědčila předpověď na 6 hodin, kde vyšla nejnižší relativní chyba. Je zde na první pohled jasné, že předpověď počasí má vliv na regulaci.



**Obrázek 3 - Graf požadované teploty od regulátoru při zahrnutí předpovědi počasí na všechny zvolené časy**

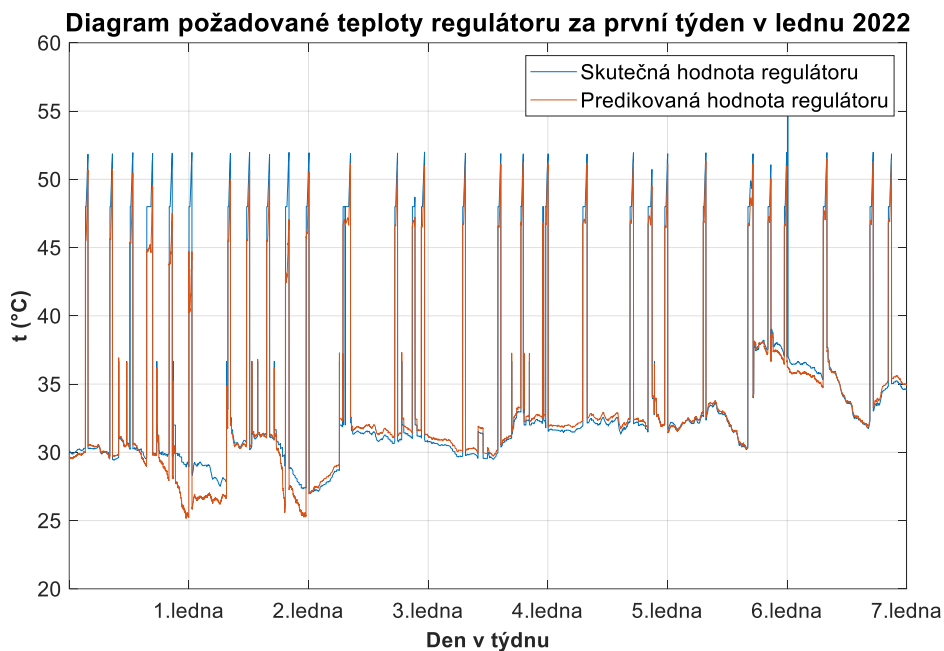
#### 4.4 Simulace samostatného TČ bez předpovědi počasí

Jako první jsem si do neuronové sítě vložil data bez předpovědi počasí. Počítal jsem s relativní chybou kolem 1,8 %. Na níže uvedeném můžeme vidět na svislé ose teplotu, kterou zadával regulátor systému a na vodorovné ose vidíme čas. Z obrázku je zřejmé, že po 11. lednu máme chybové překmity, které by se daly odstranit tím, že bychom síti dodali data za více let. Celkově se neuronová síť od reálné hodnoty příliš neliší, spíše zde vidíme nižší trend vytápění. Relativní chyba pro měsíc leden byla 1,914 %.



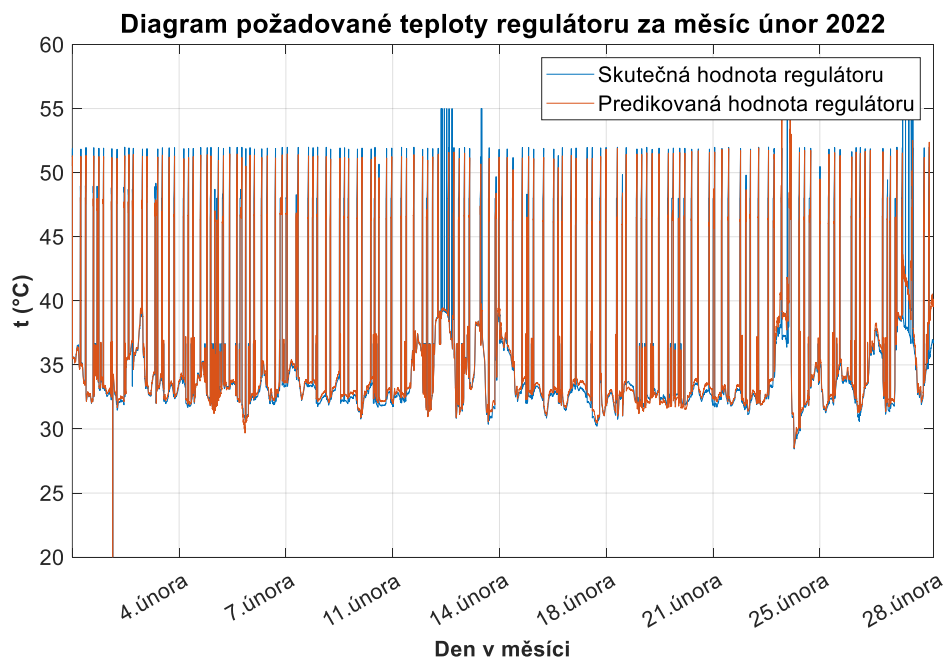
**Obrázek 4 - Graf požadované teploty regulátorem za měsíc leden 2022 bez předpovědi počasí**

Na dalším grafu vidíme první týden měsíce leden 2022 v detailu. Je zde lépe vidět to, jak se neuronová síť velice blíží reálné hodnotě. Relativní chyba zde byla 2,330 %.



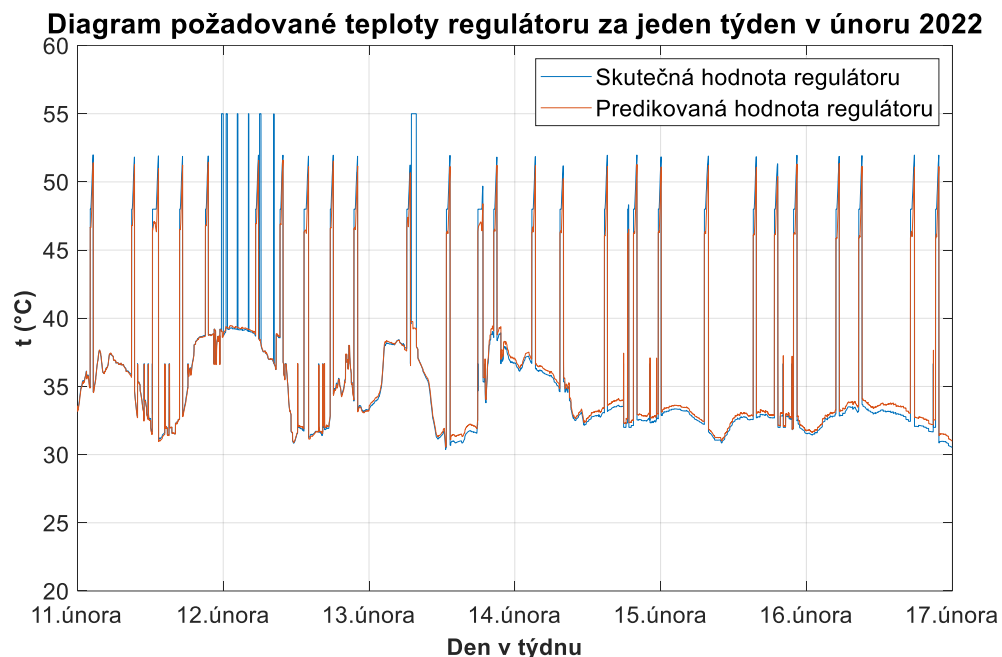
**Obrázek 5** - Graf požadované teploty regulátorem za týden v lednu 2022 bez předpovědi počasí

Dalším měsícem pro testování mé neuronové sítě byl únor 2022. I v tomto měsíci se neuronové síti povedlo držet původní hodnoty teploty na regulátoru. Je zde vidět jeden propad, který by se opět dal vyřešit tím, že bychom síti dali k naučení data za například dva roky. Taky je zde vidět odchylka mezi 11. a 14. únorem, kdy neuronová síť vyhodnotila, že není potřeba mít na regulátoru příliš velkou hodnotu. Relativní chyba byla 1,799 %.



**Obrázek 6** - Graf požadované teploty regulátorem za měsíc únor 2022 bez předpovědi počasí

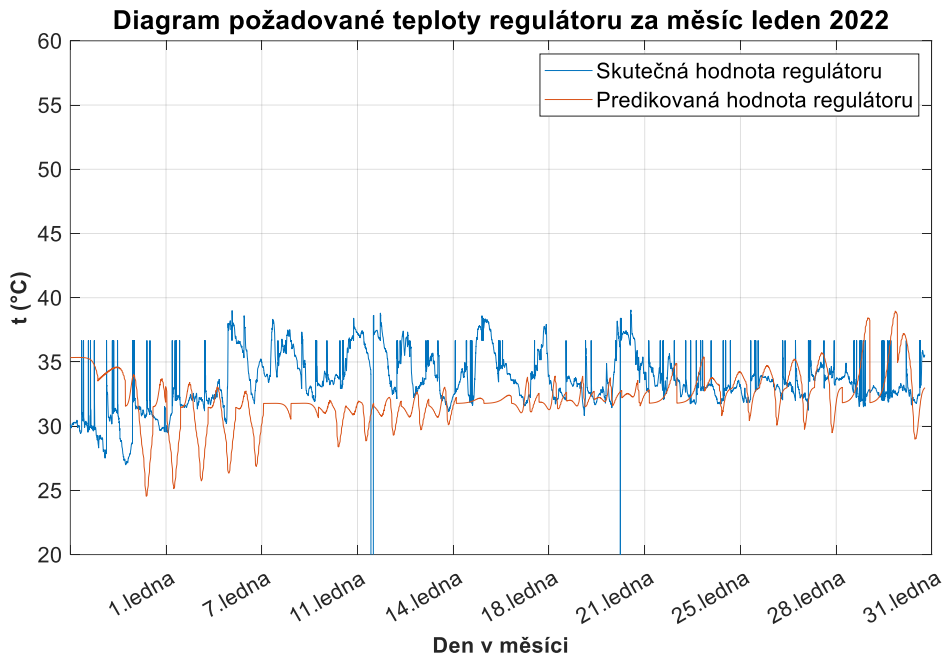
Na dalším grafu můžeme vidět na toto specifické místo detail. Je zde vidět propad neuronové sítě 12. února. Relativní chyba v těchto sedmi dnech činí 2,154 %.



**Obrázek 7 - Graf požadované teploty regulátorem za týden v únoru 2022 bez předpovědi počasí**

V dalších měsících, ze kterých jsem měl data, za březen a duben, probíhal výpočet velmi podobně s podobnou relativní chybou. Za měsíc březen byla relativní chyba 2,040 % a za měsíc duben 1,415 %.

Na grafu níže lze vidět, jak neuronová síť pracovala, když měla jen omezená data, tedy jen požadovanou teplotu v místnosti a časová razítka. Na základě těchto vstupů, na rozdíl od předchozích případů, počítala požadovanou teplotu regulátorem pouze do topného systému. Relativní chyba zde vyšla 8,05 %.

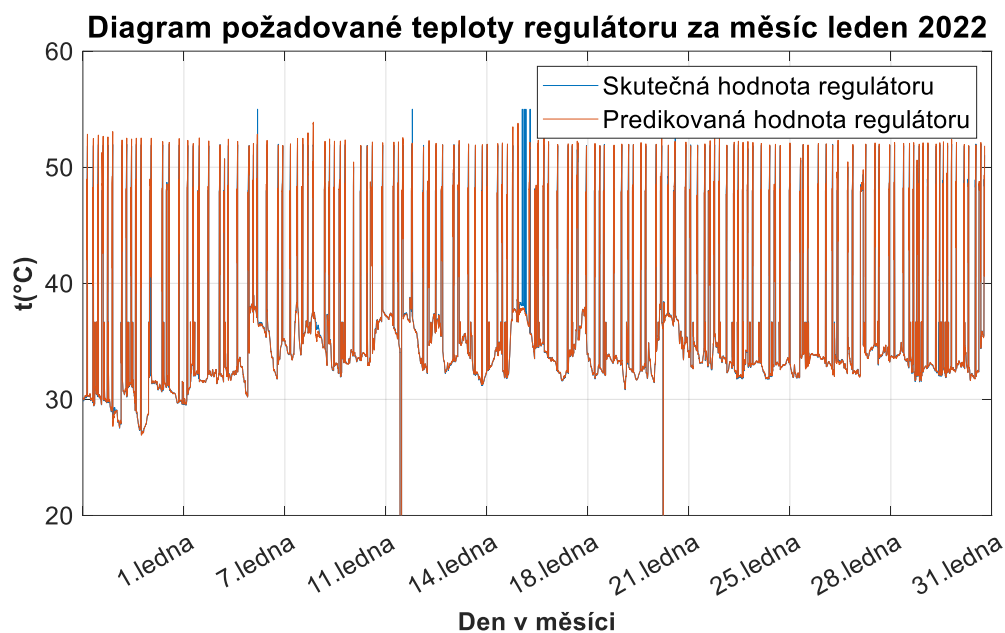


**Obrázek 8** - Graf požadované teploty regulátorem pouze pro topnou vodu za měsíc leden 2022 bez předpovědi počasí

## 4.5 Simulace TČ s předpovědí počasí

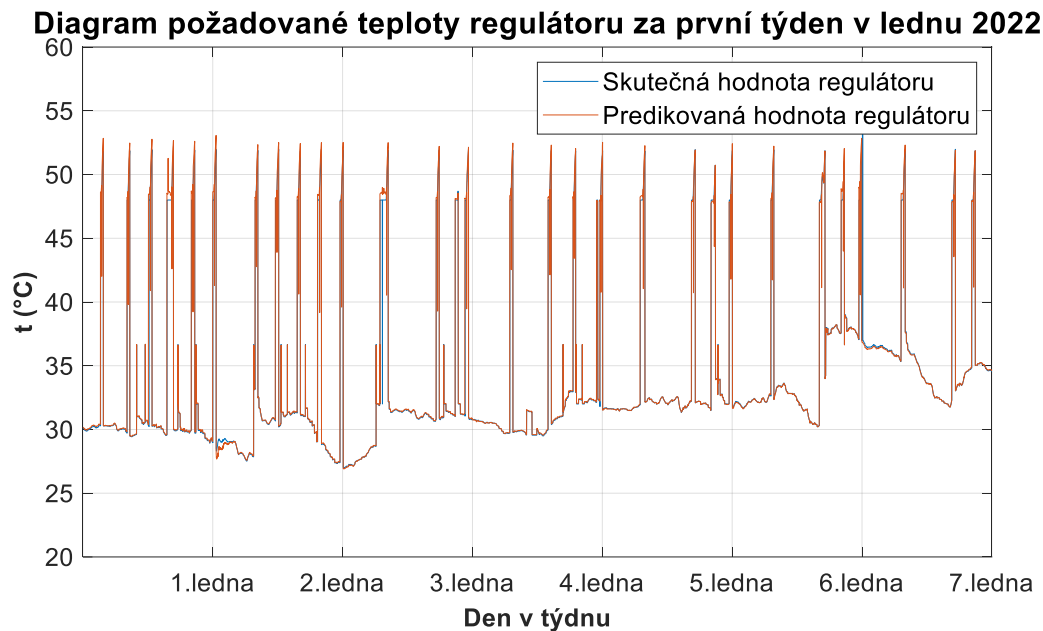
Dalším krokem bylo zahrnout předpověď počasí do učení neuronové sítě. Jak jsem psal ve výše uvedeném, nejmenší relativní chybu měla neuronová síť pro předpověď na následujících 6 hodin. Tuto naučenou neuronovou síť jsem poté aplikoval na stejné měsíce jako dříve.

Prvním byl měsíc leden 2022, kde jsem měl relativní chybu 0,664 %. V porovnání s výpočtem bez předpovědi, kde byla relativní chyba 1,914 %, je to zlepšení o 1,250 procentních bodů.



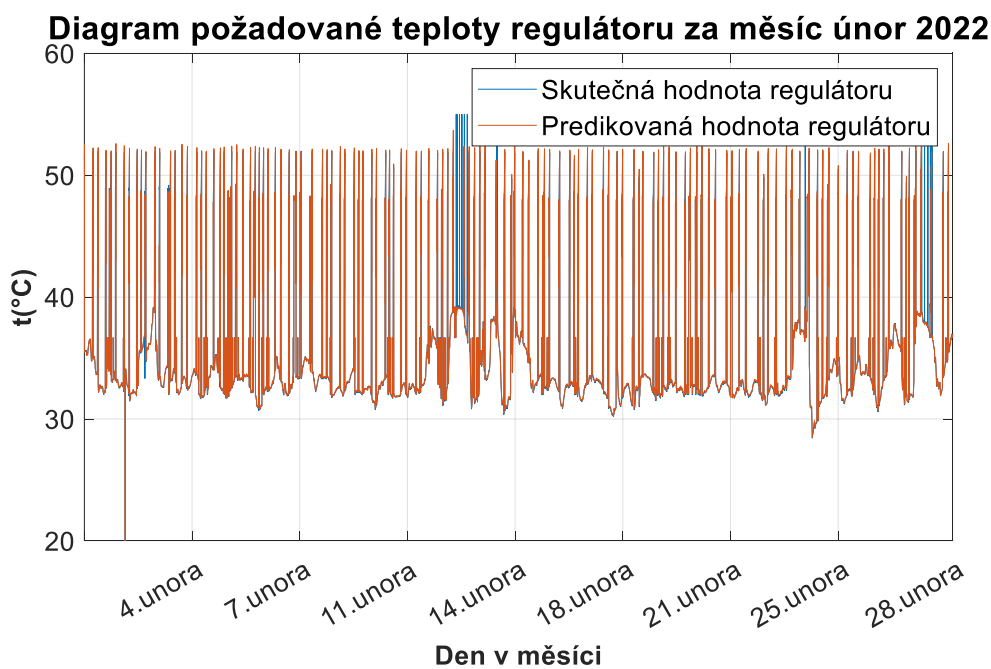
**Obrázek 9** - Graf požadované teploty regulátorem za měsíc leden 2022 s předpovědí počasí

Na dalším grafu můžeme vidět detail na první týden v měsíci lednu 2022 s využitím předpovědi počasí na dalších 6 hodin. Relativní chyba zde byla 0,765 %. Oproti výpočtu bez předpovědi, kde byla chyba 2,330 % je zde zlepšení relativní chyby o 1,680 procentních bodů.



**Obrázek 10** - Graf požadované teploty regulátorem za týden v lednu 2022 s předpovědi počasí

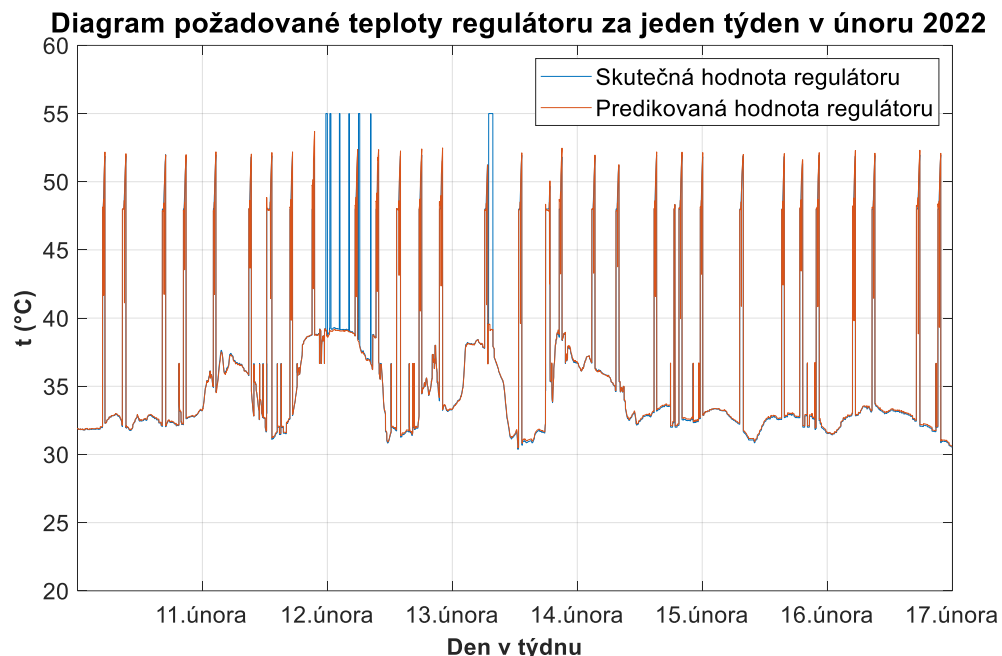
V dalším grafu je znázorněn měsíc únor 2022, kde byla relativní chyba 0,905 %. Oproti relativní chybě 1,799 % za měsíc únor, bez předpovědi počasí je to zlepšení relativní chyby o 0,894 procentních bodů.



**Obrázek 11** - Graf požadované teploty regulátorem za měsíc únor 2022 s předpovědi počasí



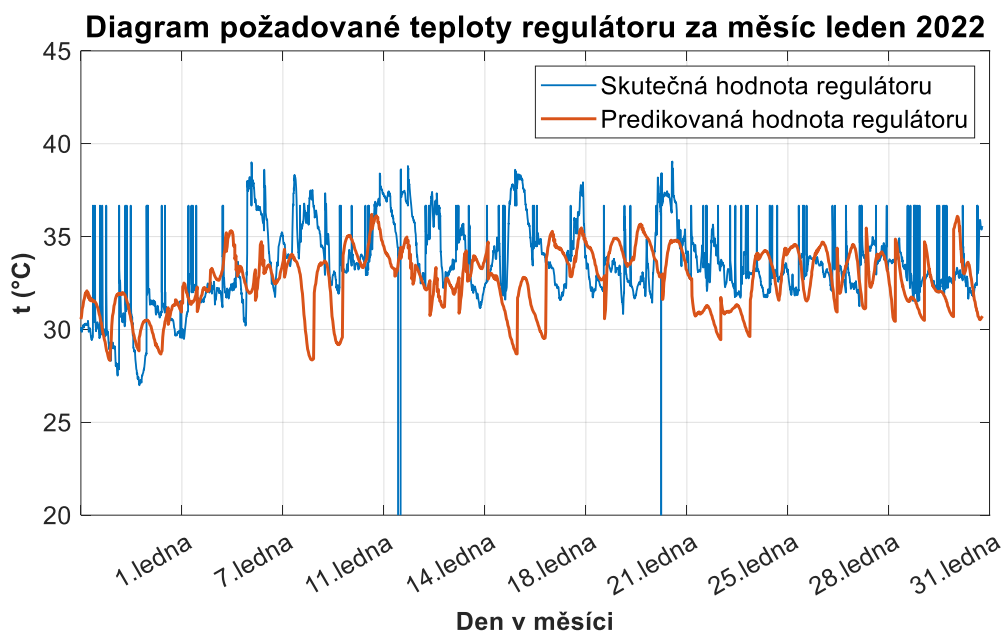
Opět zde vidíme detail na 7 dní od 11. února, kde nám stejně jako na výpočtu bez předpovědi počasí spočítala neuronová síť nejvýraznější rozdíl, oproti původním hodnotám. Relativní chyba je zde 1,409 % což je oproti chybě 2,154 % bez předpovědi počasí zlepšení o 0,745 procentních bodů.



**Obrázek 12** - Graf požadované teploty regulátorem za týden v únoru 2022 s předpovědí počasí

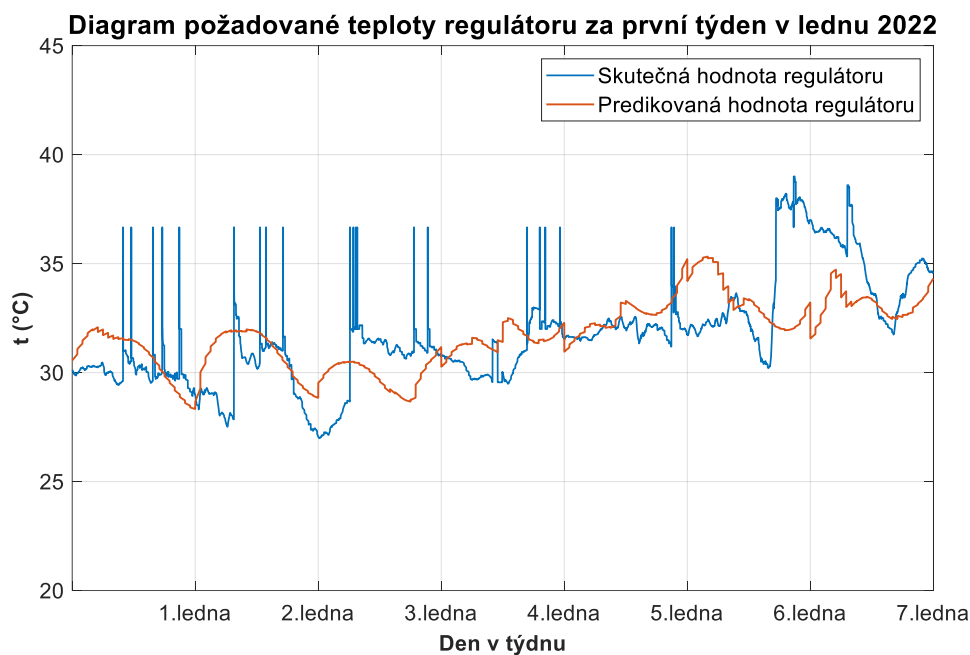
V následujících měsících březnu a dubnu roku 2022 byla situace velmi podobná. Pro měsíc březen byla relativní chyba 1,384 % a pro měsíc duben 0,663 %. V obou měsících došlo ke zlepšení relativní chyby. V březnu o 0,656 procentních bodů a v dubnu o 0,752 procentních bodů.

Na dalším grafu jsem použil opět neuronovou síť, která měla jen omezený počet vstupů, tedy jen hodnoty, které bychom věděli do budoucna a mohli na jejich základu předpovídat průběh vytápění v budoucnosti, společně s předpovědí počasí. Opět se mi nejlépe osvědčila předpověď na následujících 6 hodin. Relativní chyba zde vyšla 5,790 % což je oproti výsledku bez předpovědi počasí zlepšení o 2,260 procentních bodů. Zde vidíme význam předpovědi počasí na přesnost výpočtu.



**Obrázek 13** - Graf požadované teploty regulátorem pouze pro topnou vodu za měsíc leden 2022 s předpovědí počasí

Dále jsem vybral i detail na první týden v měsíci leden 2022, kde jde lépe vidět, jak neuronová síť vyhladila špičky a regulace je tím plynulejší. Relativní chyba za týden je 5,091 %.



**Obrázek 14** - Graf požadované teploty regulátorem pouze pro topnou vodu za první týden v lednu 2022 s předpovědí počasí

#### 4.6 Dopad predikce vytápění na regulaci

Neuronová síť se dokáže naučit nejen fyzikální principy při vytápění budovy tepelných čerpadlem, ale také trendy ve vytápění. Výsledkem je, že díky neuronové síti se dokážeme podívat do budoucnosti na průběhy vytápění s relativní chybou do 6 % a kdybychom neuronovou síť každý den nebo každou hodinu přeučili, dosáhli bychom ještě lepších výsledků. Například by neuronová síť respektovala chování a hodnoty v aktuálním roce a nebyla naučená jen z předešlého roku.

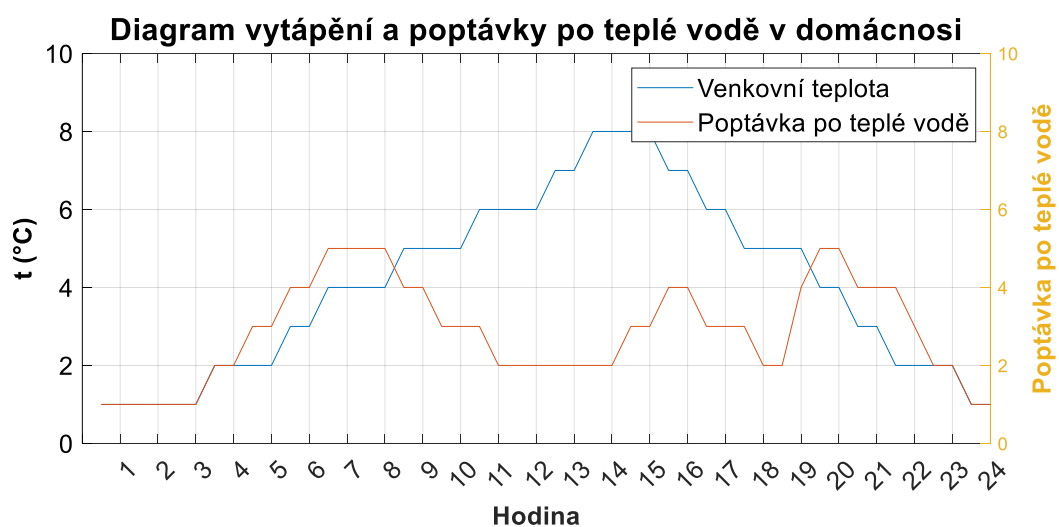
Vzhledem k tomu, že je chování člověka v mnoha případech predikovatelné (ráno člověk vstane, udělá si snídani, provede ranní hygienu, odejde do práce a po 8 hodinách přijde zpět a večer jde spát) je možné na tyto návyky naučit i neuronovou síť a tím optimalizovat regulaci v domě a snížit celkové energetické nároky. Kdybych to měl představit na příkladu, tak systém bude vědět, že aktuální teplota je 8 °C a že za 5 hodin spadne teplota na 1°C a ví, že za 5 hodin bude potřebovat teplou vodu na topení a na TUV. Jelikož zná tuto skutečnost a ví, že během nízkých teplot má nižší účinnost a pracuje s vyšším výkonem. Naopak, za vyšších teplot mu stačí nižší výkon, tak si předem vytopí

akumulační nádrž na co nejvyšší teplotu a až dojde právě na poptávku po teplé vodě, tak už nebude muset vytápět. Díky tomu budou mít lidé uvnitř budovy k dispozici dostatek teplé vody na celý večer. Během noci většinou ohřívat TUV nepotřebujeme a akumulované teplo na vytápění během noci vystačí. V případě potřeby může tepelné čerpadlo pouze při nižším výkonu udržovat minimální teplotu pro udržení stálé teploty v budově. Tepelné čerpadlo z trendů ví, že TUV je potřeba až ráno, většinou kolem 5 až 7 hodiny, a tak si s dostatečným předstihem vytopí TUV tak, aby voda nezchladla a nemuselo tento proces udržení teploty vody opakovat několikrát během noci. Jelikož po tom, co lidé odejdou do práce by čerpadlo opět muselo několikrát za den vytápět teplotu vody, aniž by ji někdo potřeboval, tak neuronová síť ví, že je voda potřeba až po příchodu z práce, tedy opět začne s vytápěním s dostatečným předstihem tak, aby byla teplá voda k dispozici, když je potřeba.

Díky skutečnosti, že má podlahové vytápění zpoždění při vytápění v rádech několika hodin, může si tepelné čerpadlo připravit vodu do podlahového topení během vyšších venkovních teplot, aby během nízkých teplot nemuselo využívat plný výkon a v případě potřeby teplotu jen udržovat, nebo v nejlepším případě už vůbec netopit. Vzhledem k dnešním možnostem několikacestných ventilů by se dala naakumulovaná voda ze zásobníku míchat se studenou vodou a používat tepelnou energii jak na vytápění, tak na ohřev TUV.

Dalším zlepšením predikce by mohla být aplikace pro každého obyvatele domu, kde by obyvatel aplikaci řekl na konci dne, jak mu v místnosti bylo na základě 3 stavů – horko, zima, optimální teplota. Tento parametr by měl výrazný vliv na učení sítě, jelikož každý má jiný tepelný komfort a každému by se individuálně v místnosti topilo dle jeho standardů. Bohužel toto není možné odsimulovat a začlenění tohoto parametru by se muselo vyzkoušet v reálné praxi.

Níže uvedený graf je pouze ilustrativní, je založen na reálných datech. Znárodnují zde venkovní teplotu a požadavek na teplou vodu, ať už se jedná o vytápění či o TUV v pracovním dni. Je zde na první pohled zřejmé, že nejvyšší poptávka po teplé vodě je, když se venkovní teplota pohybuje v minimálních mezích a TČ nemá tak vysokou účinnost a když se venku oteplí a TČ by mělo svou účinnost naopak nejvyšší, tak poptávka není. Neuronová síť je schopna se naučit tyto trendy a dle toho predikovat, jak by se měla regulace zachovat. Na tomto základě můžeme systému říct, aby se připravoval na tuto poptávku po teplé vodě, právě když je účinnost TČ nejvyšší. Poptávku po teplé vodě jsem rozdělil do stupnice od 1 do 5, kde 1 je nejnižší poptávka a 5 nejvyšší.



Obrázek 15 - Diagram venkovní teploty a poptávky po teplé vodě

## 5 Vyhodnocení simulace

Můžeme říci, že obě simulace s předpovědí a bez předpovědi počasí, dopadly velice dobře. V obou případech vyšla relativní chyba velice malá. Ve všech případech pod 3 %. Obecně můžeme říct, že pokud bych měl více dat, tedy nejen za rok 2021, ale třeba i za rok 2020 a 2019, byla by neuronová síť byla ještě přesnější.

V lednu 2022 vyšla bez předpovědi počasí relativní chyba 1,914 % a s předpovědí počasí 0,664 %. Za únor 2022 bez předpovědi počasí byla relativní chyba 1,799 % a společně s předpovědí počasí 0,905 %. Za měsíc březen vyšla relativní chyba 2,040 %, za měsíc duben 2022 1,415 % bez předpovědi počasí a s předpovědí počasí byla relativní chyba za březen 2022 1,384 % a za duben 2022 0,663 %. Zkoušel jsem neuronové síti zadat i minulost, tedy vložil jsem ji data za říjen 2020, kde relativní chyba bez předpovědi počasí vyšla 1,812 % a s předpovědí počasí 1,239 %.

To samé platí, pokud bychom měli i hodnoty z více snímačů. Například, pokud bychom započítali chladnutí vody v topném systému, osvit domu slunečním zářením nebo rychlost a směr větru, lépe bychom určili potřebu pro vytápění. Bohužel tato data jsem ze snímačů z domu neměl a dům neměl ani nainstalované solární panely.

Tímto krokem jsem se ujistil, že je neuronová síť schopná pochopit vztahy mezi fyzikálními veličinami a umí je spočítat s velmi velkou přesností. Když jsem neuronové síti většinu vstupních dat sebral, tak byly výsledky nepřekvapivě mnohonásobně horší.

Jelikož teplotu vody od regulátoru nešlo predikovat, vzhledem ke špičkám způsobeným TUV, musel jsem najít řešení, jak predikovat vytápění v místnosti. Vložil jsem neuronové síti jako vstup požadovanou teplotu v místnosti, časová razítka a jako výstupní veličinu jsem zvolil teplotu regulátoru pouze do topného systému. Bez předpovědi počasí s daty za 4 měsíce byla relativní chyba 8,050 % za leden 2022 a s daty za celý rok byla relativní chyba 9,161 % a po zapojení předpovědi počasí se začala snižovat. Vyzkoušel jsem předpověď na 1 hodinu, 3 hodiny, 6 hodin a 12 hodin dopředu a zjistil jsem, že nejlepších výsledků jsem dosáhl s předpovědí na 6 hodin dopředu s relativní chybou 5,325 % s daty za celý rok, 5,794 % s daty jen za 4 měsíce a také, že má předpověď počasí na vytápění v místnosti velký vliv. S každým dalším učením se relativní chyba nepatrně snižovala, ale vzhledem k omezenému množství dat jsem nemohl přeučování efektivně využít.

## 6 Závěr

Na začátku bakalářské práce jsem zhodnotil a vyjmenoval několik způsobů vytápění budov. Pro tuto bakalářskou práci jsem zvolil TČ vzduch-voda a pracoval s reálnými daty přímo z provozu. Zároveň jsem si vytvořil simulaci vytápění za využití předpovědi počasí na několik hodin dopředu přičemž nejlepšího výsledku jsem dosáhl při předpovědi počasí na šest hodin dopředu.

Dalším zjištěním bylo, že neuronová síť je schopná pochopit a naučit se fyzikální principy při vytápění budovy TČ s velmi velkou přesností, pokud zná velmi mnoho parametrů o vytápěném objektu.

Když jsem neuronové síti sebral velkou část vstupních dat, tak se relativní chyba zvýšila o několik desítek procent. Tento problém jsem vyřešil tím, že jsem predikoval místo celkové teploty regulátoru zahrnující i TUV pouze teplotu regulátoru do topení. Vstupními daty poté byly jen hodnoty, které můžu pro predikci znát. Tedy teplotu požadovanou v místnosti, časová razítka a předpověď počasí. Díky této konfiguraci jsem přišel na neuronovou síť, která predikovala teplotu topnou s relativní chybou do 6 %.

Dále jsem přišel na to, jak se sestavuje modelová situace vytápění budovy a z jakých zdrojů lze vycházet. Predikce počasí se ve většině případů vyplatí, TČ pracuje s aktuální předpovědí, zaznamenává a počítá vždy s aktuální předpovědí, kterou stahuje jednou za 24 hodin a kontroluje změny teplot. V dalším rozšíření této práce by se daly zahrnout i další parametry pro učení neuronové sítě, jako je vlhkost vzduchu, síla a směr větru nebo osvit slunečním zářením. Dalším trendem by mohla být oblačnost vzhledem ke stále většímu zapojení fotovoltaických panelů v kooperaci s TČ, zejména nám tyto hodnoty zpřesňují vztažené fyzikální parametry. Například je rozdíl mezi 6 °C při zatažené obloze a při jasném slunečním svitu.

## **Seznam obrázků**

OBRÁZEK 1 - <i>PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA [9]</i> .....	3
OBRÁZEK 2 - <i>EKVITERMNÍ KŘIVKA [17]</i> .....	10
OBRÁZEK 3 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty OD REGULÁTORU PŘI ZAHRNUTÍ PŘEDPOVĚDI POČASÍ NA VŠECHNY ZVOLENÉ ČASY</i> .....	17
OBRÁZEK 4 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA MĚSÍC LEDEN 2022 BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ</i> .....	18
OBRÁZEK 5 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA TÝDEN V LEDNU 2022 BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ</i> .....	19
OBRÁZEK 6 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA MĚSÍC ÚNOR 2022 BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ</i> .....	19
OBRÁZEK 7 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA TÝDEN V ÚNORU 2022 BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ</i> .....	20
OBRÁZEK 8 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM POUZE PRO TOPNOU VODU ZA MĚSÍC LEDEN 2022 BEZ PŘEDPOVĚDI POČASÍ</i> .....	21
OBRÁZEK 9 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA MĚSÍC LEDEN 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	22
OBRÁZEK 10 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA TÝDEN V LEDNU 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	23
OBRÁZEK 11 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA MĚSÍC ÚNOR 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	23
OBRÁZEK 12 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM ZA TÝDEN V ÚNORU 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	24
OBRÁZEK 13 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM POUZE PRO TOPNOU VODU ZA MĚSÍC LEDEN 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	25
OBRÁZEK 14 - <i>GRAF POŽADOVANÉ TEPLoty REGULÁTOREM POUZE PRO TOPNOU VODU ZA PRVNÍ TÝDEN V LEDNU 2022 S PŘEDPOVĚDÍ POČASÍ</i> .....	26
OBRÁZEK 15 - <i>DIAGRAM VENKOVNÍ TEPLoty A POPTÁVKY PO TEPLÉ VODĚ</i> .....	28



## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [2] BOŠTÍK, Jan. *Hybridní technologie tepelných čerpadel pro rodinné domy*. V Plzni, 2019. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Martin Sirový. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/39426/1/Hybridni%20technologie%20teplnych%20cerpadel%20pro%20rodinne%20domy%202019.pdf>
- [3] Budín, J. *Tepelná čerpadla – princip funkce a rozdělení*. 2015 [online] Dostupné z : <https://oenergetice.cz/teplo/teplna-cerpadla>
- [4] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů. 2., zcela přeprac. vyd.* Praha: Grada, 2004. Profi & hobby. ISBN 80-247-0642-3.
- [5] DUFKA, Jaroslav. *Vytápění netradičními zdroji tepla: [biomasa - tepelná čerpadla - solární systémy]*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-079-2.
- [6] DUNLOP, Carson. *Principles of Home Inspection: Air Conditioning & Heat Pumps*. Chicago: Dearborn Home Inspection Education, 2003. ISBN 978-0793179343.
- [7] *Experimental Study on Energy Efficiency of Heat-source Tower Heat Pump Units in Winter Condition* | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Copyright 2022 IEEE [cit. 21.05.2022]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5721035>
- [8] GÁBA, Martin a Kamil KOSTURIK. *Řídící systém pro vytápění elektrické pece*. V Plzni, 2014. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Kamil Kosturik. Dostupné z: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/13944/1/Diplomova%20prace.pdf>
- [9] *Heat pumps and energy transfer*. SCIENCE LEARNING [online]. 2014 [cit. 2016 05 16]. Dostupné z: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/241-heat-pumps-and-energy-transfer>

- [10] HUDCOVÁ, L. a kol. *Energetická náročnost budov* [online]. V Praze 2009. dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/Brozura\\_Energeticka\\_narocnost\\_budov.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/Brozura_Energeticka_narocnost_budov.pdf)
- [11] JIŘÍČEK, Jakub. *Analýza vytápění rodinného domu: Family House Heating Analysis*. Praha, 2010. Bakalářská práce. České Vysoké Učení Technické, fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Lukáš Ferkl, PhD.
- [12] KADLEC, Karel a Miloš KMÍNEK. *Měřicí a řídicí technika: Regulace* [online]. 2005 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3-ram.htm>
- [13] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [14] KUNC, Josef. *Elektroinstalace krok za krokem. 2., zcela přeprac. vyd.* Praha: Grada, 2010. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3249-7.
- [15] LACHNIT, P. *Tepelné čerpadlo: Výhody a nevýhody*. [online] Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3537.tepelne-cerpadlo-vyhody-a-nevyhody>
- [16] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav, Milan KUBÍN a Petr FISCHER. *Vytápění rodinných domků*. Praha: T. Malina, 1996. ISBN 80-901975-2-3.
- [17] MACHALA, Martin a Josef ŠTĚTINA. *Moderní metody regulace otopných soustav*. 2011.
- [18] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [19] MÜLLER, Vojtěch a Václav MUŽÍK. *Parametrické modelování spotřeby elektrické energie pomocí prediktivních metod*
- [20] MÜLLEROVÁ, Dana a Anna AUJEZDSKÁ. *Hygiena, preventivní lékařství a veřejné zdravotnictví*. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2510-2.
- [21] OTRADOVSKÁ, S. *Vytápění bytového domu s pomocí tepelného čerpadla*. V Praze, 2016. Bakalářská práce (Bc.). České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D. dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66135/F1-BP-2016-Otradovska-Simona-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [22] *Průkaz energetické náročnosti budov* | MPO. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/prukaz-energeticke-narocnosti-budov/prukaz-energeticke-narocnosti-budov--119528/>