



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## ŘÍDÍCÍ SYSTÉM TEPELNÉHO ČERPADLA

HEAT PUMP CONTROL SYSTEM

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Kundrať

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2023

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Radim Kundra</b>
Studijní program:	Základy strojního inženýrství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Řídicí systém tepelného čerpadla

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Celoevropsky nejrozšířenějším typem tepelného čerpadla je tepelné čerpadlo vzduch – vzduch, které je velice často realizováno na základě klimatizačního (chladicího) zařízení, jež je po hardwarové a softwarové stránce upraveno pro provoz v reverzibilním režimu. Výhodou takového řešení je, že základní komponenty jsou vyráběny ve velkých objemech, což se příznivě projevuje na ceně vlastního tepelného čerpadla. Nevýhodou tohoto řešení je, že původně klimatizační tepelné výměníky nemusí vždy splňovat podmínky pro efektivní provoz zařízení (zejména z důvodu namrzání výparníku v přechodném období) a dále pak skutečnost, že topným médiem je vzduch, přičemž ve většině objektů na území střední Evropy je vytápění realizováno jako teplovodní. Z technického hlediska není problém realizovat modifikaci reverzibilního klimatizačního zařízení na tepelné čerpadlo vzduch – voda. Po komponentní stránce je tato přestavba relativně jednoduchá a spočívá hlavně v záměně vzduchového tepelného výměníku (kondenzátoru) za „vodní“. Komplikovanější částí přestavby je zajistit efektivní řízení chodu celého tepelného čerpadla, kdy se přechází z řízení teploty v cílovém prostoru na řízení teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě a řídicí systém tepelného čerpadla se tak stává klíčovým prvkem pro zvládnutí této přestavby.

#### Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést návrh řídicího systému jednoduchého tepelného čerpadla vzduch – voda.

**Seznam doporučené literatury:**

ŽERAVÍK, Antonín, 2003. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.

KOLEKTIV AUTORŮ., 2012. Chladicí a klimatizační technika. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 181 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Rostoucí náklady na vytápění objektů vedou k rozšíření použití úsporných zdrojů tepla, kterými jsou mimo jiné také tepelná čerpadla. Pořízení tepelného čerpadla je značnou investicí. Možností, jak snížit pořizovací náklady, je jeho stavba svépomocí nebo přestavba z vysloužilé klimatizační jednotky. Jednou z překážek při konverzi těchto zařízení je jejich následná integrace do otopné soustavy domu a jejich řízení. Proto je v rámci práce popsán návrh jednoduchého řídicího systému, který je primárně určen pro tyto případy. Jeho základ je postaven na mikrokontroléru řady ESP32. Řídicí systém má 13 konfigurovatelných vstupů pro teploměry nebo digitální vstupy, 6 z nich umožňuje i analogový vstup. Dále má 9 výstupů pro připojení relé. K řídicímu systému se lze bezdrátově připojit, jeho konfigurace probíhá pomocí webového rozhraní. Řídicí systém obsahuje ekvitermní řízení, uživatelsky nastavitelný termostat, různé způsoby pro odmrazení výparníku, ovládání bivalentního zdroje, prvky ochraňující kompresor, možnost měření přehřátí chladiva. Všechny možnosti nastavení jsou v textu práce popsány. V příloze práce je zdrojový kód pro mikrokontroler a webovou konfigurační stránku.

## **Klíčová slova**

tepelné čerpadlo, mikroprocesorové řízení, řízení tepelného čerpadla, ESP32, TČ vzduch/voda

## **Abstract**

The rising costs of heating buildings are leading to the widespread use of energy-saving heat sources, including heat pumps. The purchase of a heat pump is a significant investment. A way to reduce the purchase costs is to build it yourself or to convert it from an old air-conditioning unit. One of the obstacles in converting these devices is their subsequent integration into the heating system of the house and their control. Therefore, the paper describes the design of a simple control system, which is primarily intended for these cases. It is based on the ESP32 microcontroller series. The control system has 13 configurable inputs for thermometers or digital inputs, 6 of which also allow analog input. It also has 9 outputs for relay connections. The control system can be connected wirelessly, its configuration is done via a web interface. The control system includes equithermal control, user adjustable thermostat, various methods for evaporator de-frosting, bivalent source control, compressor protection elements, refrigerant overheating measurement. All setting options are described in the text of the thesis. The source code for the microcontroller and the web configuration page are included in the appendix of the thesis.

## **Key words**

heat pump, microprocessor control, heat pump control, ESP32, air to water HP

## **Bibliografická citace**

Citace tištěné práce:

KUNDRATA, Radim. *Řídící systém tepelného čerpadla*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/153372>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

Citace elektronického zdroje:

KUNDRATA, Radim. *Řídící systém tepelného čerpadla* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/153372>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hejčíka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. května 2023

Radim Kundra

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D., za obětavou pomoc při zpracování této práce.

# OBSAH

1 ÚVOD .....	11
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ .....	12
2.1 Tepelné čerpadlo .....	12
2.2 Pořizovací náklady tepelných čerpadel .....	13
2.3 Řízení tepelných čerpadel.....	14
2.3.1 Řízení převzaté z klimatizační jednotky.....	14
3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE.....	19
3.1 Postup práce .....	19
3.2 Stanovení požadavků.....	19
4 NAVRHOVANÉ ZAŘÍZENÍ .....	21
4.1 Chladivový systém TČ .....	21
4.1.1 Ochrana kompresoru .....	21
4.1.2 Odmrazování výparníku .....	24
4.1.3 Chladiva.....	24
4.1.4 Bivalence .....	25
4.2 Hardware .....	26
4.2.1 Stanovení minimálního počtu teploměrů, vstupů a výstupů.....	26
4.2.2 Mikrokontrolér .....	26
4.3 Vstupy a výstupy .....	29
4.3.1 Vstupní senzory .....	30
4.3.2 Výstupní moduly .....	34
4.3.3 Bezpečnostní prvky .....	35
4.4 Komunikace.....	37
4.5 Software.....	37
4.5.1 Vývojová prostředí .....	37
4.5.2 Knihovny .....	38
4.5.3 Webová konfigurační stránka.....	39
5 MOŽNOSTI KONFIGURACE ŘÍZENÍ.....	41
5.1 Přehled prvků webové konfigurační stránky .....	41
5.2 Možnosti ovládání .....	44
6 DISKUZE K ŘEŠENÍ.....	56
7 ZÁVĚR.....	58
Seznam zdrojů.....	59
Seznam obrázků .....	64
Seznam tabulek.....	65
Seznam zkratek.....	66





# 1 ÚVOD

Skokový nárůst cen paliv a energií v roce 2022 [1] vyvolal velkou vlnu hledání způsobů, jak ušetřit. Jednou z možností, jak toho dosáhnout, je snížení celkového spotřebovaného množství energie, čehož lze docílit například tepelným čerpadlem. Takové tepelné čerpadlo může nahradit jiné zdroje tepla nebo alespoň zkrátit nutnou dobu jejich provozu. Lze ho použít i k ohřevu užitkové vody.

Poptávka po těchto systémech tudíž enormně vzrostla. Termíny montáží jsou v řádech měsíců, s problémy se potýká i dodavatelský řetězec [2] [3]. Řešením může být doplnění stávajícího otopného systému tepelným čerpadlem, které si sestrojíme svépomocí. Snazší variantou je pak přestavba klimatizační jednotky vzduch/vzduch nebo jiného chladírenského zařízení. Pokud se pustíme do sestavení nebo přestavby tepelného čerpadla, jednou z výzev je zajistit řízení jeho chodu. Snaha přizpůsobit stávající řídicí systém potřebám otopné soustavy může být velmi pracné. Obtížné je také z původního řízení získat provozní parametry, které by umožnily následnou optimalizaci provozu.

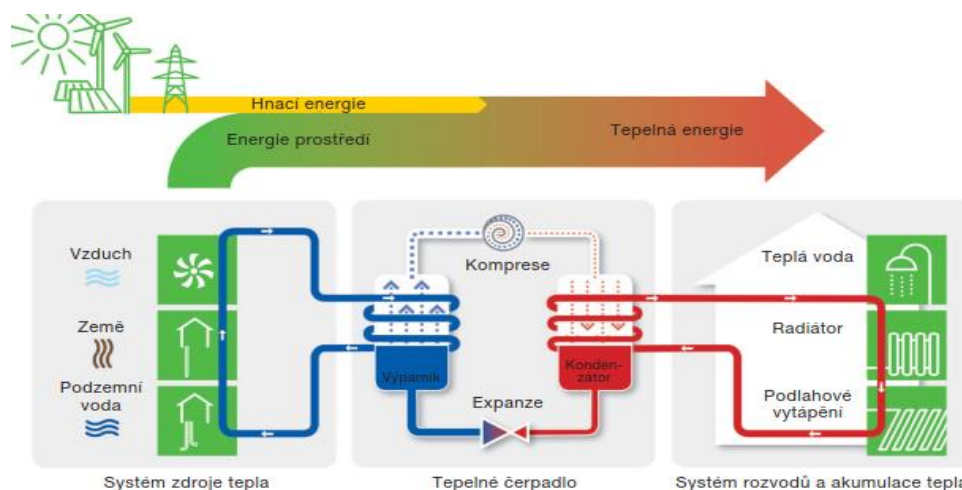
S těmito problémy jsem se potýkal i u tepelných čerpadel, které jsem sestrojil pro naši domácnost. Cílem práce je tedy vytvořit univerzální řídicí jednotku pro tepelná čerpadla vzduch/voda, která bude snadno konfigurovatelná a byla by schopna řídit chod čerpadla ve spojení s různými otopnými soustavami. Čtenář by se měl v práci seznámit se základními principy a strukturou jejího ovládání.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (TČ) je „zařízení k získávání využitelné tepelné energie získané z nízkopotenciálních zdrojů tepla“ [4]. Fyzikální princip fungování TČ je založen na přečerpávání nízkopotenciální energie z venkovního prostředí na vyšší teplotní úroveň, při kterém se uplatňují první a druhá věta zákona termodynamiky [4]. Tepelná čerpadla na své primární straně odnímají teplo z jednoho prostředí (vody, okolního vzduchu nebo z půdy) s nižší teplotou a převádějí ho na své sekundární straně do jiné teplo-nosné látky (vzduch, voda) s vyšší teplotou, a to za potřeby dodání energie [5]. Tepelná čerpadla mohou fungovat jako kompresorová nebo sorpční. Tato práce se nadále věnuje pouze kompresorovým TČ.

Hlavními částmi kompresorových TČ jsou výparník, termostatický expanzní ventil (TEV), kompresor a kondenzátor, viz obr. 1. Na primární straně je do výparníku přiváděno nízkopotenciální teplo z venkovního prostředí a kapalné chladivo dávkované pomocí TEV. Výparník je vypařováním chladiva ochlazen na teplotu nižší, než je teplota okolí, ze kterého se odebírá teplo. Pomocí kompresoru jsou pak páry stlačeny, čímž dojde ke zvýšení tlaku, a tedy kondenzační teploty. Teplo dodané kondenzací par pak lze využít například pro vytápění budov. [4]



Obr. 1: Princip tepelného čerpadla (Dragoun, 2022)

Podle prostředí, ze kterého je teplo odebráno a kterému je následně předáváno, rozlišujeme nejčastěji TČ typu vzduch/vzduch, vzduch/voda, země/voda, voda/voda. Nejpoužívanějším typem je v současnosti v České republice systém vzduch/voda<sup>1</sup> [6]. Využití nachází TČ nejčastěji při vytápění objektů nebo při ohřevu užitkové vody.

Na našem území se první TČ začala objevovat v 50. letech 20. století, k jejich rozšíření došlo však až v 80. letech v reakci na ropné krize. Výrobci byly podniky Frigera Kolín, ČKD Choceň, ČKD Kompresory a Calex Zlaté Moravce, používány byly také TČ značek Carrier a Stiebel Eltron. V 90. letech byla u nás první čerpadla instalována v domácnostech. Většímu rozšíření však bránily zejm. nízké ceny energií. Do roku 2000 bylo instalováno pouze asi tisíc zařízení. Po zavedení dotačních titulů a speciálních sazeb na elektřinu došlo postupně k nárůstu jejich využití. [7] V roce 2021 bylo prodáno TČ určených primárně k vytápění asi třicet tisíc, v roce 2022 pak přibližně dvojnásobek [6].

<sup>1</sup> Tepelná čerpadla vzduch/vzduch nejsou v této statistice zahrnuta.

## 2.2 Pořizovací náklady tepelných čerpadel

Investice do TČ může být značná. V současné době se ceny včetně montáže pohybují v řádech statisíců, viz tabulka 1.

Tab. 1: Orientační ceny tepelných čerpadel včetně montáže [8]

typ tepelného čerpadla	orientační cena
vzduch/vzduch	25 000 až 50 000 Kč
vzduch/voda	220 000 až 350 000 Kč
voda/voda	350 000 až 450 000 Kč
země/voda	350 000 až 450 000 Kč

Možností, jak snížit pořizovací náklady na TČ, je několik<sup>2</sup>. První možností je sestavit si vlastní TČ z jednotlivých komponent. V tomto případě je nutné disponovat oprávněním pro svařování plamenem či elektrickým obloukem, pájení plamenem, elektrické instalace a rozvody a pro manipulaci s chladivem. Podrobný návod na sestavení TČ popisuje ve své práci např. Ing. Žeravík [4].

Existují také stavebnice tepelných čerpadel, které obsahují buď jednotlivé komponenty nebo mají osazenou pouze základní komponenty chladivového systému, který je již při dodávce naplněn chladivem.

Další možností je ušetřit náklady za instalaci a provést ji svépomocí. U typu TČ země/voda se jedná pouze o jednu jednotku, která je umístěna zpravidla uvnitř objektu. Ve venkovním prostředí je umístěn zemní kolektor, ze kterého je přiváděna nemrzoucí směs. U této možnosti jsou však další náklady dány cenou zemního kolektoru a nutnými výkopovými pracemi, nesmíme opomenout ani potřebnou velikost pozemku. Tepelná čerpadla voda/voda pak pro získávání tepla používají vodu studniční nebo jiné zdroje vody. Zajímavou alternativou může být kombinace tepelného čerpadla země/voda společně s venkovním výměníkem vzduch/voda. Je však potřeba mít na paměti, že každý další teplotní přechod snižuje účinnost systému TČ.

U TČ vzduch/voda máme na výběr z jednotek typu monoblok nebo split. U typu monoblok je chladivový systém uzavřený (situovaný ve vnější jednotce) a připojení k objektu je provedeno pouze pomocí běžného instalatérského materiálu. Největší nevýhodou je právě toto potrubí, které, pokud je naplněno vodou, může při výpadku elektřiny a nízké venkovní teplotě zamrznout. Poškodit se může nejen potrubí, ale i kondenzátor, což by mohlo vést až k úniku chladiva do okolí a následnému vniku vlhkosti nebo k proniknutí chladiva do okruhu s otopnou vodou, přičemž prudký nárůst tlaku může poškodit i jiné prvky této soustavy.

U jednotek typu split je již zapotřebí propojit vnější a vnitřní jednotku pomocí trubek s chladivem. Potrubí je standardně vyrobeno z mědi. Vývody jednotek jsou připojeny pomocí tvrdého pájení nebo pomocí kalíškového spoje. Pro tvrdé pájení potrubí větších průměrů je zapotřebí autogen. Vnitřní část potrubí je pak nutné naplnit inertním plynem, který zabrání vzniku oxidů mědi po jejím zahřátí. V neposlední řadě je také potřebné ochránit uzavírací armatury na jednotce proti teplu. Pro vytvoření kalíškových spojů je naopak zapotřebí speciálního nástroje – pertlovačky. K dotažení převlečných matic je ideální použít momentového klíče.

<sup>2</sup> Na TČ je možné také žádat dotace z programů Nová zelená úsporám a Kotlíkové dotace [52].

Možnou alternativou je také přestavba jiných chladivových systémů na TČ.<sup>3</sup> Chladivový okruh obsahuje řada zařízení, např. lednice, mrazáky, výčepní zařízení, zařízení pro průmyslové chlazení kapalin, mobilní klimatizace, tepelná čerpadla pro ohřev bazénů, sušičky prádla, výrobníky ledu atp. Nejvíce vhodné pro tuto přestavbu jsou zejména domácí klimatizační jednotky. Hlavním cílem takové úpravy pak není kompletní pokrytí spotřeby tepla během celé topné sezóny, ale především její zkrácení pro ostatní zdroje tepla.

Přestavba klimatizační jednotky na TČ předávající teplo do otopné vody není triviální. Je zapotřebí doplnit sekundární stranu systému vhodným výměníkem. Výměník je pak nutné chladivovým potrubím propojit s venkovní jednotkou. To vyžaduje další náklady na potrubí, jejich vyvakuování, stavební zásah (průchod skrze zeď), napojení na otopnou soustavu ... Komplikovaná je také integrace do stávajícího otopného systému ve smyslu řízení. Nástrojem pro usnadnění integrace může být tato práce, která je zaměřena na vytvoření řídicí jednotky TČ.

## 2.3 Řízení tepelných čerpadel

### 2.3.1 Řízení převzaté z klimatizační jednotky

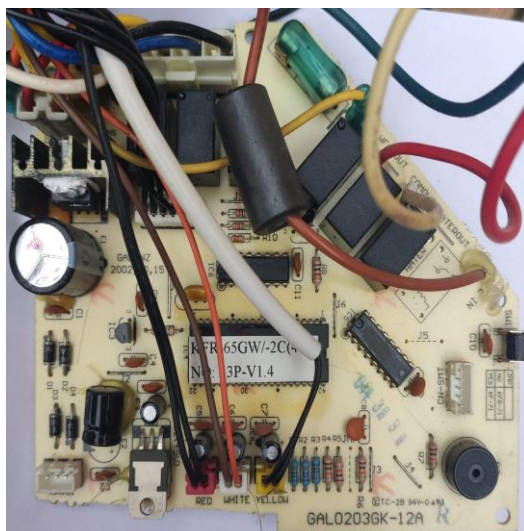
Pokud zhotovujeme TČ adaptací z klimatizační jednotky, nabízí se možnost využít vlastní řízení klimatizační jednotky. Každá klimatizační jednotka má svůj řídicí systém. Ten může být proveden několika způsoby. Buď se řídicí systém nachází ve vnější jednotce, ve vnitřní jednotce nebo v obou (viz obr. 4), případně je dedikované řízení umístěno jinde.

Nejjednodušší systémy, umožňující pouze chlazení, mohou být řízeny pomocí signálu přímo z termostatu. Uvnitř venkovní jednotky je osazen pouze stykač pro kompresor a ventilátor.

U jednoduchých systémů klimatizace s ON/OFF kompresorem je celé řízení nejčastěji situováno ve vnitřní jednotce, viz obr. 2. Řízení má displej nebo stavové diody, může být ovládáno dálkově. Ovládá zapínání kompresoru a ventilátoru kondenzátoru, řídí otáčky ventilátoru vnitřní jednotky, nastavení směru proudění vzduchu... Ve vnější jednotce je pak pouze svorkovnice na připojení kabelů mezi vnitřní a venkovní jednotkou, propojení teploměrů, případně stykač kompresoru a jiné bezpečnostní prvky. Přestavba řízení těchto jednotek je poměrně snadná, protože ve vnější jednotce není potřeba dělat rozsáhlé změny elektroinstalace.

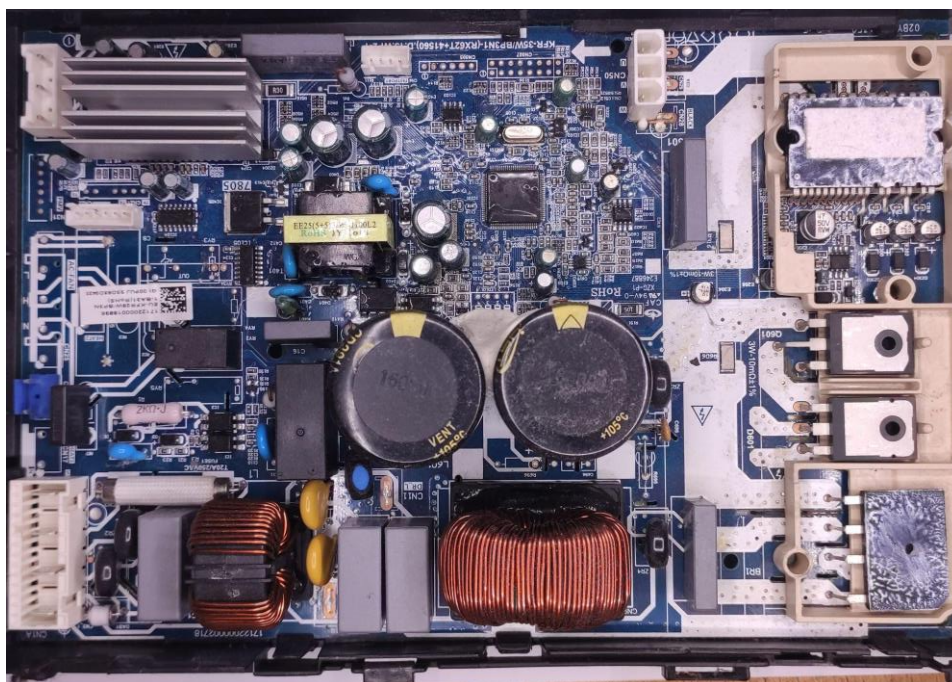
---

<sup>3</sup> Tato práce neslouží jako návod pro přestavbu chladivových systémů. Do chladivových systémů, které obsahují chladiva rozkládající ozonovou vrstvu (R11, R12, R22 a všechny jejich směsi – R400, R401, R402, R403, R405, R408, R409, R411, R412, R414, R415, R418, R501, R502, R509 [54]) je zakázáno jakkoliv zasahovat [55].

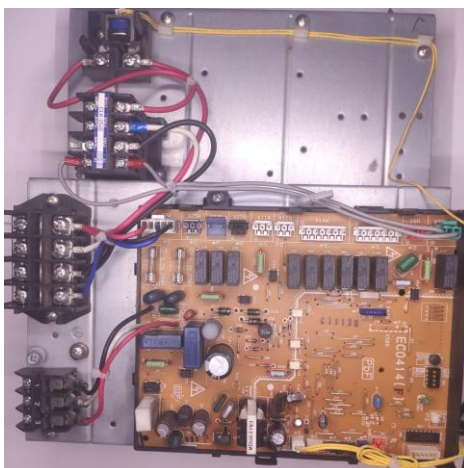


Obr. 2: Řídicí deska z vnitřní jednotky klimatizace s ON/OFF kompresorem (zdroj: autor)

Moderní splitové klimatizace jsou zpravidla vybaveny obvody, které umožňují měnit otáčky kompresoru v závislosti na požadavku velikosti chladicího výkonu (obr. 3). Komunikace mezi vnitřní a vnější jednotkou probíhá po komunikační sběrnici. Pro možnost řídit venkovní jednotku vlastním řízením by bylo potřeba buď rozklíčovat vzájemnou komunikaci jednotek nebo nahradit zabudovaný frekvenční měnič vlastním frekvenčním měničem.



Obr. 3: Deska z vnější jednotky splitové klimatizace vzduch/vzduch  
Na desce je integrovaný frekvenční měnič pro kompresor i ventilátor. Chladič silových prvků je demontován.  
(zdroj: autor)



Obr. 4: Řídicí deska venkovní jednotky Daikin RQ125

Vlevo se nachází měřicí transformátor pro měření proudu, dále stykač kompresoru, svorkovnice pro připojení napájení a vpravo dole svorkovnice pro komunikaci s vnitřní jednotkou. (zdroj: autor)

### 2.3.2 Komerční řízení TČ

Na trhu existuje řada produktů, s jejichž pomocí lze tepelná čerpadla řídit. Níže uvádím krátký popis dvou vybraných komerčních řídicích jednotek.

#### c.pCO

Společnost CAREL INDUSTRIES S.p.A. nabízí řadu řídicích systémů c.pCO (obr. 5). Své systémy nabízí v několika provedeních podle stupně vybavenosti. Systém c.pCO umožňuje ovládání elektronického expanzního ventilu, vstupy podporují širokou škálu čidel, dostupné moduly pak umožňují komunikaci systému s nejrůznějšími nadřazenými inteligentními systémy řízení. Všechny GPIO (General-Purpose Input/Output) mohou být nakonfigurovány jako digitální vstupy, analogové výstupy (PWM nebo 0-10 V) nebo jako vstupy pro NTC, PTC, různé PT čidla, 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA... [9]



Obr. 5: Řídicí systém c.pCO [10]



## ETX-TC V.31

Jedná se o řídicí systém vyvíjený společností ELTEX electronic. Jeho součástí je modul samotný, tři teplotní PTC čidla, transformátor pro napájení a externí modul pro připojení dalších vstupů. Modul má 5 relé výstupů (z toho 2 jsou konstruovány jako přepínače), 3 vstupy na teplotní čidla PTC, dva digitální vstupy pro vodoměry, výstup pro komunikaci RS485 a připojení modulu pro další vstupy. Systém umožňuje ovládání TČ typů vzduch/voda, země/voda i voda/voda. Konfigurace je realizována třemi tlačítky a segmentovým displejem. [11] Podrobný návod je k dispozici na webových stránkách společnosti ([www.eltex-km.cz](http://www.eltex-km.cz)), společně s dalšími doporučeními a schémata zapojení.

SW je neustále vyvíjen, aktuální verzi je verze 31. Technická dokumentace je dostatečně podrobná.

Ačkoliv je SW neustále zdokonalován, HW (obr. 6) dlouho inovován nebyl (zmíněn může být například externí modul s dalšími vstupy, který je připojen na bývalý vstup teplotního čidla T4). Oproti jiným řízením má pouze 3 vstupy pro teploměr. Pro možnost hodnoty graficky zobrazit a vyčítat, je potřeba dokoupit další moduly a SW. Použití segmentového displeje není uživatelsky přívětivé. Celková cena řídicího modulu s příslušenstvím se aktuálně pohybuje kolem 7000 Kč. [11]

Řídicí systém je jednoúčelový, bez přístupu ke zdrojovému kódu nelze software upravit a jeho případná aktualizace stojí 600 Kč [11].



Obr. 6: Hardware ETX-TC V.31 [11]

Mezi další dodavatele patří např. společnost Teco a.s. [12], společnost AMiT [13] a řada dalších.

### 2.3.3 Open source možnosti řízení

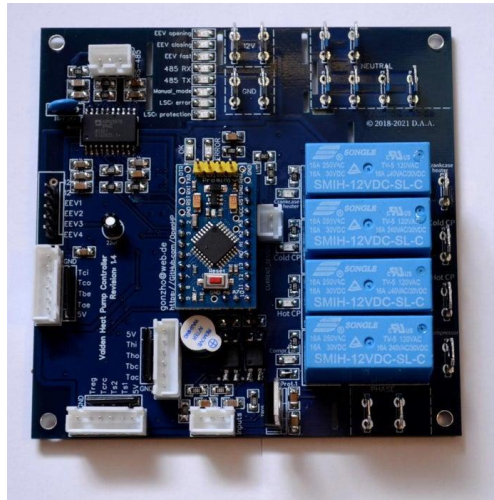
Vedle komerčních řešení existují také open source řídicí systémy, jejichž zdrojové kódy a schémata jsou jejich autory volně poskytnuty.

#### Valden: Heat Pump Controller

Jedná se o open source projekt pro řízení TČ od tvůrce Gonzho. Má 4 relé výstupy, 2 vstupy pro presostaty, umožňuje připojit až 12 teplotních čidel, podporuje připojení EEV, umožňuje připojení displeje pro zobrazení parametrů a konfiguraci [14]. Schéma i design PCB je možné stáhnout na webových stránkách [15], desku je pak nutné si sestavit podle schématu (viz obr. 7). Navíc je možné měření elektrického proudu a následný výpočet spotřeby elektrické energie. Podpora EEV je zajímavou možností, ale vzhledem k absenci tlakového čidla není nastavení ovládání ventilu snadné. Někteří uživatelé však nejspíš neocení nutnost sestavení vlastní desky plošných spojů,



jejíž výroba je bez patřičného vybavení velmi náročná. Počet relé výstupů je taky pro další funkce (ohřev užitkové vody) značně omezující.



Obr. 7: Valden: Heat Pump Controller [15]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Pokud bychom zachovali původní řízení klimatizační jednotky, nemusíme vynakládat již žádné další úsilí. Klimatizační jednotky vzduch/vzduch však mají vzduchový lamelový výměník, který se chová jinak než výměník s předáváním tepla do otopné vody po přestavbě (jiné teplotní poměry mohou způsobit vyvolání poruchového stavu v řídicím systému). Další nevýhodou, se kterou se u původního řízení můžeme potýkat, je příliš časté cyklování kompresoru ve snaze zajistit co nejvyšší komfort pomocí ON/OFF kompresorů. Většina původních řídicích jednotek také uživateli neposkytuje informace o aktuálním stavu jednotky (např. měřené teploty, příkon, stav výstupů ...).

Stojí tedy za zvážení, zda nenahradit původní řízení řízením, které může uživatel nakonfigurovat. Takové řízení umožňuje lépe přizpůsobit TČ otopnému systému. Je možné také jednoduše přidat logiku zohledňující například vliv hromadného dálkového ovládání (HDO), spínání bivalentního zdroje při nedostatku výkonu, integrovat ohřívání teplé užitkové vody (TUV) atd.

Komerční systémy umožňují pokročilé řízení, které je možno přizpůsobit podle potřeb uživatele. Samotné řídicí algoritmy a základní strukturu řídicího programu však není možné bez přístupu ke zdrojovému kódu měnit. Proto jsem se rozhodl pro vytvoření vlastního řídicího systému. Kromě nabytí zkušeností s programováním, vlastním návrhem a sestavením potřebných požadavků bylo mou snahou docílit návrhu takového zařízení, jehož náklady na pořízení budou minimální.

### 3.1 Postup práce

Prvním krokem při zpracování práce bylo nastudování problematiky řízení tepelných čerpadel. Pozornost byla věnována chování vzniku námrazy, možnosti ochrany a maximalizace životnosti kompresoru, nutnosti spolupráce TČ s jinými zdroji tepla v případě, že není schopno dodat dostatečný tepelný výkon. V rámci rešerše bylo také zjišťováno, jaké jsou současné možnosti řízení TČ a co nabízí komerční řídicí moduly či dostupná open source řešení.

Na základě nabytých informací bylo rozhodnuto navrhnout řízení TČ vzduch/voda pomocí mikrokontroléru s konfigurací pomocí bezdrátové komunikace přes WiFi síť. Byly stanoveny potřebné požadavky na řízení. Následně proběhlo porovnání tří mikrokontrolérů, z nichž byl zvolen ten nejvhodnější.

Jakmile byla jasná představa o možnostech použitého hardwaru, byly zahájeny práce na návrhu konfigurační webové stránky, která vymezila rozsah možností řízení. Webová stránka byla poté implementována do webserveru, který je provozován na mikrokontroléru.

Poslední částí byla tvorba samotného řídicího algoritmu. Ten nejdříve zaznamená hodnoty všech vstupů a připojených čidel, které jsou následně zpracovány. Poté probíhá vyhodnocení a na závěr změna výstupů.

### 3.2 Stanovení požadavků

V následující kapitole je uveden základní souhrn vlastností, které byly po řídicím systému požadovány. Stanovení těchto charakteristik následně usnadnilo volbu použitých komponent.

- **modularita**

Možností konstrukce tepelných čerpadel je celá řada. Každá konstrukce vyžaduje jiný počet výstupů, vstupů i počet měřených teplot. Na rozhodnutí uživatele je i to, zda například vyžaduje měřit a ukládat statistiky provozu (množství vyrobeného tepla, spotřebovaná energie atp.). Proto je požadováno, aby nebylo nutné mít osazeny všechny výstupy, vstupy a nebylo zapotřebí měřit všechny teploty.

- **snadné na sestavení**

Dalším důležitým parametrem bylo snadné sestavení, zapojení, naprogramování a nakonfigurování nového systému, tzn. jeho uvedení do provozu. K sestavení by mělo být zapotřebí propojit co nejmenší počet modulů a především by nemělo být nutné tvořit vlastní desku plošných spojů.

- **dostupnost komponent**

Neméně důležitá je dostupnost použitých komponent. Toho může být dosaženo podporou více typů teploměrů a dalších periférií. Základem je mikrokontrolér, který by měl být běžně k dostání. Napájet zařízení by mělo být možné standardním USB adaptérem.

- **cena**

Protože je řízení určeno pro TČ, která vzniknou přestavbou levných klimatizačních jednotek, byla také cena jednotlivých komponent důležitým parametrem.

- **konfigurace**

Konfigurace souvisí s rychlostí uvedení systému do provozu. Měla by umožnit přehledné nastavení, které upozorní na všechny potřebné závislosti dalších nastavení a senzorů. V rámci konfigurace by měly být ošetřeny neplatné uživatelské vstupy a nesmyslné kombinace nastavení. Ke konfiguraci by neměly být zapotřebí žádné speciální programy nebo přístroje. Pro tento účel bylo zvoleno použití webové stránky. Po zařízení je tedy požadováno, aby jej bylo možné nakonfigurovat bezdrátově pomocí počítače nebo chytrého mobilního zařízení.

- **připojení**

Je vyžadováno, aby bylo možné zařízení nakonfigurovat bez fyzického připojení k němu.

- **podporované vstupy**

Zařízení by také mělo podporovat dostatečný počet digitálních i analogových vstupů. Optimální by bylo, aby šel každý pin použít buď jako vstupní nebo výstupní. Dále by mělo podporovat digitální teploměry a pulzní vstupy, které najdou uplatnění například u pulzních průtokoměrů. V případě potřeby by mělo být možné co nejjednodušeji doplnit řídicí program o další typy vstupů.

- **bivalence**

Důležitá je integrace bivalence, protože přestavba má být koncipována jako přidružení sekundárního zdroje tepla ke stávajícímu systému. Systém by ji měl být schopen aktivovat v případě nedostatku výkonu nebo například v noci, kdy může být provoz TČ z důvodu hluku omezen.

- **absence displeje**

Snahou bylo, aby nebylo zapotřebí použít displej a aby se bylo možné bezdrátově připojit za všech okolností. Displej by také znamenal další náklady a zabíral by některé výstupní piny mikrokontroléru.

# 4 NAVRHOVANÉ ZAŘÍZENÍ

## 4.1 Chladivový systém TČ

Aby bylo pochopitelné, proč má TČ se vzduchovým výměníkem pro venkovní vzduch specifické požadavky na jeho řízení, je zapotřebí objasnit chování chladivového systému, které má s řízením spojitost. Nejvýznamnější rozdíly v chování TČ vzduch/voda souvisí s velkou změnou teplot okolního prostředí a vzniku námrazy na výparníku. Tato skutečnost znamená integrovat do řídicího systému postupy na ochranu kompresoru a řízení odtávání výparníku.

### 4.1.1 Ochrana kompresoru

Kompresor je nezbytnou součástí každého chladivového systému s kompresorovým cyklem. Jeho životnost je klíčovým faktorem pro návratnost investice do TČ, proto je snaha o maximalizaci jeho životnosti.

#### Změna příkonu kompresoru

Každý chladivový kompresor má svou pracovní oblast. Na rozdíl například od kompresorů pro výrobu stlačeného vzduchu (které mají na sání tlak atmosférický, ponížený o ztráty sacím potrubím a filtrem) je rozsah tlaků na sání u chladivového kompresoru značně širší (v závislosti především na vypařovací teplotě). Na sacím tlaku je závislé čerpané množství chladiva. Tlak na výtlaku kompresoru je závislý především na kondenzační teplotě. Toto vede k velkému rozsahu příkonu kompresoru, viz obr. 8. Proto je možné kompresor dlouhodobě provozovat pouze pro určité dvojice vypařovací a kondenzační teploty.

Power consumption

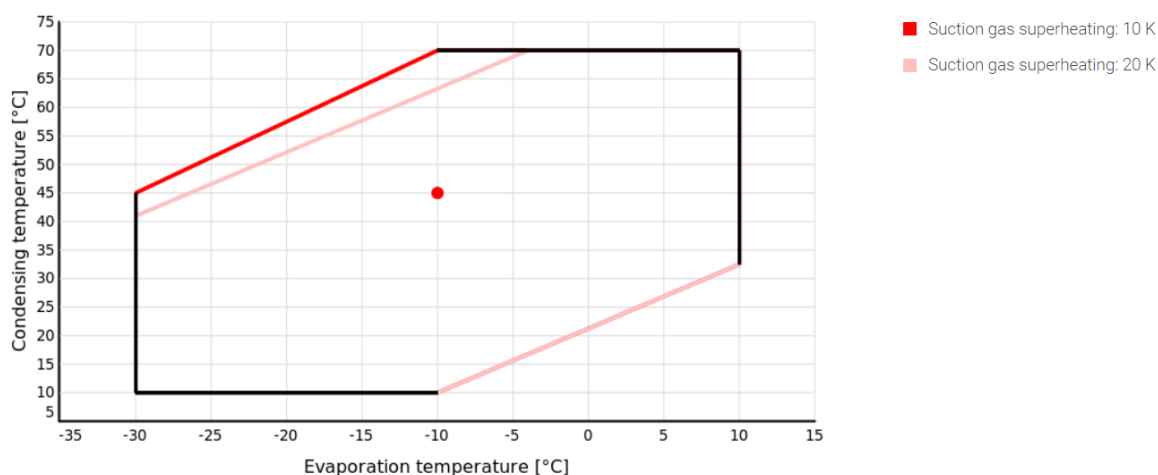
		Evaporation temperature [°C]										
		-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	
Condensation temperature [°C]	10	0.59	0.61	0.63	0.66	0.69						
	15	0.64	0.66	0.68	0.71	0.74						
	20	0.69	0.72	0.74	0.77	0.80	0.83					
	25	0.76	0.79	0.81	0.84	0.86	0.90	0.94				
	30	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.97	1.01	1.06	1.08		
	35	0.89	0.94	0.97	1.01	1.03	1.06	1.10	1.14	1.16	1.19	
	40	0.97	1.02	1.06	1.10	1.13	1.16	1.19	1.23	1.25	1.28	
	45	1.04	1.10	1.16	1.20	1.23	1.27	1.30	1.34	1.35	1.38	
	50		1.19	1.25	1.30	1.34	1.38	1.41	1.45	1.47	1.49	
	55			1.35	1.41	1.45	1.50	1.53	1.57	1.59	1.61	
	60				1.51	1.57	1.62	1.66	1.70	1.72	1.74	
	65					1.69	1.75	1.79	1.84	1.86	1.88	
	70						1.81	1.88	1.93	1.98	2.00	2.03

Obr. 8: Ukázka změny příkonu chladivového kompresoru (ZH04KCU-TFMN, přehřátí 10K, chladivo R290) v závislosti na vypařovací a kondenzační teplotě [16]

#### Obálka kompresoru

Obálka kompresoru je grafické zobrazení pracovní oblasti kompresoru. Na svislé ose je vynesena kondenzační teplota, na vodorovné ose teplota vypařovací (obr. 9).

## Application range



Obr. 9: Ukázka obálky kompresoru ZH04KCU-TFMN pro chladivo R290 [16]

Řídicí systém by tedy měl kontrolovat, zda jsou aktuální podmínky pro provoz v mezích této obálky. Jednoduchou náhradou může být kontrola minimální a maximální teploty výparníku a maximální teploty otopné vody na výstupu. Tyto meze je však zapotřebí zmenšit. Důvodem je, že teplota na výstupu neodpovídá kondenzační teplotě (aby byl výměník schopen přenášet tepelný výkon, je zapotřebí teplotní spád). To samé platí v případě výparníku (kdy je teplota měřená na výstupu z výparníku větší o hodnotu přehřátí chladiva).

### Kontrola spotřeby

Pokud je kompresor provozován mimo svou pracovní oblast, může být motor kompresoru přetěžován. Přetížení může být způsobeno i nedostatečným mazáním mechanických částí. Asynchronní elektromotor tak ztrácí účinnost, jeho vinutí se nadměrně zahřívá, což může vést k poškození izolace a následnému zkratu na kostru nebo mezizávitovému zkratu. Částice poškozené izolace jsou pak rozneseny do celého chladivového okruhu. Před výměnou kompresoru je pak zapotřebí složité vyčištění okruhu. Pokud je tedy řízení vybaveno měřením příkonu TČ, mělo by umožňovat kontrolovat, zda příkon nepřesahuje stanovenou maximální mez.

### Kontrola průtoku

Základním předpokladem pro fungování TČ vzduch/voda je zajištění dostatečného průtoku přes kondenzátor. Pokud tedy zařízení disponuje měřením průtoku, mělo by být možné tuto hodnotu porovnávat s minimálním přípustným průtokem.

### Vysoká teplota výtlaku

Obálka kompresoru je mimo jiné také omezena maximální teplotou na výtlaku kompresoru (levá horní oblast). Vysoké teploty výtlaku vedou k postupné degradaci mazacího oleje kompresoru. Příčinou vysoké teploty výtlaku je vysoký kompresní poměr společně s vysokou hodnotou přehřátí chladiva na sání. Pokud je tedy měřena teplota výtlakového potrubí kompresoru, řídicí systém by měl být schopen odstavit kompresor při překročení maximální přípustné teploty výtlaku.

### Kapalné chladivo na sání kompresoru

Vedle přetížení je pro kompresor velmi nebezpečné i přísátí kapalného chladiva. Chladivo, které se ve výparníku nevypaří, je odnášeno do sání kompresoru. Prostory, kde ke stlačování dochází, mají výrazně vyšší teplotu – při nasátí chladiva tedy dojde k odpaření a prudkému zvýšení tlaku. Pokud k ději dochází často, může vést k předčasnému opotřebení mechanických částí kompresoru. Příčinami, které vedou k nasátí kapalného chladiva, může být:

a) Nízká hodnota přehřátí chladiva

Přehřátí je rozdíl teploty par a jejich vypařovací teplotě za daného tlaku. Příliš nízká hodnota přehřátí<sup>4</sup> zvyšuje riziko vniknutí kapalného chladiva do sání kompresoru. Ukazuje na nesprávnou funkci výparníku, nevhodné nastavení expanzního ventilu nebo použití nevhodného expanzního zařízení.

b) Nerovnoměrné zatížení sekcí výparníku

Příčinou vniknutí kapalného chladiva do sání kompresoru může být odlišný výkon jednotlivých sekcí výparníku. Způsobeno to může být z důvodu překážky proudění vzduchu (nečistoty, nevhodné umístění výparníku, částečné poškození lamel výparníku, námraza) skrze něj. Obzvláště nejnižší položená část výparníku, na kterou stéká zkondenzovaná voda ze sekcí nad ní, je na tvorbu námrazy nejnáchylnější. V určitých podmínkách (venkovní teplota a vlhkost vzduchu) může nastat situace, kdy zamrzne pouze jediná sekce výparníku.

### Konstrukce kompresoru

Moderní Scroll kompresory jsou díky své konstrukci více odolné případnému nasátí kapalného chladiva.

### Odlučovač kapalného chladiva

Odlučovač kapalného chladiva nesouvisí s řízením tepelného čerpadla, ale je účinnou ochranou před vniknutím kapalného chladiva z výparníku do kompresoru.

### Hromadění kapalného chladiva

Pokud není chladivový okruh v provozu, chladivo se hromadí v jeho části s nejnižší teplotou. U tepelných čerpadel je to obvykle výparník. Může však nastat situace, kdy je kompresor po dlouhé době ochlazen na teplotu okolí. Při prudkém nárůstu okolní teploty se pak může chladivo přesunout do kompresoru. Při startu kompresoru následně dochází k nasátí kapalného chladiva a ke zpěnění oleje. Prevencí může být:

a) Vyhřívání oleje

Ochranou před hromaděním chladiva v kompresoru může být nahřívání jeho skříně. Řídicí systém by tedy měl být schopen řídit nahřívání kompresoru.

b) Pump-down

Další prevencí je odsání chladiva kompresorem. Po vypnutí požadavku na výrobu tepla je přívod chladiva do výparníku uzavřen. Kompresor pokračuje v čerpání až do doby, kdy se všechno chladivo odpaří. K hromaděním chladiva tedy nemůže dojít. Spuštění kompresoru je pak možné řídit pomocí tlaku chladiva na sání, řídicím programem je ovládáno pouze sepnutí elektromagnetického ventilu, který otvírá přívod chladiva do výparníku. Některé kompresory však nedisponují zpětným ventilem a chladivo se může dostávat přes kompresor zpět do výparníku. To by u řízení tlakem ve výparníku způsobilo cyklování.

### Vysoká hodnota přehřátí chladiva

---

<sup>4</sup> Hodnota přehřátí se může značně lišit podle místa měření. Páry mají nízkou tepelnou kapacitu, k výrazné změně jejich teploty může dojít i na krátkém úseku nezaizolovaného potrubí.

Pokud je přehřátí vysoké, značí to, že je velká část výparníku neefektivně využita pouze pro ohřev par chladiva. Tlak na sání je tedy nižší, než by mohl být, což nepříznivě působí na účinnost systému. Vysoké přehřátí také vede k vyšším teplotám na výtlačku kompresoru, v důsledku čehož je zapotřebí omezit pracovní oblast kompresoru. Vysoká hodnota přehřátí může vést k dalšímu problému a tím je nerovnoměrné zamrzání výparníku. K vypařování chladiva dochází jen v malé části výparníku, což vede k nízkému vypařovacímu tlaku. V místech nejbližších rozdělovači chladiva má tedy výparník výrazně nižší teplotu než v jiných částech výparníku, proto se námraza začíná tvořit nejdříve zde. Vrstva ledu, zabráňující průtoku vzduchu, se poté postupně rozšiřuje dále ve směru proudu chladiva. To způsobuje neúčinné využití výparníku a komplikace při odstranění nerovnoměrné vrstvy námrazy.

#### 4.1.2 Odmrazování výparníku

U TČ, jejichž zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch, může za určitých podmínek na výparníku vznikat na námraza. Vznikající námraza svým objemem zamezuje proudění vzduchu v mezerách mezi lamelami výparníku. Prostup tepla je vrstvou námrazy snížen. To vede ke snížení tepelného výkonu výparníku, který dokáže při dané vypařovací teplotě dodávat. Účinnost chladivového systému klesá a provoz tepelného čerpadla přestává být ekonomický.

Možností, jak zabránit vzniku námrazy, je neprovozovat TČ v podmínkách, kdy k tvorbě námrazy dochází. Dodávka tepla v toto období je pak zajištěna pomocí bivalentního zdroje tepla.

Další možností je periodicky odstraňovat vzniklou námrazu pomocí tepla. Tento proces se nazývá odmrzování výparníku. Možností, jakým způsobem dodat teplo nutné pro odmrzení veškeré námrazy, existuje několik. Nejrozšířenějším způsobem je u TČ reverzace chodu. Čtyřcestný ventil po jeho aktivaci prohodí výtlač za sání kompresoru a naopak. Dojde tak k obrácení (reverzaci) směru proudění chladiva. Do venkovního výparníku proudí stlačené páry chladiva, které při jejich kondenzaci dodávají teplo nezbytné pro odmrzení námrazy. Chladivo se vypařuje v kondenzátoru, kde odebírá potřebné teplo z otopné vody. Dalším způsobem může být použití elektrických topných tyčí [17]. Ty jsou integrovány do výparníku. Využito může být taky teplo okolního vzduchu. Pokud je jeho teplota dostatečně vysoká, je spuštěn pouze ventilátor, který prohání vzduch lamelami výparníku. Teplo vzduchu postupně odstraňuje námrazu.

#### 4.1.3 Chladiva

Jako chladivo je obecně označována látka, kterou je naplněn chladivový okruh. Chladivo je voleno podle toho, k čemu je chladírenské zařízení určeno. Volba chladiva podmiňuje i zvolený kompresor, který bývá na dané chladivo (případně několik chladiv) konstruován. Pozor si musíme dát na to, zda je chladivo kompatibilní s použitým olejem. Další snahou by mělo být použití chladiva s co nejnižším potenciálem globálního oteplování (GWP). Řídicí systém ve výchozím stavu podporuje vybraná chladiva uvedená v tabulce č. 2.

Tab. 2: Základní informace o vybraných chladivech podporovaných řídicím systémem [18]

chladivo	chemická sloučenina	Glide	GWP-AR4
R22	Chlordifluormethan	0	1810
R32	Difluormethan	0	675
R134a	Tetrafluorethan	0	1430
R290	Propan	0	3
R600a	Isobutan	0	3
R404A	R125/R143a/R134a (44/52/4)	0,75 °C	3922
R407C	R32/R125/R134a (23/25/52)	7 °C	1774
R410A	R32/R125 (50/50)	0,08 °C	2088

### Aproximační polynomy

Aby bylo možné vypočítat přehřátí par chladiva na výstupu z výparníku, je potřeba vědět, jaké vypařovací teplotě odpovídá tlak změřený v tlakoměru. Saturační křivky jednotlivých chladiv byly aproximovány polynomem (tab. 3, tab. 4), které byly vytvořeny v programu MS Excel s nainstalovaným doplňkem Coolprop [19].

Tab. 3: Koeficienty pro aproximaci tlaku chladiv

chladio	$x^0$	$x^1$	$x^2$	$x^3$	$x^4$	$x^5$
R22	-55,613878	20,091169	-2,882619	0,289334	-0,015887	0,000359
R32	-56,591457	12,532068	-1,102939	0,067909	-0,002291	0,000032
R134a	-50,278050	30,706327	-7,299101	1,189921	-0,104976	0,003784
R290	-58,656738	22,075485	-3,288235	0,345706	-0,019967	0,000476
R600a	-51,440490	58,801162	-26,318216	8,103811	-1,353039	0,092446
R404A	-57,124726	16,833388	-1,974810	0,162897	-0,007377	0,000138
R407C	-55,661448	17,631194	-2,217195	0,194997	-0,009382	0,000186
R410A	-56,740053	12,747734	-1,138797	0,071336	-0,002451	0,000035

Tab. 4: Maximální odchylka teploty vypočtené pomocí polynomu od hodnoty z databáze Coolprop pro teplotní rozsah vypařovacích teplot -20 °C až 30 °C

chladio	největší kladná chyba [K]	největší záporná chyba [K]
R22	0,043906	-0,05308
R32	0,018188	-0,05003
R134a	0,034216	-0,09275
R290	0,040746	-0,04372
R600a	0,0306145	-0,082287
R404A	0,017204	-0,04587
R407C	0,019864	-0,05321
R410A	0,017835	-0,0793

#### 4.1.4 Bivalence

Pokud je řízení použito pro tepelná čerpadla, která vznikla přestavbou standardních klimatizačních jednotek, může se stát, že tyto jednotky nemají dostatečný výkon na pokrytí tepelných ztrát v průběhu celé topné sezóny. Jejich provoz může být kvůli hluku ve večerních hodinách omezen nebo uživatel povolí jejich provoz pouze v době nízkého tarifu elektřiny. Dodávku tepla pak musí zajistit jiný zdroj tepla, který je nazýván zdrojem bivalentním. Proto je nutné, aby dokázal řídicí systém bivalentní zdroj tepla řídit.



## 4.2 Hardware

### 4.2.1 Stanovení minimálního počtu teploměrů, vstupů a výstupů

Řízení je určeno pro tepelná čerpadla vzduch/voda. Pokud uvažujeme modelový příklad TČ s ON/OFF kompresorem, s jednorychlostním ventilátorem výparníku, vlastním oběhovým čerpadlem, možností reverzace chodu čtyřcestným ventilem a možností spínat bivalentní zdroj tepla je nutné, aby řízení disponovalo alespoň 5 výstupy.

Pro zajištění základního řízení je nutné měřit venkovní teplotu (pro regulaci výstupní teploty ekvitermní křivkou, pro detekci zamrznutí výparníku). Pro správnou funkci ekvitermní regulace je zapotřebí měřit také teplotu výstupní vody z TČ. Pro detekci zamrznutí výparníku je nutné měřit teplotu výstupních par z výparníku. Pro využití termostatu řízení je nutné měřit teplotu v referenční místnosti. Je nutné, aby bylo řízení schopno měřit minimálně 4 teploty.

Jsou požadovány minimálně 3 vstupy pro bezpečnostní prvky. Jeden řetězec na straně výtlaku (vysokotlaký presostat, havarijní termostat teploty výtlaku kompresoru), jeden na straně sání (nizkotlaký presostat) a pro prvky otopné soustavy (přítomnost tlaku otopné vody, havarijní termostat). Dalším požadavkem je vstup HDO. Nejnižší nutný počet digitálních vstupů je tedy 4.

### 4.2.2 Mikrokontrolér

Stěžejním rozhodnutím byla volba hardwaru, který umožní splnit všechny výše uvedené požadavky. V současné době je na trhu mikrokontrolérů celá řada. Při práci byly zvažovány mikrokontroléry společností Arduino, Espressif a Raspberry Pi.

Na oficiálním e-shopu společnosti Arduino bylo k únoru 2023 na výběr 46 produktů [20]. Další nespočet produktů tvoří klony těchto zařízení, které jsou vyráběny a prodávány třetími stranami. Tyto klony často nabízejí podobné funkce a specifikace jako originální Arduino produkty, ale mohou být dostupné za nižší cenu.

Firma Espressif má ve svém portfoliu 20 produktů SoC (System on Chip) [21]. Tyto čipy jsou pak ještě v různých variantách osazeny různými velikostmi paměťových modulů nebo dalším příslušenstvím. Poslední ze společností, o využití jejichž produktů bylo uvažováno, je Raspberry Pi. Tato společnost je známá především díky svým jednodeskovým počítačům řady Raspberry Pi, od ledna 2021 však uvedla na trh i mikrokontrolér s jejich vlastním čipem RP2040 [22]. Aktuálně jsou na tomto čipu postaveny 2 produkty: Raspberry Pi Pico a Raspberry Pi Pico W s podporou bezdrátového připojení [23].

Pro porovnání byl vybrán jeden vhodný zástupce od každého z těchto výrobců (viz tabulka č. 5) tak, aby zvolený produkt co nejvíce splňoval dané požadavky a zároveň patřil k základním modelům jejich portfolia.

Tab. 5: Porovnání vybraných mikrokontrolérů [24], [25], [26]

parametr	Arduino Uno R3	ESP32-WROOM-32	Pi pico W
napájení desky	6-20 V	5-12 V	1,8 - 5,5 V
počet GPIO	14 (5 V)	26 (3,3 V)	26 (3,3 V)
počet pinů s ADC	6	6*	3
rozlišení ADC	10 bit	12 bit	12 bit
Wi-Fi	Ne	Ano 2,4 GHz (802.11b/g/n)	Ano 2,4GHz (802.11n)
název procesoru	ATmega328P	Xtensa LX6	RP2040
procesor	1 jádrový 8 bit	2 jádrový 32 bit	2 jádrový 32 bit
frekvence	16 MHz	až 240 MHz	až 133 MHz
paměť	32 KB flash	4 MB flash	2 MB flash
RAM	2 kB	520 kB	264 kB

\* počet volně využitelných při aktivním použití Wi-Fi

V porovnání jsou uvedeny vybrané parametry zvolených mikrokontrolérů. Důležitý je počet GPIO pinů a také počet pinů, které jsou vybaveny ADC převodníkem. Převodník umožňuje převádět analogový napěťový vstup na digitální hodnotu, se kterou pak může pracovat procesor mikrokontroléru. Tento převodník má několik charakteristik, z nichž jsem uvedl pouze jeho rozlišení. Mezi další patří například vzorkovací frekvence, která ale není pro mou práci stěžejní.

Počet analogových vstupů lze rozšířit použitím externího AD převodníku, který s mikrokontrolérem komunikuje pomocí datové sběrnice. Ač mohou mít dedikované převodníky lepší rozlišení, menší šum a lze je umístit blíže k zařízení, jehož analogový výstup měříme [27], jejich nasazení není v práci řešeno.

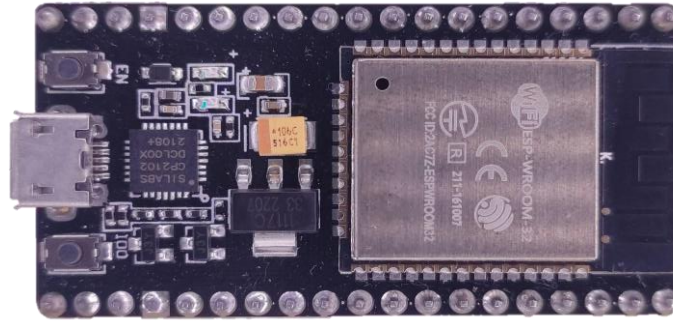
Počet vstupně výstupních pinů lze také rozšířit obdobným způsobem, například expanderem PCF8574. Snahou však je mít dostatek pinů mikrokontroléru. Práce s nimi je jednodušší, bez dalšího propojování a pořizování modulů. [28]

Porovnány byly také velikosti flash paměti. Paměť je důležitá nejen pro uložení samotného programu a obsahu konfigurační stránky, ale i pro případný záznam stavových hodnot. Takový záznam může být základem pro další optimalizaci provozu tepelného čerpadla a systému vytápění jako celku.

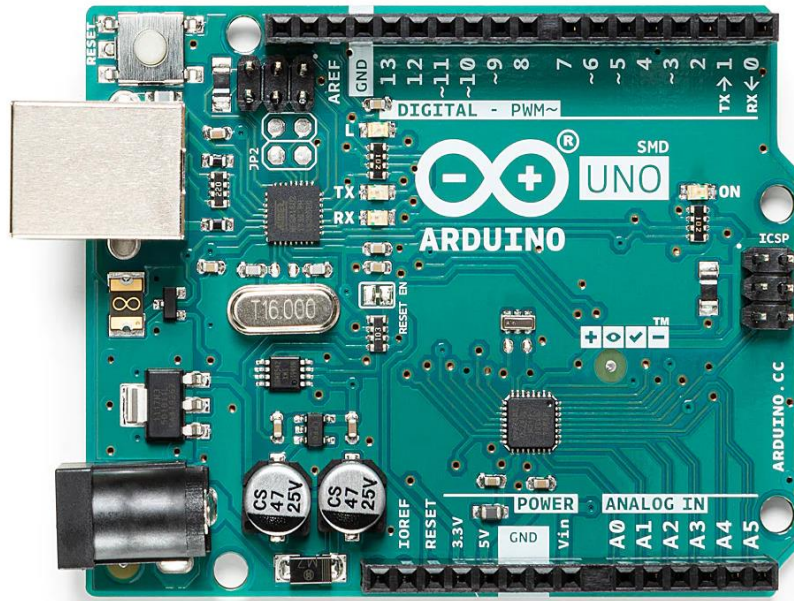
Paměť může být rozšířena standardní SD kartou. Např. záznam: 22.05.23 21:18 -12,3 -16,8 -18,5 28,6 33,5 20,7 43,8 87 12 1458 3548 3 (čas záznamu, 9 teplot, příkon, výkon a stav TČ), ukládaný každých 5 sekund, který má velikost 71 B, by na 4GB SD kartu mohl být ukládán téměř 9 let. Takto podrobný záznam však nemá opodstatněné využití. Cíleno bylo na to, aby nebylo nutné přidávat externí paměť.

Velikost paměti Arduina Uno R3 je zcela nedostatečná už i pro uložení webové stránky. Dostupná paměť ESP32 má přibližně pouze 2 MB (po uložení řídicího programu a webové stránky), je tedy nutné co nejvíce omezit velikost zápisu (volbou vhodného formátu) a také snížit jeho průměrnou frekvenci. Pokud by byla velikost zápisu 50 B a průměrná frekvence zápisu 1 minuta (frekvence může být dynamicky měněna například podle toho, zda právě kompresor běží), bylo by možné uložit záznam po dobu 27 dnů. Pokud bychom připustili životnost 1000 přepsání, bylo by možné vést téměř měsíční záznam po dobu 70 let. Takto může být dosaženo toho, že je možné zaznamenávat dostatečně dlouhý záznam i bez přidání externí paměti. Existují taky provedení ESP32, které jsou interně vybaveny větší flash pamětí [29].

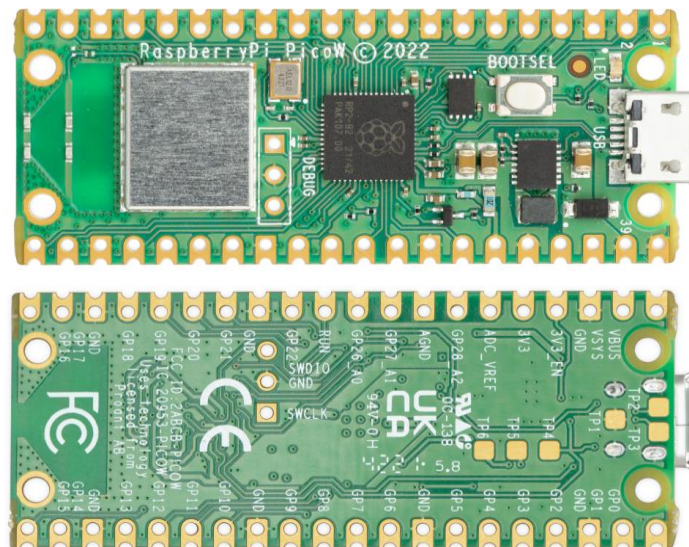
Na základě porovnání vlastností uvedených zástupců byla jako vhodná zvolena deska ESP32 (obr. 10). Arduino Uno R3 (obr. 11) nemohlo být připojeno bezdrátově a mělo nedostatečnou velikost flash paměti. Rozdíl mezi ESP32 a Pi pico W (obr. 12) byl pro mé použití minimální, ale ESP32 má širší komunitu uživatelů, což umožňuje snadněji nalézt návody, knihovny a řešení pro případné komplikace.



Obr. 10: ESP32-WROOM-32 (zdroj: autor)



Obr. 11: Arduino Uno Rev3 SMD [20]



Obr. 12: Raspberry Pi Pico W [26]

## 4.3 Vstupy a výstupy

Mikrokontrolér má své GPIO piny (General Purpose Input Output). Přesto, že jsou piny nazývány jako *general purpose*, většina z nich má z důvodu architektury mikrokontroléru omezenou funkcionalitu. Proto byly vstupy a výstupy rozřazeny tak, aby byly seskupeny do skupin, a tím se zamezilo použití nesprávných pinů na nesprávný účel.

Tab. 6: Výstupní piny ESP32

	3V3		GND	
	EN		IO23	DIGITAL_PIN_1
ANALOG 1	SVP		IO22	KOMUNIKACE_I2C_SCL1
ANALOG 2	SVN		TXD0	KOMUNIKACE_TX
ANALOG 3	IO34		RXD0	KOMUNIKACE_RX
ANALOG 4	IO35		IO21	KOMUNIKACE_I2C_SDA1
ANALOG 5	IO32		GND	
ANALOG 6	IO33		IO19	DIGITAL_PIN_2
RELÉ 1	IO25		IO18	DIGITAL_PIN_3
RELÉ 2	IO26		IO5	DIGITAL_PIN_4
RELÉ 3	IO27		IO17	DIGITAL_PIN_5
RELÉ 4	IO14		IO16	DIGITAL_PIN_6
RELÉ 5	IO12		IO4	DIGITAL_PIN_7
	GND		IO0	RELÉ 7
RELÉ 6	IO13		IO2	RELÉ 8
	SD2		IO15	RELÉ 9
	SD3		SD1	
	CMD		SD0	
	5V		CLOCK	

Vstupy a výstupy jsem na modulu rozdělil do několika skupin, jak uvádím v tabulkách č. 7, 8, 9 a 10.

Tab. 7: Digitální výstupy pro řízení relé

název pinu	GPIO	relé	PWM	omezení
IO 25 (P25)	25	RELE_PIN_1	Ano	-
IO 26 (P26)	26	RELE_PIN_2	Ano	-
IO 27 (P27)	27	RELE_PIN_3	Ano	-
IO 14 (P14)	14	RELE_PIN_4	Ano	-
IO 12 (P12)	12	RELE_PIN_5	Ano	-
IO 13 (P13)	13	RELE_PIN_6	Ano	-
IO 0 (P0)	0	RELE_PIN_7	Ano	Musí být LOW pro nahrání.
IO 2 (P2)	2	RELE_PIN_8	ne	LED
IO 15 (P15)	15	RELE_PIN_9	ne	-

Tab. 8: Analogové vstupy

název pinu	GPIO	ADC	název	omezení
SVP	36	ADC1_0	ANALOG_PIN_1	pouze vstup
SVN	39	ADC1_3	ANALOG_PIN_2	pouze vstup
IO 34 (P34)	34	ADC1_6	ANALOG_PIN_3	pouze vstup
IO 35 (P35)	35	ADC1_7	ANALOG_PIN_4	pouze vstup

IO 32 (P32)	32	ADC1_4	ANALOG_PIN_5	-
IO 33 (P33)	33	ADC1_5	ANALOG_PIN_6	-

Tab. 9: Digitální vstupy

název pinu	GPIO	název	omezení
IO23 (P23)	23	DIGITAL_PIN_1	-
IO19 (P19)	19	DIGITAL_PIN_2	-
IO18 (P18)	18	DIGITAL_PIN_3	-
IO5 (P5)	5	DIGITAL_PIN_4	-
IO17 (P17)	17	DIGITAL_PIN_5	Na WROVER není k dispozici.
IO16 (P16)	16	DIGITAL_PIN_6	Na WROVER není k dispozici.
IO4 (P4)	4	DIGITAL_PIN_7	-

Tab. 10: Komunikace

název pinu	GPIO	komunikace	komunikace	omezení
IO 22 (P22)	22	I2C	SCL1	-
TXD0 (TX)	1	UART	U0TXD	Spojen s USB
RXD0 (RX)	3	UART	U0RXD	Spojen s USB
IO 21 (P21)	21	I2C	SDA1	-

### 4.3.1 Vstupní senzory

Vstupní senzory jsou nezbytnou součástí. Umožňují řídicímu systému získat informace o teplotě, stavu digitálních vstupů, měření hodnot z analogových senzorů.

#### Optočleny

Optočleny (obr. 13) umožňují galvanicky oddělit vstupy. Toho je dosaženo tak, že optočlen obsahuje diodu a fotodiodu, která je aktivována, pokud je dioda zapnuta.

Důvodem použití je to, že vstupy mikrokontrolérů jsou velice náchylné na hladinu úrovně napětí. I krátký napěťový impuls může vést k zastavení řídicího procesoru, poškození uložených dat nebo i ke zničení obvodů. Zdrojem může být například indukované napětí na drátech komunikace, které jsou vedeny v blízkosti silových kabelů.



Obr. 13: Modul pro galvanické oddělení pomocí optočlenů PC817C (zdroj: autor)

## Optočleny pro síťové napětí

V některých případech je zapotřebí zjistit, zda je na vodiči přítomné síťové napětí. Typicky třeba signál HDO, v některých případech i signál z pokojového termostatu.

Toho může být dosaženo například pomocí relé, jehož cívka je ovládána síťovým napětím. Spínané kontakty jsou pak připojeny do mikrokontroléru. Dalším způsobem může být transformátor snižující napětí. Nutné je výstupní napětí usměrnit a vyhladit kondenzátorem, aby probíhalo měření vstupu spolehlivě. Zmíněné způsoby však mají oproti modulu s optočlenem (příklad na obrázku č. 14) vysokou spotřebu energie.



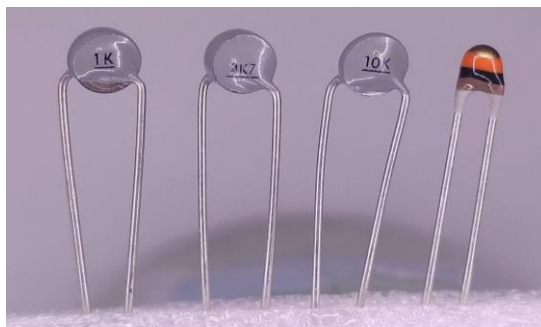
Obr. 14: Modul s optočlenem umožňující detekovat přítomnost síťového napětí na vstupních svorkách (zdroj: autor)

## Teploměry

### a) Termistory

Jedná se o rezistory, jejichž odpor se značně mění s teplotou. Rozdělujeme je na NTC (negativní teplotní koeficient) a PTC (pozitivní teplotní koeficient).

NTC termistory (příklad na obrázku č. 15) svůj odpor se zvyšující se teplotou snižují. PTC termistory svůj odpor se zvyšující se teplotou zvyšují.



Obr. 15: NTC termistory různých hodnot, bez pouzdra (zdroj: autor)

Měření probíhá pomocí měření úrovně napětí na napěťovém děliči. Převedení na digitální hodnotu, kterou je pak procesor mikrokontroléru schopen zpracovat, probíhá pomocí ADC.

ADC převodník na ESP32 není v celém měřicím rozsahu lineární, proto je doporučeno upřednostnit digitální teploměry.

### b) Digitální teploměry



Digitální teploměry (příklady na obr. č. 16 a 17) jsou odlišné tím, že jejich komunikace s řídicím systémem je digitální. Měření a zpracování probíhá přímo v pouzdře teploměru [30], [31] nebo je teploměr vybaven externím obvodem. Výhodou je, že kalibraci provádí přímo výrobce. Další výhodou je, že je měřicí člen a člen pro zpracování v bezprostřední blízkosti. Díky digitální komunikaci při přenosu nedochází ke ztrátě přesnosti či zkreslení dat.

Další výhodou může být to, že některé komunikační protokoly umožňují, aby měl každý teplotní sensor svou unikátní adresu. Je tedy možné na jednu sběrnici připojit větší množství teploměrů. Toho jsem v mém případě nevyužil, aby bylo možné snadno jednotlivé teploměry identifikovat jen pomocí pinu, na který jsou připojeny. V případě použití více teploměrů na jedné sběrnici je si také potřeba dát pozor, aby byla adresa teploměrů na dané sběrnici unikátní.

Další typy teploměrů mohou být odporové nebo termoelektrické. [32]



Obr. 16: Senzor teploty a vlhkosti DHT22 (AM2303) (zdroj: autor)



Obr. 17: Ukázka s DS18B20 [33]

## Tlakoměry

V obvyklém TČ jsou dvě úrovně tlaku – část s nízkým a část s vysokým tlakem. Vysokotlaká část se nachází v části za výtlakem kompresoru a od nízkotlaké části je oddělena škrtícím členem (kapilára, tryska, TEV, EEV). Pokud zanedbáme hydrodynamické tlakové ztráty, je tlak v této části určen teplotou a kondenzační teplotou použitého chladiva. Cílem je, aby byl tlak pokud možno co nejnižší, ale jeho přesné určení řízení nepřináší zásadní informaci. Mnohem důležitější je kontrola, aby tento tlak nepřekonal stanovenou maximální mez. Tím zajistíme ochranu kompresoru a ostatních použitých komponent (výměník, části potrubí...).

Tlak v nízkotlaké části je společně s teplotou mnohem důležitější. Umožňuje nám určit hodnotu přehřátí par chladiva. Díky tomu dokážeme zhodnotit, zda systém pracuje v optimálním rozmezí, zda optimálně pracuje škrtící člen a zda jsou všechny sekce výparníku zatíženy rovnoměrně.

Pro vstup tlakoměru (ukázka na obr. 18) je tedy vyhrazen pouze jeden vstup. Závislost mezi naměřenou hodnotou z ADC převodníku a tlakem tlakoměru je potřeba definovat alespoň dvěma body, kdy je vztah veličin uvažován jako lineární.



Obr. 18: Ukázka tlakoměrů s analogovým výstupem (zdroj: autor)

### Wattmetry

Wattmetr (obr. 19) je zařízení měřící elektrický příkon zařízení. Může být jednofázový nebo trojfázový. Protože motory, které tvoří majoritní část spotřeby tepelného čerpadla, nemají účinník roven 1 (dochází k fázovému posuvu napětí a proudu), není možné příkon spolehlivě měřit pouze měřením proudu.



Obr. 19: Wattmetr [34]

### Průtokoměry

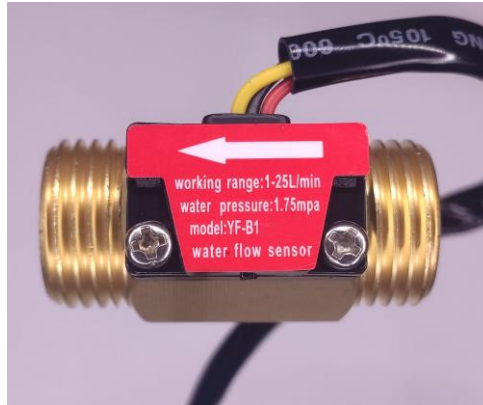
Průtokoměrem je možné stanovit průtok otopné vody. Průtokoměry mohou být turbínkové (obr. 20), pulzní, ultrazvukové, elektromagnetické (indukční) [35]. Navrhované řídicí zařízení je připraveno na průtokoměr pulzní.

Impulsy z průtokoměru jsou snímány na vstupním pinu, na kterém je k tomuto účelu nastaven interrupt (přerušení). Pokud je přiveden impuls, je v programu spuštěna přidružená funkce, která přičítá počet impulsů. Počet pulzů je zpracován až při průchodu smyčkou kódu, při které je podle uběhlého času přepočítán na aktuální průtok.

Pokud je měřena vstupní i výstupní teplota, je možné, aby program vypočítával aktuální výkon a celkové dodané teplo. Průtok může sloužit i pro výpočet tepelného výkonu TČ a společně s celkovým příkonem může stanovit celkový topný faktor (COP). Je také indikátorem, zda je oběhové čerpadlo v pořádku a zda je okruh naplněn vodou. Zcela zásadní je pak průtok při odmrazování výparníku reverzním chodem. Pokud by došlo k jeho poklesu pod stanovenou mez, mohlo by dojít k rychlému vzniku ledu, který může vést k poškození výměníku.



Při volbě průtokoměru je potřeba, pro přesné a spolehlivé měření, zohlednit jeho měřicí rozsah. Samozřejmostí je splnění podmínek maximálního pracovního tlaku a pracovní rozsah teplot. Důležité je také jeho umístění v rámci hydraulické soustavy, kde je pro správné měření nutno zajistit dostatečnou vzdálenost rovného úseku potrubí před a za průtokoměrem tak, aby bylo průměrné rychlostní pole dostatečně homogenní.



Obr. 20: Ukázka turbínkového impulsního průtokoměru s hallovým senzorem (zdroj: autor)

#### 4.3.2 Výstupní moduly

Výstupem řídicí jednotky je elektronické ovládání výstupů. Největší skupinou je spínání výstupů ON/OFF. Je potřeba mít na paměti, že výstupy mikrokontroléru nedokážou poskytovat vysoký proud. Pro ESP32 je maximální proud na pin 40 mA [36]. Pro další možný vývoj výstupní piny disponují PWM (pulzně šířková modulace) regulací. Díky ní je možné řídit otáčky oběhových čerpadel [37] nebo ventilátorů a tím docílit dalších úspor.

#### Reléová deska

Relé je sestaveno z cívky, která přitahuje kotvu, která pak spíná a rozpíná kontakty. Cívka může být jak na střídavý, tak stejnosměrný proud. Relé pro mikrokontroléry (např. viz obr. 21) bývají osazeny další elektronikou. Typické je použití tranzistoru, aby bylo možné cívku sepnout i nízkým proudem, který poskytuje výstupní pin mikrokontroléru. Dalším prvkem bývá galvanické oddělení pomocí optočlenu. Napájení cívek pak nemusí být s obvodem mikrokontroléru nijak propojeno. V neposlední řadě bývají ještě relé doplněna Zenerovou diodou, která svede indukované napětí při deaktivaci cívky. Relé bývají vybavena i indikační led diodou.

Je potřeba také brát zřetel na maximální proudy a napětí, které umožňuje relé spínat. Tyto hodnoty by měly být vytištěny na jednotlivých relé.

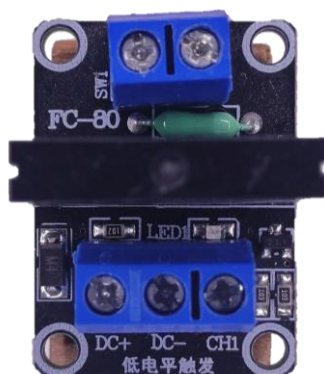
Další výhodou je, že některá relé mají jak NO (Normally Open), tak NC (Normally Closed) kontakty.



Obr. 21: Reléová deska s optočleny (zdroj: autor)

## SSR

SSR (Solid State Relay) je polovodičovou obdobou klasického relé (příklad na obrázku č. 22). Výhodou je, že nemá žádné mechanické části, sepnutí je téměř okamžité a má vyšší životnost. Je tedy s jeho pomocí možné regulovat výkon připojené zátěže PWM signálem (tato regulace je vhodná pouze pro topná tělesa). Nevýhodou je obecně vyšší cena na ampér spínaného proudu.



Obr. 22: Modul obsahující polovodičové relé (triak) G3MB-202P, maximální proud 2A 240V AC (zdroj: autor)

### 4.3.3 Bezpečnostní prvky

#### Vysokotlaký presostat

Jedná se o bezpečnostní prvek na straně výtlaku z kompresoru. K sepnutí může vést vysoký kondenzační tlak (způsobený například nedostatečným průtokem vody přes kondenzátor, případně její vysoká teplota) nebo restrikce výtlaku. Měl by být umístěn co nejbližší kompresoru, ale s ohledem na vysokou teplotu výtlaku, která může mít nepříznivý vliv na jeho životnost. Při umístění presostatu je třeba zohlednit i přítomné vibrace kompresoru, které se přenáší nejen na termostat, ale i na kabeláž k němu připojenou.

#### Nízkotlaký presostat

Zabraňuje chodu kompresoru při nedostatečném tlaku chladiva na sání. Kompresor v takovém případě nemusí společně s chladivem strhávat dostatečné množství oleje a nedostatečný průtok chladiva zhoršuje chlazení vinutí motoru u semihermetických a hermetických kompresorů. Takový provoz je také neekonomický a ukazuje na poruchu v systému. Příčinou může být například nedostatečný průtok vzduchu výparníkem, což může být způsobeno poruchou nebo zablokováním ventilátoru, námraza výparníku, silné znečištění výparníku, velmi nízká venkovní teplota, porucha TEV nebo únik chladiva.

#### Senzor úniku chladiva

Chladivový únik bývá zpravidla pozvolný. Dochází k němu buď již při sestavení (nedokonalý pájený/kalíškový spoj, nedotažení čepiček ventilů, výrobní vada...) nebo postupně, a to vlivem vibrací a únavou materiálu nebo vlivem vibrací a prodřením o jiný povrch, případně koroze. Vhodným doplňkem zvyšujícím bezpečnost provozu zařízení (chladiwa jsou nedýchatečná a některá hořlavá) může být senzor úniku chladiva.

## 4.4 Komunikace

Na desce jsou dedikovány 4 piny pro komunikaci mikrokontroléru se systémy nadřazenými (domácí automatizace) nebo s jinými vstupními nebo výstupními periferiemi.

### Bezdrátová komunikace

Jako uživatelský interface mohl být použit displej s ovládacími tlačítky, dotykový displej nebo připojení USB kabelem nebo přes ethernet. Další možností by bylo připojení nadřazeného systému (například mikropočítače Raspberry Pi). Nakonec byla zvolena možnost bezdrátové konektivity. Na výběr bylo z WiFi a Bluetooth.

Bluetooth neumožňuje, narozdíl od WiFi, připojení do domácí sítě, která je standardem ve většině domácností. To by znemožnilo síťovou synchronizaci času i pohodlné připojení v dosahu celé sítě. K použití s Bluetooth je také standardně nutná dedikovaná aplikace, která by mohla podléhat omezené kompatibilitě napříč různými zařízeními. Proto bylo vybráno připojení přes WiFi s možností výběru, zda se bude jednat o Access Point (mikrokontrolér vytváří vlastní síť), nebo zda se připojí k domácí síti. K ovládacímu zařízení je pak možné se připojit jakýmkoliv zařízením v síti.

Možnost bezdrátového připojení je velkým ulehčením, zejména u splitových systémů, kde je možné kontrolovat parametry v reálném čase i u venkovní jednotky bez potřeby kabelů. Připojení na internet také umožňuje například zasílání e-mailových zpráv v případě problému. Nevýhodou může být nestabilita připojení nebo vyšší spotřeba energie na provoz oproti pevnému připojení kabelem.

### I2C

Jedná se o standard sériové komunikace vyvinutý firmou Philips pro komunikaci, která nevyžaduje přenos velkého objemu dat. Je tvořena dvěma vodiči, kdy jeden je označován SCL (Synchronous Clock) a druhý SDC (Synchronous Data). Na jednu sběrnici je možné připojit až 128 různých zařízení, každé se svou unikátní adresou. [38]

**UART** Universal asynchronous receiver-transmitter (univerzální asynchronní přijímač-vysílač)

Asynchronní komunikace znamená, že přenos nemá dedikovaný vodič pro hodinový signál (clock – CLK). Přijímač i vysílač tedy musí mít nastavenou stejnou rychlost přenosu. Datové vodiče jsou Tx (Transmit – vysílat) a Rx (Receive – přijímat). Při spojení dvou zařízení je nutné propojit tyto piny do kříže (Rx → Tx; Tx → Rx).

## 4.5 Software

### 4.5.1 Vývojová prostředí

Vývojové prostředí slouží pro urychlení a usnadnění vývoje programů. Zjednodušeně by se dalo říci, že se jedná o speciální textový editor, který dokáže odhalit chyby v syntaxi a mimo jiné obsahuje kompilátor, který převádí textem popsaný algoritmus do binární formy, kterou dokáže procesor zpracovat. Pro naprogramování mikrokontroléru bylo použito Arduino IDE 2.1.0 a Microsoft Visual Studio Code pro napsání zdrojového kódu konfigurační stránky.

#### Arduino IDE 2.1.0

Jedná se o IDE určené především pro programování mikrokontrolérů z rodiny Arduino. Po přidání addonů je možné programovat i další desky, mimo jiné například ESP32. Další výhodou je implementovaný manažer knihoven. Knihovny lze díky tomuto nástroji pohodlně instalovat z jednoho místa. Pro-

gramování probíhá v jazyce C++, program je ke stažení zdarma [39]. K dispozici je také webová alternativa [40], pro jejíž fungování je potřeba pouze stažení rozšíření do internetového prohlížeče a registrace.

### **Microsoft Visual Studio Code**

Jedná se o editor zdrojového kódu, obecně známý jako VS Code. Nativně podporuje JavaScript, TypeScript a Node.js. Pomocí dalších rozšíření je možné přidat podporu i jiných programovacích jazyků. [41]

### **4.5.2 Knihovny**

Knihovny umožňují přidání části kódu, které řeší složité nebo často řešené problémy. Níže je vypsán seznam těch knihoven, které byly použity, společně s krátkým popisem významu, který do řídicího systému přinesly a odkazem na jejich dokumentaci.

#### **LittleFS.h**

Tato knihovna umožňuje ukládat a číst data z paměti flash. LittleFS je nástupcem dříve používaného SPIFFS. Výhodou je, že tato knihovna dokáže dostupnou flash paměť využívat rovnoměrně a prodloužit tak její životnost. [42] V tomto případě byla využita pro ukládání konfigurace a provozních statistik.

Webová stránka: <https://github.com/lorol/LITTLEFS>

#### **JSON**

JSON (JavaScript Object Notation) je formát určený pro sdílení dat mezi různými programy. Jeho zápis je jednoduchý, snadno čitelný. Tento formát je použit jak pro komunikaci řídicí desky s připojenými zařízeními, tak pro ukládání konfigurace do paměti. Díky tomu je možné konfiguraci jednoduše číst. Lze ji stáhnout a nahrát při přechodu na jiný mikrokontrolér. [43] To je možné i v případě, že je procesor poškozený, protože piny flash paměti jsou na ESP32 externě vyvedeny. Stažení konfigurace a její migrace na jiné zařízení nejsou však v této práci řešeny.

Webová stránka: <https://www.json.org/json-en.html>

#### **ArduinoJson.h**

ArduinoJson<sup>5</sup> je knihovna vyvíjená autorem „Benoît Blanchon“. Umožňuje jednoduše deserializovat a serializovat data z formátu JSON i z formátu MessagePack do proměnných používaných v řídicím programu. [44]

Webová stránka: <https://arduinojson.org/>

#### **WiFi.h**

Knihovna WiFi.h je základní knihovnou, která umožňuje správu WiFi připojení, šifrování komunikace a internetovou synchronizaci času. Pro její správnou funkci je doplněna systémem RTOS. [45]

Webová stránka: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/>

---

<sup>5</sup> Pro práci s JSON soubory existuje také oficiální knihovna Arduino\_JSON [53]. Tato ale nebyla využita z důvodu méně podrobné dokumentace a větších HW nároků.

Webová stránka: [https://github.com/arduino-libraries/Arduino\\_JSON](https://github.com/arduino-libraries/Arduino_JSON)

## FreeRTOS

RTOS (operační systém reálného času) umožňuje procesoru provádět souběžně několik různých úloh. FreeRTOS je systém určený pro mikrokontroléry. Kromě multitaskingu má na starosti také správu operační paměti, zvyšuje stabilitu a robustnost kódu. [46]

Webová stránka: <https://www.freertos.org/index.html>

## ESPAsyncWebServer.h

Knihovna ESPAsyncWebServer.h je knihovna pro obsluhu webserveru. Po připojení klienta pošle soubor obsahující webovou stránku (HTML, CSS, JS) a až je stránka načtená, otevře komunikaci pomocí Websockets, které jsou touto knihovnou také podporovány. To, že je webserver asynchronní, znamená, že dokáže současně obsluhovat několik klientů (připojených zařízení). [47]

Webová stránka: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>

## OneWire.h

OneWire.h je knihovna umožňující komunikaci s čidly DS18B20 [48]. One Wire je komunikační protokol vyvinutý pro komunikaci pomocí jednoho vodiče na vzdálenosti desítek metrů.

Webová stránka: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/onewire/>

## charts.js

Důležitou součástí webové konfigurační stránky je i zobrazení naměřených hodnot. Pomocí grafů je zobrazen aktuální záznam teplot a nastavení ekvitemní křivky a doby odtávání podle venkovní teploty.

Tyto knihovny mají širokou funkcionalitu, a proto jsou paměťově náročné, což je problém. Knihovny sice lze externě stahovat přes síť pomocí CDN, ale pokud je požadováno, aby program fungoval i v režimu bez připojení k internetu, je důležité mít knihovnu uloženou i na flash paměti mikrokontroléru.

Zvolena byla nakonec charts.js, protože její nové verze jsou poskládány z jednotlivých částí a její velikost je díky tomu nejmenší. Další z alternativ byla js\_chart by the SpeedBit – knihovna, která byla vyvinuta přímo pro mikrokontroléry. Velikost je malá, ale nefunguje na zařízeních s operačním systémem iOS. [49]

### 4.5.3 Webová konfigurační stránka

Konfigurace řídicího systému probíhá pomocí webové stránky. ESP32 slouží jako server, který po připojení klientům (připojeným zařízením) odešle webovou stránku uloženou v interní flash paměti. Tato stránka umožňuje nejen konfiguraci, ale i přehled naměřených veličin nebo upozornění na chyby v nastavení.

#### Soubor s konfigurační stránkou

Celá webová stránka je umístěna na jedné doméně, neobsahuje odkazy na jiné podstránky. Snahou bylo docílit toho, aby byla práce s ní, po jejím načtení, co nejrychlejší a rovněž, aby bylo množství potřebných přenesených dat co nejnižší. Stránka obsahuje pouze text, grafický přehled je vytvořen pomocí CSS. Velikost souboru, který obsahuje HTML, CSS i JS, je přibližně 120 kB. Aby byla stránka přehledná, je konfigurace rozdělena do rozklikávacích panelů. Koncepce by sice mohla být přehlednější, ale na druhou stranu umožňuje mít otevřené jen ty panely, u kterých aktuálně probíhá konfigurace (například nastavení vstupů společně s přiřazením vstupů).

## Websockets

Mezi serverem a klientem je zapotřebí obousměrná komunikace. Pro tento účel byl zvolen protokol Websockets. Díky němu si server s klientem navzájem posílají JSON dokumenty. Jaká úloha má být provedena je definováno pomocí proměnné „typ“ v každém JSON řetězci.

Webová stránka: <https://websockets.spec.whatwg.org/> [50] (Van Kesteren a kol., 2023)

Nevýhodou je, že veškerá data jsou posílána jako textové řetězce. To zjednodušuje jejich čitelnost, ale zvyšuje nároky na množství přenesených dat.

Nejmenší nároky na množství přenesených dat by mělo zasílání číselných polí. To by však značně negativně ovlivnilo přehlednost. Opakem by bylo posílání celých názvů hodnot konfigurace. Jako optimální řešení bylo zvoleno použití dvou nebo tří písmen, které se shodují s ID daných nastavení na stránce.

```
{ "typ": 1, "Ga": 2, "Gb": 21, "Gc": 19, "Gd": 15, "Ge": 0.5, "Gf": 1, "Gi": 1, "Gj": 40, "Gk": 2, "Gl": 4, "Ba": 1, "Bb": 2, "Bc": 45, "Bd (index): 2832": 3, "Be": 80, "Bf": 55, "Bi": 1, "Bj": 3, "Bk": 1, "Kb": 5, "Kc": 20, "Kd": 1, "Ke": 1, "Kf": 1000, "Kg": 1, "Kh": 1, "Ki": 1, "Kj": 20, "Ks": 80, "Kl": 90, "Km": 30, "Kn": 50, "Ko": 10, "Kp": 20, "Kk": -10, "Oa": 3, "Ob": 5, "Oc": 60, "Od": 5, "Oe": 5, "Of": 7, "Og": 1, "Oi": 3, "Oj": 4, "Ok": 240, "Ol": 15, "Om": 6, "On": 5, "Oo": 1, "Op": 1, "Oq": 10, "Fa": 2, "Fb": 2, "Fc": 5, "Fd": 3, "Fe": 1, "Fi": 3, "Fj": 10, "Fk": 1, "Ra": 1, "Rb": 1, "Rc": 1, "Rd": 1, "Re": 1, "Rf": 1, "Rg": 1, "Rh": 2, "Ri": 1, "Aa": 5, "Ab": 4, "Ac": 5, "Ad": 5, "Ae": 5, "Af": 5, "Ca": 0, "Cb": 0, "Cc": 0, "Cd": 0, "Ce": 0, "Cf": 0, "Da": 8, "Db": 1, "Dc": 1, "Dd": 1, "De": 1, "Df": 1, "Dg": 1, "Cg": 120, "Ch": 0, "Ci": 0, "Cj": 0, "Ck": 0, "Cl": 0, "Cm": 0, "Pa": 2, "Pb": 1, "Pc": 1, "Pd": 2, "Pe": 1, "Pf": 1, "Pg": 1, "Ph": 1, "Pi": 1, "Pj": 1, "VAa": 3, "VAb": 1, "VAc": 1, "VAd": 1, "VDe": 1, "VDb": 1, "VDC": 1, "VDd": 1, "VDe": 1, "VDF": 1, "VDg": 1, "VDh": 1, "VDi": 1, "VDn": 5, "VDo": 1, "VDP": 1, "VDq": 1, "VDr": 1, "VDk": 1, "VDl": 1, "VDM": 1, "Va": 1, "Vb": 1, "Vc": 1, "Vd": 1, "Ve": 1, "Vf": 1, "Xa": 1, "Xi": 0, "Xj": 0, "Xk": 4000, "Xl": 16, "Xm": 4000, "Xn": 21, "Xo": 4000, "Xp": 22, "Xb": 5, "Xc": 30, "Xd": 1, "Xx": 1, "Xs": 0, "Xy": 0, "Xf": 2, "Xg": 30, "Xh": 0, "Xr": 4180, "Xt": 1, "Xu": 1, "Xv": 100 }
```

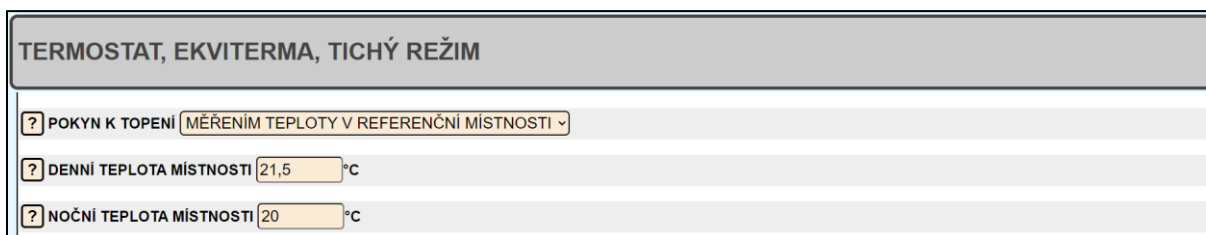
Obr. 23: Ukázka JSON řetězce s konfigurací

# 5 MOŽNOSTI KONFIGURACE ŘÍZENÍ

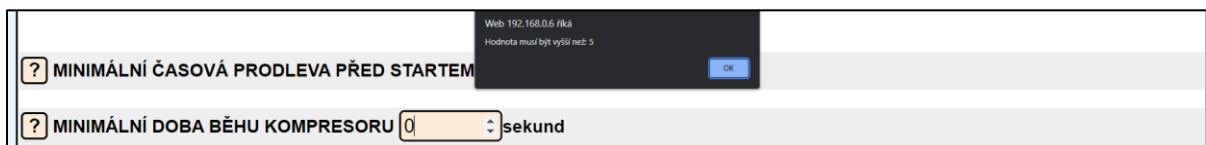
## 5.1 Přehled prvků webové konfigurační stránky

Tato kapitola se věnuje prvkům webové konfigurační stránky.

Při zadávání číselných hodnot (ukázku polí, do nichž jsou hodnoty zadávány, zobrazuje obr. 24) je ošetřeno, aby byl uživatelský vstup (uživatelé zadané číslo) v rámci stanovených mezí (obr. 25). Tato rozmezí jsou dána buď charakterem zadávané hodnoty (například časový interval nemůže být záporný), nebo jsou omezena velikostí datového typu proměnné (0 až 255 nebo -128 až 127 pro 1 bajt, 0–65535 pro 2 bajty atp.). Pokud je číslo mimo platný rozsah, přiřadí se krajní hodnota. Pokud je zapotřebí ukládat hodnoty desetinné, jsou uloženy ve formátu float. Pokud je uživatelem zadáno desetinné číslo do vstupu, který desetinné číslo nepodporuje, je zaokrouhлено.

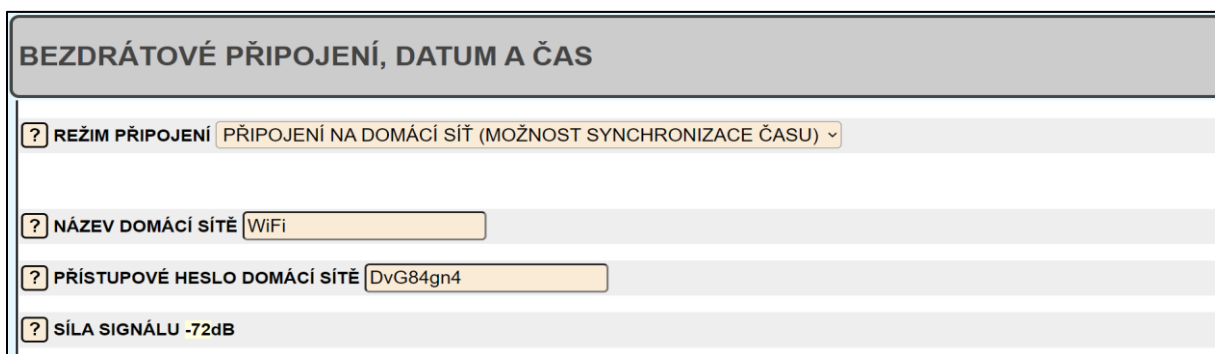


Obr. 24: Ukázka polí pro vstup číselných hodnot u nastavení teplot



Obr. 25: Neplatné nastavení

Některá pole umožňují textové vstupy, například při nastavení údajů pro připojení k WiFi (viz obr. 26).



Obr. 26: Pole pro textový vstup

Velkou část konfigurace tvoří seznamy s výběrem jedné možnosti, ukázka viz obr. 27. Každý seznam má své unikátní ID, které je reprezentováno dvěma nebo třemi písmeny. Každá možnost z výběru má přiřazeno své číslo. Toto číslo je uloženo jako konfigurace.



Obr. 27: Seznam s výběrem možností

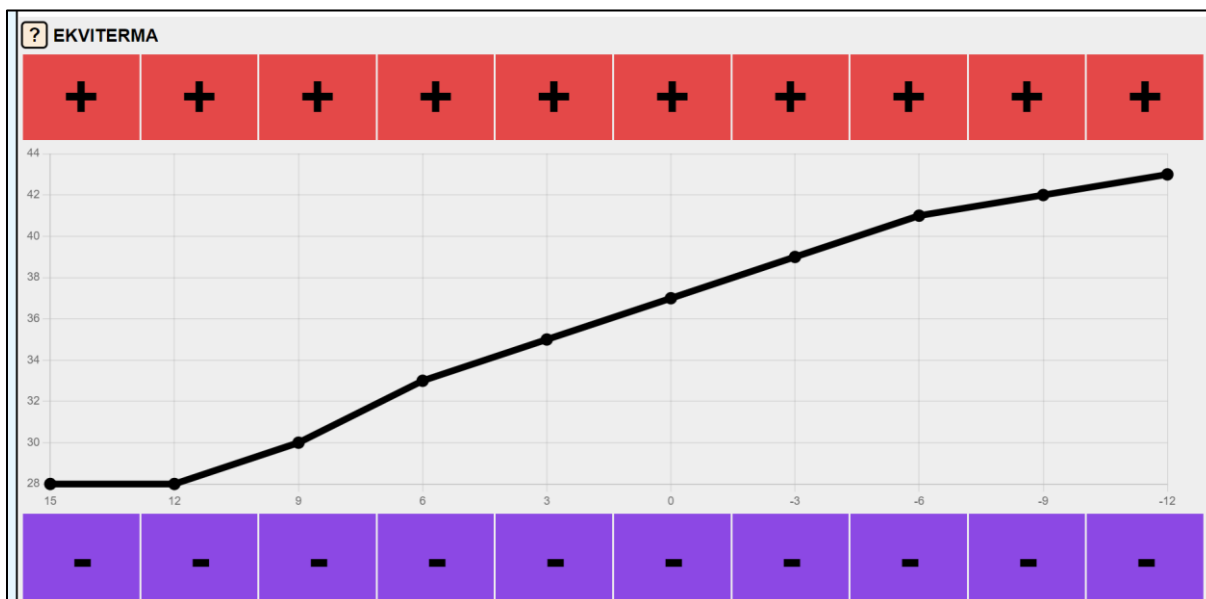
Všechny možnosti, které je možné nastavit nebo které udávají stavovou hodnotu, mají ve výchozím stavu zobrazen popis NAČÍTÁNÍ (obr. 28). V tomto stavu nemá smysl cokoli nastavovat, protože ještě nebylo otevřeno vzájemné spojení mezi klientem a serverem a žádné změny nebudou uloženy. Všechny změny konfigurace jsou zapsány okamžitě, bez možnosti vrátit předchozí nastavení (jediným způsobem je smazání konfigurace a načtení výchozích hodnot).

Obr. 28: Ukázka konfigurační stránky před načtením konfigurace a údajů aktuálního stavu

Vybrané možnosti jsou doplněny nápovědou (tlačítko s obrázkem). Po kliknutí se objeví okno s textem nápovědy (obr. 29).

Obr. 29: Ukázka okna nápovědy

Pro nastavení křivek je nutné jejich grafické zobrazení. Tímto způsobem je provedeno nastavení ekvitermní křivky (viz obr. 30) a křivky pro nastavení času odtávání výparníku v závislosti na venkovní teplotě. Jednotlivé body křivky lze posouvat tlačítka nad a pod grafem.



Obr. 30: Graf s nastavením ekvitermní křivky



## 5.2 Možnosti ovládání

V následující kapitole je popsáno, jaké konkrétní nastavení navržená řídicí jednotka umožňuje.

### karta AKTUÁLNÍ STAV, OVLÁDÁNÍ

Tato karta slouží k přehledu naměřených hodnot a pro základní ovládání TČ.

- možnost **STAV TEPELNÉHO ČERPADLA** – slouží pro **zobrazení aktuálního stavu** tepelného čerpadla. Mohou být zobrazeny tyto parametry:
  - hodnota **ZASTAVENO (VÝCHOZÍ – PRO KONFIGURACI)** – výchozí nastavení tepelného čerpadla po zprovoznění nového systému.
  - hodnota **TČ VYPNUTO** – zobrazeno, pokud je tepelné čerpadlo uživatelsky vypnuto.
  - hodnota **TČ VYPNUTO, BIVALENTNÍ ZDROJ** – zobrazeno, pokud je tepelné čerpadlo uživatelsky vypnuto s aktivací bivalentního zdroje.
  - hodnota **ZAPNUTO, BĚŽNÝ PROVOZ** – obvyklý provoz tepelné čerpadla.
  - hodnota **ZABLOKOVÁNO Z DŮVODU PORUCHY** – zobrazeno, pokud došlo k poruše nebo pokud je chybné nastavení.

**Změna stavu TČ.** Aby nedošlo ke změně omylem, je nejdříve nutné vybrat stav z výběru a svou volbu následně potvrdit tlačítkem **ZMĚNIT**. Možnosti jsou následující:

- **VYBERTE** – toto nastavení neprovádí žádnou změnu.
- **VYPNOUT TČ** – provede vypnutí řídicího systému.
- **VYPNOUT TČ, BIVALENTNÍ ZDROJ** – řízení TČ je vypnuto, ale řízení bivalentního zdroje zůstává aktivní.
- **ZAPNOUT, BĚŽNÝ PROVOZ** – pro zapnutí čerpadla. Touto možností je také možné odblokovat chod TČ z důvodu poruchy.

Další v pořadí je možnost **provedení základních úkonů**. Opět je nejdříve nutné vybrat položku v seznamu a následně stisknout tlačítko **PROVÉST**. Možnosti jsou následující:

- **UVÉST KONFIGURACI DO VÝCHOZÍHO NASTAVENÍ**
- **RESTARTOVAT ESP32** – provede softwarově vyvolaný restart řídicího systému. Restart lze provést i vypnutím a zapnutím napájení nebo propojením pinu EN (na některých deskách může být označen RST) se zemí řídicí desky. Stejnou funkci má tlačítko EN.
- **VYNUŠTIT ODMRAZENÍ** – umožňuje uživatelsky vynutit odmrazovací cyklus.
- **VYNULOVÁNÍ STATISTIK** – přepíše hodnoty uložené ve statistice chodu zpět na nulu (počet startů a motohodin kompresoru, celková spotřeba, ...).
- **MANUÁLNÍ ULOŽENÍ STATISTIK** – statistiky jsou ukládány v daných časových intervalech. Pokud před plánovaným restartem řídicího systému tedy nechceme přijít o neuložená data, je vhodné uložit statistiky manuálně.
- **SMAZAT KONFIGURACI SPOJENÍ** – dojde ke smazání konfigurace spojení a následnému restartu s uložením výchozích hodnot konfigurace spojení.

### karta TERMOSTAT, EKVITERMA, TICHÝ REŽIM

Tato karta slouží jako základní nastavení vytápění.

- možnost **POKYN K TOPENÍ** – lze nastavit, jaký způsobem je řízen pokyn ke spuštění vytápění.
  - hodnota **STÁLE ZAPNUT**: Toto nastavení je vhodné, pokud plánujeme TČ použít pro nahřívání vody v akumulární nádobě, pokud plánujeme používat TČ se systémem, který je plně osazen termostatickými hlavicemi nebo pokud chceme teplotu v domě regulovat pouze ekvitermní regulací.
  - hodnota **VYPNUT**: Toto nastavení je určeno pro řízení TČ, které pouze ohřívá TUV.

- hodnota **DRÁTOVÝM TERMOSTATEM**: Pokyn k topení je řízen digitálním vstupem termostatu, který je umístěn v referenční místnosti. Teplota v místnosti je pak řízena nastavením tohoto termostatu. Termostat řídicího systému lze v takovém případě použít jen jako blokaci chodu při tichém režimu.
- hodnota **MĚŘENÍM TEPLoty V REFERENČNÍ MÍSTNOSTI**: Termostat v referenční místnosti je nahrazen teplotním čidlem. Podle naměřené teploty je pak interním termostatem ovládacího systému požadavek na vytápění zapnut nebo vypnut.
- Je možné nastavit 3 teplotní hladiny pro možnosti **DENNÍ TEPLota, NOČNÍ TEPLota, TEPLota V TICHÉM REŽIMU**. Nastavit lze také parametr **HYSTEREZE POKOJOVÉ TEPLoty**.
- možnost **ŘÍZENÍ TEPLoty OTOPNÉ VODY** – je způsob, kterým je nastavena cílová hodnota teploty otopné vody na výstupu.
  - hodnota **KONSTANTNÍ TEPLota**: Tato možnost je opět vhodná například pro nahřívání akumulační nádoby. Hodnota teploty se nastavuje v poli **VÝCHOZÍ TEPLota OTOPNÉ VODY**.
  - hodnota **EKVITERMNÍ REGULACE**: Jedná se o další možnost, která výstupní teplotu nastává dynamicky podle venkovní teploty.
  - hodnota **TERMOSTATEM NA VÝSTUPU OTOPNÉ VODY** – hodnota nastavení teploty výstupní vody je řízena nastavením termostatu
- možnost **VÝCHOZÍ TEPLota OTOPNÉ VODY** – slouží pro nastavení požadované teploty na výstupu pro hodnotu **KONSTANTNÍ TEPLota**...
- možnost **HYSTEREZE TEPLoty VODY NA VÝSTUPU** – volba této hodnoty by měla být velice pečlivá s ohledem na zbytek systému. Příliš nízká hodnota způsobí příliš velký počet startů kompresoru.
- graf **EKVITERMA** – Ekvitermní křivku je možné vymodelovat pomocí tlačítek plus a mínus. Vodorovná osa je osa venkovní teploty a je fixní. Pokud je hodnota venkovní teploty mimo tyto hodnoty, je nastavena krajní hodnota otopné vody.
- možnost **TICHÝ REŽIM**. Lze pro něj zvolit následující možnosti:
  - **IGNOROVAT**: cílová teplota v místnosti je nastavena na hodnotu teploty **MINIMÁLNÍ TEPLota V MÍSTNOSTI**.
  - **POUZE NÍZKÝ VÝKON/SEKUNDÁRNÍ VENTILÁTOR**: zamezí provozu ventilátorů na vysoký výkon.
  - **PROVOZ BEZ VENTILÁTORU**:
  - **ZÁKAZ TČ, BEZ BIVALENCE**: zákaz běhu TČ v tichém režimu.
  - **ZÁKAZ TČ, BIVALENTNÍ ZDROJ TEPLA**
  - **ZÁKAZ TČ, DOTÁPĚNÍ TUV TOPNOU SPIRÁLOU POVOLENO**
  - **ZÁKAZ TČ, DOTÁPĚNÍ TUV TOPNOU SPIRÁLOU POVOLENO, BIVALETNÍ ZDROJ TEPLA**
- možnost **REŽIM TERMOSTATU** – režimy termostatu lze měnit i digitálním vstupem. Můžeme si vybrat, na který režim je ovládání přepnuto. Vstup lze připojit na kterýkoliv pin umožňující digitální vstup nebo digitální vstup invertovaný.
  - **IGNOROVAT**
  - **DENNÍ REŽIM**
  - **NOČNÍ REŽIM**
  - **TICHÝ REŽIM**

Další součástí je základní hodinový termostat (obr. 33) pro všední dny bez pátku, pátek a víkend (sobota a neděle). Termostat může mít jednotlivá pole nastavena na 4 hodnoty. Denní režim, noční režim, tichý režim a prázdnou hodnotu, která automaticky přebírá poslední hodnotu nastavení.

ČAS	VŠEDNÍ DNY	PÁTEK	VÍKEND
0:00 - 1:00	tichý	tichý	tichý
1:00 - 2:00			
2:00 - 3:00			
3:00 - 4:00			
4:00 - 5:00			
5:00 - 6:00			
6:00 - 7:00	noční	denní	
7:00 - 8:00			
8:00 - 9:00			denní
9:00 - 10:00			
10:00 - 11:00			
11:00 - 12:00			
12:00 - 13:00	denní		
13:00 - 14:00			

Obr. 33: Ukázka nastavení termostatu

## karta NASTAVENÍ OHŘEVU TUV

Tato karta je věnována nastavení využití TČ pro ohřev TUV.

- možnost **ŘÍZENÍ OHŘEVU TUV** – nastavení, jakým způsobem je vyhodnocen pokyn pro ohřev TUV
  - hodnota NEVYUŽITO: Pokyn k ohřevu TUV může být vypnut. V tom případě není TČ použito pro její ohřev.
  - hodnota ŘÍZENO MĚŘENÍM TEPLoty TUV: řízení může být měřením teploty TUV v zásobníku. Řízení teplotou je vhodnější než řízení termostatem.
  - hodnota ŘÍZENO ON/OFF TERMOSTATEM: umožňuje využití stávajícího termostatu. Sériové propojení havarijního termostatu a topné spirály musí být zachováno.
- možnost **TUV JE NATÁPĚNA** – umožňuje nastavit způsob, kterým je TUV nahřívána.
  - hodnota ZAPNOUT VÝSTUP TROJCESTNÉHO VENTILU: TUV je natápěna otopnou vodou vystupující z TČ. Pro přeměrování vody je použito trojcestného ventilu, jehož výstup musí být pro použití této možnosti definován.
  - hodnota PŘEHŘÁTÝMI PARAMI: pro ohřev TUV je využito tepla přehřátých par z kompresoru. K ohřevu tedy dochází pouze, pokud je TČ využíváno pro vytápění. Tato možnost je podmíněna definováním výstupu pro ohřev TUV přehřátými parami. Pokud teplota TUV překročí nastavenou maximální teplotu TUV, je výstup vypnut.
  - hodnota PŘEHŘÁTÝMI PARAMI (BEZ AKTIVACE VÝSTUPU): tato možnost nevyžaduje definici výstupu ohřevu TUV přehřátými parami.
  - hodnota PŘEHŘÁTÝMI PARAMI NEBO TROJCESTNÝM VENTILEM: tato možnost je kombinací předchozích možností.

Nastavena je také TEPLota VÝSTUPU Z TČ PRO OHŘEV TUV. Ta musí být vyšší než CÍLOVÁ TEPLota TUV o potřebný teplotní spád na výměníku TUV.

- možnost **DESINFEKCE VODY V ZÁSOBNÍKU TEPLÉ VODY** – Při měření teploty TUV je možné také použít dezinfekci zásobníku teplé vody.
  - hodnota VYPNUTO: pravidelná dezinfekce TUV teplotou 60 °C je deaktivována.
  - hodnota POMOCÍ ELEKTRICKÉHO DOTOPU: teplá voda je dotápěna pomocí elektrické topné spirály. Musí být definován výstup pro připojení ovládání topné spirály.
- možnost **FREKVENCE DEZINFEKCE VODY** – Frekvence může být nastavena jako interval od posledního dosažení teploty TUV 60 °C.
  - hodnota TŘI DNY OD DOSAŽENÍ TEPLoty 60 °C
  - hodnota TÝDEN OD DOSAŽENÍ TEPLoty 60 °C
  - hodnota DESET DNŮ OD DOSAŽENÍ TEPLoty 60 °C

Pokud je využita dezinfekce nebo ohřev pomocí přehřátých par, je vhodné výstup teplé vody osadit termostatickým ventilem, který zajistí, aby byla maximální teplota vody pro uživatele bezpečná.

### **karta KOMPRESOR**

Další karta je pro nastavení kompresoru a jeho ochranu. Na začátku jsou uvedeny aktuální statistiky (jako je příkon, aktuální doba běhu kompresoru atd.).

- možnost **MINIMÁLNÍ ČASOVÁ PRODLEVA PŘED STARTEM KOMPRESORU** – tato prodleva zajišťuje, aby nebyl kompresor vypínán a zapínán příliš často. Prodleva také zajistí, aby se rozdíl tlaků na sání a výtlaku co nejvíce vyrovnal, a tím ulehčil rozběh kompresoru.
- možnost **MINIMÁLNÍ DOBA BĚHU KOMPRESORU** – Tato doba musí být dostatečná, aby se stihly promazat všechny části kompresoru a aby se i při opakovaném cyklování nehromadil olej mimo kompresor. V případě poruchy je tato podmínka ignorována – kompresor je vypnut okamžitě.
- možnost **OVLÁDÁNÍ KOMPRESORU**
  - hodnota STYKAČ
  - hodnota ROZBĚH HVĚZDA TROJÚHELNÍK
- možnost **MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBA KOMPRESORU** – udává maximální příkon kompresoru ve watech. Zabraňuje poškození (spálení) vinutí elektromotoru kompresoru. V prvních vteřinách chodu kompresoru je kontrola přeskočena, protože je rozběhový proud násobně vyšší než provozní. Systém by měl být vybaven dalšími ochrannými prvky nezávislými na řízení – v případě, že je rotor kompresoru zablokovaný. Kompresory bývají vybaveny tepelnou ochranou nebo lze motor kompresoru připojit na motorový chránič.
- možnost **ZAPNUTÍ OBĚHOVÉHO ČERPADLA A KONTROLA PRŮTOKU PŘED STARTEM KOMPRESORU**
  - hodnota 10 SEKUND PŘED STARTEM, BEZ KONTROLY PRŮTOKU
  - hodnota S KONTROLOU PRŮTOKU, POTÉ ZAPNOUT KOMPRESOR – je nutné měřit průtok, kontrolován je i v průběhu chodu.
- možnost **MAXIMÁLNÍ TEPLOTA VÝTLAKU KOMPRESORU** je pro kontrolu teploty výtlaku kompresoru. Lze nahradit termostatem výtlaku kompresoru.
- možnost **VYHŘÍVÁNÍ OLEJOVÉ LÁZNE** – umožňuje nastavit, jakým způsobem je vyhříván olej kompresoru. Pokud se kompresor nachází ve vnitřním prostředí, není nutné olej kompresoru nahřívát, protože je jeho teplota zpravidla vyšší než venkovní teplota.
  - hodnota BEZ VYHŘÍVÁNÍ

- hodnota ZAPNUTO V PŘÍPADĚ, ŽE JE TEPLOTA KOMPRESORU NIŽŠÍ JAK TEPLOTA VÝPARNÍKU
- hodnota ZAPNUTO V PŘÍPADĚ, ŽE JE TEPLOTA KOMPRESORU NIŽŠÍ JAK VYPAŘOVACÍ TEPLOTA CHLADIVA
- hodnota VYHŘÍVAT NA TEPLITU 0 °C
- hodnota VYHŘÍVAT NA TEPLITU 5 °C
- hodnota VYHŘÍVAT NA TEPLITU 10 °C
- hodnota ZAPNUTO, POKUD KOMPRESOR NEBĚŽÍ

- možnost **MAXIMÁLNÍ ČAS NAHŘÍVÁNÍ OLEJE PŘED ZAPNUTÍM KOMPRESORU** – jedná se o minimální dobu, kterou je vyhřívání kompresoru před startem kompresoru spuštěno. Pokud je vyhřívání vypnuto, může být spuštěno ihned (po minimální prodlevě před startem kompresoru).
- možnost **MAXIMÁLNÍ TEPLOTA SKŘÍNĚ (ELEKTROMOTORU) KOMPRESORU** – pokud je měřena teplota motoru/oleje kompresoru, umožňuje zabránit jeho přehřátí. Pozor, některé konstrukce kompresorů mají výtlak par do motorové části – teplota povrchu kompresoru pak zdaleka převyšuje kondenzační teplotu.

#### **karta ODTÁVÁNÍ VÝPARNÍKU**

Řídicí systém umožňuje odtávání námrazy (teplem okolního vzduchu, pokud je teplota nad bodem mrazu) nebo odmrazení (reverzací chodu nebo topnými tyčemi).

- možnost **STRATEGIE DETEKCE ZAMRZNUTÍ VÝPARNÍKU** – je způsob, kterým je zjištěno, zda je výparník pokrytý námrazou.
  - hodnota **TEPLOTNÍ DIFERENCE VENKOVNÍ TEPLoty A TEPLoty VÝPARNÍKU** – Nejběžnějším způsobem je porovnáním venkovní teploty s teplotou na výstupu z výparníku. Pokud je hodnota rozdílu vyšší jak nastavená, je spuštěn proces odmrazení nebo odtávání.
  - hodnota **DIGITÁLNÍM VSTUPEM** – Dalším způsobem je detekce digitálním vstupem například diferenčního tlakoměru nebo klapky detekující malý průtok vzduchu výparníkem.
  - hodnota **IGNOROVAT VZNIK NÁMRAZY** – Vznik námrazy může být zcela ignorován.
  - hodnota **ČASEM BĚHU KOMPRESORU**
- možnost **NASTAVENÍ TEPLOTNÍ DIFERENCE PRO DETEKCI ZAMRZNUTÍ** – nastavení rozdílu teploty pro detekci zamrznutí výparníku rozdílem venkovní teploty a teploty výparníku. Nastavení by mělo být takové, aby nedošlo k celkovému zablokování průtoku vzduchu. To by totiž znemožnilo účinné ohřátí námrazy na teplotu blízkou venkovní teplotě. A pokud je teplota vyšší jak minimální teplota pro odtávání vzduchem, výrazně to prodlouží dobu potřebnou pro odtávání námrazy.
- možnost **NASTAVENÍ ČASOVÉ PERIODY ODMRAZOVÁNÍ (ČAS CHODU KOMPRESORU)** – nastavit lze také dobu chodu kompresoru, po které má být odmrazení spuštěno. Toto nastavení může být vhodné například pro chladírny nebo mrazírny, kde jsou podmínky, ve kterých se výparník nachází, relativně konstantní. Pro tepelné čerpadlo je však nevhodné.
- možnost **ČASOVÁ PRODLEVA PŘED ZAČÁTKEM ODMRAZENÍ (PO VYPNUTÍ KOMPRESORU)** – nastavuje časovou prodlevu, která slouží k ohřátí vzniklé námrazy na teplotu blízkou okolní teplotě. To snižuje potřebné množství tepla pro odmrazení námrazy.

- možnost **ODTÁVÁNÍ VÝPARNÍKU** – umožňuje vybrat, jakým způsobem se chovají při odtávání ventilátory. Lze nastavit například nízký výkon ventilátorů nebo zapnout jen jeden ze dvou ventilátorů. Námraza výparníku by měla být rovnoměrná po celé ploše výparníku. Pokud tomu tak není, ukazuje to na nesprávnou funkci chladivového systému.
  - hodnota **MOŽNOST ODTÁNÍ IGNOROVÁNA**: výparník bude ve všech případech odmrazen.
  - hodnota **BEZ VENTILÁTORU**
  - hodnota **VENTILÁTOR (MAX VÝKON, PRIMÁRNÍ VÝSTUP)**: pokud je nastaven jedno-rychlostní nebo dvourychlostní ventilátor.
  - hodnota **VENTILÁTOR (MIN VÝKON, SEKUNDÁRNÍ VÝSTUP)**: pokud je nastaven dvou-rychlostní ventilátor.
  - hodnota **JEN PRIMÁRNÍ VENTILÁTOR**: pokud jsou nastaveny dva ventilátory.
  - hodnota **JEN SEKUNDÁRNÍ VENTILÁTOR**: pokud jsou nastaveny dva ventilátory.
  - hodnota **OBA VENTILÁTORY**: pokud jsou nastaveny dva ventilátory.
- možnost **MINIMÁLNÍ TEPLOTA, PŘI KTERÉ JE VYUŽITO ODTÁVÁNÍ VENTILÁTORŮ** – umožňuje nastavit nejnižší teplotu, při které je použito odtávání místo odmrazení.
- možnost **KONEC ODTÁVÁNÍ VÝPARNÍKU (OKOLNÍM VZDUCHEM)** – umožňuje nastavit, jakým způsobem je detekován konec odtávání.
  - hodnota **ČASEM**: hodnota je nastavena křivkou v závislosti na venkovní teplotě.
  - hodnota **VYROVNÁNÍ TEPLoty VENKOVNÍ A TEPLoty VÝPARNÍKU**
  - hodnota **VYROVNÁNÍ TEPLoty VENKOVNÍ A TEPLoty VZDUCHU NA VÝSTUPU Z VÝPARNÍKU**
- možnost **STRATEGIE ODMRAZOVÁNÍ VÝPARNÍKU** – umožňuje zvolit, jakým způsobem je výparník odmrazen. Reverzace chodu TČ je velmi účinný nástroj pro odstranění námrazy, přináší ale nejvíce komplikací. Pokud byla při přestavbě nahrazena kapilára pouze expanzním ventilem bez obtoku, není možné odmrazení reverzačí chodu použít. Pokud je kapilára zachována, je potřeba se ujistit, že průtok vody kondenzátorem je při cyklu odmrazení dostatečný a nehrozí zamrzání vody ve výměníku. Využití topných elektrických tyčí je mnohem jednodušší, ale odmrazení trvá déle a je více energeticky náročné.
  - hodnota **REVERZACE CHODU TČ**
  - hodnota **ODTÁNÍ TOPNÝMI TYČEMI**
  - **VYČKÁNÍ NA ZVÝŠENÍ VENKOVNÍ TEPLoty A ODTÁNÍ**: tato hodnota nevyžaduje žádné řešení odmrazení.
  - **VYČKÁNÍ NA ZVÝŠENÍ VENKOVNÍ TEPLoty A ODTÁNÍ + BIVALENCE**
- možnost **ZPŮSOB DETEKCE KONCE ODMRAZENÍ** – další komplikací je detekce konce odmrazení. Konstantní čas odmrazení nemusí být spolehlivý kvůli vlivům okolí (venkovní teplota, velikost námrazy, síla větru).

Teplota výparníku je při reverzaci chodu povýšena o část přehřátí par chladiva na výtlačku z kompresoru. To se dá vyřešit měřením teploty na opačném konci výparníku. Optimálním řešením je pak výpočet kondenzační teploty chladiva ve výparníku (nutnost měřit tlak).

Odmrazení je také možné ukončit digitálním vstupem například z termostatu, jehož výstup je sepnut, až dosáhne teplota kapalného chladiva na výstupu z výparníku dostatečné teploty.

- možnost **KONSTANTNÍ ČAS ODMRAZENÍ** – nastavuje dobu, po kterou bude výparník odmrazován.



- možnost **ODMRAZENÍ BUDE UKONČENO, POKUD TEPLOTA VÝPARNÍKU (TEPLOTA VENKOVNÍHO ČIDLA) PŘEKROČÍ** – nastavení teploty pro ukončení odmrazení.
- možnost **MAXIMÁLNÍ ČAS ODMRAZOVÁNÍ (TOPNÁ TYČ, REVERZACE)** – nastavuje maximální čas, po jehož uplynutí bude odmrazení ukončeno. Následně je vyhlášena porucha.
- možnost **ČASOVÁ PRODLEVA PO KONCI ODMRAZENÍ** – po vypnutí kompresoru, topných tyčí. Slouží pro ustálení tlaků, odtečení vody z rozmrzlé námrazy...

### karta VENTILÁTORY, OBĚHOVÉ ČERPADLO

Karta slouží pro nastavení ventilátorů a oběhového čerpadla.

- možnost **TYP VENTILÁTORU** – je nastavení umožňující vybrat, jakým typem ventilátoru zařízení disponuje.
  - hodnota **BEZ VENTILÁTORU**: tepelné čerpadlo není osazeno ventilátorem výparníku.
  - hodnota **JEDNORYCHLOSTNÍ**: v tomto případě je ovládán pouze jeden (primární) výstup ventilátoru.
  - hodnota **DVOURYCHLOSTNÍ**: toto nastavení je určeno pro dvourychlostní ventilátory. Toho lze využít například při odtávání námrazy výparníku vzduchem, při nočním režimu (nižší otáčky ventilátoru způsobují menší hluk) nebo při startu ventilátoru (nižší proudové špičky). Tato možnost také vždy zajistí to, aby byl energetizován pouze jeden z výstupů.
  - hodnota **DVA VENTILÁTORY**: tato možnost narozdíl od předešlé umožňuje zapínat oba výstupy najednou (pokud má zařízení 2 ventilátory).
- možnost **VENTILÁTORY VÝPARNÍKU PO STARTU KOMPRESORU (TOPENÍ)** – Pomocí této možnosti můžeme zvolit, jakým způsobem se mají ventilátory po startu kompresoru zapínat.
  - hodnota **ZPOZDIT O NASTAVENOU HODNOTU**: Ventilátory mohou být zpožděny o fixní čas.
  - hodnota **ZAPNOUT AŽ PO PODCHLAZENÍ VÝPARNÍKU**: Mohou se také zapnout, až teplota výparníku oproti venkovní teplotě klesne o danou teplotní diferenci
  - hodnota **ZAPNOUT NA MIN VÝKON, MAX VÝKON ZPOZDIT**: Třetí možností je zapnout ventilátor na minimální výkon, přičemž zapnutí maximálního výkonu je pak opožděno o daný čas.
  - hodnota **MIN VÝKON ZPOZDIT, MAX VÝKON ZAPNOUT AŽ DIFERENCE DOSÁHNE TEPLoty**: Poslední možností je opoždění minimálního výkonu ventilátoru. Jeho zapnutí na maximální výkon proběhne, až teplotní diference dosáhne požadované hodnoty.
- možnost **UMOŽNIT CYKLOVÁNÍ** – Toto nastavení umožňuje opětovné snížení výkonu ventilátoru po tom, co je teplotní diference venkovní teploty a teploty výparníku opět menší jak nastavená mez. Toto nastavení však může vést k nestabilitě provozovaného systému.
- možnost **ČAS DOBĚHU ČERPADLA PO VYPNUTÍ KOMPRESORU** – Jedná se o časovou prodlevu, kterou oběhové čerpadlo dobíhá po vypnutí kompresoru. Tento interval slouží k odvodu veškerého zbývajících tepla z kondenzátoru.

- možnost **DO OPĚTOVNÉHO ZAPNUTÍ ČERPADLA VYČKAT** – Pokud je otopná voda natepena a kompresor se vypnul, je možné opětovného zapnutí oběhového čerpadla zpozdít o interval pro vychladnutí otopných těles.
- možnost **OCHRANA PŘED ZATUHUTÍM OBĚHOVÉHO ČERPADLA** – Oběhová čerpadla mohou po delší době odstávky zatuhnout. [51] Pokud k tomu dojde, je pak následně čerpadlo nutné manuálně protočit. Jako prevence tohoto stavu může být periodické protáčení.

### karta NASTAVENÍ VÝSTUPŮ

Karta slouží k definici výstupů řízení. Je možné nastavit jeden výstup na více výstupních pinů. Pokud však potřebují být výstupy zcela synchronizovány (například pro případ vícefázových motorů), je vhodnější výstupy propojit elektricky nebo pro spínání použít vhodný stykač (který je ovládán relé výstupem).

- hodnota NEZAPOJENO: výstup vypnut.
- hodnota KOMPRESOR: primární výstup kompresoru.
- hodnota NAHŘÍVÁNÍ KOMPRESORU: slouží pro připojení topného tělesa pro ohřev kompresoru.
- hodnota OBĚHOVÉ ČERPADLO OTOPNÉ VODY (VÝCHOZÍ): připojení oběhového čerpadla otopné soustavy.
- hodnota VENTILÁTOR VÝPARNÍKU (PRIMÁRNÍ): připojení.
- hodnota VENTILÁTOR VÝPARNÍKU (SEKUNDÁRNÍ)
- hodnota ČTYŘCESTNÝ VENTIL (REVERZNÍ): připojení reverzního ventilu TČ.
- hodnota TROJCESTNÝ VENTIL BOJLER: připojení ovládání trojcestného ventilu.
- hodnota BIVALENTNÍ ZDROJ TEPLA: výstup aktivující bivalentního zdroj tepla.
- hodnota VENTIL VÝPARNÍKU (SOLENOID): připojení elektromagnetického ventilu, který otevírá přívod chladiva do výparníku.
- hodnota ELEKTRICKÉ ODMRAZENÍ VÝPARNÍKU: připojení topných elementů výparníku pro odmrazení námrazy.
- hodnota OPOŽDĚNÉ PŘEPNUTÍ KOMPRESORU
- hodnota ELEKTRICKÝ DOHŘEV TUV: připojení elektrického ohřevu TUV.
- hodnota TROJCESTNÝ VENTIL BIVALENCE: trojcestný ventil, který umožňuje přepnutí mezi TČ a bivalentním zdrojem.
- hodnota AKTIVACE OHŘEVU TUV PŘEHŘÁTÝMI PARAMI
- hodnota VÝSTUP TAKTU PROGRAMOVÉ SMYČKY: výstup, jehož stav je při každém průchodu programové řídicí smyčky změněn. Je ho možné použít s externím WDT (watchdog timer - "hlídací pes"). Tento prvek umožňuje restartování řídicího systému v případě zacyklení (řídicí program se zasekne v nekonečné smyčce).
- hodnota SEKVENCE ODTÁNÍ AKTIVNÍ: výstup je aktivní, pokud je systém v procesu odtání výparníku.
- hodnota SEKVENCE ODMRAZENÍ AKTIVNÍ: výstup je aktivní, pokud je systém v procesu odmrazení výparníku.

### karta NASTAVENÍ VSTUPŮ

Vstupní piny jsou rozřazeny do 3 kategorií:

První kategorií jsou piny analogové – pouze vstup. Ty mohou být použity pouze jako analogové, digitální nebo pulzní vstupy.

Druhou kategorií jsou analogové vstupně výstupní piny – ty mohou být použity i pro digitální teploměry, které vyžadují to, aby byly piny zároveň výstupní.

Třetí kategorií jsou pouze digitální vstupy.

U každého pinu je navíc vidět naměřená hodnota, která usnadní identifikaci pinů a jejich správné nastavení. Dalším nastavením je nastavení korekce, která má pro každý vstup jiný vliv. Hodnoty analogových vstupů lze korekcí upravit. Naměřené teploty lze rovněž korekcí upravit, kdy je její zadání v desetinách stupně (tj. pro změnu o -1,7 stupně je potřeba zadat hodnotu korekce -17).

Všechny vstupy umožňují nastavení falešného digitálního vstupu (zapnuto nebo vypnuto) a falešné hodnoty teploty.

### **karta PŘÍŘAZENÍ TEPLOMĚRŮ**

Vstupy, na kterých je měřena teplota, je pak ještě zapotřebí přiřadit adekvátní teplotě. Každá teplota má svůj pevně stanovený kontrolní rozsah. Jedné teplotě nelze přiřadit dva nebo více teploměrů. V řídicím systému jsou obsaženy tyto vstupní teploty:

- možnost TEPLOTA UVNITŘ
- možnost VENKOVNÍ TEPLOTA
- možnost TEPLOTA OTOPNÉ VODY NA VÝSTUPU
- možnost TEPLOTA VÝPARNÍKU
- možnost TEPLOTA UŽITKOVÉ VODY
- možnost TEPLOTA OTOPNÉ VODY NA VSTUPU (ZPÁTEČKA)
- možnost TEPLOTA VZDUCHU VYSTUPUJÍCÍHO Z VÝPARNÍKU
- možnost TEPLOTA OLEJE (ELEKTROMOTORU) KOMPRESORU
- možnost TEPLOTA VÝTLAKU KOMPRESORU
- možnost TEPLOTA KAPALNÉHO CHLADIVA

### **karta PŘÍŘAZENÍ ANALOGOVÝCH A DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ**

Nastavené vstupy je pak zapotřebí přiřadit příslušnému významu v řídicím systému.

- možnost TLAKOMĚR NÍZKOTLAKÝ
- možnost TERMOSTAT POKOJOVÝ
- možnost TERMOSTAT OHŘEVU VODY
- možnost NUCENÉ SEPnutí BIVALENTNÍHO ZDROJE
- možnost NUCENÝ BĚH TČ
- možnost HDO
- možnost VSTUP PRO ZAČÁTEK ODMRAZENÍ
- možnost VSTUP PRO KONEC ODMRAZENÍ
- možnost VSTUP PRO NUCENÝ REŽIM TERMOSTATU
- možnost VSTUP TERMOSTATU VÝSTUPNÍ VODY
- možnost PORUCHOVÝ VSTUP 1 (VÝTLAK)
- možnost PORUCHOVÝ VSTUP 2 (SÁNÍ)
- možnost PORUCHOVÝ VSTUP 3 (NAPÁJENÍ)
- možnost PORUCHOVÝ VSTUP 4 (OTOPNÝ SYSTÉM)
- možnost PORUCHOVÝ VSTUP 5 (JINÉ)
  
- možnost VSTUP PULZNÍHO PRŮTOKOMĚRU
- možnost VSTUP PULZNÍHO ELEKTROMĚRU
- možnost VSTUP PULZNÍ SYNCHRONIZACE ČASU

## karta **NASTAVENÍ TLAKOMĚRU, CHLADIVA, PŘEHŘÁTÍ, PRŮTOKOMĚRU**

- možnost **TLAK ZADANÝCH MĚŘENÝCH BODŮ** – Je nutné dát pozor na to, jaký tlak je zadáván do polí s nastavením tlakoměru.
  - hodnota **ABSOLUTNÍ**: tlak je zadán jako absolutní (vakuum je 0, atmosférický tlak je roven přibližně hodnotě 1 bar).
  - hodnota **RELATIVNÍ**: tlaky jsou vztaženy k hodnotě atmosférického tlaku (hodnota středního atmosférického tlaku je 1.01325 baru absolutní).
- možnost **CHARAKTERISTIKA TLAKOVÉHO ČIDLA** – aby bylo možné zkalibrovat měření tlaku, je nutné vyplnit pole, které prováží hodnotu z ADC převodníku na příslušný tlak.
- možnost **POUŽITÉ CHLADIVO** – nastavuje typ chladiva pro výpočet přehřátí. Pro přidání chladiva, které není v seznamu, je nutné do řídicího systému přidat další možnost a provést aproximaci křivky teplota tlak tak, aby bylo možné z naměřeného tlaku vypočítat vypařovací teplotu chladiva. Podporovaná chladiva:
  - R22
  - R32
  - R134a
  - R290
  - R600a
  - R404A
  - R407C
  - R410A
- možnost **PRODLEVA MĚŘENÍ PŘEHŘÁTÍ** – nastavuje počet sekund, po které bude kontrola přehřátí po staru kompresoru ignorována.
- možnost **POKUD JE PŘEHŘÁTÍ CHLADIVA NIŽŠÍ/ VYŠŠÍ JAK** – tato dvojice nastavení umožňuje nastavit, jak se má řídicí systém zachovat, pokud je hodnota přehřátí příliš nízká nebo příliš vysoká.
  - hodnota **IGNOROVAT**: výsledky kontroly jsou ignorovány.
  - hodnota **UPOZORNIT**: chyba je zobrazena v chybovém logu, ale TČ není odstaveno.
  - hodnota **ODSTAVIT TČ**: dojde k odstavení TČ.
- možnost **ODSTAVIT, POKUD JE PRŮTOK MENŠÍ JAK**:  
Minimální průtok – nastavení hodnoty minimálního průtoku otopné vody. Slouží jak porovnávací hodnota pro kontrolu průtoku.  
Konstantní průtok – pokud není průtok měřen, ale průtok je známý, může být použit pro odhad výroby tepla.
- možnost **MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA MÉDIA** – nastavuje měrnou tepelnou kapacitu sekundárního média. Pro vodu je hodnota přibližně  $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Hodnotu výrazně ovlivňuje použití nemrznoucích směsí (přidání glykolu).
- možnost **HUSTOTA MÉDIA** – nastavuje hustotu média. Pro vodu (o teplotě 30 °C) je hodnota přibližně  $995 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Hodnotu výrazně ovlivňuje použití nemrznoucí směsí (přidání glykolu).
- možnost **TYP ELEKTROMĚRU**
  - hodnota **NEZAPOJENO** – elektroměr není použit

- hodnota PULZNÍ – spotřeba elektřiny je měřena pulzně
- hodnota DIGITÁLNÍ PZEM04Tv30

- možnost **KONSTANTA ELEKTROMĚRU** – zadejte počet pulzů, které elektroměr vyše při naměření jedné kWh.

#### karta **BEZDRÁTOVÉ PŘIPOJENÍ, ČAS**

- možnost **REŽIM PŘIPOJENÍ** – Nastavení řídicího systému umožňuje několik nastavení bezdrátového připojení.
  - hodnota **PŘÍSTUPOVÝ BOD BEZ ZABEZPEČENÍ**: systém vytváří vlastní bezdrátovou síť. Její název lze nastavit, stejně jako IP adresu.
  - hodnota **PŘÍSTUPOVÝ BOD SE ZABEZPEČENÍM**: systém vytváří vlastní zabezpečenou bezdrátovou síť. Název a heslo pro připojení lze nastavit. Heslo musí obsahovat minimálně 8 znaků.
  - hodnota **PŘIPOJENÍ NA DOMÁCÍ SÍŤ**: systém se pokusí připojit k domácí síti. Pokud připojení selže při startu zařízení, je zapnut přístupový bod. Pokud se připojení ztratí v průběhu, snaží se opětovně připojit. Pokud je domácí síť připojena k internetu, umožňuje synchronizaci času (synchronizaci má na starost knihovna time.h). Čas je získáván ze serveru: “ch.pool.ntp.org”. Jeho adresa může být změněna v souboru definic.
  - hodnota **BEZ PŘIPOJENÍ**: systém si nevytvoří žádné připojení. Opětovné připojení může být provedeno pouze při stisknutí tlačítka IO0 po restartu zařízení.
  - hodnota **VÝCHOZÍ PŘIPOJENÍ**: tato možnost je zobrazena, pokud je stisknuto tlačítko IO0 po restartu zařízení. Nastavuje přístupový bod s výchozím názvem a výchozí IP adresou.
- možnost **NÁZEV DOMÁCÍ SÍTĚ** – textové pole pro vyplnění názvu domácí sítě.
- možnost **PŘÍSTUPOVÉ HESLO DOMÁCÍ SÍTĚ** – textové pole pro vyplnění hesla pro připojení v domácí síti.
- možnost **SÍLA SIGNÁLU** – ukazuje hodnotu kvality signálu připojení. Tato hodnota je k dispozici pouze při připojení k domácí síti. Vyjádřena je v dB. Kvalitu připojení ověřte již před instalací řídicího systému. K výraznému poklesu kvality signálu může vést použití plechové skříně řízení. Za zvážení pak stojí provedení ESP s připojením pro externí anténu, např.: ESP32-DEVKITC-32UE. [29]
- možnost **NÁZEV PŘÍSTUPOVÉHO BODU**
- možnost **HESLO PŘÍSTUPOVÉHO BODU**
- možnost **MÍSTNÍ IP ADRESA (IPv4)**
- možnost **POSLEDNÍ IP ADRESY** – pole zobrazuje aktuální a poslední IP adresu, pomocí které se lze k zatížení připojit.
- možnost **UNIXOVÝ ČAS** – zobrazuje počet sekund, které uběhly od 1. 1. 1970.
- možnost **PROGRAMOVÝ ČAS** – číslo ukazuje počet sekund od startu mikrokontroléru. Číslo je formátu uint32\_t, k přetečení hodnoty (číslo překročí velikost 32bitového čísla a začne se počítat od nuly) dojde za více jak 136 let. S touto hodnotou pracují všechny interní časovače programu, protože ho neovlivňuje synchronizace času nebo posun letního na zimní čas.

- možnost **ČAS** – zobrazuje hodiny a minuty řídicího systému.
- možnost **DEN V TÝDNU** – zobrazuje den v týdnu řídicího systému.
- možnost **REŽIM SYNCHRONIZACE ČASU**
  - hodnota **BEZ ČASU**: den v týdnu, hodiny ani minuty nejsou nastaveny. Režimy termostatu jsou nefunkční.
  - hodnota **BEZ SYNCHRONIZACE ČASU**: čas není synchronizován, jeho hodnota je řízena pouze vnitřní frekvencí ESP32. Měření tímto způsobem není spolehlivé.
  - hodnota **SYNCHRONIZACE PŘES WIFI**: pro tento typ synchronizace je potřeba být připojen k WiFi s připojením k internetu.
  - hodnota **EXTERNÍ ČASOVÝ MODUL**: pokud není k dispozici dosah WiFi sítě, je možné dovybavit řídicí systém modulem “hodin reálného času”. Ty obsahují obvod, který dokáže čas měřit velice přesně, navíc bývají vybaveny baterií tvořící zálohu při výpadku napájení.
  - hodnota **SYNCHRONIZACE POMOCÍ SÍTĚ**: synchronizace času může probíhat taky pomocí pulzů, které se periodicky opakují.
- možnost **SYNCHRONIZOVAT ČAS NYNÍ** – toto tlačítko pošle hodnotu vlastního unixového času řídicímu programu. Díky tomu proběhne synchronizace času.
- možnost **PRACOVNÍ FREKVENCE PROCESORU** – ESP32 umožňuje změnu pracovní frekvence procesoru. Nejnižší možná frekvence pro správnou funkci WiFi je 80 MHz. Protože řídicí systém neprovádí pracné výpočty (například zpracování zvuku nebo obrazu), je tato frekvence zcela dostatečná. Možné je zvolit i 160 MHz a 240 MHz.

## 6 DISKUZE K ŘEŠENÍ

Řídicí systém má stále velký prostor k dalšímu zdokonalování. Seznam možných zdokonalení je uveden níže.

Možná vylepšení:

- Přidání modulu synchronizace času, pro případy, že není WiFi k dispozici.
- Optimalizace kódu – kód má velký prostor pro optimalizaci. Spousta funkcí může být při běžném provozu přeskočena (zpravidla kontrola, zda jsou pro danou konfiguraci k dispozici všechny potřebné vstupy).
- Přidání možnosti řízení několika nezávislých okruhů topení.
- Odeslání emailu v případě chyby.
- Možnost ovládání EEV. V mém řešení je výpočet přehřátí určen pouze pro kontrolu nastavení škrtícího prvku, na jeho řízení se nijak nepodílí. Integrace ovládání EEV by přinesla řadu výhod a další nástroje pro řízení výkonu a ochranu kompresoru (například MOP). Tvorba spolehlivého řízení EEV je náročná, jako mezistupeň by bylo možné použít drivery, které řídí otevření EEV pouze jednoduchým signálem.
- Podpora systémů s proměnnými otáčkami – významným posunem by byla možnost řídit kompresory s proměnnými otáčkami. Sestavit však univerzální algoritmus, který by zajišťoval spolehlivé modulování výkonu bez rozkolísání celé soustavy a zároveň by adekvátně hlídal obálku kompresoru, není snadné. Dalším problémem je komunikace řízení s frekvenčním měničem, kdy může každý výrobce používat jiné adresy registrů s požadovanými parametry.
- Dynamické zobrazování nabídek konfigurace – dalším významným vylepšením uživatelského prostředí by bylo dynamické zobrazování nabídek potřebných pro danou konfiguraci. Obsah nápověd by mohl být také rozšířen.
- Prostor pro koncového uživatele – vhodné by také bylo přidání režimu konfigurace obsahující pouze základní nastavení teplot nebo termostatu, aby byla případná změna konfigurace snadná a přehledná i pro koncové uživatele.
- Umožnit termostatu zohledňovat sváteční dny.
- Algoritmus pro stanovení hystereze vody na výstupu z TČ nebo dynamická hystereze topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Pokud je venkovní teplota vysoká, vysoký je i výkon TČ. Pokud je teplota výstupní vody řízena ekvitemní křivkou, může dojít k tomu, že bude ohřev vypnut hned po prvním průchodu otopné vody kondenzátorem. To způsobí cyklické zapínání kompresoru TČ a v konečném důsledku (minimální prodleva před startem kompresoru) i nedostatečný tepelný výkon.
- Zabezpečení – domácí bezdrátová síť by měla být dostatečně zabezpečena. I tak by však měl být přístup ke konfiguračnímu webu chráněn heslem.
- Lepší vyčítání statistik přímo na webové stránce.
- Snížení spotřeby řídicího systému jeho převedením do “sleep mode” mimo topnou sezónu.
- Přidání možnosti měřit relativní vlhkost venkovního vzduchu za účelem optimalizace detekce zamrznutí.
- Přidání možnosti měření relativní vlhkosti uvnitř místnosti pro zamezení kondenzace vody těles otopné soustavy při aktivním chlazení.
- Přidání podpory dalších typů tepelných čerpadel (země/voda, voda/voda, ...) a zobrazení/skrytí relevantní konfigurace.
- Podpora oběhových čerpadel a ventilátorů s PWM regulací otáček.
- Podpora řízení dvou kompresorů (pro možnost skokové změny výkonu).
- Přidání kontroly spotřeby ventilátorů při jejich zapnutí – vrtule ventilátoru může například v průběhu odmrazení přimrznout k rámu TČ. Vrtule ventilátoru může být zaseknuta i z jiných

důvodů (např. části rostlin, která vrostla do mříže ventilátoru mimo období topné sezóny). Pokud není motor ventilátoru vybaven tepelnou ochranou, může dojít k přehřátí a poškození vinutí motoru. Proto by byla tato kontrola účinnou prevencí ochrany motoru ventilátoru.

- Přidání možností měřit výstupní teplotu jednotlivých sekcí výparníku. Zlepšení prevence vniku kapalného chladiva do sání kompresoru, zlepšení detekce zamrznutí výparníku.



## 7 ZÁVĚR

Práce řešila problematiku řízení tepelných čerpadel, což je jedna z klíčových podmínek pro jejich ekonomický chod, zejména pokud se snažíme o sestavení tepelného čerpadla svépomocí či jeho přestavbu z klimatizační jednotky vzduch/vzduch.

Cílem práce bylo vytvořit jednoduchý univerzální řídicí systém pro tepelná čerpadla vzduch/voda. Stanoveny byly následující požadavky:

- celý systém bude modulární,
- půjde jej snadno uvést do provozu,
- jeho konfigurace může být provedena pomocí bezdrátově připojeného zařízení,
- použité komponenty budou běžně k dostání,
- použité komponenty budou cenově dostupné,
- má dostatečný počet vstupů i výstupů,
- je schopen zapínat bivalentní zdroj.

Výše zmíněného cíle bylo dosaženo. Byla navržena řídicí jednotka založená na mikrokontroléru řady ESP32. Jednotka má 13 konfigurovatelných vstupů pro teploměry nebo digitální vstupy, 6 z nich umožňuje i analogový vstup. Dále obsahuje 9 výstupů pro připojení relé. Uživatelský interface je vyřešen webovým rozhraním, pomocí kterého může uživatel po připojení na společnou bezdrátovou síť řízení snadno konfigurovat.

Řídicí jednotka podává aktuální informace o stavu čerpadla a teplotách v různých jeho částech prostřednictvím webové stránky. Lze pomocí ní nastavit vytápění, ohřev TUV, odtávání výparníku, chování ventilátorů, měření tlaku a výpočet přehřátí... Naměřené teploty jsou vykresleny do grafu.

Navržený řídicí systém je vhodný zejména pro uživatele, kteří si sestavili tepelné čerpadlo svépomocí a o problematiku spojenou s jejím provozem se aktivně zajímají. Může se jednat o levnější náhradu běžně dostupných PLC či jiných komerčních způsobů řízení.

# Seznam zdrojů

- [1] TZB-INFO. Cena elektřiny 2023 - srovnání E.ON, PRE, ČEZ: Historické ceny elektřiny. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-27]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/14-ceny-elektriny>
- [2] GLASEROVÁ, Dominika. Na tepelné čerpadlo mohou lidé čekat i rok. Firmy kvůli velkému zájmu nestíhají. In: *ČT24* [online]. Praha: Česká televize, 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3477600-na-tepelne-čerpadlo-mohou-lide-cekat-i-rok-firmy-kvuli-velkemu-zajmu-nestihaji>
- [3] ROVNÝ, Tomáš. Výrobci tepelných čerpadel uklidňují zájemce: posilujeme kapacity, rostoucí poptávku zvládneme. In: *Ekonomický deník* [online]. Praha: Media Network s.r.o., 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/vyrobci-uklidnuji-zajemce-nebojte-posilujeme-kapacity-tepelna-čerpadla-budou/>
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. První. Ing. Antonín Žeravík, 2003. ISBN 802390275X.
- [5] HODBOŇ, Josef. Tepelná čerpadla – základní informace. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/23093-tepelna-čerpadla-zakladni-informace>
- [6] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR. Výsledek statistického šetření za rok 2022: Tepelná čerpadla (energie prostředí). In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR* [online]. Praha: Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2023/4/Tepelna-čerpadla-2010-2022.pdf>
- [7] BUFKA, Aleš, Miloslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. Tepelná čerpadla v letech 1981–2018: Výsledky statistického zjišťování. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR* [online]. Praha: Oddělení datové podpory koncepcí, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/5/Tepelna-čerpadla-1981-2018-final-verze.pdf>
- [8] E.ON. Kolik stojí tepelné čerpadlo. In: *E.ON* [online]. České Budějovice: E.ON Energie, a.s., 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapani-a-ventrání/tepelna-čerpadla/kolik-stoji-tepelne-čerpadlo/>
- [9] CAREL INDUSTRIES. Systém c.pCO. In: *CAREL INDUSTRIES S.p.A.* [online]. Padova: CAREL INDUSTRIES S.p.A., 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.carel.cz/c.pco-sistema>
- [10] CAREL INDUSTRIES. C.pCO. In: *CAREL INDUSTRIES S.p.A.* [online]. Padova: CAREL INDUSTRIES S.p.A., 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.carel.com/documents/10191/92849/c-pcp\\_builtin.jpg/13206ed9-d55c-4fee-a4b8-a3125e1a4e8a?t=1413271991000](https://www.carel.com/documents/10191/92849/c-pcp_builtin.jpg/13206ed9-d55c-4fee-a4b8-a3125e1a4e8a?t=1413271991000)
- [11] ELTEX ELECTRONIC. Regulátor pro tepelná čerpadla ETX-TC V.31: Návod k instalaci a použití. In: *Díly pro tepelná čerpadla ELTEX electronic* [online]. Bezměrov: ELTEX electronic,

- 2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <http://eshop.eltex-km.cz/soubory/etx-tc-popis-a-navod-regulatoru-v31-tuv.pdf>
- [12] TECO A. S. *TECO Advanced Automation* [online]. Kolín: Teco a. s., 2022 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: [www.tecomat.cz](http://www.tecomat.cz)
- [13] AMIT, SPOL. S R.O. AMiT Automation. In: *AMiT Automation* [online]. Praha: AMiT, spol. s r.o., 2023 [cit. 2023-05-26].
- [14] GONZHO. Valden: Heat Pump Controller. In: *AUTODESK Instructables* [online]. Autodesk, Inc., 2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Valden-Heat-Pump-Controller/>
- [15] GONZHO. Valden Heat Pump Controller. In: *Project Hub* [online]. Arduino, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://projects.arduinocontent.cc/62e2e364-0a35-4dd0-955c-1eae3026d05.blob>
- [16] ELEKTRONIKA S.A. Refrigeration compressor ZH04KCU-TFMN. In: *Elektronika S.A.* [online]. Gdynia: Elektronika S.A., 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.elektronika-sa.com.pl/en/products/refrigeration/compressors/scroll/zh/ZH04KCU-TFMN>
- [17] BROŽ, Jiří, Zdeněk ČEJKA, Zdeněk FENCL et al. *Chladicí a klimatizační technika*. První. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2012.
- [18] KRAINER, Robert a Jiří DUDA. Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelných-cerpadlech>
- [19] BELL, Ian, Jorrit WRONSKI, Sylvain QUOILIN a Vincent LEMORT. Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [online]. 2014, **53**(6), 2498--2508 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: doi:10.1021/ie4033999
- [20] ARDUINO. Arduino Uno Rev3 SMD. In: *Arduino store* [online]. Arduino S.r.l., 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3-smd?queryID=undefined>
- [21] ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-S Series. In: *Espressif* [online]. Espressif Systems, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/socs>
- [22] ADAMS, James. Meet Raspberry Silicon: Raspberry Pi Pico now on sale at \$4. In: *Raspberry Pi* [online]. Raspberry Pi, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/raspberrypi-pico-now-on-sale/>
- [23] RASPBERRY PI. Raspberry Pi Pico. In: *Raspberry Pi* [online]. Raspberry Pi Ltd, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberrypi-pico/>
- [24] ARDUINO. Arduino® UNO R3: Product Reference Manual. In: *Arduino Docs* [online]. Arduino, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf?\\_gl=1\\*hh018q\\*\\_ga\\*MTM1NjAzOTI4Ny4xNjY0Mzg2OTc2\\*\\_ga\\_NEXN8H46L5\\*MTY4NDkyNDA5My40NS4xLjE2ODQ5MjU2NzEuMC4wLjA](https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf?_gl=1*hh018q*_ga*MTM1NjAzOTI4Ny4xNjY0Mzg2OTc2*_ga_NEXN8H46L5*MTY4NDkyNDA5My40NS4xLjE2ODQ5MjU2NzEuMC4wLjA)



- [36] ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32WROOM32E, ESP32WROOM32UE: Datasheet. In: *Espressif* [online]. Espressif Systems, 2023 [cit. 2023-05-24].
- [37] GRUNDFOS. ALPHA1 L. In: *Grundfos* [online]. Olomouc: Grundfos Sales Czechia and Slovakia, 2023b [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/alpha/alpha1-1?tab=documentation>
- [38] IRAZABAL, Jean-Marc a Steve BLOZIS. AN10216-01 I 2 C MANUAL. In: *NXP* [online]. Philips Semiconductors, 2003 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10216.pdf>
- [39] ARDUINO. *Arduino IDE 2.1.0* [online]. Arduino, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software>
- [40] ALJUNDI, Liam. Using the Arduino Web Editor. In: *Arduino Docs* [online]. Arduino, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/the-arduino-web-editor>
- [41] MICROSOFT. Visual Studio 2022. In: *Visual Studio* [online]. Microsoft, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://visualstudio.microsoft.com/cs/#vscode-section>
- [42] GITHUB. LittleFS\_esp32. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://github.com/lorol/LITTLEFS>
- [43] JSON. Introducing JSON. In: *JSON* [online]. 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.json.org/json-en.html>
- [44] BLANCHON, Benoît. ArduinoJson. In: *ArduinoJson* [online]. 2014-2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://arduinojson.org/>
- [45] ARDUINO. WiFi. In: *Arduino* [online]. Arduino, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/>
- [46] FREERTOS™. *FreeRTOS™: Real-time operating system for microcontrollers* [online]. In: . 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.freertos.org/index.html>
- [47] KRAVETS, Ivan. ESPAsyncWebServer. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>
- [48] STUDDT, Jim, Tom POLLARD, Robin JAMES et al. ESPAsyncWebServer. In: *Arduino* [online]. Arduino, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/onewire/>
- [49] SPEEDBIT. SK-SpeedBit / js\_chart. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2021 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: [https://github.com/SK-SpeedBit/js\\_chart](https://github.com/SK-SpeedBit/js_chart)
- [50] VAN KESTEREN, Anne, SNEK a Adam RICE. WebSockets. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://github.com/whatwg/websockets?fbclid=IwAR00YOLKwPMhzauMPmCf5AjsTHz28gJbDMSUonbx7W-NMMQdKXkidINrCXU>
- [51] GRUNDFOS. Kontrola čerpadla před topnou sezónou. In: *Grundfos* [online]. Olomouc: Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z:

<https://www.grundfos.com/cz/learn/research-and-insights/kontrola-cerpadla-pred-topnou-sezonou>

- [52] STÁTNI FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. Dotace pro rodinné domy. In: *Nová zelená úsporám* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/>
- [53] ARDUINO. Arduino\_JSON Library for Arduino. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://github.com/arduino-libraries/Arduino\\_JSON](https://github.com/arduino-libraries/Arduino_JSON)
- [54] K A S. Tabulka vybraných chladiv. In: *K a S* [online]. Pardubice: K a S, s. r. o., 2023 [cit. 2023-05-27]. Dostupné z: [https://www.kas.cz/assets/files/tabulka\\_chladiv.pdf](https://www.kas.cz/assets/files/tabulka_chladiv.pdf)
- [55] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. Informace odboru ochrany ovzduší a odboru odpadů MŽP k nakládání s regulovanými látkami od 1. ledna 2015. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha, 2015 [cit. 2023-05-27]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/regulovane\\_latky\\_informace\\_leden\\_2015/\\$FILE/OOO-RL\\_od\\_1\\_ledna\\_2015-20150330.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/regulovane_latky_informace_leden_2015/$FILE/OOO-RL_od_1_ledna_2015-20150330.pdf)

## Seznam obrázků

Obr. 1: Princip tepelného čerpadla (Dragoun, 2022).....	12
Obr. 2: Řídicí deska z vnitřní jednotky klimatizace s ON/OFF kompresorem (zdroj: autor) .....	15
Obr. 3: Deska z vnější jednotky splitové klimatizace vzduch/vzduch Na desce je integrovaný frekvenční měnič pro kompresor i ventilátor. Chladič silových prvků je demontován. (zdroj: autor).....	15
Obr. 4: Řídicí deska venkovní jednotky Daikin RQ125 Vlevo se nachází měřicí transformátor pro měření proudu, dále stykač kompresoru, svorkovnice pro připojení napájení a vpravo dole svorkovnice pro komunikaci s vnitřní jednotkou. (zdroj: autor).....	16
Obr. 5: Řídicí systém c.pCO [10].....	16
Obr. 6: Hardware ETX-TC V.31 [11] .....	17
Obr. 7: Valden: Heat Pump Controller [15] .....	18
Obr. 8: Ukázka změny příkonu chladičového kompresoru (ZH04KCU-TFMN, přehřátí 10K, chladiivo R290) v závislosti na vypařovací a kondenzační teplotě [16] .....	21
Obr. 9: Ukázka obálky kompresoru ZH04KCU-TFMN pro chladiivo R290 [16] .....	22
Obr. 10: ESP32-WROOM-32 (zdroj: autor) .....	28
Obr. 11: Arduino Uno Rev3 SMD [20].....	28
Obr. 12: Raspberry Pi Pico W [26] .....	28
Obr. 13: Modul pro galvanické oddělení pomocí optočlenů PC817C (zdroj: autor) .....	30
Obr. 14: Modul s optočlenem umožňující detekovat přítomnost síťového napětí na vstupních svorkách (zdroj: autor).....	31
Obr. 15: NTC termistory různých hodnot, bez pouzdra (zdroj: autor).....	31
Obr. 16: Senzor teploty a vlhkosti DHT22 (AM2303) (zdroj: autor) .....	32
Obr. 17: Ukázka s DS18B20 [33].....	32
Obr. 18: Ukázka tlakoměrů s analogovým výstupem (zdroj: autor) .....	33
Obr. 19: Wattmetr [34].....	33
Obr. 20: Ukázka turbínkového impulsního průtokoměru s hallovým senzorem (zdroj: autor).....	34
Obr. 21: Reléová deska s optočleny (zdroj: autor).....	35
Obr. 22: Modul obsahující polovodičové relé (triak) G3MB-202P, maximální proud 2A 240V AC (zdroj: autor).....	35
Obr. 23: Ukázka JSON řetězce s konfigurací.....	40
Obr. 24: Ukázka polí pro vstup číselných hodnot u nastavení teplot .....	41
Obr. 25: Neplatné nastavení .....	41
Obr. 26: Pole pro textový vstup.....	41
Obr. 27: Seznam s výběrem možností.....	42
Obr. 28: Ukázka konfigurační stránky před načtením konfigurace a údajů aktuálního stavu.....	42
Obr. 29: Ukázka okna nápovědy .....	42
Obr. 30: Graf s nastavením ekvitermní křivky .....	42
Obr. 31: Ukázka zobrazení chyb v nastavení .....	43
Obr. 32: Ukázka přehledové infografiky.....	43
Obr. 33: Ukázka nastavení termostatu.....	46

## Seznam tabulek

Tab. 1: Orientační ceny tepelných čerpadel včetně montáže [8].....	13
Tab. 2: Základní informace o vybraných chladivech podporovaných řídicím systémem [18] .....	24
Tab. 3: Koeficienty pro aproximaci tlaku chladiv .....	25
Tab. 4: Maximální odchylka teploty vypočtené pomocí polynomu od hodnoty z databáze Coolprop pro teplotní rozsah vypařovacích teplot -20 °C až 30 °C .....	25
Tab. 5: Porovnání vybraných mikrokontrolérů [24], [25], [26] .....	26
Tab. 6: Výstupní piny ESP32 .....	29
Tab. 7: Digitální výstupy pro řízení relé .....	29
Tab. 8: Analogové vstupy .....	29
Tab. 9: Digitální vstupy.....	30
Tab. 10: Komunikace .....	30



# Seznam zkratek

ADC převodník ...analogově-digitální převodník  
CDN ... Content Delivery Network  
CLK ... clock  
COP ... Coefficient of Performance (topný faktor)  
CSS ... Cascading Style Sheets (kaskádové styly)  
DC ... Direct Current  
EEV ... elektronický expanzní ventil  
GB ... gigabyte  
GWP ... Global Warming Potential  
HDO ... hromadné dálkové ovládání  
HP ... Heat Pump  
HTML ... Hypertext Markup Language  
HW ... hardware  
ID ... identifikace  
IDE ... Integrated Development Environment (vývojové prostředí)  
JS ... JavaScript  
JSON ... JavaScript Object Notation  
MOP ... Maximum Operating Pressure  
MPO ... Ministerstvo průmyslu a obchodu  
MPPT ... Maximum Power Point Tracking  
NC kontakt ... Normally Closed  
NO kontakt ... Normally Open  
NTC ... Negative Temperature Coefficient (negistor)  
OTA ... Over The Air  
PCB – Printed Circuit Board  
PLC ... Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)  
PTC ... Positive Temperature Coefficient (pozistor)  
PWM ... Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)  
RTOS ... Real-time Operating System (operační systém reálného času)  
Rx ... receive  
SCL ... Synchronous Clock  
SD karta ... Secure Digital karta  
SDC ... Synchronous Data  
SoC ... System on Chip  
SPIFFS ... Serial Peripheral Interface Flash File Storage  
SSR ... Solid State Relay  
SW ... software  
TČ ... tepelné čerpadlo  
TEV ... termostatický expanzní ventil  
TUV ... teplá užitková voda  
Tx ... transmit  
UART ... Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (univerzální asynchronní přijímač-vysílač)  
USB ... Universal Serial Bus  
VS Code ... Visual Studio Code

# Seznam příloh

Příloha 1: webova\_konfiguracni\_stranka\_v1\_0.html

Příloha 2: OVLADANI\_TC.zip