

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Petr Sosnovec

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Optimalizace nákladů vytápěním tepelným čerpadlem

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr Sosnovec**
Osobní číslo: **I22027**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Optimalizace nákladů vytápěním tepelným čerpadlem**
Zadávající katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cíl:

Návrh a realizace s optimalizací nákladů na vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem

Teoretická část:

- Analýza nabídky na trhu s tepelnými čerpadly pro vytápění rodinných domů. Bude uveden podrobný princip měření a regulace žádaných technologických veličin.
- Na základě nabídky na trhu navrhnete způsoby optimalizace nastavení tepelného čerpadla s cílem snížení spotřeby elektrické energie. Využijte dlouhodobý sběr naměřených teplot venku i uvnitř budovy pro optimalizaci nastavení tepelného čerpadla. Požadovaný způsob vytápění bude probíhat v závislosti na čase a bude uložen v paměti.

Praktická část:

- Na základě analýzy a návrhu vytvořte aplikaci pro zaznamenávání měřených veličin s možností sledování naměřených veličin přes webové rozhraní z aplikace operačního systému Windows nebo mobilního zařízení.
- Realizaci hardwarového řešení elektronické jednotky proveďte pomocí vývojového modulu s jednočipovým mikro počítačem. Součástí práce budou podrobné výrobní podklady k realizovanému zařízení a uživatelský manuál.
- Získané výsledky vyhodnoťte.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1. vyd. Přerov. Vydáno vlastním nákladem, 2003. 312 s.
KARLÍK, Josef. Tepelné čerpadlo pro váš dům. vyd. 1. Praha: Grada Publishing a.s., 2009. 112 s

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Mgr. Václav Horčic, Ph.D.**
Katedra automatizace a matematiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Optimalizace nákladů vytápěním tepelným čerpadlem jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 03. 2025

Petr Sosnovec v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji především mému vedoucímu bakalářské práce za odborné vedení mé práce, věcné připomínky a rady, také vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a psychickou podporu.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací nákladů na vytápění rodinného domu pomocí tepelného čerpadla. Cílem práce je na základě dlouhodobého sběru naměřených teplot venku i uvnitř budovy navrhnout případnou optimalizaci nastavení tepelného čerpadla, která povede ke snížení provozních nákladů a zvýšení efektivity vytápění. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel a způsoby vytápění včetně jejich výhod či nevýhod. V praktické části je popsán návrh na aplikaci pro zaznamenávání měřených veličin s pomocí vývojového modulu s jednočipovým mikropočítačem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelné čerpadlo, mikropočítač, programové prostředky, teploty

TITLE

Cost optimization with heat pump heating

ANNOTATION

This bachelor's thesis focuses on optimizing heating costs for a family house using a heat pump. The aim of the work is to propose possible optimization of heat pump settings based on long-term collection of measured temperatures both outside and inside the building, leading to reduced operating costs and increased heating efficiency. The work is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part describes various types of heat pumps and heating methods, including their advantages and disadvantages. The practical part describes a proposal for an application for recording measured variables using a development module with a single-chip microcomputer.

KEYWORDS

Heat pump, microcomputer, software tools, temperatures

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ	11
SEZNAM TABULEK A GRAFŮ	12
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	13
ÚVOD	14
1 Tepelné čerpadlo jako zdroj vytápění	15
1.1 Historie	15
1.2 Princip tepelných čerpadel	16
2 Součásti tepelného čerpadla	18
2.1 Výměníky tepla	18
2.1.1 Výparníky a kondenzátory	19
2.1.2 Odmrazování výparníku	20
2.2 Expanzní ventil	20
2.3 Kompresory	21
2.3.1 Olejová náplň	22
2.4 Komponenty chladivového okruhu	22
2.5 Oběhové čerpadlo	23
2.6 Topná média	24
2.7 Chladiva	24
3 Typy tepelných čerpadel	26
3.1 Tepelné čerpadlo Vzduch – voda	26
3.2 Tepelné čerpadlo Vzduch – vzduch	27
3.3 Tepelné čerpadlo Země – voda	28
3.3.1 Horizontální kolektor	28
3.3.2 Vertikální kolektor	29
3.3.3 Energetické piloty, spirálové kolektory a energetické koše	29
3.4 Tepelné čerpadlo s přímou výměnou tepla	30
3.5 Tepelné čerpadlo Voda – voda	30
4 Princip regulace tepelného čerpadla a měření technologických veličin	32
4.1 Princip regulace tepelných čerpadel	32
4.2 Měřené technologické veličiny a jejich význam	32
4.3 Systémy řízení a regulace	33
4.4 Vliv regulace na provozní náklady a efektivitu	34

4.5	Prediktivní řízení a regulace	34
5	Optimalizace nastavení tepelného čerpadla	35
6	Faktory ovlivňující náklady na vytápění	36
6.1	Tepelné ztráty budovy a jejich minimalizace	36
6.2	Instalace a montáž tepelného čerpadla.....	36
6.3	Stávající topný systém a jeho kompatibilita	37
7	Výběr tepelného čerpadla	38
7.1	Provozní režimy tepelného čerpadla.....	38
7.2	Hodnotící parametry	39
8	Praktická část	41
8.1	Rodinný dům.....	41
8.1.1	Konstrukční řešení	42
8.1.2	Vytápění a příprava TUV	42
8.1.3	Tepelné ztráty a zdroj tepla.....	42
8.2	Zvolený model tepelného čerpadla	43
8.2.1	Technické parametry tepelného čerpadla	44
8.2.2	Funkce tepelného čerpadla.....	44
8.2.3	Zdokonalené vstřikování páry	44
8.3	Úpravy otopné soustavy.....	45
8.3.1	Teploty měřené tepelným čerpadlem.....	47
8.4	Původní zařízení pro sběr dat.....	47
9	Navržený systém sběru teplot	49
9.1	Výběr součástí	49
9.1.1	Použité senzory	50
9.2	Konstrukce zařízení a umístění čidel	50
9.2.1	Obvodová deska.....	51
9.2.2	Umístění senzorů	55
9.2.3	Zjištěné nedostatky a chyby.....	56
9.3	Program a webová stránka	57
9.3.1	Mechanismus zpracování chyb senzorů	61
9.3.2	Webová stránka.....	61
9.4	Vyhodnocení získaných dat	66
9.4.1	Úspora energie a návratnost.....	70
	ZÁVĚR	72

POUŽITÁ LITERATURA	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	76

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Princip tepelného čerpadla (Karlík, 2009)	17
Obrázek 2: Deskový výměník tepla (NordicTec EU, 2025).....	18
Obrázek 3: Cyklus spirálového kompresoru (Sunrise, 2025)	22
Obrázek 4: Oběhové čerpadlo (Grundfos, 2025).....	23
Obrázek 5: Tepelné čerpadlo vzduch – voda (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025)	27
Obrázek 6: Tepelné čerpadlo země – voda s plošným kolektorem (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025)	28
Obrázek 7: Energetický koš (Geotermie chytře a jednoduše, 2019)	30
Obrázek 8: Tepelné čerpadlo voda – voda (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025).....	31
Obrázek 9: Příklad ekvitemní křivky (Mikoláš, 2021).....	33
Obrázek 10: Trubky podlahového topení (VKN s.r.o., 2025)	37
Obrázek 11: Znázornění provozních režimů tepelných čerpadel (ATEG, 2025).....	38
Obrázek 12: Parametr COP (Matuška, 2015)	39
Obrázek 13: Půdorys 1. nadzemního podlaží (Johanides, 2004).....	41
Obrázek 14: Tepelné čerpadlo umístěné na stojanu (Autor, 2025)	45
Obrázek 15: Rozložení součástí na desce (Autor, 2024)	51
Obrázek 16: Schéma zapojení (Autor, 2025).....	52
Obrázek 17: Kompletní zařízení (Autor, 2024)	53
Obrázek 18: Rámeček pro upevnění zařízení do rozvaděče (Autor, 2024)	54
Obrázek 19: Deska přišroubovaná k rámečku (Autor, 2024).....	54
Obrázek 20: Senzor DHT22 v Krabičce (Autor, 2024).....	55
Obrázek 21: Senzor připravený pro instalaci (Autor, 2024).....	56
Obrázek 22: Testování senzorů (Autor, 2024).....	57
Obrázek 23: Adresy senzorů DS18B20 v programu (Autor, 2025)	60
Obrázek 24: Ukázka rozhodování, zda se hodnoty ze senzorů odešlou na Thingspeak (Autor, 2025)	61
Obrázek 25: Ukázka sestavení dat do XML dokumentu (Autor, 2025)	63
Obrázek 26: Ukázka třídění dat z XML do obrázku a tabulky (Autor, 2025).....	63
Obrázek 27: Webová stránka (Autor, 2024).....	65
Obrázek 28: Ukázka grafů na Thingspeaku (Autor, 2025).....	66

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tabulka 1: Ukázka exportovaných dat	67
Graf 1: Průběh venkovní teploty za jeden den (Autor, 2025).....	68
Graf 2: Graf dosažení maximální denní teploty se spojnicí trendu (Autor, 2025)	69
Graf 3: Histogram parametru ΔT (Autor, 2025).....	70

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

API (Application Programming Interface) – Rozhraní pro programování aplikací

CFC – chlorofluoruhlovodíky

COP (Coefficient of performance) – Topný faktor

CSV (Comma-separated values) – Hodnoty oddělené čárkami

EVI (Enhanced Vapor Injection) – Zdokonalené vstřikování páry

GWP (Global warming potential) – Potenciál globálního oteplování

HCFC – hydrochlorofluoruhlovodíky

HTML (Hypertext Markup Language) – Hypertextový značkovací jazyk

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) – Protokol určený pro přenos HTML dokumentů

IoT (Internet of Things) – Internet věcí

ODP (Ozone depletion potential) – Potenciál poškozování ozonové vrstvy

OTA (Over the air) – Bezdrátová aktualizace

PWM (Pulse Width Modulation) – Pulzní šířková modulace

RD – Rodinný dům

SCOP (Seasonal coefficient of performance) – Sezónní topný faktor

TEV – Termostatický expanzní ventil

TUV – Teplá užitková voda

XML (Extensible Markup Language) – Rozšiřitelný značkovací jazyk

ÚVOD

Vytápění rodinného domu představuje jeden z nejvýznamnějších provozních nákladů v domácnosti, proto je hledání úsporných a efektivních řešení aktuálním tématem. V současné době jsou tepelná čerpadla jednou z nejefektivnějších cest ke snížení nákladů na vytápění, která díky principu čerpání tepla z okolního prostředí umožňují výrazné snížení nákladů na vytápění oproti tradičním topným systémům, jako jsou kotle na tuhá paliva, plynové nebo elektrické kotle.

Tato bakalářská práce je založená na analýze získaných poznatků a dostupných zdrojů, které mohou být využity pro zefektivnění vytápění budov a případně vedoucí ke snížení provozních nákladů.

V teoretické části je popsán princip funkce tepelného čerpadla, jednotlivé komponenty chladivového okruhu i přenosu tepla a metody řízení.

V praktické části je popsán systém vytápění rodinného domu s využitím tepelného čerpadla, sběru reálných provozních dat. Tato část se zabývá návrhem a sestavením zařízení pro dlouhodobé sledování teploty na klíčových místech systému. K měření byla použita kombinace digitálních teplotních čidel a mikrokontroleru, který slouží nejen k zaznamenávání dat, ale i k jejich zobrazení přes webové rozhraní.

V práci je dále rozepsán postup návrhu a funkce aktuální verze programu pro pravidelné měření a ukládání hodnot, včetně vývoje webového rozhraní.

Díky přehledné vizualizaci dat a možnostem zpětné analýzy může uživatel upravit nastavení tepelného čerpadla na základě skutečné potřeby. Práce ukazuje, jak lze propojit moderní techniku a řízení s cílem dosáhnout vyšší efektivity a úspor při zachování plného tepelného komfortu.

1 TEPELNÉ ČERPADLO JAKO ZDROJ VYTÁPĚNÍ

Tepelná čerpadla představují moderní a efektivní řešení pro vytápění domácností a zároveň i komerčních prostor, která využívají nízkopotenciální teplo z okolního prostředí. Teplo odebírané ze vzduchu, vody nebo země následně převádí na vyšší teplotní úroveň vhodnou pro vytápění budov.

1.1 Historie

Francouzský fyzik Nicolas Léonard Sadi Carnot, který žil v 19. století, se v roce 1824 napsal dílo „Úvahy o hybné síle ohně“ (Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu). V této práci se zabýval principy fungování tepelných strojů, kdy popsal vratný kruhový děj skládající se ze čtyř fází, přičemž jako pracovní médium uvažoval ideální plyn. Tento termodynamický proces je dnes známý jako Carnotův cyklus. Tento proces se stal základem pro pochopení efektivity tepelných strojů a formulaci druhého zákona termodynamiky.

Carnotovu teorii postupně rozvíjel William Thompson, který je známý pod titulem lord Kelvin z Larxu. Ten v roce 1852 definoval druhý zákon termodynamiky, který vychází z tvrzení, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejší části ke studenější. Touto myšlenkou definoval teoretický základ principu tepelného čerpadla.

Na tuto myšlenku poté navázal rodák z Nového Jičína Peter von Rittinger, což byl báňský technik v rakouských solných dolech. Zkonstruoval zařízení, které lze považovat za předchůdce tepelného čerpadla.

„Původně veškeré snahy směřovaly k výrobě chladícího zařízení, které je samozřejmě také tepelným čerpadlem, avšak využívaným v obráceném směru než topná zařízení“ (Dřímál, 2016).

Carl Paul Gottfried Linde zkonstruoval v roce 1876 první efektivní chladničku. Jeho objev chladícího cyklu založeném na kompresi plynů a chlazení, která zároveň přispěl k rozvoji chladících zařízení v průmyslovém měřítku, měl později vliv i na vývoj tepelných čerpadel.

K zásadnímu pokroku v rozvoji tepelných čerpadel došlo v průběhu 20. století, a to právě na základě rozvoje klimatizačních a chladících technologií. K rozšíření chladících systémů použitelných i pro domácnosti došlo ve dvacátých letech 20. století. První použitelný chladící systém byl uveden na trh ve Švýcarsku v roce 1924.

První tepelné čerpadlo, které mělo být použito k získání tepla postavil americký vynálezce Robert C. Webber. Ten sestrojil první tepelné čerpadlo určené k získávání tepla na konci čtyřicátých let 20. století, a to v podstatě náhodou. Během experimentů s hlubokým zmrazováním se omylem dotkl výstupního potrubí mrazícího zařízení a popálil si ruku, čímž si uvědomil, že zařízení produkuje značné množství odpadního tepla. Tento objev ho přivedl k myšlence využít teplo efektivněji, kdy napojil výstupní potrubí na bojler s teplou vodou. Když zjistil že, i tak má stále přebytek tepla, připojil vodu na potrubní smyčku a pomocí ventilátoru začal vytápět svůj dům. Později úspěšně vyzkoušel získávání tepla ze země pomocí zemních kolektorů, kdy s výsledky byl natolik spokojen, že se údajně rozhodl prodat svůj starý kotel na uhlí již v následujícím roce (Dřimal, 2016).

Od druhé poloviny 20. století se tepelná čerpadla začala využívat v hojnější míře a v následujících letech se dále rozšiřovala. V současné době tepelná čerpadla nabízejí způsob, jak vytápět budovy, ohřívat teplou užitkovou vodu a zároveň chladit v letních měsících.

1.2 Princip tepelných čerpadel

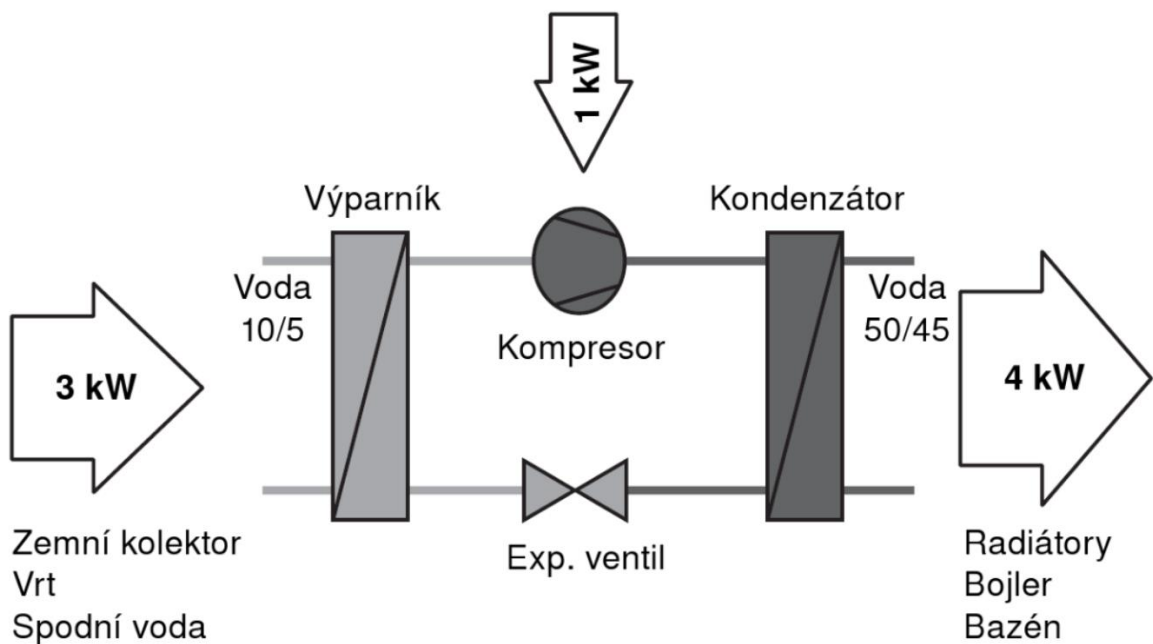
Tepelné čerpadlo funguje na principu obráceného Carnotova termodynamického cyklu, který je obdobný cyklu užívaného v chladničkách. Cílem je přenos tepla z chladnějšího prostředí do teplejšího, tady do budovy.

Tepelné čerpadlo tedy přejímá volně dostupné nízkopotenciální teplo z okolního prostředí, a to ze země, vody, nebo vzduchu a převádí ho na vyšší teplotní úroveň, vhodnou pro vytápění. Toho se docílí právě využitím faktu, že se teplo přechází z teplejšího prostředí do chladiva, které má nižší teplotu. Přírodní teplo z okolního prostředí se odebírá například nemrznoucí kapalinou proudící v potrubí instalovaném v zemi. Kapalína dále protéká výparníkem, kde dochází k předání tepla do chladiva, které koluje v tepelném čerpadle. Teplo lze také odebírat z venkovního vzduchu hnaného ventilátorem v jednotce skrze lamely výparníku. Tato část systému pro odběr tepla z okolí se označuje jako primární okruh.

Předáním tepla do chladiva ve výparníku dojde ke zvýšení jeho teploty o několik stupňů a odpaření. Následně je plyn nasán kompresorem. Stlačením plynu v kompresoru dojde ke značnému zvýšení teploty a tlaku chladiva a tím se získané nízkopotenciální teplo dostane na vyšší teplotní hladinu. V kompresoru se k energii nesené plynem přidává další část energie získaná z práce elektromotoru při stlačení plynu. Chladivo, které je nyní zahřáté asi na 80 °C přichází vrchním vývodem do kondenzátoru, kde předává teplo do topného média určeného

k vytápění, nebo ohřevu vody v bojleru či bazénu. Odebráním tepla z chladiva dojde k jeho kondenzaci a chladivo se stane znovu kapalným. Kapalné chladivo z kondenzátoru projde přes expanzní ventil, čímž se sníží jeho teplota a tlak. Nyní se chladivo opět zahřeje ve výparníku a takto cyklus pokračuje stále dokola, dokud běží kompresor a předává se tak teplo z okolí do topného média. Princip tepelného čerpadla je znázorňuje obrázek 1. Topný systém se označuje jako sekundární okruh.

Cyklus chladiva v tepelném čerpadle tedy probíhá ve čtyřech fázích. Jednou z fází je odpařování, které probíhá ve výparníku. Zde se předává teplo z okolního prostředí do chladiva to se přemění na plyn. Další fází je komprese, kdy kompresor stlačuje plynné chladivo, čímž zvyšuje jeho teplotu. Dále chladivo předává teplo topnému médiu a zkondenzuje zpět na kapalinu, tento proces se nazývá kondenzace. Nakonec chladivo prochází přes expanzní ventil, čímž se snižuje teplota a tlak chladiva, a to umožňuje opětovné odpařování ve výparníku.



Obrázek 1: Princip tepelného čerpadla (Karlík, 2009)

2 SOUČÁSTI TEPELNÉHO ČERPADLA

V této kapitole jsou nastíněny některé typy komponentů, které se podílejí na fungování tepelného čerpadla. Například řídicí jednotka je elektronický systém, který reguluje chod a výkon tepelného čerpadla. Další součástí některých typů tepelných čerpadel jsou filtry a separátory nečistot, které chrání systém před usazeninami a prodlužují jeho životnost. Klíčovými komponenty jsou výměníky tepla (výparník, kondenzátor), kompresor, expanzní ventil, chladivo, otopné médium a také oběhová čerpadla.



Obrázek 2: Deskový výměník tepla (NordicTec EU, 2025)

2.1 Výměníky tepla

Výměník tepla je určen k přenosu tepla z jednoho média do druhého. Obě média nepřijdou nikdy do přímého kontaktu a nesmíchají se. Mezi médii musí být teplotní rozdíl, aby docházelo k přenosu tepla, ten vždy probíhá z teplejšího média do chladnějšího. Nemusí vždy pracovat s chladivem – může přenášet teplo mezi vodou, vzduchem nebo jinými kapalinami.

„Jedním z parametrů je plocha, přes kterou se obě média stýkají. Dalším důležitým parametrem je závislost tlakových ztrát na průtoku média. Tato závislost není lineární a vyjadřuje se obvykle graficky“ (Žeravík, 2003, s. 149).

„Přenesený výkon závisí mimo jiné na množstevním průtoku za jednotku času a teplotním spádu“ (Žeravík, 2003, s. 149).

2.1.1 Výparníky a kondenzátory

Výparník v tepelném čerpadle je typ výměníku tepla, který přejímá teplo z okolí a uvnitř kterého dochází k odpařování chladiva. Nachází se na vstupní straně chladicího okruhu tepelného čerpadla. Přejímá teplo získané z okolního prostředí a předává ho chladivu, které se odpařuje.

V případě, že médium, ze kterého se získává teplo je vzduch, poté výparník používá lamelovou konstrukci pro lepší přenos tepla a je doplněn ventilátorem. Takový typ je použit v tepelných čerpadlech vzduch – voda.

Pokud se teplo přejímá z kapaliny, tak je použit deskový výměník tepla. Ten je složen z tenkých kovových desek většinou z nerezové oceli, které jsou lisované do vlnitého tvaru a naskládané na sebe. Mezi deskami vznikají skupiny kanálků, kterými proudí teplotonosná média. Teplo se přenáší přes stěny desek, které mají velkou plochu pro efektivní výměnu energie.

Deskové výměníky tepla jsou kompaktní a vysoce účinné, mají nízké tepelné ztráty a snesou vysoké provozní tlaky, mají ovšem vyšší tlakové ztráty. Je obtížné je vyčistit, pokud dojde k jejich zanesení. Deskový výměník zobrazuje obrázek 2.

Deskových výměníky mohou být na trvalo spájené měděnou nebo niklovou pájkou, dále polosvařované, které kombinují svařované a těsněné části, čímž umožňují vyšší odolnost proti tlaku a chemikáliím. Další variantou jsou rozebíratelné výměníky, které jsou sestavené s pomocí těsnění a rámu. Tyto jsou vhodné pro aplikace, kde může docházet k zanášení, jako je systém voda – voda, kdy je při zanesení výměník možné rozebrat a vyčistit.

Dalším výměníkem tepla v tepelném čerpadle je kondenzátor. V kondenzátoru se předává teplo z horkého chladiva přicházejícího po stlačení z kompresoru do otopného systému. Chladivo po předání tepla následně kondenzuje zpět na kapalinu. Vyšší teplota kondenzace vede ke snížení účinnosti čerpadla. Systémy s nižší teplotou topné vody, například podlahové vytápění mají obvykle vyšší účinnost. Jako kondenzátor lze také využít deskový výměník.

Dalšími typy jsou výměníky trubkové, kterých existuje několik typů. Jedním z nich je „... výměník, který se skládá z válcové nádoby většího průměru, do které je vložena spirálově svinutá druhá trubka nebo celý svazek trubek. Ty jsou venku paralelně propojeny do jedné. Tím se dosáhne velké teplosměnné plochy. Ve svazku svinutých trubek proudí jedno médium, obvykle chladivo, ve velké nádobě kolem nich pak druhé, voda či solanka“ (Žeravík, 2003, s. 154).

Typ trubka v trubce má jednoduchou konstrukci, která se skládá ze dvou trubek, kdy jedna je umístěna uvnitř druhé. Jedno médium protéká vnitřní trubkou, zatímco druhé proudí v opačném směru v prostoru mezi vnitřní a vnější trubkou. Tento protiproudý režim maximalizuje účinnost přenosu tepla. Výhodou je odolnost vůči vysokému tlaku a teplotám, naopak nevýhodou je omezená teplosměnná plocha, je tudíž méně efektivní ve srovnání s deskovými výměníky a je také prostorově náročnější. Trubkové výměníky jsou odolné vůči nečistotám ve vodě.

Spirálový výměník je speciální typ výměníku tepla, který se vyznačuje kompaktní spirálovou konstrukcí. Je tvořen dvěma navinutými kovovými deskami nejčastěji z nerezové oceli nebo mědi, které vytvářejí dva oddělené průtokové kanály. Opět funguje na principu výměny tepla, která probíhá mezi médii proudícími v opačných směrech. Tato konstrukce výměníku minimalizuje tlakové ztráty a snižuje riziko zanášení usazeninami. Jeho výhodou je vysoká účinnost přenosu tepla, kompaktní konstrukce, samočistící efekt.

2.1.2 Odmrazování výparníku

U tepelných čerpadel pracujících s venkovním vzduchem jako zdrojem tepla vzniká na výparníku námraza. Nejvíce se námraza tvoří při teplotách pohybujících se blízko nad bodem mrazu. To snižuje účinnost tepelného čerpadla a v extrémních případech může způsobit jeho nefunkčnost.

Na odmrzování výparníku se využívá reverzní cyklus, kdy čerpadlo na krátkou dobu obrátí směr toku chladiva, takže teplý plyn z kompresoru projde výparníkem a odmrzí ho. Tento proces trvá několik minut a dočasně přerušuje vytápění.

Čím vyšší vlhkost vzduchu a nižší teplota, tím častější odmrzování. Námraza na výparníku vzniká i pod bodem mrazu. Důležité je zajistit dobrý odvod kondenzátu, aby se voda po odmrzení nehromadila pod jednotkou a nezamrzala.

2.2 Expanzní ventil

Termostatický expanzní ventil, se také někdy označuje jako vstříkovací ventil. Je určený k regulaci množství kapalného chladiva vystupujícího z kondenzátoru do výparníku na základně aktuálních provozních podmínek. Kondenzace probíhá při konstantní teplotě, která závisí na tlaku chladiva.

Expanzní ventil snižuje tlak a teplotu chladiva, čímž umožňuje opětovné odpařování ve výparníku. Základním prvkem ventilu je tryska, která se otevírá působením síly vzniklé tlakem plynů na membránu a pružinou nastavovacího šroubu.

Důležitou součástí ventilu je teplotní čidlo, které se označuje tykavka, což je nádobka naplněná plynem citlivým na teplotu. Jakmile teplota stoupá, zvyšuje se i tlak uvnitř tykavky, který se přes kapiláru přenáší na membránu ventilu. Tento tlak v kombinaci s vypařovací teplotou ovlivňuje přehřátí chladiva a tím i otevírání trysky. Nastavení ventilu lze upravit otáčením regulačního šroubu.

Pokud je ve výparníku vyšší tlaková ztráta, používá se expanzní ventil s vnějším vyrovnáním tlaku. V tomto případě se tlak nesnímá uvnitř ventilu, ale až na výstupu výparníku, přičemž přenos této hodnoty probíhá přes kapiláru. To eliminuje zkreslení způsobené tlakovou ztrátou.

„Jde o elektronicky řízený expanzní ventil, který se liší od běžných TEV tím, že nemá žádnou tykavku ani membránu. Obsahuje jen trysku příslušné velikosti, která se pomocí elektromagnetu naplno otevírá či zavírá. Množství vstříkovaného chladiva se řídí poměrem času otevření a zavření. Perioda otevírání bývá asi 6 sekund. Ovládací elektromagnet řídí elektronická jednotka na základě údajů ze snímačů teplot za ventilem, za výparníkem a případně i jinde“ (Žeravík, 2003, s. 147).

2.3 Kompresory

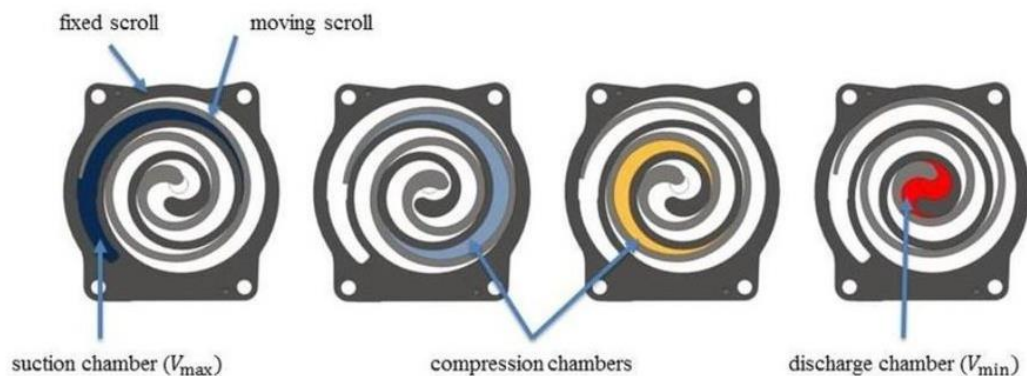
Klíčovou součástí tepelného čerpadla je kompresor, jehož hlavním úkolem je stlačování par chladiva přicházejících z výparníku. Tímto procesem dochází ke zvýšení jeho tlaku a teploty, což umožňuje přenos tepla z chladnějšího prostředí do topného systému budovy. Úroveň tlaků v sacím a výtlačném potrubí je dána typem použitého chladiva a provozními podmínkami. Poměr mezi výtlačným a sacím tlakem se označuje jako kompresní poměr. Je to jeden z parametrů ovlivňujících účinnost tepelného čerpadla.

Kompresory mohou být vyrobeny v hermetickém provedení, kdy jsou elektromotor i samotný kompresor umístěny ve společném uzavřeném plášti a sdílejí stejnou olejovou náplň, kdy elektromotor je chlazen nasávanými parami chladiva. Hlavní výhodou tohoto řešení je absolutní těsnost, která zabraňuje únikům chladiva, proto se hermetické typy používají v tepelných čerpadlech. Jednou z variant hermetických kompresorů jsou spirálové kompresory, známé jako scroll kompresory. Ty představují modernější alternativu pístových variant. Jejich konstrukce

se skládá ze dvou kovových spirál, kde jedna je pevná a druhá se pohybuje excentricky po kruhové dráze. Pracovní cyklus spirálového kompresoru znázorňuje obrázek 3.

Dalším typem je polohermetický kompresor. Na rozdíl od plně hermetického provedení je možné se k jednotlivým částem dostat díky odnímatelným krytům, což usnadňuje údržbu a opravy.

Třetí variantou je otevřený kompresor. Jeho hřídel prochází skříní ven a je opatřena těsněním, aby se zabránilo úniku chladiva. Tento typ může být poháněn nejen elektromotorem, nebo jiným motorem umístěným mimo skříně.



Obrázek 3: Cyklus spirálového kompresoru (Sunrise, 2025)

2.3.1 Olejová náplň

Olejová náplň je nezbytnou součástí kompresorů používaných v tepelných čerpadlech, kdy tato náplň musí být kompatibilní s chladivem. Při rozběhu kompresoru po delším odstavení může olej zpěňovat kvůli absorpci chladiva v oleji. V některých případech se proto využívá vyhřívání oleje.

2.4 Komponenty chladivového okruhu

V systému tepelného čerpadla hrají důležitou roli pomocné prvky, které zajišťují správnou cirkulaci, filtraci a separaci chladiva i tepelného média.

Sběrač oleje slouží k oddělení oleje od chladiva a jeho návratu do kompresoru, čímž zajišťuje správné mazání a snižuje opotřebení součástí.

Filtrdehydrátor odstraňuje nečistoty a vlhkost z chladicího okruhu, což zabraňuje poškození komponent korozí nebo tvorbě ledu a zamrznání expanzního ventilu.

Dalším důležitým prvkem je sběrač kapalného chladiva, kde se chladicí médium po kondenzaci zbavuje bublinek.

2.5 Oběhové čerpadlo

Oběhové čerpadlo je další součástí systému tepelného čerpadla (viz obrázek 4). Jeho úkolem je zajišťovat cirkulaci kapaliny (např. vody nebo nemrzoucí směsi) v uzavřeném okruhu, čímž umožňuje efektivní přenos tepla mezi jednotlivými částmi systému.



Obrázek 4: Oběhové čerpadlo (Grundfos, 2025)

V primárním okruhu u systémů země – voda čerpá kapalinu z kolektoru nebo vrtu. V sekundárním okruhu zajišťuje cirkulaci topného média.

Oběhová čerpadla mohou být jednorychlostní, vícerychlostní, nebo elektronicky řízená. Moderní tepelná čerpadla často využívají vysoce účinná oběhová čerpadla s regulací otáček, které se automaticky přizpůsobují aktuálním požadavkům vytápění, čímž snižují spotřebu elektrické energie.

Výhodou moderních oběhových čerpadel je nižší spotřeba energie u úsporných modelů, tichý provoz, dlouhá životnost, možnost automatického řízení výkonu podle potřeby systému.

2.6 Topná média

Topné médium je látka, která přenáší získané teplo z tepelného čerpadla do otopné soustavy budovy. Výběr správného topného média závisí na typu tepelného čerpadla, jeho provozních podmínkách a požadované účinnosti systému. Dalším kritériem mohou být i finanční náklady.

V topných systémech, kde není potřeba nemrznoucí ochrany, se jako médium často používá ošetřená demineralizovaná voda. Voda má lepší tepelnou vodivost než glykolové směsi a zároveň nižší viskozitu. Při nízkých teplotách může zamrznat, proto se musí udržovat v oběhu. Demineralizovaná voda je levnější než glykolové směsi, a za příznivou cenu se nechá koupit v tepelných elektrárnách, které spotřebují velké množství této vody.

Dalším topným médiem mohou být nemrznoucí směsi, to znamená glykolové roztoky včetně solanky. Glykolové roztoky se používají jako nemrznoucí směs v topných a chladicích systémech, zejména tam, kde hrozí riziko zamrznutí vody v potrubí. Tato nemrznoucí směs má nižší tepelnou vodivost než voda, což může mírně snížit účinnost přenosu tepla a vyšší viskozita může znamenat větší odpor pro oběhová čerpadla.

Jako topné médium lze použít i lihové roztoky. Ethanolové roztoky se obvykle používají v systémech, kde je potřeba účinná ochrana proti zamrznutí, ale glykol by byl nevhodný kvůli vyšší viskozitě nebo ceně. Nevýhodou může být vysoká odparnost a hořlavost při úniku. Používá se například pro tepelná čerpadla země – voda jako médium v primárním okruhu.

Pro optimální provoz je vždy nutné správné ošetření kapaliny, ať už jde o inhibitory koroze nebo pravidelnou údržbu systému.

2.7 Chladiva

Chladivo je klíčovým médiem v tepelném čerpadle, umožňuje přenos energie v systému. Bez chladiva by čerpadlo nemohlo fungovat. Mohou být buď čisté jednosložkové látky, nebo směsi složené z více sloučenin. Chladiva se dělí podle jejich vlastností a chemického složení.

Chladiva nesou označení, které začíná písmenem R, to vychází z anglického slova refrigerant. Číselné označení odpovídá chemickému složení chladiva a jeho skupině.

Dopad chladiv na atmosféru se měří pomocí dvou hlavních koeficientů. Koeficient ODP (Ozone Depletion Potential) určuje vliv látky na ozonovou vrstvu. Referenční hodnotou je freon R-11 s ODP = 1. Čím nižší ODP, tím menší dopad na ozon.

GWP (Global Warming Potential) hodnotí příspěvek látky ke skleníkovému efektu vzhledem k CO₂ s GWP = 1 za dobu sto let. Vyšší GWP znamená silnější dopad na globální oteplování.

V minulosti se hojně používaly freony (CFC, HCFC), které měly silný negativní vliv na ozonovou vrstvu. Kvůli jejich ekologickému dopadu se postupně omezily a nahradily je modernější varianty bez ODP. Stále více se používají přírodní chladiva, jako je oxid uhličitý (R-744) nebo propan (R-290).

3 TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL

Starší typy tepelných čerpadel byly bez plynulé regulace výkonu. Čerpadla měla jednostupňové kompresory, což znamenalo, že buď běžela naplno, nebo byla vypnutá. Tento způsob provozu nebyl příliš efektivní, protože tepelná zátěž budovy se mění a čerpadlo nemohlo svůj výkon přizpůsobit aktuální potřebě.

Časté spínání a vypínání kompresoru způsobovalo nerovnoměrnou regulaci tepla, což vedlo k větším teplotním výkyvům v topném systému. Kvůli tomu nabývalo na významu použití akumulární nádrže, která pomáhala eliminovat časté cyklování, ale přinášela i další tepelné ztráty. Čím větší objem nádrže, tím větší plocha pro ochlazování.

Moderní čerpadla s invertorem ji často nepotřebují, protože mohou plynule regulovat výkon a přizpůsobit se aktuální potřebě tepla.

Tepelná čerpadla mohou být konstrukce split nebo monoblokové, která se používají častěji. Splitové se skládají ze dvou jednotek – venkovní a vnitřní, mezi nimiž cirkuluje chladivo. U sekundárního okruhu splitového tepelného čerpadla je nižší riziko zamrznutí než u monoblokových čerpadel. U typu split existuje potenciální riziko úniku chladiva mezi jednotkami, nebo do prostor budovy.

3.1 Tepelné čerpadlo Vzduch – voda

Tepelná čerpadla typu vzduch – voda (viz obrázek 5) se v poslední době staly velmi populárními díky zlepšení dostupnosti a provozních parametrů. Snadno se montují a jako nízkopotenciální zdroj tepla, využívají okolní vzduch, proto nepotřebují dodatečné zemní práce, jako zemní tepelná čerpadla. Tím pádem mají také nižší pořizovací náklady.

Výkon těchto tepelných čerpadel se mění v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. S rostoucí teplotou se zvyšuje také výkon a naopak. Z tohoto důvodu fungují tepelná čerpadla vzduch – voda, především v bivalentním provozu, což znamená, že při nízkých teplotách se aktivuje dodatečný zdroj tepla, obvykle elektro kotel. Vytápění pak zajišťují oba zdroje společně, nebo jen dodatečný zdroj tepla, který musí pokrýt potřeby celého objektu.

Minimální teplota, při které vzduchové tepelné čerpadlo ještě může fungovat je přibližně -20 °C. Jejich průměrný roční topný faktor se blíží hodnotám tepelných čerpadel, která čerpají teplo ze země. Při velmi nízkých venkovních teplotách mají vzduchová tepelná čerpadla horší

parametry než zemní, protože pracují s nejhorším topným faktorem, je to však kompenzováno delšími obdobími podzimu a jara, kdy je potřeba vytápění.

Tepelná čerpadla vzduch – voda jsou ve variantě monoblok, kdy zařízení může být umístěno buď venku nebo i uvnitř budovy, kde potom nasává okolní vzduch přes vzduchotechnické potrubí. U děleného provedení (split) venkovní jednotka nasává vzduch a vnitřní jednotka se stará a ohřev teplé vody a vytápění.

Velké množství vzduchu, které prochází skrze tepelné čerpadlo vytváří určitou úroveň hluku, proto je třeba vybrat vhodné umístění jednotky.



Obrázek 5: Tepelné čerpadlo vzduch – voda (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025)

3.2 Tepelné čerpadlo Vzduch – vzduch

Tepelná čerpadla vzduch – vzduch fungují na stejném principu jako tepelná čerpadla vzduch – voda, avšak jejich tepelný výkon je předáván vnitřní jednotkou přímo do vzduchu v budově. Nástěnná tepelná čerpadla vzduch – vzduch jsou ideální pro menší prostory, které mohou vytápět i chladit. Vytápí především tu místnost, kde je tepelné čerpadlo instalováno a teplo se hůře dostává do dalších místností.

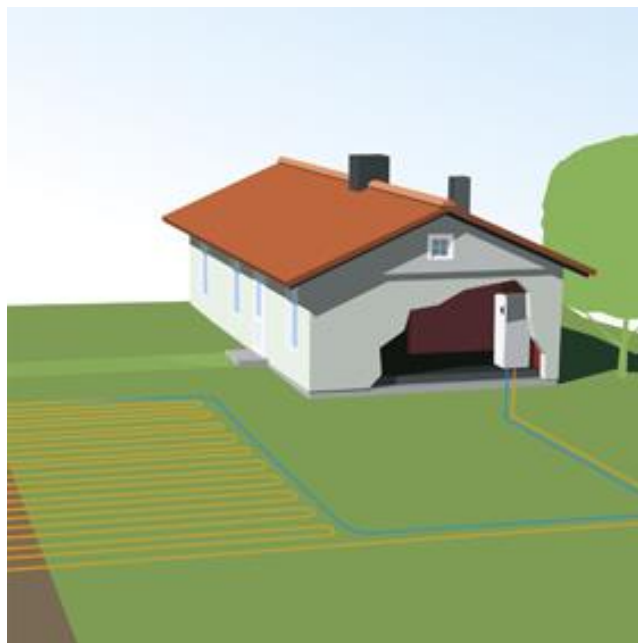
3.3 Tepelné čerpadlo Země – voda

Tepelné čerpadlo země – voda využívá jako zdroj tepla energii uloženou v půdě (viz obrázek 6), která má po celý rok relativně stabilní teplotu, obvykle rozmezí 4–12 °C v závislosti na hloubce a lokalitě. Tepelná energie se získává prostřednictvím zemního kolektoru, a to horizontálního nebo vertikálního, kde cirkuluje nemrznoucí směs a absorbuje teplo z okolní zeminy. Při správném návrhu lze systém využít i pro pasivní chlazení budovy.

Tento typ čerpadla dosahuje vysoké účinnosti a nízkých provozních nákladů. Nevýhodou tohoto typu čerpadla jsou vyšší pořizovací náklady na instalaci kolektoru nebo vrtů narozdíl od vzduchových čerpadel.

3.3.1 Horizontální kolektor

Horizontální kolektor nebo také plošný kolektor je systém potrubí, které bývá uloženo v hloubce asi 1 – 1,5 m pod povrchem. Jde o jednu z nejefektivnějších technologií vytápění, která poskytuje stabilní výkon bez závislosti na venkovních teplotách.



Obrázek 6: Tepelné čerpadlo země – voda s plošným kolektorem (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025)

Trubky jsou rozloženy ve smyčkách nebo rovnoběžných liniích ve velké ploše, aby efektivně odebírali teplo z horních vrstev země. K nižší účinnosti dochází v době, kdy teplota půdy může klesne až k bodu mrazu a kolem trubek se vytvoří obálka z ledu.

Regenerace tepla probíhá postupně v létě díky slunečnímu záření a srážkové vodě. Půda potřebuje čas na obnovu tepla zejména při intenzivním využívání systému. Potřebná plocha závisí na výkonu tepelného čerpadla, obvykle dvakrát až třikrát větší než vytápěná plocha domu.

Nevýhodou je požadavek na velkou volnou plochu bez zástavby a stromů. Naopak výhodou je snadnější instalace a nižší pořizovací náklady oproti vertikálním kolektorům.

3.3.2 Vertikální kolektor

Vertikální vrtly nebo také geotermální vertikální sondy jsou jednou z nejefektivnějších metod odběru tepla ze země. Jedná se o hluboké sondy, do kterých je instalován plastové potrubí a teplo z podloží se přenáší do teplonosného média. Potrubí je vedeno do vrtů hlubokých obvykle 50 až 150 m, kdy záleží na konkrétních omezeních daných místními geologickými podmínkami.

Výhodou je stabilní teplota, což zajišťuje vysokou účinnost po celý rok. Tento systém je účinnější, ale finančně náročnější na instalaci než plošný kolektor. Jako nevýhoda se může jevit v zastavěných oblastech obtížnější manipulace s vrtací technikou a dalšími stroji. Instalace tohoto typu kolektoru vyžaduje náročnější administrativu.

3.3.3 Energetické piloty, spirálové kolektory a energetické koše

Kromě vrtů a horizontálních kolektorů se pro čerpání tepla ze země u tepelných čerpadel země – voda používají také energetické piloty nebo energetické koše (viz obrázek 7). Energetické piloty využívají základy budovy pro odběr tepla z podloží. Tento systém se projektuje u nově budovaných staveb, kde jsou základy kotveny do hlubokých betonových pilotů. Do těchto pilotů se instaluje potrubí, které odebírá teplo ze země podobně jako u vrtaných sond, dodatečná instalace není možná. Výhodou je efektivní využití základové konstrukce, nižší investiční náklady u novostaveb. Nevýhodou je omezené použití a nižší výkon oproti hlubinným sondám.



Obrázek 7: Energetický koš (Geotermie chytře a jednoduše, 2019)

3.4 Tepelné čerpadlo s přímou výměnou tepla

Tepelná čerpadla s přímým odběrem tepla jsou v podstatě tepelná čerpadla typu země – voda, která odebírají teplo přímo ze země. Na rozdíl od klasických tepelných čerpadel země – voda, přenášejí tato čerpadla teplo prostřednictvím primárního okruhu, ve kterém proudí přímo chladivo.

Plošný kolektor pro tento systém využívá měděné trubky uložené přímo v zemi, které jsou obvykle obalené vrstvou plastu proti jako ochrana proti korozi.

3.5 Tepelné čerpadlo Voda – voda

Tepelné čerpadlo typu voda – voda patří mezi nejúčinnější způsoby vytápění, jelikož využívá stabilní teplotu podzemní nebo povrchové vody (viz obrázek 8). Mezi hlavní výhody systému voda – voda patří vysoký topný faktor COP a nízké provozní náklady. Další výhodou je dlouhá životnost a tichý chod, což jej činí ideální volbou pro efektivní vytápění. Systém je vhodný například při vytápění větších objektů.

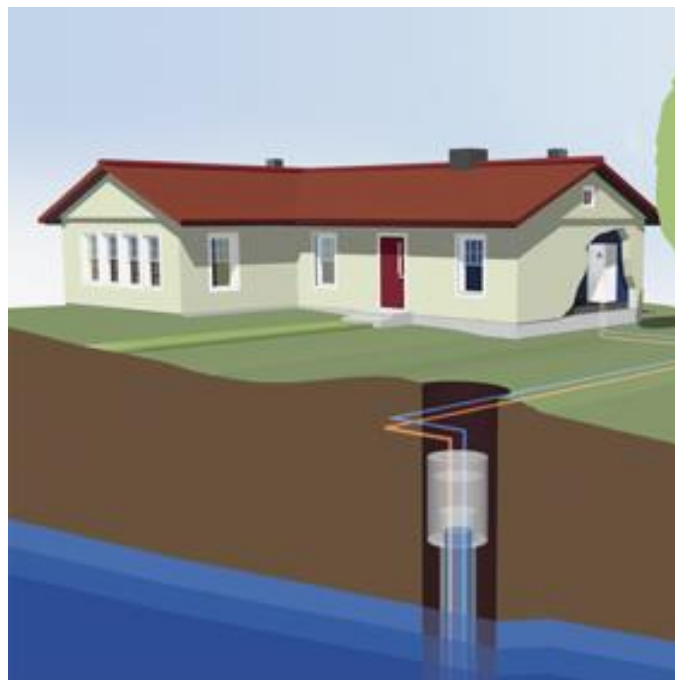
Princip jeho fungování spočívá v čerpání vody ze studny, řeky nebo jiného vodního zdroje. Tepelná čerpadla voda – voda lze rozdělit na otevřené a uzavřené systémy.

Otevřený systém pracuje se dvěma studnami, kdy první slouží k čerpání a druhá k vsakování vody. Poskytuje vyšší účinnost než uzavřený systém, avšak vyžaduje dostatečnou vydatnost a kvalitu vody.

Uzavřený systém využívá potrubní okruh ponořený do vodního zdroje a eliminuje problémy se zanášením, avšak za cenu vyšších investičních nákladů.

Avšak využití tohoto typu tepelných čerpadel podléhá určitým omezením, mezi něž patří nutnost dostatečně vydatného vodního zdroje. V současné době se Česká republika potýká s nedostatkem podzemní vody, což značně omezuje možnosti využití tohoto typu tepelných čerpadel. Dalším limitujícím faktorem jsou legislativní podmínky omezující čerpání spodní vody.

„Řeky, rybníky a jiné vodní plochy jsou jako zdroj tepla v instalacích tepelných čerpadel spíše raritou. Jejich využívání je spojeno s náročnou administrativou, a především se souhlasem jejich majitele nebo správce a u toho to zpravidla skončí“ (Karlík, 2009, s. 16).



Obrázek 8: Tepelné čerpadlo voda – voda (IVT Tepelná čerpadla s.r.o., 2025)

4 PRINCIP REGULACE TEPELNÉHO ČERPADLA A MĚŘENÍ TECHNOLOGICKÝCH VELIČIN

Tepelná čerpadla jsou složitá technologická zařízení, jejíž efektivní provoz závisí na správné regulaci výkonu a monitorování klíčových technologických veličin. Cílem regulace je zajistit optimální provozní podmínky s co nejnižší spotřebou energie a zároveň prodloužit životnost zařízení. K tomu je zapotřebí nejen vhodně zvolený regulační systém, ale také přesné měření veličin, jako jsou teplota, tlak, průtok nebo spotřeba elektrické energie.

4.1 Princip regulace tepelných čerpadel

Regulace výkonu tepelných čerpadel je založena na řízení kompresoru, oběhových čerpadel a expanzního ventilu tak, aby bylo dosaženo požadované výstupní teploty topné vody a teploty v objektu.

Regulace může být založena na manuálním nastavení, kdy uživatel nastaví pevnou hodnotu výstupní teploty topné vody, nebo se v současnosti upřednostňuje automatická regulace, kdy zařízení přizpůsobuje výkon na základě venkovních podmínek a tepelných ztrát budovy. Automatická regulace umožňuje optimalizaci spotřeby energie a zajišťuje stabilní teplotní komfort v objektu. Správná regulace výkonu má přímý vliv na účinnost tepelného čerpadla.

Existují dva základní způsoby regulace výkonu tepelných čerpadel. Jedním z nich je takzvaná On/Off regulace, která funguje na principu zapnutí nebo vypnutí kompresoru podle potřeby. Druhou modernější variantou je plynulá regulace výkonu pomocí invertorové technologie. Invertorové tepelné čerpadlo využívá frekvenční měnič, který plynule mění otáčky kompresoru podle aktuální potřeby, čímž eliminuje zbytečné spínání a umožňuje efektivnější provoz. Díky tomu dosahují invertorová čerpadla vyššího sezónního topného faktoru SCOP.

4.2 Měřené technologické veličiny a jejich význam

Aby bylo možné efektivně regulovat výkon tepelného čerpadla, je nutné průběžně monitorovat a vyhodnocovat určité technologické veličiny, například teploty, tlak chladiva, průtok topného média.

Měření teploty hraje klíčovou roli při řízení výkonu tepelného čerpadla. Snímače teploty jsou umístěny na různých místech v systému. Měří se například teplota vstupní a výstupní vody,

kteřá ovlivňuje regulaci topného okruhu, teplota chladiva, která slouží k řízení expanzního ventilu a kompresoru nebo venkovní teplota, která se využívá při ekvitermní regulaci.

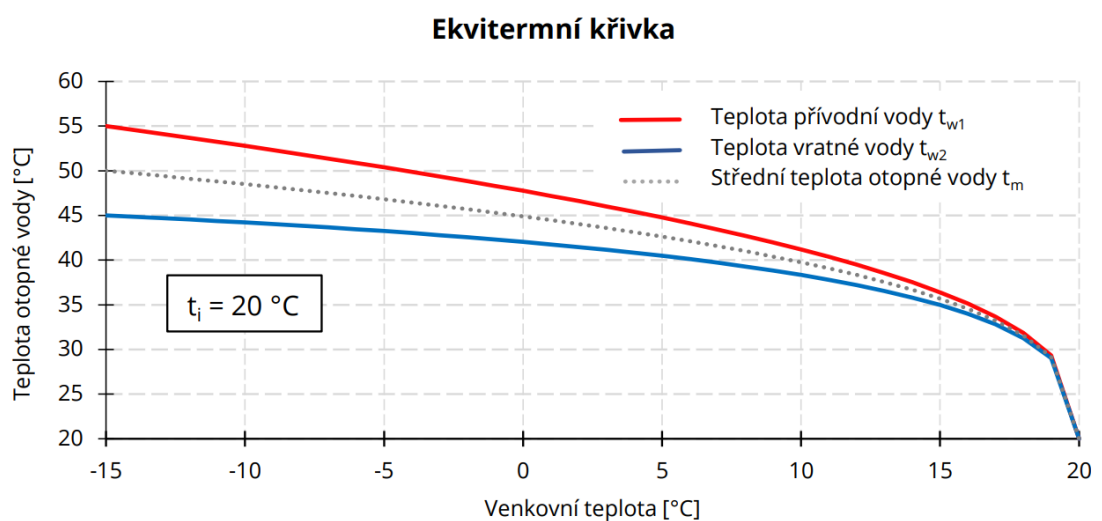
Tlak v chladivovém okruhu je dalším důležitým parametrem, který umožňuje optimalizaci procesu expanze a komprese chladiva. Pokud je tlak příliš vysoký nebo nízký, může dojít k narušení efektivity výměny tepla.

Pro správné fungování tepelného čerpadla je rovněž důležité sledování průtoku topného média. Nedostatečný průtok může vést ke špatné distribuci tepla v otopné soustavě, a proto jsou v tepelných čerpadlech instalovány senzory, které průtok monitorují a umožní jeho regulaci.

4.3 Systémy řízení a regulace

Základní řídicí systémy umožňují pouze manuální nastavení teplé vody, zatímco moderní regulátory umožňují využívat inteligentní řízení s možností vzdáleného ovládání a předpovědi počasí. Díky rozvoji chytré domácnosti lze dnes tepelná čerpadla ovládat na dálku pomocí mobilních aplikací nebo webových rozhraní. Tyto systémy umožňují nejen změnu nastavení teploty, ale také monitoring provozních veličin a diagnostiku případných poruch.

Regulace je proces, při kterém se měřené hodnoty porovnávají s nastavenými hodnotami a na základě rozdílu se upravuje činnost systému. Jedním z nejefektivnějších způsobů regulace je ekvitermní regulace, která nastavuje výstupní teplotu vody na základě venkovní teploty (viz obrázek 9). Pokud venkovní teplota klesne, zvýší se teplota výstupní vody, a naopak.



Obrázek 9: Příklad ekvitermní křivky (Mikoláš, 2021)

Tradiční ekvitermní regulace nemusí být dostatečně přesná, proto moderní systémy využívají adaptivní algoritmy, které zohledňují historická data o chování budovy a jejich tepelných ztrátách. Díky tomu je možné dosáhnout efektivnějšího využití energie, protože regulace přizpůsobuje svůj provoz nejen venkovním podmínkám, ale také reálným potřebám domácnosti. Adaptivní ekvitermní regulace navíc bere v úvahu solární zisky a další zdroje vnitřního tepla, čímž zabraňuje zbytečnému přetápění místnosti.

4.4 Vliv regulace na provozní náklady a efektivitu

Správná regulace výkonu má významný dopad na spotřebu energie. Plynulá regulace výkonu umožňuje snížit spotřebu elektrické energie oproti On/Off regulaci, protože eliminuje ztráty způsobené častým spínáním kompresoru. Důležitým faktorem je také životnost zařízení, tepelná čerpadla s plynulou regulací výkonu vykazují delší životnost, protože nedochází k nadměrnému mechanickému namáhání kompresoru.

Kromě toho moderní tepelná čerpadla umožňují optimalizaci provozu na základě měření a regulace. Pokročilé řídicí jednotky dokážou analyzovat data ze senzorů a přizpůsobit provozní režim aktuálním podmínkám. Moderní řídicí systémy a inteligentní regulace umožňují dosáhnout vysoké účinnosti a snížit provozní náklady.

4.5 Prediktivní řízení a regulace

„Využití prediktivní regulace umožňuje snížit náklady na provoz tepelného čerpadla...“ (Červín, 2020). U sálavých otopných systémů s vysokou tepelnou setrvačností se změny v nastavení projevují na vnitřní teplotě až s několika hodinovým zpožděním. To může vést k přehřívání místností vlivem neočekávaných vnějších tepelných zisků, například ze slunečního záření. Pro zajištění tepelného komfortu v ranních hodinách dochází k aktivaci zdroje tepla už v průběhu noci. V případě použití prediktivní regulace, která bere v úvahu předpověď počasí, se ale výkon začíná snižovat dříve než u klasických systémů. Díky tomu se omezuje nadměrné ohřívání interiéru, což vede nejen k vyššímu uživatelskému komfortu, ale i k úsporám energie a nižším provozním nákladům. (Červín, 2020)

Prediktivní řízení se efektivně uplatňuje ve spojení s akumulací nádrží, která slouží k dočasnému uchování vyrobeného tepla. Prediktivní regulace umožňuje naplánovat dobu ohřevu akumulace tak, aby bylo v nádrži dostatečné množství tepla v době očekávané potřeby.

5 OPTIMALIZACE NASTAVENÍ TEPELNÉHO ČERPADLA

Prvním krokem optimalizací je sběr a analýza teplotních údajů. Měření venkovní teploty umožňuje určit, jaké vytápěcí parametry jsou v daném okamžiku nejvhodnější, senzory umístěné uvnitř budovy monitorují teplotní rozdíly mezi jednotlivými místnostmi. Dále je důležité sledovat teplotu vstupní a výstupní vody v otopném systému, což pomáhá optimalizovat regulaci výkonu čerpadla.

Dalším důležitým aspektem optimalizaci je časové plánování vytápění, které je uloženo v paměti řídicí jednotky. Tepelné čerpadlo by nemělo pracovat na plný výkon po celý den, ale pouze tehdy, když je to skutečně nutné. Nastavení nočního útlumu, kdy se teplota v domácnosti sníží během spánku, výrazně snižuje spotřebu energie. Stejně tak je možné omezit vytápění během dne, pokud obyvatelé domu nejsou přítomni. Naopak před jejich návratem může systém s předstihem začít ohřívat interiér, čímž se vyhne energeticky náročnému nárazovému ohřevu.

Další možností je propojení s jinými zdroji energie například s fotovoltaickou elektrárnou, která může dodávat elektřinu pro provoz čerpadla v době, kdy je dostupný přebytek energie ze solárních panelů.

Důležitou součástí tohoto procesu je i optimalizace výkonu oběhového čerpadla, které zajišťuje správnou cirkulaci vody v systému. Využitím akumulačních vlastností stavebních materiálů, například betonových podlah, lze dosáhnout plynulejší regulace vytápění. Správně nastavené tepelné čerpadlo nejen snižuje náklady na vytápění, ale také prodlužuje svou životnost a zajišťuje stabilní tepelný komfort v domácnosti.

6 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ

Efektivní provoz tepelného čerpadla a jeho ekonomická návratnost závisí na mnoha faktorech, které ovlivňují jak pořizovací náklady, tak provozní výdaje. Mezi klíčové aspekty patří tepelné ztráty budovy, správná volba výkonu a provozního režimu čerpadla, kompatibilita s existujícím topným systémem, umístění jednotky, kvalita montáže a následná regulace systému.

6.1 Tepelné ztráty budovy a jejich minimalizace

Prvním faktorem ovlivňujícím náklady na vytápění je samotná tepelná ztráta objektu.

„Tepelná ztráta je při výpočtech spotřeby klíčový pojem. Vyjadřuje výkon zdroje tepla, který potřebujeme, abychom v domě udrželi požadovanou teplotu při nižší venkovní teplotě, kterou lze pravděpodobně očekávat, tzv. venkovní výpočtové teplotě. Nejčastěji se udává ztráta pro – 15 °C“ (Srdečný, 2007, s. 9).

Kvalitní tepelná izolace stěn, střechy, oken a dveří výrazně snižuje potřebu energie na vytápění a umožňuje použití tepelného čerpadla s nižším výkonem, čímž se snižují investiční i provozní náklady. Kromě izolace je důležitá i vzduchotěsnost budovy a řízené větrání, které minimalizuje nechtěné tepelné ztráty. *„Spotřeba energie na ohřev větracího vzduchu tvoří u běžných domů zhruba 30 % celkové spotřeby. Čím je dům lépe izolován, tím je tento podíl vyšší“ (Srdečný, 2007, s. 27).*

V případě starších objektů lze tepelnou ztrátu snížit dodatečným zateplením fasády, střechy nebo výměnou oken. Významnou roli hrají také klimatické podmínky v dané lokalitě. Budovy v chladnějších oblastech mají vyšší energetickou náročnost, což se odráží v potřebném výkonu tepelného čerpadla. Při návrhu systému je proto nutné správně dimenzovat výkon podle výpočtu tepelných ztrát objektu.

Důležité je v případě jednotek typu split třeba minimalizovat vzdálenost mezi jednotkami, aby se snížily tepelné ztráty v potrubí.

6.2 Instalace a montáž tepelného čerpadla

Před instalací tepelného čerpadla je nutné posoudit nároky na elektrickou přípojku a zkontrolovat dostatečnou kapacitu jističů. Některá čerpadla mohou vyžadovat úpravu elektroinstalace, což ovlivňuje celkové investiční náklady. Důležité je také využití nočního

proudu nebo speciálních tarifů pro tepelná čerpadla, které umožňují snížit náklady na provoz. V kombinaci s fotovoltaikou lze zvýšit energetickou soběstačnost a dále snížit provozní náklady.

Kvalita montáže výrazně ovlivňuje životnost a efektivitu celého systému. Špatně provedená instalace může vést k tepelným ztrátám, snížení účinnosti nebo dokonce poruchám zařízení. Po instalaci je nutné provést testování a optimalizaci parametrů, aby byl systém nastaven na co nejefektivnější provoz.

6.3 Stávající topný systém a jeho kompatibilita

Při návrhu tepelného čerpadla je důležité zohlednit stávající topný systém. Nejvýhodnější je nízkoteplotní vytápění, například podlahové (viz obrázek 10), které umožňuje dosáhnout vyššího COP. *„Pracuje se zde se střední teplotou topného média 40 °C a nižší. Jedná se většinou o tzv. „mokvý systém“ s topnými trubkami zalitými v betonu s plastifikátorem, nebo anhydridem s maximálně teplotou topné vody 50 °C až 55 °C“* (Karlík, 2009, s. 57).

Naopak vysokoteplotní soustavy s klasickými radiátory vyžadují vyšší výstupní teplotu vody, což snižuje efektivitu tepelného čerpadla.



Obrázek 10: Trubky podlahového topení (VKN s.r.o., 2025)

7 VÝBĚR TEPELNÉHO ČERPADLA

„Investice do tepelného čerpadla je dlouhodobá a pro někoho poměrně náročná. Podle toho by také měl být proveden výběr. Některá tzv. úsporná řešení se po určité době mohou ukázat jako špatná volba“ (Karlík, 2009, s. 101).

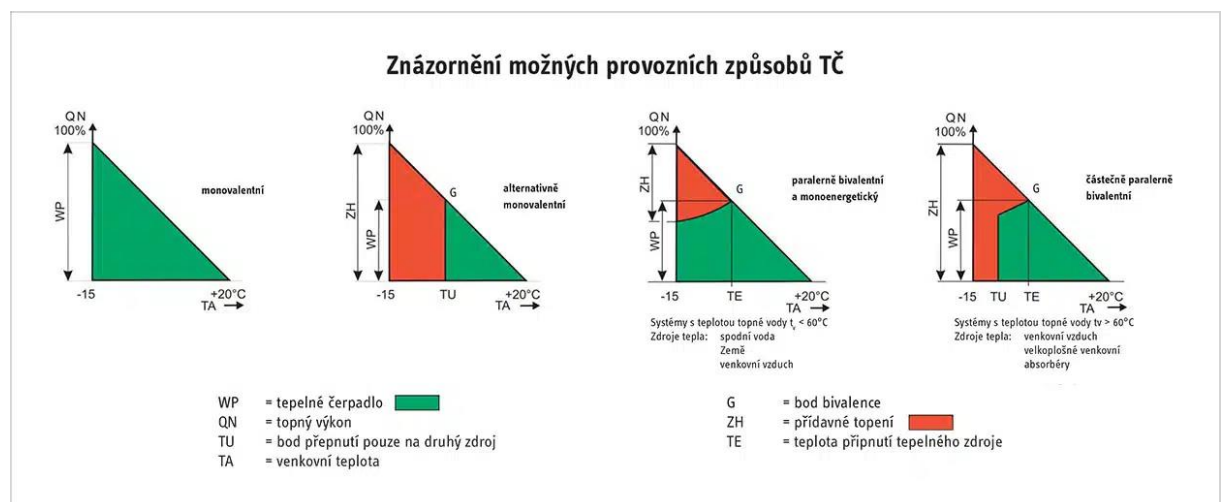
Správná volba výkonu tepelného čerpadla je zásadní pro jeho efektivitu a ekonomickou návratnost. Poddimenzované čerpadlo nebude schopné pokrýt tepelné potřeby domu, zatímco předimenzované zařízení zvýší investiční náklady a může vést k neefektivnímu provozu.

V rámci podpory obnovitelných zdrojů jsou k dispozici různé dotační programy, které mohou významně snížit počáteční investici. Legislativa a možnosti finanční podpory se však liší podle regionu a aktuálních dotačních výzev.

7.1 Provozní režimy tepelného čerpadla

Mnohdy se tepelné čerpadlo kombinuje s jinými zdroji tepla, například plynovým kotlem, krbem nebo solárními kolektory. Správná kombinace těchto zdrojů umožňuje optimalizaci provozu. Provozní režimy znázorňuje obrázek 11.

Často se využívá bivalentní provoz, kdy čerpadlo pokrývá základní potřebu tepla a při velmi nízkých teplotách je doplněno jiným zdrojem. Tento způsob umožňuje snížit počáteční investici, protože není nutné pořizovat výkonnější tepelné čerpadlo a zároveň se optimalizuje využití primárního zdroje tepla, jako jsou zemní vrty nebo plošné kolektory.



Obrázek 11: Znázornění provozních režimů tepelných čerpadel (ATEG, 2025)

V případě monovalentního provozu je tepelné čerpadlo jediným zdrojem tepla a musí být dimenzováno na pokrytí celé potřeby objektu. Tento režim je vhodný pouze pro dobře izolované domy s nízkými tepelnými ztrátami, kde zvýšení investičních nákladů není tak výrazné. Kromě pořizovacích nákladů je nutné posoudit i dlouhodobé provozní náklady a ekonomickou návratnost. Provozní náklady závisí na spotřebě elektrické energie, která se odvíjí od efektivity tepelného čerpadla.

7.2 Hodnotící parametry

Klíčovým ukazatelem účinnosti tepelného čerpadla je topný faktor, nebo také COP (viz obrázek 12). „*Toto bezrozměrové číslo vypovídá o „účinnosti“ tepelného čerpadla. Jedná se o teoretický poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je vyšší topný faktor, tím lepší je tepelné čerpadlo, protože jeho provoz je levnější*“ (Karlík, 2009, s. 9).

Například pokud má čerpadlo COP = 4, znamená to, že z každé 1 kWh elektřiny vyprodukuje 4 kWh tepla.

$$COP = \frac{\Phi}{P_c + P_{aux}}$$

kde je

Φ	– tepelný výkon tepelného čerpadla [kW];
P_c	– elektrický příkon kompresoru [kW];
P_{aux}	– elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW].

Obrázek 12: Parametr COP (Matuška, 2015)

„*V praxi to znamená, že je výhodnější používat zdroje tepla s co nejvyšší teplotou a teplo dodávat do topných systémů s co nejnižší teplotou, jako je například podlahové vytápění*“ (Žeravík, 2003, s. 23).

Metodiku měření výkonových parametrů tepelných čerpadel včetně topného faktoru COP definuje norma EN 14511, která stanovuje technické požadavky a zkušební metody nejen pro

tepelná čerpadla a zároveň specifikuje standardizované podmínky testování, aby byly výsledky různých výrobců srovnatelné.

„U TČ s řízeným výkonem je jeho hodnota nevypovídající vzhledem k faktu, že si výrobce může nastavit otáčky kompresoru pro podmínky měření daného bodu a tím ovlivnit výsledek ve prospěch svého výrobku“ (Škrabal, 2021, s. 20).

Vzhledem k tomu, že COP se mění v závislosti na provozních podmínkách, používá se také sezónní topný faktor (SCOP), který vyjadřuje průměrnou účinnost tepelného čerpadla za celou topnou sezónu.

Hodnota SCOP je realističtější ukazatelem celoroční účinnosti, protože zohledňuje proměnlivost venkovních teplot a provozní režim zařízení.

„Výpočet SCOP definované normou ČSN EN 14825 vychází z celoroční balance produkce tepla daným tepelným čerpadlem a krytím potřeby tepla budovy a definované návrhovou tepelnou ztrátou v otopné sezóně se standardizovanými provozními podmínkami“ (Adášek, 2022, s. 33).

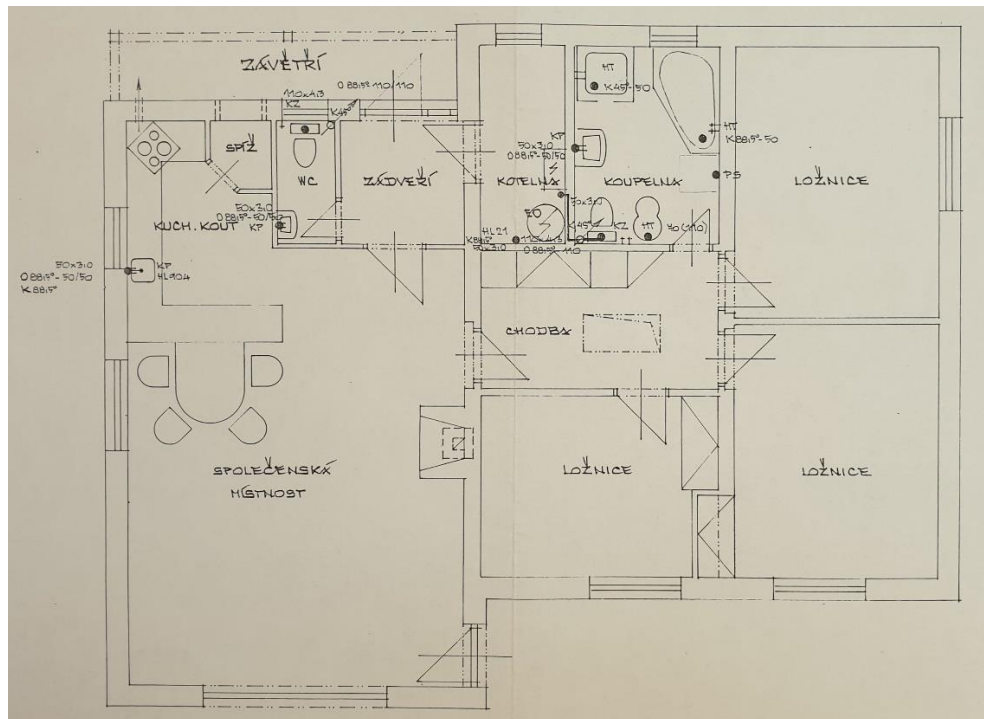
8 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce bude popsán konkrétní typ rodinného domu, jehož výstavba byla započata před dvaceti lety. Dále bude popsán model vybraného tepelného čerpadla, k jehož instalaci došlo v nedávné době. Popsány budou i další součásti a zároveň zde bude představen postup výroby a instalace systému sběru a ukládání teplotních údajů.

8.1 Rodinný dům

Rodinný dům (dále jen RD) popsáný v této práci se nachází v obci Malešov ve Středočeském kraji. Jedná se o jednopodlažní objekt bez podsklepení, přičemž půdní prostor není využit k obytným účelům. Dům je navržen pro trvalé bydlení čtyřčlenné rodiny a je situován v oblasti středně nízké zástavby na rovinatém až mírně svažitém terénu. Půdorys domu vyobrazuje obrázek 13.

Výstavba tohoto RD byla zahájena v roce 2004, přičemž instalace tepelného čerpadla proběhla až v roce 2024. Původní návrh na instalaci tepelného čerpadla byl zpracován již v roce 2023.



Obrázek 13: Půdorys 1. nadzemního podlaží (Johanides, 2004)

8.1.1 Konstrukční řešení

Vnější nosné zdivo je tvořeno keramzitbetonovými bloky GT o tloušťce 360 mm. Vnitřní nosné zdivo je z děrovaných cihel o rozměrech 24/49 cm. Obvodové nosné zdivo má deklarovaný tepelný odpor R_{\min} 5,40 m²K/W. Pro zdění byla použita tepelně izolační malta s tloušťkou do 5 mm.

Stropní konstrukce jsou z polystyrenových bednicích desek JS pro monolitické žebrované stropy. Tloušťka stropní konstrukce je 200 milimetrů. Vzhledem k použitému nosnému zdivu není již dům dodatečně zateplen.

Zastavěná plocha činí 135,38 m²

Užitná plocha 118,41 m².

Obytná plocha 90,73 m².

8.1.2 Vytápění a příprava TUV

Vytápění domu je řešeno teplovodním podlahovým systémem ve všech místnostech. Primárním zdrojem tepla byl elektrokotel umístěný v samostatné kotelně. V současné době je primárním zdrojem tepla tepelné čerpadlo. Doplnkovým zdrojem tepla je krb s vestavěnou krbovou vložkou na tuhá paliva umístěný ve společenské místnosti.

TUV je připravována v nepřímě ohříváném zásobníku, který je umístěn v kotelně. Elektrická přípojka je napojena na veřejnou síť zemním kabelem.

8.1.3 Tepelné ztráty a zdroj tepla

Tepelné ztráty objektu byly vypočteny dle normy ČSN 06 0210 pro oblastní venkovní teplotu $t_e = -15$ °C, polohu budovy nepříznivou, osaměle stojící v normální krajině (B = 12).

Pro krytí tepelných ztrát objektu byl zvolen elektrokotel s jmenovitým výkonem 9 kW. Kotel je vybaven vestavěným oběhovým čerpadlem expanzní tlakovou nádobou o objemu 10 litrů. Kotel je umístěn v samostatné kotelně. Rozvody od kotle k rozdělovací stanici byly navrženy z polotvrdých měděných trubek pájených naměkko, rozvody podlahového vytápění byly realizovány z polybuténových trubek.

Topná voda z kotle byla vedena do rozdělovací stanice podlahového vytápění umístěné na stěně v kotelně. Kolektor je vybaven rozdělovačem a sběračem topné vody s regulačními prvky a ventily. Dalším otopným tělesem je v koupelně umístěný elektrický trubkový radiátor.

Celkové tepelné ztráty objektu činí 7,293 kW, přičemž celkový výkon otopného systému byl 7,961 kW.

Výpočet spotřeby tepla a el. energie v topném období:

$$Q'_{VYT} = \frac{\varepsilon \times Q_c \times 24}{\eta_c \times (t_i - t_e)} \times d \times (t_{im} - t_{em})$$

$$Q'_{VYT} = \frac{0,9 \times 7293 \times 24}{0,75 \times (18 - (-15))} \times 245 \times (15 - 3,8)$$

$$Q'_{VYT} = 17,465 \text{ kWh/t.s}$$

(Kutnohorská stavební, 2005)

8.2 Zvolený model tepelného čerpadla

Pro zajištění efektivního a ekonomického vytápění rodinného domu byl zvolen model tepelného čerpadla PowerWorld PW030 (viz obrázek 14). Výběr tohoto zařízení byl ovlivněn několika faktory, zejména energetickou účinností, provozními náklady a možností integrace s existujícím systémem vytápění a pořizovacím nákladům čerpadla.

Tepelné čerpadlo PowerWorld PW030 je moderní jednotka typu vzduch – voda v monoblokovém venkovním provedení. Jednotka je určena pro vytápění, v tomto případě podlahové topení, ohřev teplé užitkové vody a chlazení.

Toto čerpadlo používá chladivo R-32, které má vyšší účinnost a nižší dopad na klima než starší chladiva jako R-410A. Chladivo R-32 (difluormethan) je syntetické, mírně hořlavé chladivo patřící do skupiny hydrofluoruhlovodíků, jehož potenciál globálního oteplování GWP je 675 oproti R-410A (GWP = 2088).

8.2.1 Technické parametry tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo PW030 se vyznačuje následujícími parametry:

- Topný výkon: 1,57–8,40 kW
- Maximální teplota výstupní vody: 60 °C
- Koeficient výkonu (COP): 4,49–4,91
- Chladicí výkon: 0,99–6,22 kW
- Hlučnost: ≤53 dB(A)
- Rozměry (Š × H × V): 970 × 475 × 835 mm
- Hmotnost: 110 kg

Zařízení je schopné pracovat i při nízkých venkovních teplotách až do –25 °C, což zajišťuje spolehlivý výkon v různých klimatických podmínkách.

(Gawliczek, 2025)

8.2.2 Funkce tepelného čerpadla

- Ekvitermní regulace – Automatická úprava teploty topné vody podle venkovní teploty.
- Antilegionellová ochrana – Možnost vysokoteplotní dezinfekce zásobníku TUV.
- Wi-Fi ovládání – Možnost připojení k chytré aplikaci pro snadnou kontrolu provozu.
- Ochrana proti zamrznutí – Automatické spínání oběhového čerpadla při nízkých teplotách.
- Bezpečnostní funkce – Systém chráněn proti přehřátí, vysokému a nízkému tlaku či nedostatku průtoku vody.
- Možnost kombinace s fotovoltaikou. (Gawliczek, 2025)

Ovládací panel s přehledným displejem umožňuje nastavení provozních režimů, teplot a časovačů. Čerpadlo je vybaveno ochrannými mechanismy proti zamrznutí, přehřátí a jiným provozním rizikům, což zvyšuje bezpečnost a životnost zařízení.

8.2.3 Zdokonalené vstřikování páry

Kompresor s inverterovým DC pohonem zajišťuje plynulou regulaci výkonu a vyšší účinnost. Tepelné čerpadlo využívá EVI, což je technologie dodatečného vstřikování par chladiva do kompresoru, která se používá ke zvýšení jejich účinnosti, zejména při nízkých venkovních

teplotách. Tato technologie se používá hlavně u tepelných čerpadel vzduch – voda pro zajištění stabilního výkonu v zimě.

8.3 Úpravy otopné soustavy

Jednotka tepelného čerpadla je umístěna na severní straně domu v blízkosti technické místnosti a zároveň na opačné straně od obytných místností. Jednotka je postavena na ručně svařovaném pozinkovaném stojanu, který je ukotven do země zemními vruty (viz obrázek 14).



Obrázek 14: Tepelné čerpadlo umístěné na stojanu (Autor, 2025)

Čerpadlo je v současnosti hlavním zdrojem tepla v otopné soustavě, zajišťuje vytápění prostřednictvím podlahového topení a ohřev teplé užitkové vody v bojleru. Celý systém je navržen tak, aby byl dostatečně zabezpečen proti poškození i v případě výpadku elektrické energie.

Topná voda je distribuována prostřednictvím elektrického trojcestného ventilu. Tento ventil řídí rozdělení ohřáté vody mezi podlahové vytápění nebo bojler podle aktuální potřeby. Ohřev teplé užitkové vody probíhá v bojleru, kde dochází k přenosu tepla přes vnitřní výměník.

Původním zdrojem tepla byl elektrokotel, který nyní slouží pouze jako záložní zdroj v případě mrazů nebo poruchy tepelného čerpadla.

Důležitou součástí systému je také záložní oběhové čerpadlo, které je v případě výpadku elektrické energie napájeno z 12V autobaterie. Toto opatření zajišťuje cirkulaci vody v systému a chrání tím tepelné čerpadlo před zamrznutím, které by mohlo vést k jeho vážnému poškození.

Podstatnou součástí otopné soustavy je také oběhové čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci topné vody. V tomto systému je použito oběhové čerpadlo Grundfos Alpha1 L (viz obrázek 4), jehož výkon je řízen prostřednictvím PWM signálu (Pulse Width Modulation) přímo z tepelného čerpadla. Tato technologie umožňuje plynulou regulaci otáček čerpadla podle aktuální potřeby průtoku. Díky PWM regulaci pracuje čerpadlo vždy na nejnižší nutný výkon, čímž se minimalizují energetické ztráty a mechanické opotřebení.

Součástí čerpadla je i zpětná vazba, která pomocí PWM signálu informuje o provozních stavech, jako je nízké napětí nebo zablokování rotoru. Čerpadlo má v manuálním režimu tři pevně nastavitelné rychlosti.

Vzhledem k tomu, že nebylo jisté, zda je signál z tepelného čerpadla kompatibilní s oběhovým čerpadlem, bylo nutné ověřit tuto skutečnost změřením průběhu signálu osciloskopem.

Před zapůjčením osciloskopu bylo vyzkoušeno ovládání otáček oběhového čerpadla PWM signálem generovaným z mikrokontroleru ESP32 připojeného k signálním konektoru propojovacími kabely DuPont. Tímto nestandardním připojením, kdy propojovací kabely špatně držely v konektoru, bylo při jejich vypadnutí ověřeno, že při náhlém zastavení čerpadla tepelné čerpadlo oznámí chybu průtoku a vypne se.

V další fázi byl změřen průběh signálu osciloskopem a na základě naměřených průběhů bylo zjištěno, že signál je kompatibilní. Následně byl datový kabel oběhového čerpadla napojen do rozvaděče.

Přidaný rozvaděč je určen výhradně pro systém vytápění a jsou do něj zapojeny všechny potřebné komponenty, například tepelné čerpadlo, oběhové čerpadlo, elektrokotel, bojler. Kromě jističů pro každý prvek jsou zde také stykače, ke kterým jsou připojeny signální vodiče z tepelného čerpadla. Každý je určen k ovládání jednoho z prvků tepelným čerpadlem, jako je spínání bojleru, případné spínání kotle, přepínání trojcestného ventilu pro ohřev vody nebo vytápění budovy, spínání oběhového čerpadla. Také je zde napojen PWM signál z tepelného čerpadla pro řízení otáček oběhového čerpadla. Dále jsou zde také použita chytrá relé pro

doplnění určitých funkcí jako je pravidelné dobíjení baterie záložního oběhového čerpadla, relé s funkcí zpožděného vypnutí pro oběhové čerpadlo, termostat a další. Chytrá relé přidávají možnost ovládat prvky nezávisle na tepelném čerpadle.

8.3.1 Teploty měřené tepelným čerpadlem

Tepelné čerpadlo měří teploty na několika klíčových místech systému. Na základě měření jednotka tepelného čerpadla upravuje teplotu vody před jejím rozvodem do systému. Jeden snímač teploty je přímo na jednotce tepelného čerpadla a je určen pro měření venkovní teploty. Teplota uvnitř budovy je měřena na referenčním místě ve výšce přibližně jednoho metru nad podlahou, což umožňuje regulaci vytápění podle skutečných podmínek v interiéru.

Dalším místem měření teploty je jímka v bojleru, kde dochází k přenosu tepla z topné vody do teplé užitkové vody. Bojler má v sobě tři jímky – vrchní, prostřední a spodní. Manuálním výběrem lze zvolit množství vody, které se ohřeje na základě zasunutí snímače teploty do jedné jímek.

8.4 Původní zařízení pro sběr dat

Předchůdcem současného systému pro sběr teplotních dat bylo zařízení založené na mikropočítači Arduino UNO a ESP8266 použitým jako Wi-Fi modul. Zařízení sloužilo k monitorování teploty v několika částech systému. Toto řešení bylo poměrně jednoduché a provizorně sestavené, i přesto bylo v provozu několik let.

Arduino bylo umístěno v uzavřené krabičce na zdi v technologické místnosti, přičemž ESP8266 bylo připojeno prostřednictvím vyrobeného shieldu k Arduino a zajišťovalo bezdrátový přenos naměřených hodnot do databáze. Napájení bylo realizováno pomocí síťového adaptéru, který napájel Arduino, zatímco ESP8266 bylo napájeno přímo z desky Arduina.

Zařízení měřilo teplotu venkovního prostředí, vnitřní teplotu a orientačně i vlhkost v budově a teploty topné vody a vratné vody u kotle. Data byla odesílána bez jakékoliv úpravy, včetně hodnot s více desetinnými místy, což bylo vzhledem k přesnosti měření nadbytečné.

Hlavními problémy tohoto řešení byly časté výpadky přenosu dat, v důsledku umístění u zdi, a tedy špatného signálu. Výpadky nebyly nijak ošetřeny. Dalším problémem byla také nespolehlivost samotných teplotních senzorů. Občas docházelo k situaci, kdy senzor přestal

měřit a jediným řešením bylo manuální odpojení napájení a jeho opětovné připojení. Zařízení bylo určeno výhradně ke sběru dat, nesloužilo k žádnému řízení otopné soustavy.

Tyto nedostatky vedly k potřebě navrhnout nový systém, který bude spolehlivější, robustnější a lépe přizpůsobený požadavkům na sběr a analýzu teplotních dat.

9 NAVRŽENÝ SYSTÉM SBĚRU TEPLŮT

Vzhledem k instalaci tepelného čerpadla a přestavbě části otopného systému bylo nutné starý systém měření nahradit za spolehlivější a komplexnější monitorovací systém, který by umožňoval měření většího počtu teplotních hodnot současně a poskytoval jejich zobrazení a možnost sledování teplot prostřednictvím webového rozhraní.

Z hlediska umístění a napájení došlo oproti starému řešení k zásadní změně. Zatímco starší zařízení bylo instalováno v uzavřené krabici na stěně, nový systém je nyní integrován přímo do rozvaděče a umístěn na DIN liště. V rozvaděči jsou tři řady, kde v nejvrchnější řadě je umístěno zařízení pro sběr teplot a jeho zdroj vedle rámečku s displejem tepelného čerpadla. Napájení je nyní řešeno spínaným zdrojem, který zajišťuje stabilní napětí a je účinnější.

9.1 Výběr součástí

Pro řízení systému měření teplot byl zvolen jednočipový mikropočítač ESP32, který oproti Arduinu UNO nabízí vyšší výkon, menší rozměry a nižší cenu. ESP32 je výkonný mikrokontroler s integrovanou podporou Wi-Fi a Bluetooth, vyvinutý firmou Espressif Systems. Tento čip obsahuje dvoujádrový procesor, více analogových a digitálních vstupů a výstupů než Arduino UNO, a je vhodný pro aplikace vyžadující bezdrátovou komunikaci. Důležité je při použití myslet na to, že pracuje s 3,3 V logikou.

MAX31865 je převodník pro odporové snímače teploty jako je například PT100. Umožňuje přesné měření odporu snímače a převádí jej na odpovídající teplotní hodnotu. Komunikuje pomocí rozhraní SPI a zahrnuje funkce pro detekci zkratu, přerušeni vodičů a další bezpečnostní opatření. Podporuje dvou vodičové, tří vodičové i čtyř vodičové zapojení snímače, což poskytuje flexibilitu podle požadované přesnosti a podmínek použití. Pro připojení vodičů je možné použít svorkovnice které se na desku doplní nebo 3,5 mm jack, pokud je jím kabel od snímače vybaven. Modul je třeba pro použití nakonfigurovat jak v programu, tak i fyzicky, a to tak že se vodič spojí, nebo přeruší označené pájecí plošky na desce v závislosti na zvoleném typu snímače a zvoleném typu zapojení.

Prodejce uvádí že ve značení plošek byla chyba, kvůli které došlo k prohození konfigurace PT100 a PT1000, ale již byla opravená. Avšak po obdržení modulu a jeho konfiguraci pro použití s PT100 byly měřené hodnoty nesprávné. Bylo zjištěno že zde ještě je chyba ve značení přítomna, a proto musela být konfigurace přes pájecí plošky provedena znovu.

Měření teploty je realizováno kombinací několika typů senzorů. Sensory teploty DS18B20 byly vybrány díky své dostupnosti a jednoduchosti použití. Jejich hlavní výhodou je možnost připojení více čidel na jedinou datovou sběrnici. Senzor DHT22 slouží pro měření teploty a vlhkosti vzduchu uvnitř budovy. Kromě těchto čidel je v systému plánováno i použití snímače PT100, který ve spojení s převodníkem MAX31865 umožňuje měření vyšších teplot, což může být v budoucnu užitečné pro rozšíření funkcionality systému.

9.1.1 Použité senzory

DS18B20 je digitální teplotní senzor, který používá komunikační protokol OneWire. To umožňuje zapojení více těchto čidel na jednu datovou linku, což značně zjednodušuje zapojení při větším počtu měřených míst. Sensory mohou být zapojeny se třemi vodiči, nebo v omezeném počtu i v parazitním zapojení pouze se dvěma vodiči. Je vhodný pro rozsah teplot od -55 °C do $+125\text{ °C}$ a nabízí dostatečnou přesnost pro běžné aplikace. Každý senzor má unikátní 64bitovou adresu, což umožňuje jeho jednoznačnou identifikaci v systému a výběr konkrétního senzoru pro změření teploty. To je tedy značná výhoda i za cenu pomalé komunikace.

DHT22 (někdy označován jako AM2302) je digitální senzor pro měření teploty a vlhkosti. Je použitelný pro nenáročné aplikace a pracuje s omezenou přesností. Komunikuje po jedné datové lince a výrobce udává, že poskytuje hodnotu teploty s přesností $\pm 0,5\text{ °C}$ a vlhkosti s přesností $\pm 2\text{--}5\%$. Jeho použití je jednoduché a má nízké nároky na hardware.

Pro měření vysoké teploty byl zvolen odporový teplotní snímač PT100, který je známý svou přesností, stabilitou, spolehlivostí a dlouhou životností i v náročnějších podmínkách. PT100 je typ odporového snímače teploty, jehož odpor při 0 °C je $100\ \Omega$. Odpor se s rostoucí teplotou zvyšuje přibližně lineárně, což umožňuje přesné a opakovatelné měření. Je vhodný do prostředí s vyššími teplotami. V tomto projektu je připraven pro budoucí použití ve spojení s převodníkem MAX31865 pro měření teploty v prostoru nad krbovou vložkou.

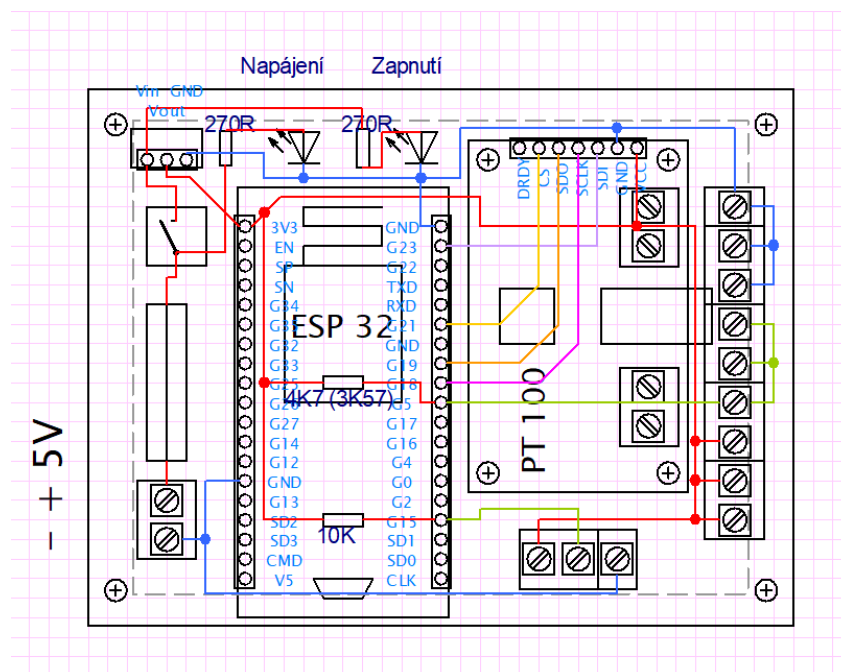
9.2 Konstrukce zařízení a umístění čidel

V dalším textu je popsáno konstrukční řešení zařízení, návrh a realizace obvodové desky a také umístění jednotlivých čidel, která slouží k měření teploty.

9.2.1 Obvodová deska

Zařízení je konstrukčně realizováno na desce univerzálního plošného spoje. Univerzální deska plošného spoje je základní konstrukční prvek, která neobsahuje předem vytvořené vodivé spoje, ale umožňuje manuální propojení součástek pomocí vodičů nebo pájených můstků a umožňuje případné úpravy.

Na desce není osazeno velké množství součástek, avšak jejich umístění bylo třeba důkladně zvážit a počítat s tím, že na desce plošného spoje není možné vytvářet vodivé propojení až k okraji desky. Bylo také třeba počítat s prostorem pro šroubky, distanční sloupky, drátky a vodivé cesty. Proto vznikl v softwaru ProfiCAD pečlivý náčrt umístění součástek na desce, aby bylo jisté, že se vše vejde a půjde to zapojit (viz obrázek 15). Na náčrtu je použita mřížka rozlišením 1/10 " a všechny součástky jsou v měřítku. Velikost desky je 90 × 68 mm.



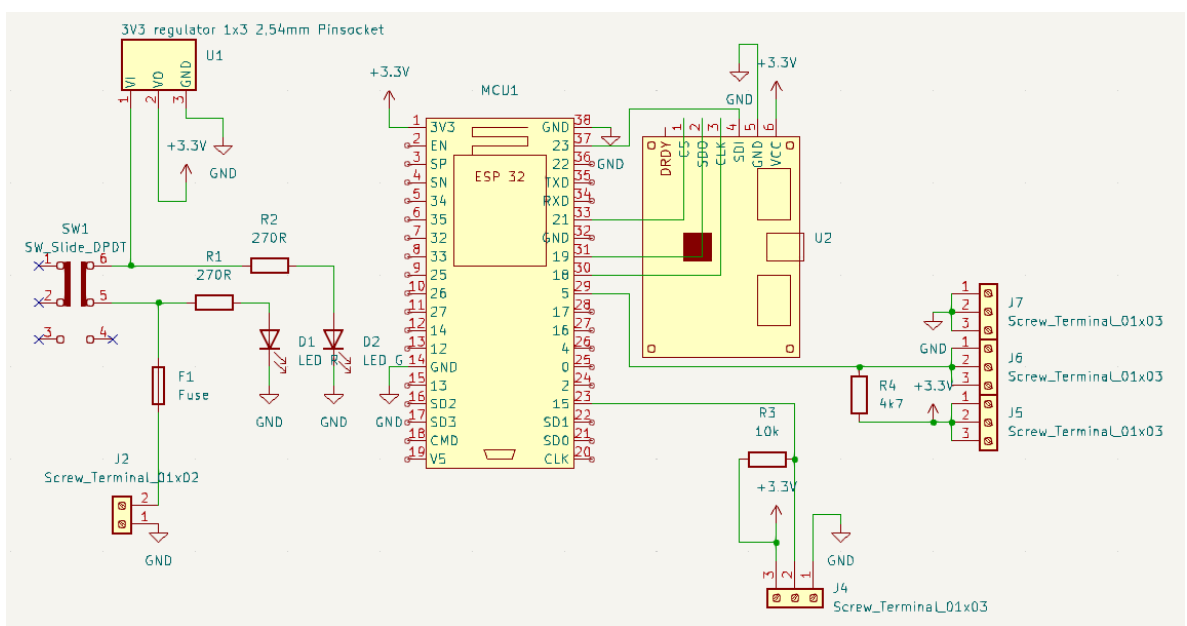
Obrázek 15: Rozložení součástek na desce (Autor, 2024)

Deska je napájena 5 V připojeními přes svorkovnici, dále je zde tavná pojistka, posuvný přepínač, stabilizátor na 3,3V pro napájení součástek. Hlavní součástí je ESP32 usazené do dutinkové lišty, kde USB port je umístěn co nejbližší k okraji, pro lepší přístupnost. Modul MAX31865 určený pro snímač PT100 je upevněný na distančních sloupkách, tak aby bylo možné se snadno napojit vodiče od senzoru do svorkovnic, tomu bylo nutné vyvrtat větší otvory

jak do desky, tak do modulu MAX31865. Deska obsahuje svorkovnice pro připojení datových kabelů od několika senzorů DS18B20 pospojovaných do sekcí a svorkovnici určenou pro senzor DHT 22.

Na desce jsou indikační Led diody, kde jedna signalizuje přítomnost napájecího napětí a druhá přepnutí přepínače do polohy zapnuto. Propojení součástek je realizováno buď z vrchní strany vytvarovanými drátky, nebo ze spodní strany vytvořenými vodivými cestami.

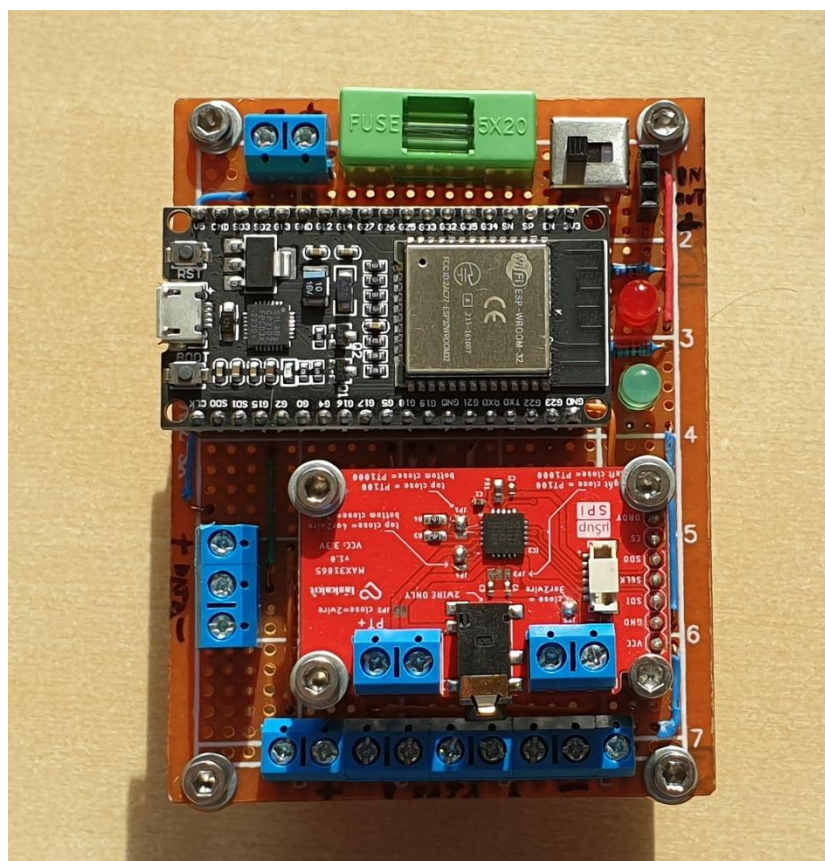
Schéma zapojení nakreslené v programu KiCad zobrazuje obrázek 16.



Obrázek 16: Schéma zapojení (Autor, 2025)

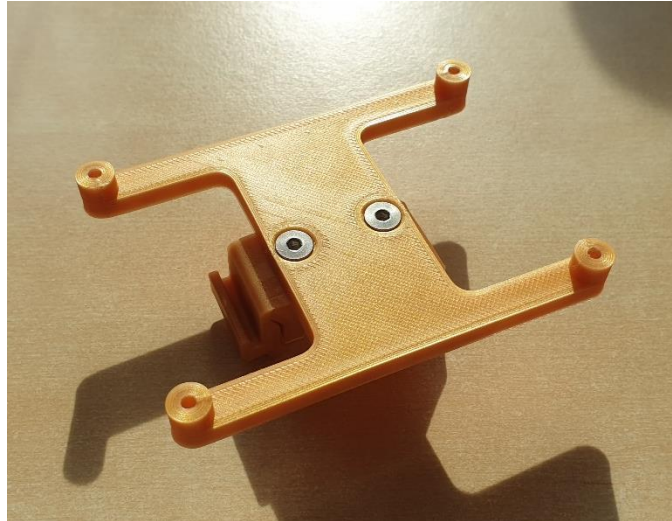
Pro vylepšení obvodu by bylo vhodné přidat kondenzátor pro stabilizaci napájecího napětí, jelikož bylo během provozu zjištěno, že při odesílání dat, kdy ESP32 má na malý okamžik větší odběr proudu si je možné povšimnout lehkého snížení jasu Led diod.

Dále by bylo možné osadit součástky na vhodný plošný spoj profesionálně vyrobený a doplněný o indikační Led diodu, která by znázorňovala běh programu například blikáním v pravidelném intervalu, nebo by signalizovala poruchové kódy.



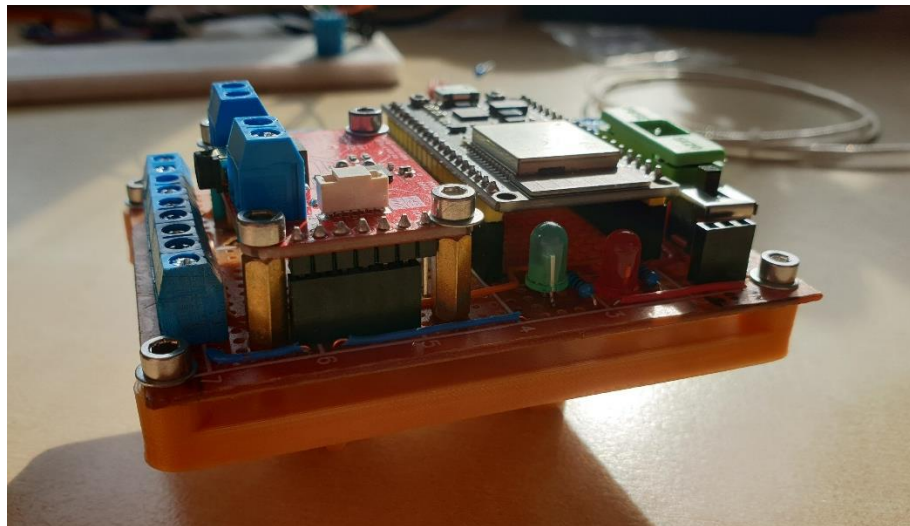
Obrázek 17: Kompletní zařízení (Autor, 2024)

Deska s elektronikou (viz obrázek 17) je přišroubována na rámečku, který byl vytištěn na 3D tiskárně (viz obrázek 19). Rámeček se skládá ze dvou částí, které jsou k sobě pevně sešroubovány a tvoří konstrukci určenou k nacvaknutí na DIN lištu v rozvaděči (viz obrázek 18). Tato forma uchycení zajišťuje stabilní polohu desky a umožňuje snadnou montáž, nebo vyjmutí z rozvaděče. Spodní část rámečku má zúžené místo, což zaručí pružnost a možnost nacvaknutí na lištu a opětovného odehnutí pro sundání. Pro odehnutí je ve výtisku připravena drážka, do které je možné opřít šroubovák. Pro dobrý přístup by v desce musel být otvor, kterým by se dal šroubovák prostrčit, na ten však není místo. Vrchní část rámečku má čtyři sloupky, na kterých spočívají rohy desky, tak aby pod plochou desky byl prostor pro spoje a montáž distančních sloupků. V každém sloupku jsou připravené otvory pro šroubky, které budou desku držet. Při návrhu rámečku bylo třeba dbát na to, aby rámeček se zařízením neměl přílišnou výšku a bylo možné umístit svrchní kryt rozvaděče.



Obrázek 18: Rámeček pro upevnění zařízení do rozvaděče (Autor, 2024)

Mimo to byly při tisku tohoto rámečku vymodelován a vytištěn podobný držák, avšak vyšší, na kterém je v rozvaděči umístěn displej pro ovládání tepelného čerpadla. Dále byly vytištěny i držáky pro chytrá relé, která se jako dvojice vloží do připravených přihrádek. Držák se poté usadí na DIN lištu.



Obrázek 19: Deska přišroubovaná k rámečku (Autor, 2024)

9.2.2 Umístění senzorů

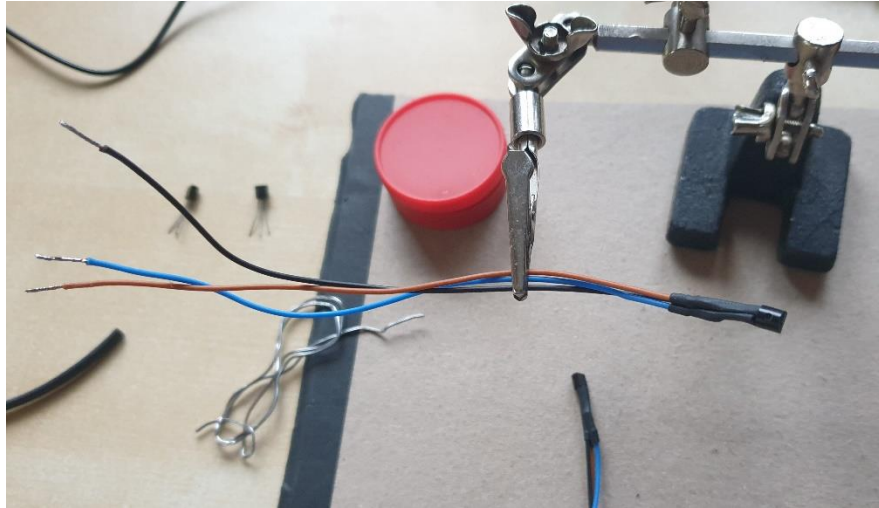
Senzor DHT22 slouží pro měření teploty a orientačně i vlhkosti vzduchu uvnitř budovy. Je umístěn v krabičce vytištěné na 3D tiskárně společně se senzorem používaným termostatem tepelného čerpadla (viz obrázek 20). Senzor termostatu byl později přesunut do ochranné lišty, aby se zpomalila reakční doba na prudké změny teploty způsobené například průvanem a nedocházelo k předčasnému spínání tepelného čerpadla.

Kvůli většímu počtu vodičů byl na připojení senzorů využit ethernetový kabel, tak, aby bylo možné jedním kabelem připojit oba senzory.



Obrázek 20: Senzor DHT22 v Krabičce (Autor, 2024)

Všechny senzory DS18B20 jsou připojeny buď samostatnými barevnými vodiči nebo jsou napojeny na kabely určené pro použití v průmyslových snímačích (viz obrázek 21). Použité kabely jsou houževnaté, a tak příprava konce každého z nich zahrnující odizolování a pocínování vodičů byla vzhledem k množství senzorů poměrně zdlouhavá. Aby docházelo k ideálnímu přenosu tepla, jsou senzory přiloženy k trubkám s využitím teplovodivé pasty včetně zaizolování.



Obrázek 21: Senzor připravený pro instalaci (Autor, 2024)

Senzory na trubkách jsou určeny pro měření teploty topné a vratné vody na dvou místech a další je na výstupu z elektrokotle.

Senzory použité pro měření teploty v bojleru jsou zasunuty do jímek, utěsněny, propojeny do jednoho kabelu a uzavřeny v elektrikařské liště.

Senzor, který je umístěn venku na fasádě je uzavřen v krabičce a napojen přes přívodní kabel, který byl v minulosti zamýšlen pro napojení venkovního světla. Krabička je ve výšce asi tři metrů nad zemí na severní straně domu, bez přímého slunečního záření.

Tento senzor byl v průběhu vývoje odpojen pro následné použití s chytrým relé. Aby bylo možné měřit teplotu venku, bez možnosti přidání dalšího senzoru, bylo využito komunikace s chytrým relé. Získání údajů o teplotě bude popsáno v následující kapitole.

9.2.3 Zjištěné nedostatky a chyby

Po uvedení do provozu byly zjištěny určité problémy. Předpokládalo se, že umístěním mikropočítače v blízkosti spínaného zdroje docházelo k výpadkům při přenosu dat.

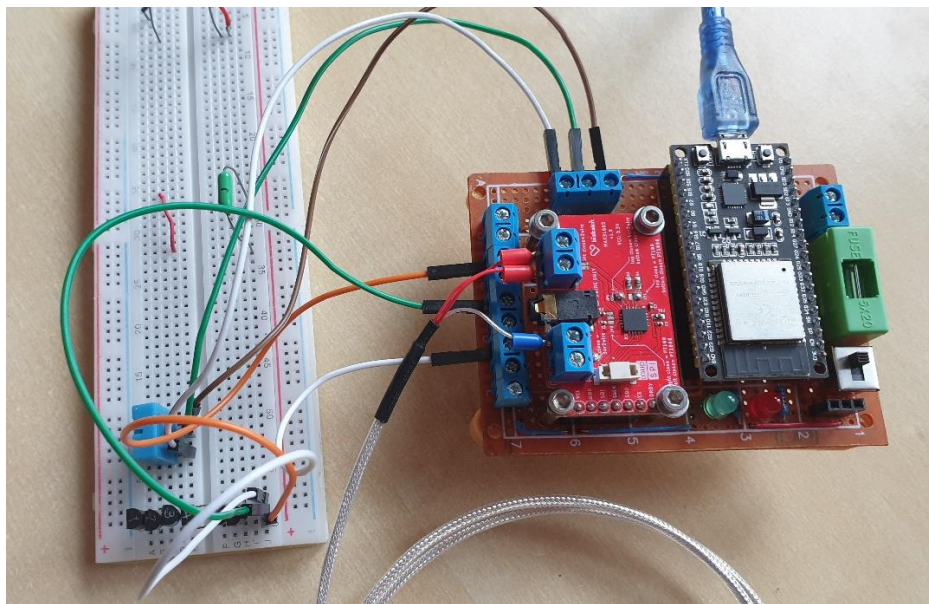
Senzor DHT22 pro měření teploty uvnitř budovy byl vyměněn za jiný, protože měl nadměrné výpadky. Na základě toho byla jednu dobu tato sekce senzorů napájena 5 V namísto 3,3 V. Tato změna pomohla zlepšit chování, ale problémy to nevyřešilo. Později bylo zjištěno, že senzor použitý již s původním zařízením byl mylně považován za DHT22, ale ve skutečnosti se jednalo o jiný typ.

Převodník MAX31865 musel být nakonfigurován fyzickým přerušením případně propojením pájecích plošek na desce. Při testování se však zdálo, že neměřil správně, což bylo způsobeno chybným označením od výrobce, a v důsledku toho špatnou konfigurací.

9.3 Program a webová stránka

Program byl sestavován postupně po částech, které byly skládány dohromady. Ze začátku byly získány adresy senzorů DS18B20, aby se bylo možné později dotazovat konkrétního z nich. Každý senzor byl označen číslem.

Dále byla ověřena jejich funkčnost. Testování probíhalo se senzory zapojenými do nepájivého pole (viz obrázek 22). Dle očekávání se u neoriginálních senzorů projeví větší odchylky od správné teploty, na rozdíl od originálních senzorů, a to asi o $\pm 0,2$ °C.



Obrázek 22: Testování senzorů (Autor, 2024)

Další část programu se zabývala nastavením časování pro čtení různých sekcí senzorů v pravidelných intervalech s využitím funkce `millis()`, která vrací čas od začátku běhu programu v milisekundách. Tato příprava byla provedena pro pozdější využití konfigurace měření hodnot, které je relevantní odečítat častěji.

Následně bylo testováno odesílání hodnot do databáze na serveru ThingSpeak, kde byla oproti původnímu řešení použita knihovna pro jednodušší práci s jednotlivými poli a kanály. Zároveň byly nakonfigurovány kanály na ThingSpeaku pro toto testování. Veškerá předchozí nahraná data byla stažena a smazána ze serveru.

Následovala obtížná část, kdy do programu měl být zakomponován kód pro webovou stránku tak, aby bylo možné zobrazit data v prohlížeči. Bylo vyzkoušeno několik vzorových možností, nakonec byl vybrán vhodný základ. Ten byl postupně upravován a rozšiřován. Na stránce byly poté v tabulce s označením viditelné změřené teploty.

Do programu byla zároveň zabudována služba OTA pro vzdálené nahrávání zkompilevaného programu přes webové rozhraní, aby v případě potřeby nebylo nutné sundávat víko rozvaděče a připojovat USB kabel pro nahrání programu.

V další verzi programu bylo doladěno, vylepšeno a doplněno webové rozhraní o určité hodnoty, například ΔT .

Složitou změnou bylo předělání programu tak, aby webovou stránku obsluhovala knihovna pro asynchronní server AsyncWebServer místo pro klasický WebServer.

Klasický server zpracovává požadavky jeden po druhém, a během zpracování požadavku blokuje zbytek programu. To může být problém u složitějších webových stránek nebo při vícenásobném přístupu klientů, protože mikrokontroler nemůže zároveň obsluhovat další úlohy. AsyncWebServer pracuje asynchronně, což znamená, že nemusí být volána pravidelná obsluha serveru v hlavní smyčce programu, požadavky jsou zpracovávány nezávisle na hlavní smyčce a neblokují ostatní činnosti. Díky tomu je vhodný pro náročnější webová rozhraní s živými daty a grafy. Umožňuje načítat soubory přímo z paměti zařízení pomocí systému LittleFS, což zjednodušuje přístup.

Tato změna trvala delší dobu a vyžádala si několik úprav, než bylo vše opět funkční. Jedním z problémů je fakt, že vývojové prostředí Arduino IDE není určeno pro práci s weby a kód pro webovou stránku je interpretován jako dlouhý řetězec znaků bez jakékoliv možnosti diagnostiky. Také bylo pracováno s pamětí ESP32, kam byl do souborového systému LittleFS uložen obrázek znázorňující místa měření (bude popsáno dále). Ten se přes počáteční potíže podařilo zobrazit na stránce.

Hlavní změnou v poslední verzi programu bylo, že došlo k odpojení senzoru pro měření venkovní teploty, jež byl připojen k chytrému relé. Proto bylo potřeba najít způsob, jak měřit

venkovní teplotu, neboť na fasádu nebyl vyveden žádný volný kabel. Bylo proto vyzkoušeno, zda ESP dokáže získat údaje ze senzoru dotazováním se relé, ke kterému je senzor připojen. Toho bylo docíleno přes HTTP požadavek na status chytrého relé, které vypíše veškeré hodnoty v dlouhém řetězci obsahujícím mimo jiné i údaj z připojeného senzoru. Funkce pro získání teploty použije knihovny HTTPClient a ArduinoJson pro příjem a vybrání požadovaného údaje ze senzoru. Údaj se z tohoto řetězce vybere na základě názvů sekcí v řetězci, pro tento účel jsou tedy podstatné připojené senzory a údaj ze senzoru 1. Pro zajištění funkce bylo potřeba nastavit pevnou IP adresu pro chytré relé.

V aktuální verzi programu nejdříve proběhne počáteční konfigurace. Následuje prodleva 2 minuty, aby se při případném výpadku elektrické energie nejdříve stihl spustit router, byla možnost odesílat data a nedocházelo k restartům v důsledku chybějícího připojení. V této době se pravidelně měří teplota v interiéru a plní se pole 10 hodnot, ze kterého se počítá průměrná teplota, čímž dochází k filtraci dat. Po naplnění, je konec čekání a následuje inicializace senzorů, připojení k Wi-Fi, spuštění služby OTA a spuštění serveru na ESP. ESP32 se připojuje k předdefinované Wi-Fi síti, jejíž název a heslo jsou uloženy přímo v kódu. Připojení je realizováno pomocí knihovny WiFi. Po dokončení inicializace proběhne počáteční měření a odeslání hodnot a až poté vše probíhá podle nastavených časových intervalů.

V hlavní smyčce programu se nejprve kontroluje, zdali počet chyb měření některého ze senzorů nepřesáhl zvolenou hodnotu a zda není nutné provést restart. Dále je na řadě první časování pro pravidelné načítání hodnot, které se zobrazují na webové stránce jednou za 10 sekund. Odečet chyb měření jednotlivých senzorů je každých 20 sekund. Pravidelně se kontroluje i připojení k Wi-Fi jednou za 30 sekund. Pokud připojení vypadne, ESP32 se pokusí znovu připojit. Pokud selže více pokusů, dojde ke softwarovému restartu zařízení.

Dalším časováním je určován například zápis hodnot o teplotě vody, které se odesílají častěji, a to v intervalu 2 minuty. Posledním časováním jsou určovány například hodnoty o teplotě venku, uvnitř, které se odesílají v delším intervalu 10 minut. Program v sobě obsahuje napevno uložené API klíče a čísla ThingSpeak kanálů, což je nutné pro autentizaci a úspěšné odeslání dat. Odesílání zajišťuje knihovna ThingSpeak.

Na rozdíl od funkce delay(), která zablokuje běh programu, používá tento systém časování pomocí funkce millis(), která vrací počet milisekund od začátku běhu programu. Díky tomu může běžet více úloh, aniž by se navzájem blokovaly.

Data ze senzoru se načítají pouze jednou, protože další časování jsou násobkem intervalu zobrazování na webové stránce. Tím se vždy aktualizuje webová stránka a jen jednou za 2, nebo 10 minut se odešlou hodnoty podle intervalu. Všechny hodnoty se zaokrouhlují na jedno desetinné místo. Na konci programu jsou definovány veškeré funkce použité v kódu.

Senzory DS18B20 jsou připojeny na společnou svorkovnici a identifikují se pomocí unikátní adresy (viz obrázek 23). V programu je registrováno celkem 9 těchto senzorů, kde každý má v kódu přiřazený název v komentáři, aby bylo jasné, o který se jedná. Čtení probíhá pomocí knihoven OneWire a DallasTemperature, přičemž hodnoty jsou kontrolovány na výskyt chyb při výpadku komunikace. Funkce pro načtení teplot ze všech senzorů zajišťuje načtení teploty do proměnné a v případě výpadku se pokus opakuje a až poté je hodnota proměnné zaznamenávající počet chyb každého ze senzorů zvýšena o 1.

```
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xDB, 0x64, 0xAD, 0xA0, 0x23, 0x07, 0xF9 }; // T. čerpadlo výstup
uint8_t sensor2[8] = { 0x28, 0x4F, 0x7D, 0x35, 0x9A, 0x23, 0x09, 0x4D }; // T. čerpadlo vratná
uint8_t sensor3[8] = { 0x28, 0x3F, 0x48, 0x41, 0xA0, 0x23, 0x07, 0x8E }; // Boiler vršek
uint8_t sensor4[8] = { 0x28, 0xAB, 0xEB, 0x53, 0x00, 0x22, 0x06, 0xCD }; // Boiler střed
uint8_t sensor5[8] = { 0x28, 0x27, 0xCB, 0xB1, 0xA0, 0x23, 0x08, 0xC1 }; // Boiler spodek
uint8_t sensor6[8] = { 0x28, 0xAA, 0x32, 0xB6, 0x38, 0x14, 0x01, 0x60 }; // Rozvaděč vstup
uint8_t sensor7[8] = { 0x28, 0xAA, 0x37, 0xBC, 0x3F, 0x14, 0x01, 0xD3 }; // Rozvaděč vratná
uint8_t sensor8[8] = { 0x28, 0xAA, 0x00, 0x77, 0x3F, 0x14, 0x01, 0xAB }; // Elektro kotel
uint8_t sensor9[8] = { 0x28, 0xAA, 0xB6, 0xCF, 0x38, 0x14, 0x01, 0x8F }; // Venkovní
```

Obrázek 23: Adresy senzorů DS18B20 v programu (Autor, 2025)

DHT22 měří vnitřní teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Program v rámci funkce pro načtení hodnot provádí průměrování z posledních 10 měření, čímž potlačuje výkyvy. Při načítání se opět pokus opakuje, pokud dojde k výpadku.

Převodník MAX31865, komunikuje přes SPI sběrnici a je připraven pro použití s PT100. Program inicializuje tento převodník pro třívodičové zapojení a čtení probíhá pomocí knihovny. Funkce pro načtení teploty z PT100 také kontroluje případné chyby. Převodník není momentálně využit, avšak je v programu připraven.

Jelikož každá knihovna pro práci se senzorem zpracovává chyby jinak je v programu zajištěno, že pokaždé když se jedná a chybu měření je hodnota proměnné konkrétního senzoru nastavená na -127 a na základě toho se rozhoduje, zda se přeskočí a na webové stránce dojde k podbarvení pro signalizaci chyby, nebo se provede zápis na ThinkSpeak (viz obrázek 24). V programu jsou

zachovány výpisy do sériové konzole, což může být vhodné pro diagnostiku při připojení počítače k ESP.

```
S1 > -127 ? ThingSpeak.setField(1, S1) : 1; // T. čerpadlo výstup
S2 > -127 ? ThingSpeak.setField(2, S2) : 1; // T. čerpadlo vratná
Delta_T > -127 ? ThingSpeak.setField(3, Delta_T) : 1; // ΔT
S6 > -127 ? ThingSpeak.setField(4, S6) : 1; // Rozvaděč vstup
S7 > -127 ? ThingSpeak.setField(5, S7) : 1; // Rozvaděč vratná
S8 > -127 ? ThingSpeak.setField(6, S8) : 1; // Elektro kotel

Zapis_ThingSpeak(Kanal_1, WriteAPIKey_1);
```

Obrázek 24: Ukázka rozhodování, zda se hodnoty ze senzorů odešlou na Thingspeak (Autor, 2025)

9.3.1 Mechanismus zpracování chyb senzorů

Postupnými úpravami programu došlo i na úpravu systému počítání chyb výpadku senzorů. Chybou v kódu bylo způsobeno, že pokaždé, co proběhla inicializace a provedení počátečního měření došlo okamžitě k restartu mikropočítače. Počítání chyb funguje tak, že každý senzor má svojí vlastní proměnnou zaznamenávající jeho počet chyb. Hodnota proměnné se snižuje s dvojnásobnou periodou čtení dat ze senzoru, takže pokud občas dojde k výpadku měření, chyby se po čase vynulují, ale kdyby byl senzor trvale mimo provoz dojde k restartu. Při načítání teploty z venkovního senzoru připojeného k chytrému relé se případné výpadky při komunikaci nepočítají do chyb, jen se pokus zopakuje.

Zdá se, že když je tepelné čerpadlo v provozu, tak mnohem častěji dochází k tomu, že nějaký ze senzorů vrací chybu při dotazu na odečet teploty.

9.3.2 Webová stránka

Webová stránka je přiložena k programu jako další soubor, jelikož obsahuje velké množství znaků. V programu je k ní přístupováno jako k dlouhému řetězci znaků, který je nastaven tak aby se uložil do programové paměti místo toho, aby zabíral místo v operační paměti.

Vývojové prostředí Arduino IDE není určeno pro práci s HTML kódem, takže zde není možné provádět žádné odladování chyb. Proto byl v průběhu vytváření použit také software Visual

Studio Code pro úpravy a vytváření vzhledu stránky, jejíž kód byl poté zkopírován do prostředí Arduino IDE.

Stránka prošla v průběhu vývoje několika verzemi. Prvotně byla testována základní komunikace s náhodnými hodnotami a až poté byla zasílána reálná data a řešil se i design. Data byla zobrazena v tabulce, následně byl k tabulce přidán i obrázek a tabulka se přesunula pod něj. Jako poslední byl vylepšen vzhled obrázkem v záhlaví a texturou na pozadí.

V záhlaví stránky se v jeho pravé části zobrazuje aktuální čas, datum a doba, jak dlouho již je měření spuštěno od posledního restartu. Kvůli velkému množství chyb při čtení dat ze senzorů docházelo k častým restartům, i když měření fungovalo, nebylo možné dosáhnout času běhu více než několik hodin. Po úpravě v přístupu k chybám již bylo možné vidět zařízení v provozu i několik stovek hodin. V levé části záhlaví je malý ilustrativní obrázek tepelného čerpadla, ten má jen estetickou funkci.

Hlavní částí stránky je obrázek znázorňující instalaci senzorů, do kterého jsou umístěna textová pole, tak že jejich pozice je nastavena relativně pro každé zvláště vůči absolutně umístěnému obrázku. Obrázek obsahuje tepelné čerpadlo, bojler, kotel, trubky a šipky znázorňujícími směr průtoku. Pod obrázkem je tabulka obsahující řádek pro každou měřenou hodnotu a tlačítko pro nahrání programu které odkazuje na stránku na které je možné vybrat soubor zkompilovaného programu, který je službou OTA vzdáleně nahrán (viz obrázek 27).

Data jsou aktualizována způsobem, kdy není obnovována celá stránka, nýbrž je zde využito obnovování určitých částí podle hodnot posílaných v XML dokumentu sestaveném v ESP32 (viz obrázek 25). Dokument se sestavuje na základě požadavků klienta, tedy ze strany webového prohlížeče, dokument se pokaždé sestavuje znovu z jednotlivých částí s využitím pomocného bufferu.

```

strcpy(XML, "<?xml version = '1.0'?>\n<Data>\n");

// Čas od spuštění
int sec = millis() / 1000;
int hr = sec / 3600;
int min = (sec / 60) % 60;
sec = sec % 60;

sprintf(buf, "<Cas>%02d:%02d:%02d</Cas>\n", hr, min, sec);

strcat(XML, buf);

// Data1 - Čerpadlo výstup
sprintf(buf, "<Data1>%.1f</Data1>\n", S1); //sprintf(buf, "<
strcat(XML, buf);

// Data2 - Čerpadlo vratná
sprintf(buf, "<Data2>%.1f</Data2>\n", S2);
strcat(XML, buf);

```

Obrázek 25: Ukázka sestavení dat do XML dokumentu (Autor, 2025)

Stránka obsahuje JavaScript, jehož úkolem je podle názvu elementů na stránce vybrat data z XML dokumentu roztrždit je do polí v obrázku a do tabulky (viz obrázek 26). Také má za úkol zabarvit pole v tabulce červeně v případě, že zrovna došlo k chybě při měření. Podbarvení je buď shodné s pozadím sloupku v tabulce, takže není vidět nebo je červené v případě že dochází k chybě při měření. Zpočátku byla v kódu chyba, takže červeně podbarvené pole už se nikdy nevrátilo na zpět. Stránka se obnovuje častěji, než jsou čtena data ze senzorů, aby stále běžel čas v záhlaví stránky.

```

//
// 1. Čerpadlo výstup
xmlDoc = xmlResponse.getElementsByTagName("Data1");
message = xmlDoc[0].firstChild.nodeValue;

color = (message == -127) ? "#aa0000" : "#6bd0db";

document.getElementById("Radek4").innerHTML=(message+" °C");
document.getElementById("Radek4").style.backgroundColor=color;

document.getElementById("ImgCerpadloVystup").innerHTML=(message+" °C");

```

Obrázek 26: Ukázka třídění dat z XML do obrázku a tabulky (Autor, 2025)

Pro snazší zakomponování kódu do prostředí Arduino IDE jsou styly, HTML kód i obrázky součástí jednoho souboru. Kromě obrázku znázorňujícího instalaci bylo zakomponování do kódu docíleno tak, že obrázek v záhlaví stránky a ikona zobrazující se na kartě v prohlížeči byly konvertovány online nástrojem do formátu Base64. Kódování Base64 umožňuje obrázek, nebo jiný soubor do textové podoby a řetězec znaků poté vložit přímo do HTML kódu, nebo jiného prostředí, které podporuje pouze textová data.

Base64 pracuje s binárními daty po skupinách tří bajtů (24 bitů), které rozdělí do čtyř skupin po 6 bitech. Každá 6bitová skupina je následně převedena na jeden znak z 64členné abecedy: ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZabcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789+/-.

Například binární data 01000001, 01000010, 01000011 odpovídající znakům A, B, C se zakódují jako QUJD. Pokud délka vstupních dat není násobkem tří, doplní se na konci kódovaného řetězce znak = jako výplň. Nevýhodou tohoto řešení je, že takovýto text je poměrně dlouhý, protože dochází ke zvětšení velikosti dat v Base64 kódování přibližně o třetinu.

I když byl obrázek znázorňující instalaci uložen ve vhodném formátu, a s co nejmenším rozlišením, stále nebylo možné celý program po jeho vložení zkompileovat. Pravděpodobnou příčinou bylo překročení maximální délky řetězce znaků HTML kódu webového rozhraní.

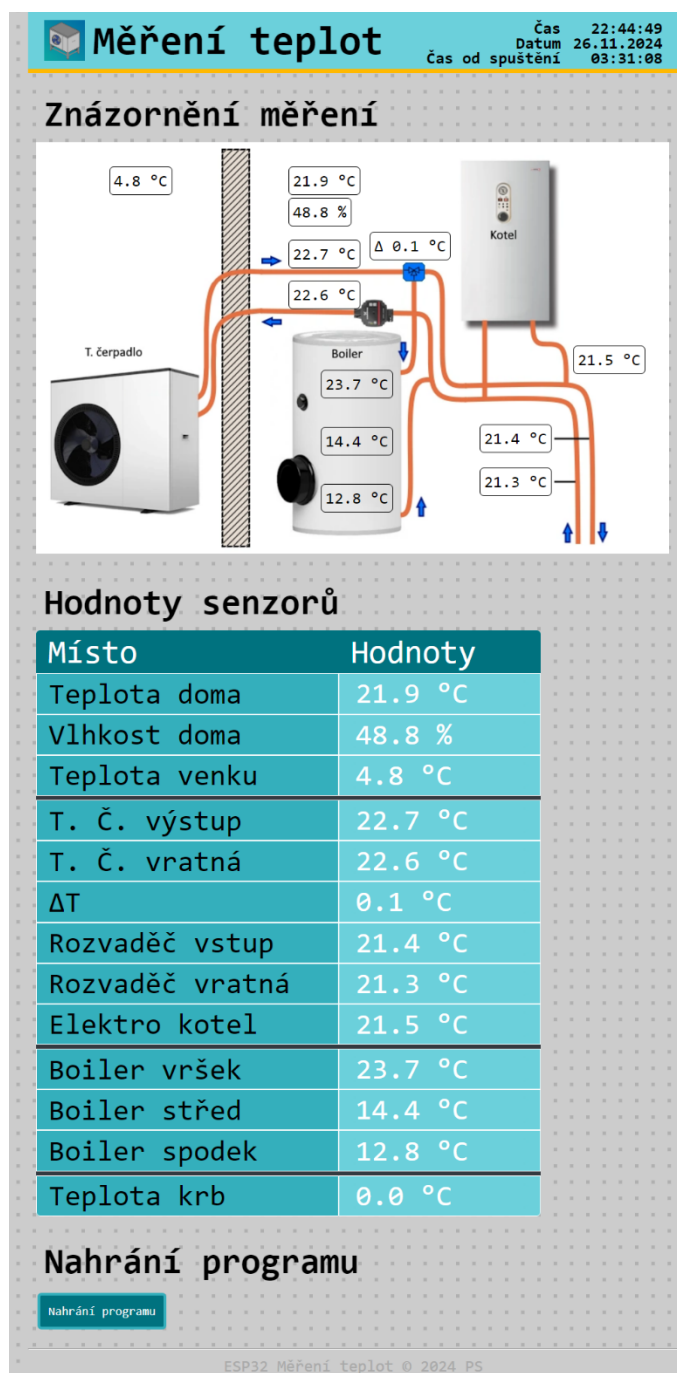
Z tohoto důvodu byl obrázek znázorňující instalaci nahrán do druhého oddílu flash paměti mikrokontroleru, který využívá souborový systém LittleFS. Ten umožňuje organizovat data ve formě souborů a adresářů přímo ve flash paměti. Na ESP32 lze LittleFS využít například k ukládání souborů pro webové stránky, obrázků, konfiguračních souborů, nebo datových souborů pro záznamy měření. Velikost oddílu lze měnit nastavením tabulky oddílů a přiřadit tak více místa pro program nebo pro soubory.

Pro nahrávání souborů do paměti s LittleFS se používá speciální plugin, který spolupracuje s vývojovým prostředím Arduino IDE. Dále je ve složce projektu třeba vytvořit adresář data, kam se umístí všechny soubory určené k nahrání. V Arduino IDE je možné spustit příkaz, který nahraje soubory do souborového systému. Jelikož se jedná o druhý oddíl, tak nahrání souborů nemá vliv na program a stejně tak nahrání programu nemá vliv na soubory.

Obrázek se na vyžádání přečte z LittleFS, aby se poté zobrazil na stránce. Tato zdánlivě jednoduchá operace trvala poměrně dlouhou dobu, než byly chyby odladěny a obrázek se správně zobrazil.

Pozadí stránky není tvořeno obrázkem nýbrž je vytvořeno s využitím stylů, v podstatě se jedná o dva světle šedé pruhy, které jsou navzájem na sebe kolmé a jsou tak široké že v rohu tohoto čtverce je vidět část tmavšího pozadí stránky. Tento efekt se opakuje na celém pozadí což vytváří efekt mřížky.

Webové rozhraní bylo nakonec zpřístupněno pouze v lokální síti.



Obrázek 27: Webová stránka (Autor, 2024)

9.4 Vyhodnocení získaných dat

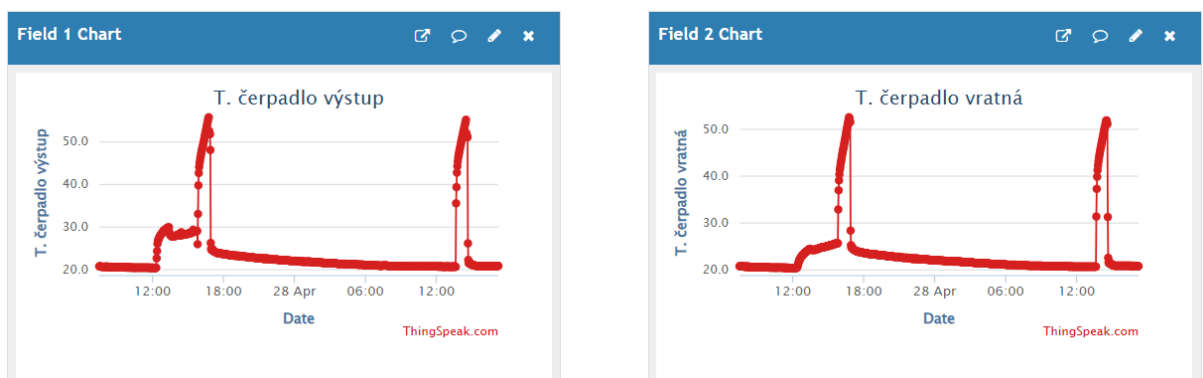
Pro sběr, ukládání a vizualizaci naměřených dat z měřicího systému je využita cloudová platforma ThingSpeak, která je spravována společností MathWorks. Tato platforma umožňuje přijímání dat přes internet, ukládání, vizualizaci a analýzu dat z IoT zařízení. ThingSpeak je vhodnou volbou pro svou jednoduchost a přímou podporu mikrokontrolerů, jako je ESP32 a také díky možnosti zobrazovat data v reálném čase prostřednictvím grafů a widgetů.

ThingSpeak umožňuje přizpůsobit grafy podle potřeb uživatele. Možná je změna barev čar a pozadí, nastavení rozsahu os, změna typu grafu (například spojnicový, bodový), úprava popisků a názvů os, nastavení velikosti vloženého grafu.

ThingSpeak podporuje přidávání vizuálních prvků neboli widgetů jako doplňků k samotným grafům. Mezi dostupné widgety patří digitální displeje pro zobrazení poslední hodnoty, ukazatele pro vizuální znázornění rozsahu, LED indikátory pro signalizaci stavů, numerické tabulky s posledními hodnotami. Widgety lze konfigurovat přímo v administraci kanálu a umístit je vedle grafů pro přehlednější prezentaci dat.

Naměřená data se odesílají pomocí protokolu HTTP jako jednoduché GET nebo POST požadavky. Každý kanál má vlastní API klíč, kterým je zajištěna autorizace. Klíče pro čtení a pro zápis jsou rozdílné. Kanály lze nastavit jako soukromé, ty jsou přístupné pouze po zadání API klíče nebo veřejné. Veřejný kanál umožňuje sdílet grafy a data veřejnosti bez nutnosti přihlašování.

Data jsou zobrazena v podobě časových grafů (viz obrázek 28).



Obrázek 28: Ukázka grafů na Thingspeaku (Autor, 2025)

Služba ukládá historická data, která lze později analyzovat, nicméně při větším množství dat může být vhodné použití pokročilejších funkcí v placené verzi.

V rámci práce je ThingSpeak využit k přehlednému zobrazení naměřených teplot z různých částí systému, což umožňuje snadno sledovat stav tepelného čerpadla, vnitřního prostředí a ohřevu vody v bojleru.

V rámci bezplatné verze má ThingSpeak několik omezení, která je nutné při návrhu systému zohlednit:

- Četnost odesílání dat je omezena na 1 zápis za 15 sekund na jeden kanál. Při rychlejším pokusu o zápis dojde k jeho ignorování.
- Maximální počet veřejných i soukromých kanálů na jeden účet je omezen na 4 aktivní kanály.
- Každý kanál může obsahovat nejvíce 8 polí pro různé typy dat (například teplota, vlhkost, napětí, volitelně i zeměpisné souřadnice a další metadata).

Ke každému grafu je možné vygenerovat kód, který lze zkopírovat a vložit přímo do libovolné webové stránky. Díky tomu je možné například zobrazit aktuální teplotní graf na jakémkoliv webu nebo informační obrazovce, bez potřeby přihlašování.

Ačkoliv bezplatná verze ThingSpeak má jistá omezení, pro účely běžného domácího nebo experimentálního použití je plně dostačující. Umožňuje vizualizaci, archivaci i export dat a dobře slouží jako doplněk k místnímu zobrazení teplot na webovém rozhraní v lokální síti.

Pro vyhodnocení a zpracování dat je nutné získané teploty nejdříve exportovat z ThingSpeaku, což se provádí pro každý kanál zvlášť. Data jsou exportována v souboru CSV, ten je možné importovat do tabulkového procesoru jako je Excel, kde je již možné vytvářet grafy a vyhodnocení.

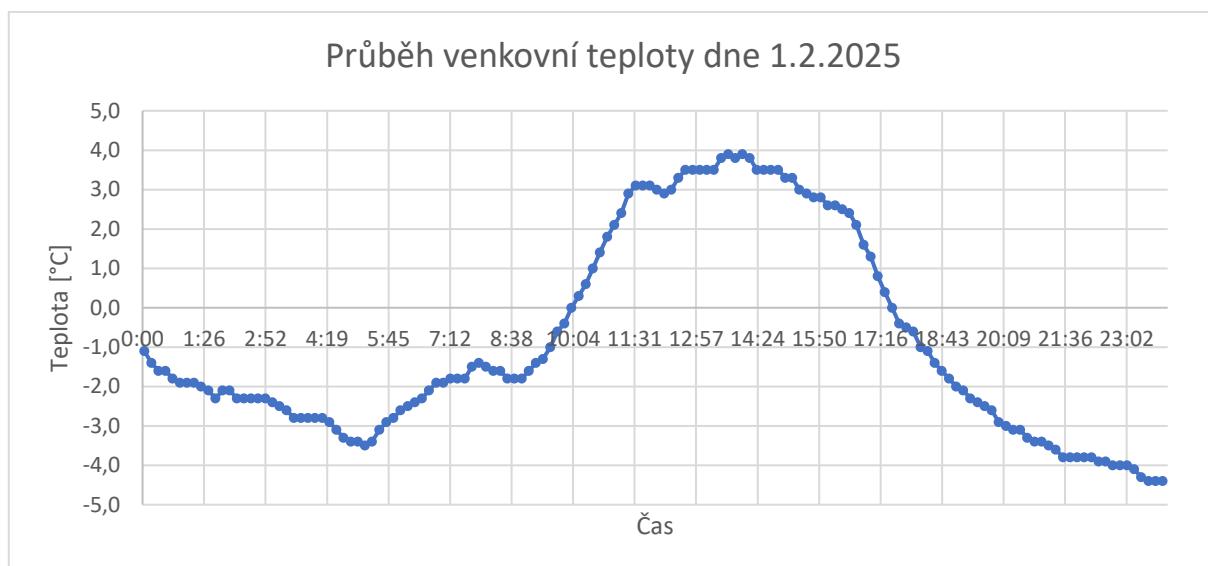
Tabulka 1: Ukázka exportovaných dat

created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6
01.12.2024 0:00	21385	24,8	24,7	0,1	21,8	20,9	21,1
01.12.2024 0:02	21386	24,7	24,7	0,0	21,7	20,9	21,1
01.12.2024 0:04	21387	24,6	24,6	0,0	21,8	20,9	21,1
01.12.2024 0:06	21388	24,6	24,6	0,0	21,8	20,9	21,1
01.12.2024 0:08	21389	24,7	24,6	0,1	21,7	20,9	21,1
01.12.2024 0:10	21390	24,6	24,6	0,0	21,7	20,8	21,1
01.12.2024 0:12	21391	24,6	24,6	0,0	21,7	20,8	21,0
01.12.2024 0:14	21392	24,5	24,5	0,0	21,7	20,8	21,1

created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6
01.12.2024 0:16	21393	24,5	24,5	0,0	21,6	20,8	21,0
01.12.2024 0:18	21394	24,6	24,5	0,1	21,7	20,7	21,0
01.12.2024 0:20	21395	24,5	24,4	0,1	21,6	20,7	21,0

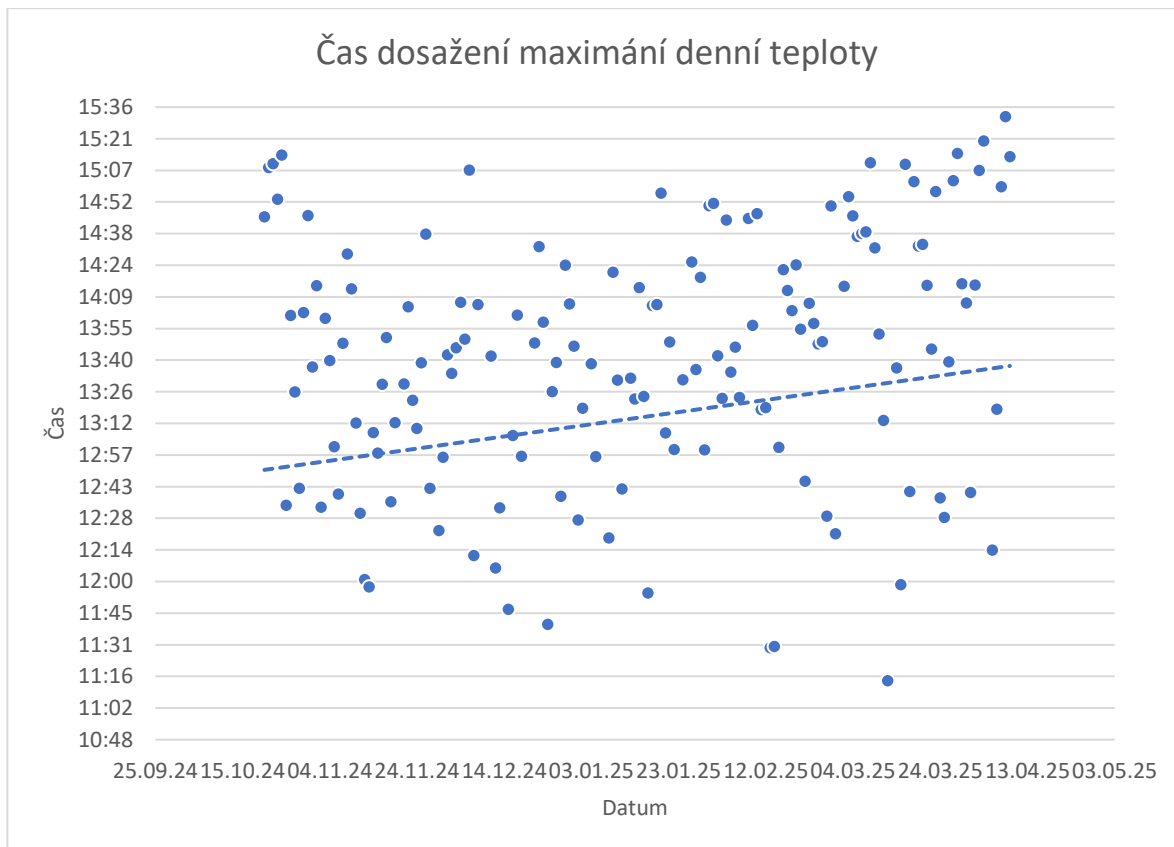
(Autor, 2025)

- Na základě měřených hodnot lze zjistit nejen maximální venkovní teplotu. Z venkovní teploty lze určit průměr za den, týden nebo měsíc. Je možné vytvořit graf denního průběhu teploty a určit, kdy je během dne nejtepleji.



Graf 1: Průběh venkovní teploty za jeden den (Autor, 2025)

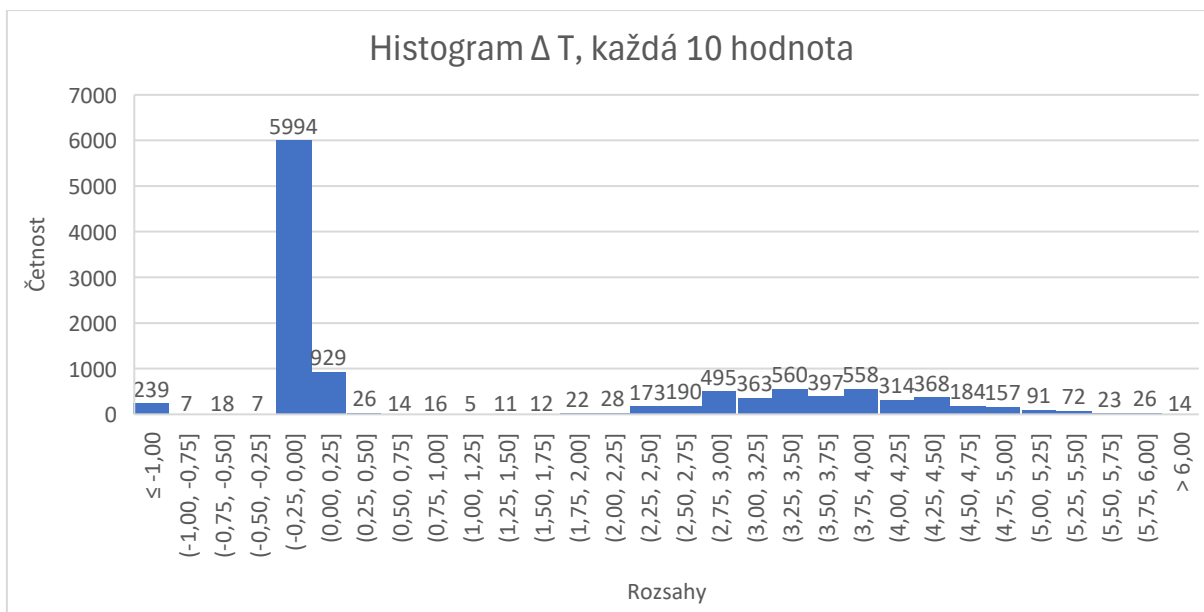
- Pro lepší přehlednost byla v data excelu zpracována tak, aby byl v grafu viditelný čas, kdy byla dosažena maximální denní teplota. Tento údaj je vhodné zvolit jako dobu, ve kterou je optimální nahřívat TUV, protože je ve vzduchu nejvíce energie. Každý den je v grafu znázorněn bodem a body jsou proloženy spojnicí trendu.



Graf 2: Graf dosažení maximální denní teploty se spojnicí trendu (Autor, 2025)

Ačkoliv se graf jeví jako změť bodů, po proložení bodů spojnicí trendu je viditelné, že se doba, kdy je dosaženo nejvyšší denní teploty za zimní období posouvá v čase. Vzhledem k velkému počtu dat je komplikované vytvořit přehledný graf. Práce s daty je složitá a časově náročná.

- Vytvořením průměru ze získaných dat o teplotě za posledních několik měsíců je vidět, že teplota uvnitř budovy se pohybuje kolem 21,7 °C.
- Rozdíl teplot ΔT mezi topnou a vratnou vodou v otopné soustavě je klíčovým ukazatelem efektivity přenosu tepla. V dobře nastaveném systému se ΔT běžně pohybuje v 3–7 °C u podlahového vytápění. U tepelných čerpadel je nízké ΔT důležité pro zachování vysoké účinnosti. Na základě měření z prvního páru senzorů měřících topnou a vratnou vodu byla stanovena ΔT a tento údaj byl vynesena do histogramu.



Graf 3: Histogram parametru ΔT (Autor, 2025)

- Sledováním rozdílu ΔT na dvou místech lze odhadovat tepelné ztráty na vedení. Toto však zřejmě není možné jednoduše zjistit, protože by bylo nutné ze získaných dat odebrat teploty z doby, kdy dochází k nahřívání teploty vody v bojleru, a tudíž teplá voda neprotéká kolem druhého páru senzorů do podlahového topení.
- Ze tří úrovní měření teplot v bojleru lze sledovat, jak se voda ohřívá a jak teplota klesá při odběru. V případě potřeby by bylo možno vyhodnotit, jak dlouho trvá ohřev. Toto nebylo sledováno, protože se to odvíjí od několika faktorů, jako jsou: množství zbytkové teplé vody v bojleru, na jakou teplotu je nastaveno tepelné čerpadlo a jaká je venkovní teplota.

9.4.1 Úspora energie a návratnost

Tepelné čerpadlo i elektrokotel jsou elektrické zdroje tepla, ale jejich provozní princip a efektivita jsou odlišné. Na základě historických dat z provozu elektrokotle došlo k porovnání spotřeby elektrické energie před instalací a po instalaci tepelného čerpadla. Z těchto výsledků vychází, že po instalaci tepelného čerpadla se spotřeba snížila.

Historicky byly sledovány hodnoty spotřeby od roku 2009 do současné doby. Hodnoty byly zapisovány s měsíční periodou, z níž byla počítána průměrná denní spotřeba. Účtovací období se počítalo vždy od druhé třetiny května předešlého roku do stejného data roku následujícího.

Aby bylo možné vysledovat spotřebu elektrické energie, která je nutná na vytápění nemovitosti, byly veškeré hodnoty rozdělovány a zapisovány. Sledovala se průměrná denní spotřeba, kdy z těchto hodnot byla vypočítána průměrná spotřeba na vytápění za celý rok v MWh. V roce 2009/10 spotřeba byla v průměru kolem 10,5 MWh. V následujícím roce 2011 byly zatepleny stropy, díky tomu se spotřeba elektrické energie v následujících letech 2011/12 snížila téměř na polovinu. Poté se spotřeba v následujících letech pohybovala v rozmezí 5,8–6,5 MWh. V topné sezóně v roce 2020 i vzhledem ke klimatickým podmínkám klesla spotřeba na 4,23 MWh a následující rok se vrátila na předešlý průměr.

V následujících dvou letech 2022–2024 byla k vytápění nemovitosti využívána pouze krbová vložka. Na základě zjištěných dat bylo dopočítáno, že průměrná spotřeba energie na chod domácnosti činí 3,24 MWh.

Tepelné čerpadlo bylo nainstalováno v létě roku 2024, kdy bylo spuštěno v říjnu téhož roku. Čerpadlo se začalo používat k vytápění, ohřevu TUV i chlazení. Po odpočtu spotřeby elektrické energie na provoz domácnosti vychází, že tepelné čerpadlo spotřebuje 1,2–1,4 MWh za rok.

Z těchto zjištěných údajů vyplývá, že se jedná o velkou úsporu alespoň v případě této nemovitosti, která původně byla vytápěna klasickým elektrokotlem.

ZÁVĚR

Tepelná čerpadla představují moderní, efektivní a ekologické řešení pro vytápění a chlazení, které čerpá energii z obnovitelných zdrojů, jako je vzduch, voda nebo země. Vhodná je kombinace tepelného čerpadla se záložním zdrojem tepla pro extrémní mrazy, jako je elektrokotel nebo i kombinace s krbovou vložkou.

V teoretické části této práce byla podrobně popsána jejich základní funkce, principy fungování i výhody, které přinášejí ve srovnání s tradičními způsoby vytápění. Volba vhodného systému závisí především na místních podmínkách a požadavcích na výkon a dostupnosti konkrétního zdroje tepla. Každý typ má své specifické výhody i omezení, které je nutné zohlednit při návrhu a realizaci otopné soustavy. Dále je nutné zohlednit hlučnost a vibrace, aby nedocházelo k rušení obyvatel domu či sousedů.

Praktická část práce se zabývala konkrétním případem instalace tepelného čerpadla PowerWorld PW030 v rodinném domě ve Středočeském kraji. Byl popsán zvolený typ a jeho technické parametry, princip činnosti a způsob zapojení do stávajícího otopného systému. Současně byly provedeny nezbytné úpravy systému a vyhodnocena činnost nového zařízení.

Celý systém je navržen tak, aby byl maximálně efektivní a bezpečný. Díky kombinaci tepelného čerpadla, inteligentně řízeného oběhového čerpadla a záložních prvků je zajištěn spolehlivý provoz i při nečekaných situacích, jako je výpadek elektrické energie nebo extrémní klimatické podmínky.

Pro ideální regulaci teploty v budově by bylo vhodné v budoucnu mít teplotní snímač v každé místnosti zvlášť, a topnou vodu pak rozdělovat na základě změřených teplot elektronickými ventily na rozdělovači. Svůj vliv na to má i sluneční záření. Pomocí ventilů by se řídila teplota vody do jednotlivých topných smyček daných místností.

Pro optimalizaci vytápění by bylo vhodné porovnat venkovní teplotu v daném týdnu se spotřebou tepelného čerpadla. Zároveň by bylo i pro zajímavost dobré sledovat spotřebu ve všední dny v týdnu oproti víkendu, neboť se předpokládá, že režim je odlišný. Pro podrobnější změny by bylo třeba sledovat spotřebu několik let, porovnávat ji a vyhodnocovat.

V předložené práci byla optimalizována vytápěcí soustava rodinného domu pomocí tepelného čerpadla. V dalším kroku po zařazení akumulčních nádrží do vytápěcí soustavy se bude vytápění řídit pomocí prediktivního řízení na základě získaných dat.

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že zvolený model čerpadla dokáže zajistit efektivní provoz i při nízkých venkovních teplotách, což zajišťuje komfort vytápění při nízkých provozních nákladech. Ekonomická analýza potvrdila výhodnost této investice z dlouhodobého hlediska a poukázala na reálné úspory ve spotřebě elektrické energie.

Tepelné čerpadlo má oproti elektrokotli vyšší pořizovací náklady a je omezeno na nízkoteplotní topné systémy, avšak jeho provoz je levnější. Instalace byla provedena svépomocí. Tím byly minimalizovány pořizovací náklady a díky tomu se návratnost nákladů v tomto případě odhaduje kolem 3 let.

Cíl práce, kterým je realizace a optimalizace nákladů na vytápění byl splněn. Systém je navržen tak, aby v budoucnu byla možná další optimalizace nákladů na vytápění. Na základě dříve naměřených dat a předpovědi počasí se bude predikovat potřeba vytápění. Požadované teplo se bude vyrábět a akumulovat podle předpokládaného požadavku na vytápění i podle aktuální ceny elektrické energie.

POUŽITÁ LITERATURA

1. ADÁŠEK, Dominik. *Optimalizace bivalentně paralelního provozu tepelného čerpadla a kondenzačního plynového kotle*. [online]. Praha, 2022 [cit. 2025-03-24]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/rlum8i/>. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta.
2. ATEG. *Tepelná čerpadla* [online]. 2025 [cit. 2025-03-24] Dostupné z: <https://www.ateg.cz/produkty/tepelna-cerpadla/>
3. ČERVÍN, Radek. *Prediktivní řízení tepelného čerpadla podle předpovědi počasí*. TZB-info [online]. NIBE Energy Systems CZ, DZD Strojírna s.r.o., 2020-08-28. [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/21081-prediktivni-rizeni-tepelneho-cerpadla-podle-predpovedi-pocasi#zdroj02>
4. DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016 [cit. 2025-03-09]. ISBN-978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/Impresum.html>
5. GAWLICZEK S.R.O. *Návod k obsluze* [online]. 2025 [cit. 2025-04-01] Dostupné z: <https://www.gawliczek.cz/product-page/pln%C4%9B-invertorov%C3%A9-tepeln%C3%A9-%C4%8Derpadlo-full-inverter-heat-pump>
6. Geotermie chytře a jednoduše. *Geotermální energetický koš* [online]. 2019 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: <https://www.geotermalnienergie.cz/energeticky-kos/>
7. GRUNDFOS. *ALPHA1 L* [online]. 2025 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/alpha/alpha1-1?tab=models>
8. IVT Tepelná čerpadla s.r.o. *Typy tepelných čerpadel* [online]. 2025 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel?_gl=1*1gjhplk*_up*MQ..*_ga*MjMwMDU2ODQyLjE3NDI4MjA4NDU.*_ga_Z8WCWQ3FSD*MTc0MjgyMDg0Mi4xLjAuMTc0MjgyMDg0Mi4wLjAuNDYzNzgxMTAw
9. JOHANIDES, Ladislav. *Projekt pro stavební povolení*. Žehušice: Ladislav Johanides příprava a realizace staveb, 2004. Číslo projektu: 270-24/04.
10. KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Profi & hobby. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
11. KUTNOHORSKÁ STAVEBNÍ. *Novostavba RD – Vytápění*. Projekt stavby. Ing. Zuzana Hádková. Kutná Hora: Kutnohorská stavební – projekce, 2005. Číslo projektu: 05 901.

12. MATUŠKA, Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP*. TZB-info [online]. ČVUT v Praze, 2015-09-14. [cit. 2025-03-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivity-tepelnych-čerpadel-cop-a-scop>
13. MIKOLÁŠ, Petr. *Vytápění pomocí tepelného čerpadla*. [online]. Brno, 2017 [cit. 2025-03-24]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/urif7p/>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
14. NordicTec EU. *Deskový výměník tepla 2" NORDIC TEC Ba-95-50* [online]. 2025 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: <https://norditect-shop.cz/cs/serie-ba-95-2/100-ba-95-50.html>
15. SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům – realita, či fikce? 2., aktualiz. vyd. 21. století*. Praha: EkoWATT, 2007. ISBN 978-80-7366-103-8.
16. Sunrise. *How Do Scroll Air Compressors Work?* [online]. 2025 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: <https://www.sunrise-metal.com/how-do-scroll-air-compressors-work/>
17. ŠKRABAL, Jaroslav. *Optimalizace provozu tepelné soustavy v kombinaci; kotel na biomasu a tepelné čerpadlo*. [online]. Liberec, 2021 [cit. 2025-03-24]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/5ppjfh/>. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
18. VKN s.r.o. *Podlahové topení* [online]. 2025 [cit. 2025-03-23] Dostupné z: <https://norditect-shop.cz/cs/serie-ba-95-2/100-ba-95-50.html>
19. ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:a5ea49a0-65ad-11e4-8214-005056827e51>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Obrázek webové stránky v chybě

Příloha B: Render plošného spoje

Příloha C: Technická místnost

Příloha D: Uživatelský manuál

PŘÍLOHA A: *Obrázek webové stránky v chybě*

Obrázek webové stránky při výpadku všech senzorů. Obrázek byl pořízen v době vývoje, kdy se stalo, že selhal odečet teplot ze všech senzorů. (Autor, 2024)

Čas 12:18:53
Datum 29.11.2024
Čas od spuštění 00:02:23

Měření teplot

Znázornění měření

Hodnoty senzorů

Místo	Hodnoty
Teplota doma	-127.0 °C
Vlhkost doma	-127.0 %
Teplota venku	-127.0 °C
T. Č. výstup	-127.0 °C
T. Č. vratná	-127.0 °C
ΔT	0.0 °C
Rozvaděč vstup	-127.0 °C
Rozvaděč vratná	-127.0 °C
Elektro kotel	-127.0 °C
Boiler vršek	-127.0 °C
Boiler střed	-127.0 °C
Boiler spodek	-127.0 °C
Teplota krb	0.0 °C

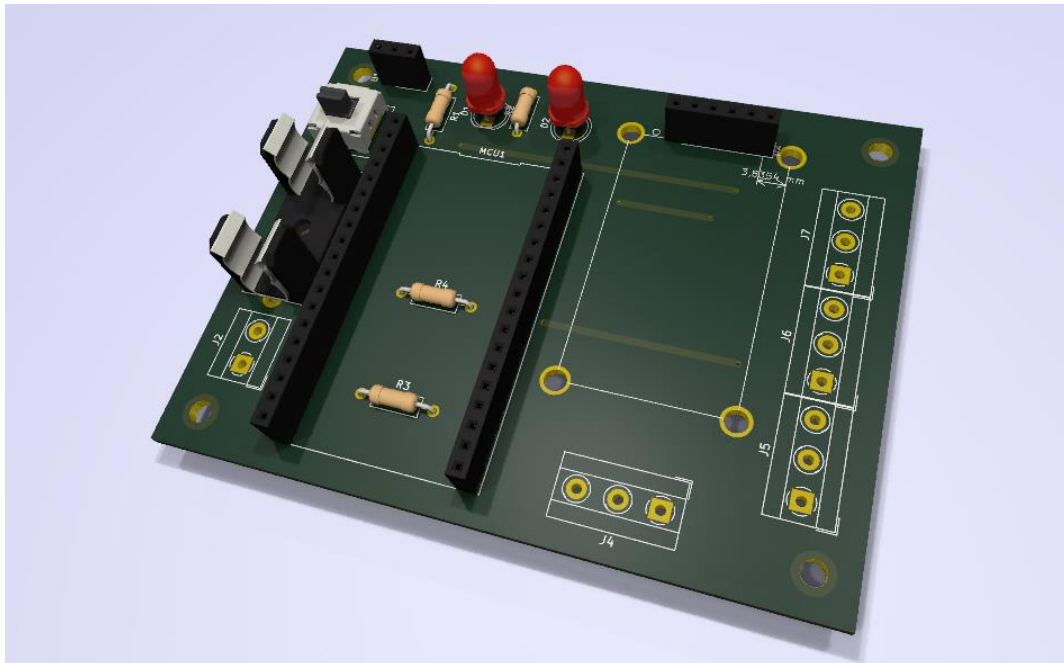
Nahrání programu

Nahrání programu

ESP32 Měření teplot © 2024 PS

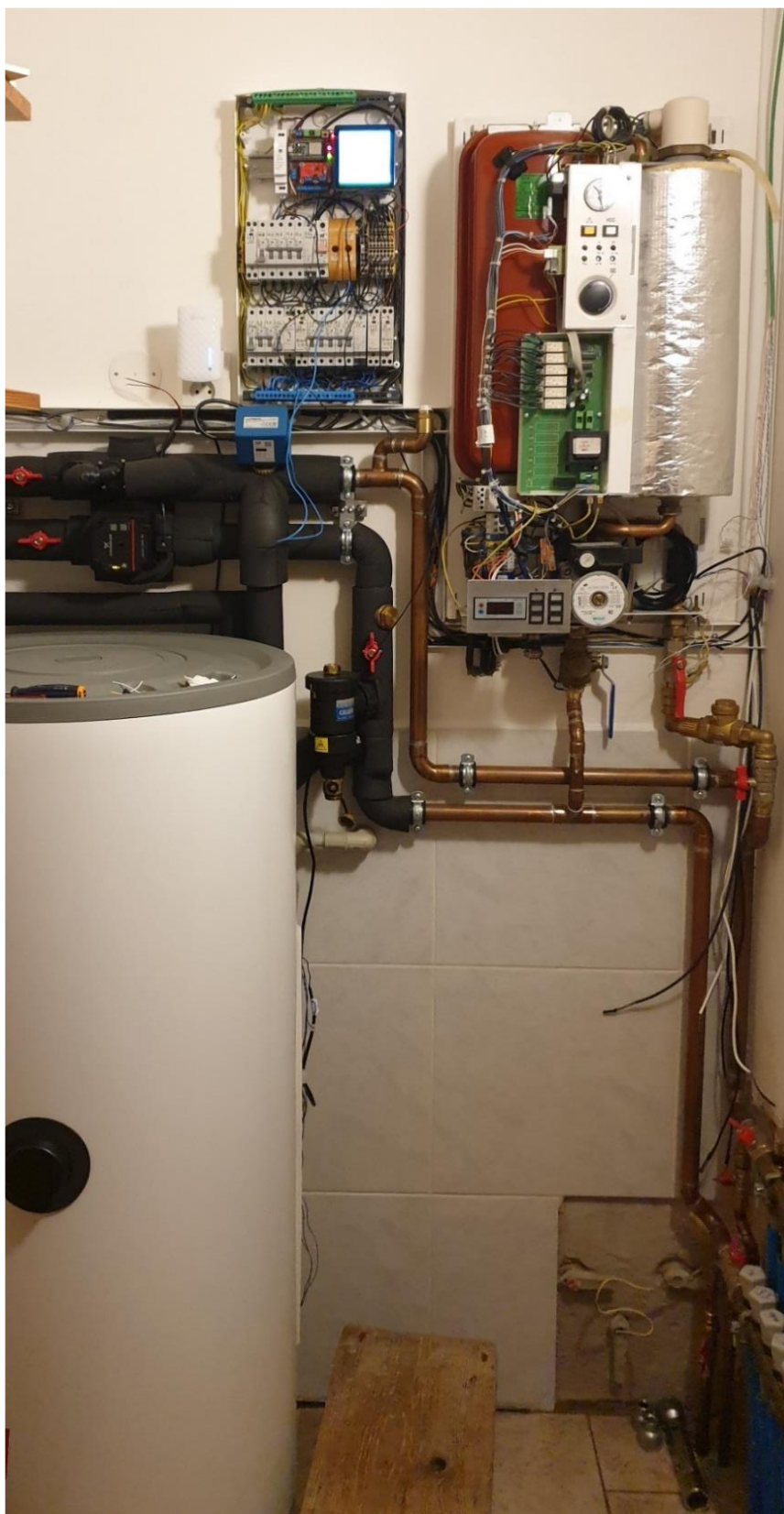
PŘÍLOHA B: *Render plošného spoje*

Render plošného spoje vytvořený v programu KiCad. (Autor, 2025)



PŘÍLOHA C: *Technická místnost*

Obrázek technické místnosti v době práce na rozvaděči a instalace senzorů. (Autor, 2024)



PŘÍLOHA D: *Uživatelský manuál*

Pro použití zařízení je nutné nejdříve nahrát program do mikrokontroleru připojením k počítači přes USB kabel. Pro funkci je nutné v kódu nastavit údaje o Wi-Fi síti, tedy název a přístupové heslo. Dále je třeba vyplnit číslo a přístupový API klíč pro oba kanály na ThingSpeaku, tyto údaje lze zjistit v nastavení kanálů. Oba kanály musí být správně nakonfigurovány, tak aby počet polí v kanálech pro častější a pro méně časté odesílání odpovídal počtu senzorů. Také je nutné znát adresy připojených senzorů, což je možné zjistit zvlášť speciálním programem který vypisuje jejich adresy po sériové lince. Následně se sešroubuje rámeček a poté se zařízení připevní čtyřmi šroubky. Tento celek se umístí na DIN lištu. Nakonec se do označených svorkovnic připojí senzory a napájení 5 V. Pro prohlížení webového rozhraní je třeba znát IP adresu mikrokontroleru, kterou může vypsát po sériové lince, nebo je možné si ji zjistit v nastavení routeru, kde také lze zařízení přiřadit pevnou IP adresu.