



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## NOVÉ TRENDY V CENTRÁLNÍM ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM

NEW TRENDS IN DISTRICT HEATING

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Martin Ošťádal**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Lukáš Radil, Ph.D.**

**BRNO 2025**



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Martin Ošřádal

**ID:** 226969

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2024/25

**NÁZEV TÉMATU:**

## Nové trendy v centrálním zásobování teplem

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

- Studium a důkladná rešerše podkladů
- Studium současného zásobování teplem
- Vytvoření modelu reálné sítě CZT včetně alternativních způsobu zdrojů
- Vyhodnocení ztrát
- Zhodnocení práce

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Termín zadání:** 10.2.2025

**Termín odevzdání:** 26.5.2025

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá technickou a ekonomickou efektivitou soustav zásobování tepelnou energií v České republice. Po definování pojmů spojených s teplotním systémem jsou uvedeny technologické a legislativní požadavky, které mají přispívat k modernizaci a dekarbonizaci sektoru teplotního systému a zvyšovat tak efektivitu výroby a distribuce prostřednictvím přechodu na zemní plyn, obnovitelné zdroje energie nebo využívání malých modulárních reaktorů. Závěr práce se věnuje simulaci systému zásobování tepelnou energií v prostředí Python, ve které jsou ukázány různé scénáře provozu takovéto soustavy a výpočet poklesu teplot v potrubí. Taktéž je proveden výpočet velikosti ztrát v soustavě za období jednoho roku.

## **Klíčová slova**

Teplotní systém, systém zásobování tepelnou energií, dekarbonizace, účinnost, obnovitelné zdroje, Python, pandapipes

## **Abstract**

This thesis deals with the technical and economic efficiency of district heating systems in the Czech Republic. After defining the concepts related to the heating sector, technological and legislative requirements are presented that contribute to the modernisation and decarbonisation of the heating sector and thus increase the efficiency of production and distribution through the transition to natural gas, renewable energy sources or the use of small modular reactors. The conclusion of the thesis is devoted to the simulation of a district heating system in Python, in which different scenarios of operation of such system and the calculation of the temperature drop in the pipeline are shown. The simulation also calculates the magnitude of losses in the system over a one-year period.

## **Keywords**

Heating industry, district heating system, decarbonisation, efficiency, renewable energy sources, Python, pandapipes

## **Bibliografická citace**

OŠŤÁDAL, Martin. *Nové trendy v centrálním zásobování teplem*. Online, diplomová práce. Lukáš RADIL (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/168056>. [cit. 2025-05-26].

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** *Martin Ošřádal*

**VUT ID studenta:** *226969*

**Typ práce:** *Diplomová práce*

**Akademický rok:** *2024/25*

**Téma závěrečné práce:** *Nové trendy v centrálním zásobování teplem*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 26. května 2025

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, konzultace a další cenné rady při zpracovávání mé diplomové práce.

V Brně dne: 26. května 2025

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1. CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>11</b>
<b>2. SLOVNÍK POJMŮ</b> .....	<b>12</b>
2.1 PRÁVNÍ POJMY.....	12
2.2 EKONOMICKÉ POJMY .....	13
2.3 TECHNICKÉ POJMY .....	15
<b>3. TEPLÁRENSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE</b> .....	<b>17</b>
3.1 ZDROJE TEPLA .....	17
3.2 DALŠÍ POTENCIÁLNÍ ZDROJE TEPLA .....	29
3.2.1 <i>Malé modulární reaktory</i> .....	29
3.2.2 <i>Geotermální energie</i> .....	29
3.2.3 <i>Vodík</i> .....	30
3.3 PŘEPRAVA TEPLA .....	31
3.3.1 <i>Materiálová vybavenost teplovodních soustav</i> .....	34
<b>4. HODNOCENÍ EFEKTIVITY INVESTIC</b> .....	<b>36</b>
<b>5. SIMULACE CENTRÁLNÍHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM</b> .....	<b>40</b>
5.1 SCHÉMA SOUSTAVY.....	40
5.2 ZPŮSOB VÝPOČTU.....	44
5.3 SIMULACE VYTVOŘENÝCH SCÉNÁŘŮ .....	45
5.3.1 <i>Simulace sítě při normálním provozu, výpadku zdroje a zimní špičce a výpočet poklesu teploty na potrubí</i> .....	45
5.3.2 <i>Spotřeba tepla v průběhu roku, měsíce a dne</i> .....	55
5.3.3 <i>Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP</i> .....	57
5.3.4 <i>Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP a plynového kotle v závislosti na ceně plynu</i> .....	60
5.3.5 <i>Finanční náročnost provozu kogenerace</i> .....	64
<b>6. VYHODNOCENÍ</b> .....	<b>65</b>
6.1 NORMÁLNÍ PROVOZ SOUSTAVY, VÝPADEK ZDROJE A ZIMNÍ ŠPIČKA .....	65
6.2 VYHODNOCENÍ POKLESŮ TEPLOT A TEPELNÝCH ZTRÁT V SOUSTAVĚ .....	65
6.3 VLIV HODNOTY COP A CENY PLYNU NA PŘIPOJOVÁNÍ ZDROJŮ .....	66
6.4 FINANČNÍ NÁROČNOST PROVOZU KOGENERACE .....	66
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	<b>67</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>68</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>76</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>78</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

3.1 Jeden ze způsobů vymezení pojmu „teplárenství“ v rámci energetiky .....	17
3.2 Výroba tepla brutto (TJ) v České republice z různých paliv během roku 2023 .....	19
5.1 Schéma zapojení páteřní sítě centrálního zásobování teplem .....	41
5.2 Schéma zapojení páteřní sítě centrálního zásobování teplem včetně zvýrazněných míst připojení jednotlivých odběrů.....	44
5.3 Pokles teploty ve vybraných potrubích .....	54
5.4 Graf spotřeby tepla v průběhu roku .....	55
5.5 Průměrná měsíční spotřeba tepla v průběhu roku .....	55
5.6 Denní profil spotřeby tepla v různých měsících v roce.....	56
5.7 Diagram trvání tepelného výkonu v roce .....	56
5.8 Pokrytí spotřeby tepla jednotlivými zdroji v průběhu roku .....	57
5.9 Průběh hodnoty COP tepelného čerpadla v průběhu roku .....	58
5.10 Průměrné hodnoty COP tepelného čerpadla v každém měsíci v průběhu roku .....	58
5.11 Provoz plynového kotle v závislosti na ceně plynu a poptávce během měsíce.....	63
5.12 Vývoj ceny plynu během měsíce .....	64

# SEZNAM TABULEK

3.1 Množství vyrobeného tepla brutto (TJ) z nejvyužívanějších zdrojů .....	18
3.2 Množství vyrobeného tepla brutto (TJ) v každém čtvrtletí roku 2023 a 2022 .....	19
3.3 Hlavní teplotní lokality v České republice .....	21
3.4 Technické a ekonomické ukazatele vybraných zdrojů tepla v ČR.....	26
3.5 Velikosti ztrát v jednotlivých typech rozvodů .....	31
3.6 Délka rozvodů tepla (km) .....	32
3.7 Požadavky na systém dálkového vytápění a chlazení, aby se jednalo o účinný systém dálkového vytápění a chlazení.....	33
3.8 Izolační materiály a jejich provozní teploty.....	35
5.1 Přehled výchozích nastavených výkonů zdrojů v síti .....	41
5.2 Dimenze potrubí DN, skutečně použité rozměry a celkové délky potrubí.....	42
5.3 Vstupní nastavované parametry .....	43
5.4 Velikosti odběrů.....	46
5.5 Přehled výsledných dodávaných výkonů zdrojů v síti pro každý stav.....	47
5.6 Vypočítané tlaky v uzlech pro normální provoz, výpadek zdroje a zimní špičku.....	47
5.7 Přehled parametrů potrubí, průtoků a poklesů tlaku, poklesů teplot a ztrát .....	49
5.8 Celkové ztráty tepelné energie v soustavě .....	54
5.9 Přehled výkonů nových tepelných čerpadel a délek a průměrů jejich potrubí.....	59
5.10 Výsledky simulace pro jeden vybraný časový bod – závislost na COP .....	59
5.11 Přehled zdrojů připojených v síti po regulaci .....	60
5.12 Výsledky simulace pro jeden vybraný časový bod – závislost na COP a na ceně za plyn .....	61
5.13 Přehled zdrojů připojených v síti po regulaci .....	61
5.14 Statistika simulace – cena plynu a jeho prahová hodnota .....	62
5.15 Statistika simulace – připojování na základě hodnoty COP a ceny plynu .....	62
5.16 Výsledky denních nákladů na palivo na provoz kogenerace .....	64
6.1 Poklesy teplot na vybraných potrubích s velikostí jejich průtoků.....	65

# ÚVOD

Se snahou Evropské unie chránit životní prostředí dochází k transformaci energetiky a jejímu odklonu od fosilních paliv. Rostoucí cena emisních povolenek zvyšuje provozní náklady tepláren, které je musí nějakým způsobem pokrýt. Z pohledu tepláren by bylo nejjednodušším řešením tyto zvýšené náklady promítnout do cen za tepelnou energii zákazníků. Tomuto však brání Energetický regulační úřad, který zamezuje tomu, aby byla cena za tepelnou energii větší, než je jí stanovená hodnota.

Z tohoto důvodu jsou i na teplárenství kladeny požadavky na maximalizaci využití používaných paliv, zefektivnění výroby a distribuce tepla a přechod na obnovitelné zdroje. Tento transformační proces však přináší problémy s dostupností vhodných paliv, investiční nákladností na vybudování nových nebo vylepšení starých technologií v řetězci od výroby směrem ke spotřebě, tj. od tepelného zdroje, přes horkovody/teplovody, výměňkové i předávací stanice až k zákazníkovi, v doprovodu dalších legislativních požadavků.

Projekty na obnovu stávajících zařízení a modernizace rozvodů, které mají přispět ke snížení ztrát a zvýšení účinnosti, tedy souvisí nejen s efektivitou výrobních zařízení, ale i s hospodářskými výsledky těchto výrobních subjektů, čímž se stávají zajímavými i pro regulátora cen energií, který vstupuje do kalkulace ceny tepelné energie konečného spotřebitele a snaží se minimalizovat dopad těchto investic na zákazníka.

Ve spojitosti s reformou konceptu regulace teplárenství, ke které dochází již od roku 2021, je strategickým záměrem ERÚ inovovat regulatorní praxi o provázání výkonu cenové a technické regulace a následné kontroly s problematikou technické účinnosti tepelných zařízení ve zmíněném řetězci dodávky tepelné energie od výroby ke spotřebiteli, neboť míra účinnosti výše uvedených zařízení úzce souvisí s efektivností a hospodářskými výsledky regulovaných společností a tím se stává aktuální i pro výkon regulace v otázce vazby kalkulace ceny tepelné energie pro konečné spotřebitele se ziskovostí regulovaných společností [1].

Je tedy nutné propojit obnovu zařízení, legislativu a ekonomické posouzení, aby bylo možné zajistit požadovaný rozvoj teplárenství takovým způsobem, který bude výhodný pro výrobce, ohleduplný k životnímu prostředí a nediskriminující pro spotřebitele.

Cílem práce je tedy seznámit se stavem teplárenství v České republice, definovat související pojmy včetně představení vybraných teplárenských zdrojů. Na závěr provést simulaci systému zásobování tepelnou energií při různých scénářích provozu.

# 1. CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je seznámit se současným stavem v teplárenství a jeho budoucím vývojem v České republice, nastínit způsob hodnocení efektivity investic v teplárenství a vytvořit model systému zásobování tepelnou energií. Dosažení těchto stanovených cílů vede přes následující body:

- definování pojmů spojených s teplárenstvím,
- vyjmenování zdrojů tepelné energie spolu s vybranými teplárenskými oblastmi v České republice,
- bližší pohled na vybrané teplárenské zdroje a další potenciální zdroje tepla využitelné v České republice včetně rozvodů tepla, a jejich technických vlastností,
- představení způsobu hodnocení efektivity investic,
- vytvoření modelu sítě zásobování tepelnou energií v programovacím jazyce Python včetně různých scénářů provozu,
- provedení vyhodnocení získaných výstupních hodnot.

## 2. SLOVNÍK POJMŮ

Následující kapitola vymezuje pojmy spojené s teplárenstvím a další pojmy vyskytující se v této diplomové práci, které blíže vysvětluje.

### 2.1 Právní pojmy

**ERÚ – Energetický regulační úřad** – jedná se o úřad založený v roce 2001 energetickým zákonem č. 458/2000 Sb., který zároveň upravuje jeho pravomoc a kompetence. V České republice má na starost regulaci cen energií, podporu hospodářské soutěže a licencování výrobců energie, obchodníků a dalších účastníků, které má za úkol následně dozorovat. Dalším důležitým úkolem je ochrana zájmů zákazníků a spotřebitelů na energetickém trhu [2].

**EIA – Environmental Impact Assessment – Posuzování vlivů na životní prostředí** – v České republice je proces EIA ukotven v zákoně č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí. Cílem je zkoumání, posuzování, popsání a vyhodnocení předpokládaných vlivů u připravovaných záměrů a koncepcí na životní prostředí a veřejné zdraví a tím snaha zmírnit nepříznivé vlivy realizace na životní prostředí. Tento proces posuzuje stavby, činnosti a technologie, do kterých můžou patřit například stavby komunikací, výrobních hal nebo těžba nerostných surovin. Patří sem i stavby nových provozů, ale i jejich rozšiřování, změny technologií nebo zvyšování výrobních kapacit. Proces EIA se provádí vždy na začátku před povolením samotných záměrů a zahájením realizace projektu. Bez vyhotoveného procesu EIA nesmí být povolujícím úřadem (například stavebním úřadem) vydáno rozhodnutí o povolení záměru [3].

**BAT – Best Available Techniques – Nejlepší dostupné techniky** – tento termín je definován v § 2 písm. e) zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, jako nejúčinnější a nejpokročilejší stadium vývoje technologií a způsobu jejich provozování, které tak ukazují praktickou vhodnost určitých technik jako základu pro stanovení emisních limitů a dalších závazných podmínek provozu zařízení, jejichž smyslem je předejít vzniku emisí nebo alespoň vznik emisí omezit, pokud to jinak není možné, a omezit i jejich nepříznivé dopady na životní prostředí jako celek.

Slovo „technika“ vyjadřuje kromě použité technologie i způsob, jakým je zařízení navrženo, vybudováno, provozováno, udržováno a vyřazováno z provozu.

„Dostupností technik“ se myslí techniky, které je možné v příslušném průmyslovém odvětví zavést za přijatelných ekonomických a technických podmínek s ohledem na náklady a přínosy a jsou provozovateli zařízení dostupné za rozumných podmínek, bez ohledu na to, zda jsou používány nebo vyráběny v České republice.

Označení „nejlepší“ dále vyjadřuje nejúčinnější techniky, které dosahují vysoké úrovně ochrany životního prostředí [4].

Mezi nejlepší dostupné techniky, které jsou relevantní pro výrobu a rozvod tepla patří [5]:

- Výroba tepla pomocí kogenerace
- Využití odpadního tepla
- Přechod na obnovitelné zdroje energie
- Modernizace teplovodních sítí
- Minimalizace tepelných ztrát
- Instalace filtrů a dalších zařízení pro snížení množství vypouštěných skleníkových plynů

Teplárenská zařízení se musí o nejlepší dostupné techniky zajímat nejen z důvodu legislativní povinnosti, ale také proto, že díky nim mohou snížit své provozní náklady například efektivnějším využitím paliva a tím docílit zmenšení množství vypouštěných skleníkových plynů.

**BREF – Reference Document on Best Available Techniques – Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách** – cílem tohoto dokumentu je určit nejlepší dostupné techniky a omezit v členských zemích Evropské unie nerovnováhu v úrovni emisí z průmyslových činností. Každý BREF dokument obsahuje technické a ekonomické informace pro dané průmyslové činnosti. Bývají aktualizovány nejpozději osm let od zveřejnění předchozí verze [6].

## 2.2 Ekonomické pojmy

**Přiměřený zisk** – podle zákona č. 526/1990 Sb., o cenách (dále jen „zákon o cenách“), [7] se jedná o zisk, který je spojený s výrobou a prodejem daného zboží a odpovídá obvyklému zisku dlouhodobě dosahovanému při srovnatelných ekonomických činnostech a který také zajišťuje přiměřenou návratnost použitého kapitálu v přiměřeném časovém období.

Ve vztahu k teplárenství se jedná o zisk, který je dostatečnou odměnou pro provozovatele zařízení (motivuje ho jeho zařízení dále provozovat a investovat do něj) a zároveň nedělá výslednou cenu za tepelnou energii pro koncového zákazníka nepřiměřenou a nevybočuje z průměru regulovaných odvětví [8].

**Věcné usměrňování cen** – dle zákona o cenách, spočívá věcné usměrňování cen ve stanovování podmínek cenovými orgány pro sjednání cen. Podmínky jsou celkem tři, kdy

Energetický regulační úřad postupuje podle § 6 odst. 1 písm. c) zákona o cenách, dle kterého věcné usměrňování cen spočívá ve stanovení podmínek cenovými orgány pro sjednání cen mezi dodavatelem a odběratelem tepelné energie, přičemž tyto podmínky mají být chápány jako závazný postup při kalkulaci ceny, včetně zahrnutí přiměřeného zisku do ceny [7][9].

**Jednosložková cena** – způsob účtování tepla odběratelům, kdy jde o cenu vztaženou k jednotkovému množství tepelné energie v Kč/GJ. Náklady jsou zahrnuty v jedné části a nejsou rozděleny na fixní a variabilní náklady jako u dvousložkové ceny. Dodavatel takto neodlišuje různá připojení zákazníků mezi zákazníky [10][11][12].

**Dvousložková cena** – způsob účtování, který odděluje stálé a variabilní náklady. Ve stálé složce zaplatí zákazník za připojení k tepelné soustavě, zásobování teplem a za připravenost dodavatele tepla v požadované kvalitě a množství kdykoliv dodat. Výše stálé platby se liší podle potřeb odběratele. Jiné množství tepla a tím i dimenzování rozvodů potřebuje průmyslový objekt a jiné zase bytové domy nebo nemocnice. Variabilní složka je závislá na ceně používaného paliva pro výrobu tepelné energie a je spojena s velikostí skutečně odebraného množství tepla zákazníkem [13][14].

**Vratky** – kalkulace ceny pro odběrná místa odběratelů, která mají pozitivní zpětný vliv na soustavu zásobování tepelnou energií. Pozitivním zpětným vlivem se myslí vychlazování či také dochlazování zpátečky (vody, která se po použití vrací zpět do zdroje). Toto dochlazování zvyšuje účinnost a efektivitu soustav nebo také snižuje náklady na ztráty. Jedná se o produkt na bázi dobrovolnosti, ke kterému se má chtít odběratel sám připojit, motivován cenou. Odběratel bude poté mít nižší proměnnou složku ceny na množství odebrané tepelné energie, které splnilo požadované parametry. Naopak bude mít vyšší proměnnou složku ceny na množství odebrané tepelné energie, které nesplnilo požadované parametry. Jinými slovy bude jeho proměnná složka ceny závislá na tom, zda ochladil či neochladil zpátečku na smluvené parametry [12].

**Výroba tepla brutto** – brutto výroba tepla na zdrojích bez tepla, které je využito k výrobě elektřiny [15].

**Výroba tepla netto** – brutto výroba tepla, od které je odečtena technologická vlastní spotřeba tepla, což je spotřeba tepla na výrobu elektřiny a tepla, které je nezbytné pro zajištění procesu výroby tepla a elektřiny [15].

## 2.3 Technické pojmy

**SZTE – Systém zásobování tepelnou energií** – jedná se o soustavu tvořenou vzájemně propojenými zdroji tepelné energie a rozvodnými tepelnými zařízeními sloužící pro dodávku tepla do míst, ve kterých se spotřebovává pro vytápění, chlazení, ohřev teplé vody nebo další technologické procesy. Je provozována na základě licence na výrobu tepelné energie a licence na rozvod tepelné energie, které danému subjektu/subjektům uděluje Energetický regulační úřad [16].

**CZT – Centralizované zásobování teplem** – jde o jiné (novější) označení SZTE [17].

**ZEVO – Zařízení na energetické využití odpadu** – zařízení, ve kterém se za pomoci řízeného spalování komunálního odpadu vytváří tepelná a elektrická energie. Tím, že vytváří tepelnou a elektrickou energii neboli energeticky využívá odpad, se liší od běžných spaloven, které slouží pouze pro likvidaci odpadů. Tato zařízení doplňují koncept oběhového hospodářství, kdy se jedná o nejekologičtější způsob využití zbytkového komunálního odpadu, který už nejde dále recyklovat [18].

**KVET – Kombinovaná výroba elektřiny a tepla** – též označována jako kogenerace, představuje současnou výrobu elektřiny a tepla, čímž se zvyšuje účinnost celého zařízení. Oproti klasickým (konvenčním) zdrojům, které vypouští nevyužité teplo do prostředí, se v kombinovaných výrobnách toto odpadní teplo dále využívá. Kogeneraci lze nalézt například ve výrobnách s plynovými či parními turbínami [19][20].

(Následující definice vychází z [17])

**Předávací stanice** – tvoří ji zařízení pro úpravu parametrů teplotnosné látky na hodnoty, které jsou požadovány vnitřním zařízením. Bývá v ní taktéž instalováno měření a regulace dodávky tepla odběrateli/odběratelům.

**Vnitřní zařízení** – tvoří ho otopná soustava, soustava teplé vody, větrání, klimatizace a další.

**Primární rozvodná tepelná síť** – je to část tepelné sítě od tepelného napáječe do předávacích stanic nebo k přímým odběratelům.

**Sekundární rozvodná tepelná síť** – jde o část tepelné sítě od předávacích stanic k odběratelům (vnitřním zařízením).

**Tepelná síť** – soubor zařízení určený pro dopravu tepla od zdroje/zdrojů k odběratelům, případně sloužící k propojení zdrojů tepla mezi sebou.

**Jednotrubková tepelná síť** – potrubí sloužící pouze k tomu, aby se teplotonosná látka dostala od zdroje na místo spotřeby.

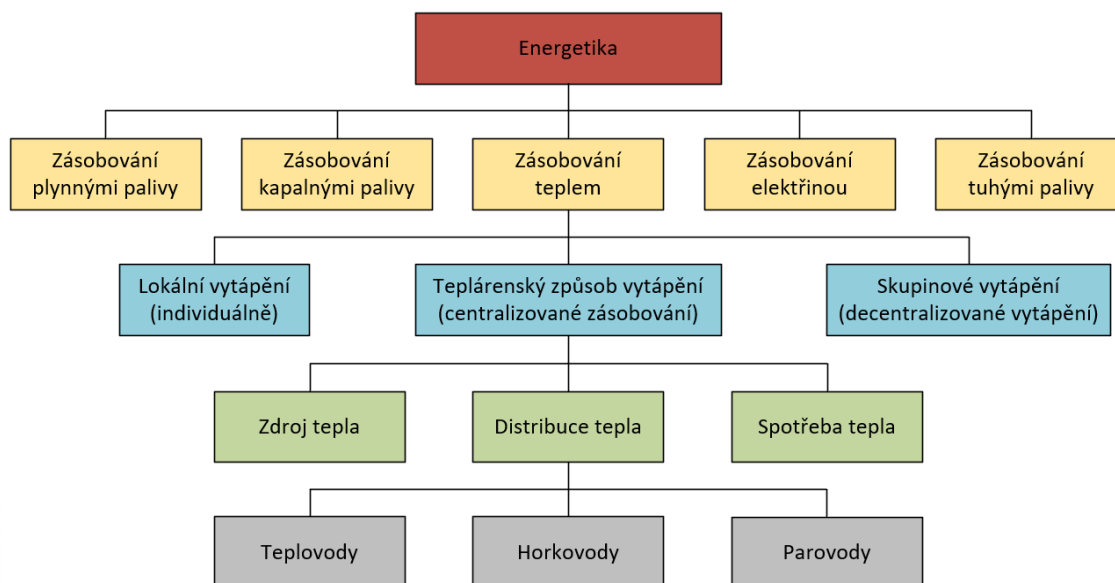
**Dvoutrubková tepelná síť** – tepelná síť, jejíž úlohou je doprava teplotonosné látky od zdroje tepla do předávacích stanic a vnitřních zařízení u spotřebitelů a následný přenos látky zpět ke zdroji tepla.

**Čtyřtrubková tepelná síť** – jedná se o starší typ rozvodu tepla, kde jsou použity dva sekundární okruhy. Jeden z okruhů je okruh s teplou vodou a další z okruhů je okruh s topnou vodou. Centrálně připravená teplá voda je tedy dopravena do předávací stanice, odkud je dále dodávána do objektu pomocí čtyř trubek [21].

**Odpadní teplo a chlad** – směrnice Evropského parlamentu a Rady 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů definuje odpadní teplo a chlad jako vedlejší produkt, který nevyhnutelně vznikl v průmyslových zařízeních nebo zařízeních na výrobu elektřiny, případně v terciárním sektoru, kde byl nebo bude použit proces kombinované výroby elektřiny a tepla, nebo kde není kombinovaná výroba elektřiny a tepla proveditelná a bez přístupu do soustavy dálkového vytápění či chlazení by se tento produkt bez využití rozptýlil do vzduchu nebo do vody [22].

### 3. TEPLÁRENSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Teplárenství nebo též tepelná energetika odpovídá definici SZTE, která byla uvedena výše, a zahrnuje tedy všechny činnosti související s výrobou a rozvodem tepla za účelem vytápění, ohřevu vody a podobně [17][23]. Zdroj [24] uvádí jeden z možných způsobů vymezení pojmu „teplárenství“ v rámci energetiky tak, jak je uvedeno na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 Jeden ze způsobů vymezení pojmu „teplárenství“ v rámci energetiky, převzato a upraveno autorem z [24]

#### 3.1 Zdroje tepla

Zdrojem tepla je zařízení, ve kterém se vyrábí teplo. Z tohoto pohledu se rozlišují výtopny nebo teplárny. Jako výtopna se označuje samostatně umístěný zdroj tepla, který dodává teplo pro průmyslové objekty nebo obce apod., do tepelných sítí, případně do předávacích stanic. Pokud dosahují výtopny pouze menších výkonů, bývají označovány jako kotelny. Na druhé straně jsou teplárny zdroje, u kterých ve sdruženém cyklu probíhá výroba tepla i elektřiny [25].

Hlavními typy odběratelů tepla jsou [24]:

- Domácnosti (panelové domy, rodinné domy)
- Občanské budovy (školy, úřady, nemocnice, obchody, služby)
- Průmyslové podniky (výrobní haly, sklady, administrativní budovy)

Podle druhu paliva, které je využíváno k produkci tepla, je možné výrobu tepla rozdělit dále na [15]:

- Biomasa
- Bioplyn
- Černé uhlí
- Hnědé uhlí
- Koks
- Jaderné palivo
- Topné oleje
- Zemní plyn
- Další kapalná paliva
- Další pevná paliva
- Další plyny

Dále se pak může brát v úvahu teplo získané z:

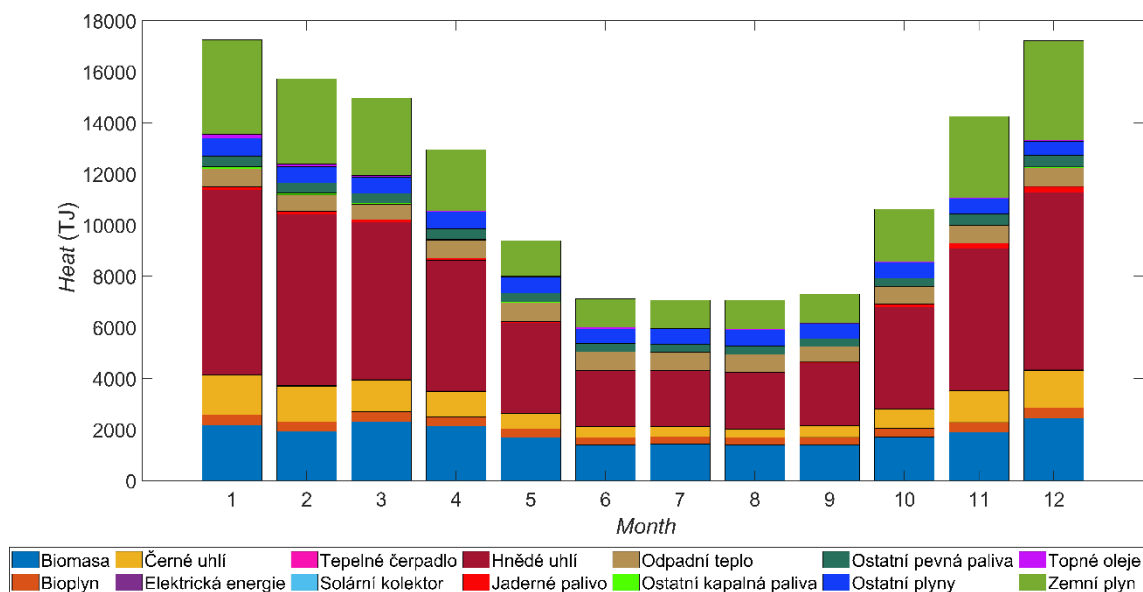
- Elektrická energie
- Tepelné čerpadlo
- Solární kolektor
- Odpadní teplo z technologických procesů

Jak je ukázáno v tabulce 3.1 níže, nejvíce tepelné energie je v České republice produkováno spalováním hnědého uhlí. Druhým nejvyužívanějším palivem k výrobě tepla je zemní plyn. Dále následuje biomasa a černé uhlí. Značné množství tepla je získáváno jako odpadní teplo.

Tabulka 3.1 Množství vyrobeného tepla brutto (TJ) z nejvyužívanějších zdrojů, převzato a upraveno autorem z [15]

<b>Druh paliva</b>	<b>Množství vyrobeného tepla (TJ)</b>
Hnědé uhlí	54 241,7
Zemní plyn	27 462,0
Biomasa	21 881,2
Černé uhlí	10 790,0
Odpadní teplo	8 189,7

Obrázek 3.2 níže zobrazuje průběh výroby tepla během roku 2023 podle paliv. Lze si povšimnout, že směrem k teplejším obdobím roku výroba tepla klesá, a to zejména kvůli zvyšujícím se venkovním teplotám a tím pádem snižující se poptávce, a naopak směrem k chladnějším měsícům výroba spolu s poptávkou roste.



Obr. 3.2 Výroba tepla brutto (TJ) v České republice z různých paliv během roku 2023, převzato a upraveno autorem z [15]

V tabulce 3.2 si lze povšimnout dalšího trendu, a to meziročního poklesu výroby tepla. Mezi roky 2022 a 2023 došlo k poklesu výroby tepla o 10 170,4 TJ. Důvody tohoto poklesu mohou být hledány v cenovém vývoji paliv nebo i v teplejším průběhu počasí.

Tabulka 3.2 Množství vyrobeného tepla brutto (TJ) v každém čtvrtletí roku 2023 a 2022, převzato a upraveno autorem z [15][26]

	Rok 2023	Rok 2022	Pokles (%)
I. Čtvrtletí	47 947,3	51 649,9	7,2
II. Čtvrtletí	29 448,8	30 879,7	4,6
III. Čtvrtletí	21 427,8	24 271,0	11,7
IV. Čtvrtletí	42 099,2	44 292,9	5
<b>Celkem</b>	<b>140 923,1</b>	<b>151 093,5</b>	<b>6,7</b>

S rostoucí snahou Evropské unie chránit životní prostředí a snižovat množství vypouštěného oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do prostředí však dochází k čím dál intenzivnějšímu tlaku na snižování množství využívaných fosilních paliv ve všech oblastech průmyslu, dopravě i teplárenství. Teplárny, jako významný spotřebitel fosilních paliv, jsou z toho důvodu nuceny hledat vhodné náhrady za tyto druhy paliv a připravovat se na období, do kterého chce Evropská unie dosáhnout čisté, bezemisní energetiky. Tento přechod je viditelný v tabulce 3.3 níže.

Následující tabulka 3.3 zobrazuje přehled hlavních teplárenských oblastí v České republice. Výrobní zařízení, která jsou součástí tohoto výběru, byla vybrána zejména z důvodu dostupnosti dohledatelných relevantních informací. V tabulce jsou uvedeny

názvy jednotlivých teplárenských zdrojů a názvy měst nebo oblastí, které využívají služby daného teplárenského zdroje. Je v ní také uveden druh výroby a typ používaného paliva, které daný teplárenský zdroj v současnosti využívá. Zároveň tabulka uvádí i délky přepravních sítí (parovodů, horkovodů a teplovodů – více informací k přepravě tepla je uvedeno v kapitole 3.3 Přeprava tepla), kterými centrální systém zásobování tepelnou energií v dané lokalitě disponuje.

Tabulka 3.3 Hlavní teplárenské lokality v České republice, převzato a upraveno autorem z [27][28][29][30][31][32][33][34][35][36][37][38][39][40]

Název města/oblasti	Teplárenský zdroj	Délka parních sítí (km)	Délka horkovodních sítí (km)	Délka teplovodních sítí (km)	Druh výroby	Používané palivo
	teplárna Špitálka	156	171	141	paroplynová teplárna	zemní plyn
Brno	teplárna Červený mlýn	-	-	-	paroplynová teplárna	zemní plyn
	spalovna SAKO	-	-	-	spalovna odpadů	komunální odpad
České Budějovice	teplárna České Budějovice	97	23	44	parní uhelná elektrárna spolu s kotlem na biomasu a dvěma kotly na zemní plyn	hnědé uhlí, biomasa, zemní plyn
	Temelín	-	-	-	jaderná elektrárna	jaderné palivo
Hradec Králové, Pardubice	teplárna Opatovice	0	194	122	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
					postupný přechod na paroplynovou výrobu a energetické využití odpadu	přechod na zemní plyn a komunální odpad
					výhled na možné využití biomasy	biomasa

Pokračování tabulky 3.3

Název města/oblasti	Teplárenský zdroj	Délka parních sítí (km)	Délka horkovodních sítí (km)	Délka teplovodních sítí (km)	Druh výroby	Používané palivo
Chomutov, Klášterec nad Ohří, Kadaň	elektrárna Pruněřov II Tušimice II	-	-	-	parní elektrárna s odběrem tepla	hnědé uhlí
Chvaletice	elektrárna Chvaletice	-	-	-	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
Karlovy Vary	teplárna Vřesová	-	-	-	paroplynová elektrárna	zemní plyn
Kladno	teplárna Kladno	1	16	0	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
					elektrárna na biomasu	biomasa
Most, Litvínov	teplárna Komořany	-	-	-	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
Olomouc	teplárna Olomouc	48	55	6	postupný přechod na paroplynovou výrobu a kotel na biomasu	přechod na zemní plyn a biomasu
					parní uhelná elektrárna	hnědé a černé uhlí

Pokračování tabulky 3.3

Název města/oblasti	Teplárenský zdroj	Délka parních sítí (km)	Délka horkovodních sítí (km)	Délka teplovodních sítí (km)	Druh výroby	Používané palivo
Ostrava	elektrárna Třebovice	54	129	162	parní uhelná elektrárna	černé uhlí
					postupný přechod na paroplynovou výrobu	přechod na zemní plyn
	teplárna Přívoz	-	-	-	parní teplárna	koksárenský plyn zemní plyn
Plzeň	teplárna Plzeň	2	181	74	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí, biomasa
	Chotíkov	-	-	-	spalovna odpadů	komunální odpad
Praha	elektrárna Mělník I	-	-	-	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
Táborsko	C-energy Planá nad Lužnicí	-	-	-	elektrárna na biomasu	biomasa

Pokračování tabulky 3.3

Název města/oblasti	Teplárenský zdroj	Délka parních sítí (km)	Délka horkovodních sítí (km)	Délka teplovodních sítí (km)	Druh výroby	Používané palivo
Ústí nad Labem	teplárna Trmice	-	-	-	parní uhelná elektrárna	hnědé uhlí
					postupný přechod na paroplynovou výrobu a kotel na biomasu	přechod na zemní plyn a biomasu
Zlín	teplárna Zlín	72	71	0	parní uhelná elektrárna	hnědé a černé uhlí
					elektrárna na biomasu	biomasa
					bioplynová elektrárna	bioplyn

Z tabulky 3.3 výše lze pozorovat, že již velká část zdrojů přešla nebo přechází na čistější druhy paliv jako je biomasa nebo zemní plyn. Náhrada uhlí za zemní plyn představuje však pouze přechodné řešení, protože se snahou Evropské unie být do roku 2050 klimaticky neutrální se pojí i vyloučení zemního plynu ze seznamu paliv určených pro výrobu elektřiny a tepla. Problémem v transformaci současných zdrojů tepla, které spalují uhlí, na plyn, je obtížná dostupnost připojení k soustavám zemního plynu nebo jeho omezená (nedostatečná) kapacita v daném místě [41].

Zdroj [41] nicméně ale hovoří také o tom, že u tepláren nad 50 MW<sub>t</sub> je však možné uvažovat pouze o modernizaci na spalování zemního plynu nebo na spalování zemního plynu a biomasy. Výstavba či rekonstrukce zařízení pro výhradní používání biomasy je možná pouze v případě její dobré dostupnosti v okolí, a i přesto je obtížné zajistit (přepravit a skladovat) dostatečně velké množství biomasy, které vyváží dosažené snížení emisí. Limitovaná dostupnost a velké přepravní vzdálenosti biomasy výhody tohoto paliva značně omezují. U tepláren nad 300 MW<sub>t</sub> je prakticky možné mluvit pouze o rekonstrukci na spalování plynu nebo využití biomasy jen jako doplňku ze stejných důvodů, které jsou zmíněny výše.

Následující tabulka 3.4 zobrazuje technické a ekonomické ukazatele vybraných zdrojů tepla v České republice.

Tabulka 3.4 Technické a ekonomické ukazatele vybraných zdrojů tepla v ČR [29][13][14][39][42][43][33][44][45][46][47][48][49][50]

Název zdroje	Typ zdroje	Významné investice v roce 2023	Roční prodej tepla (TJ)	Cena za 1 GJ bez DPH (Kč/GJ) (rok 2024)	Zisk výroby před zdaněním (mil. Kč)	Tržby z prodeje tepla (mil. Kč)	Množství produkovaných emisí (tCO <sub>2</sub> eq)			
							2023	2022	2021	2020
Elektrárna Komořany	KVET	Výstavba nové parní turbíny jako součást paroplynového zdroje	1 442	593,62	549,3	-	511 891	922 607	826 466	590 896
Elektrárna Opatovice	KVET	Rekonstrukce sítí	2 936	458,70	173,788	1 471	953 248	1 466 281	1 691 752	1 455 373
C-energy Planá nad Lužnicí	KVET	Investice do horkovodních vedení	702,019	530,69	990,430	-	50 897	47 434	106 473	125 480
Plzeňská teplárenská	KVET	Rekonstrukce elektroodlučovače								
		Investice do horkovodních vedení	2 915	438,6	814,859	1 549	270 268	414 860	393 402	399 137
		Obnova technologií předávacích stanic								

## Pokračování tabulky 3.4

Název zdroje	Typ zdroje	Významné investice v roce 2023	Roční prodej tepla (TJ)	Cena za 1 GJ bez DPH (Kč/GJ) (rok 2024)	Zisk výroby před zdaněním (mil. Kč)	Tržby z prodeje tepla (mil. Kč)	Množství produkovaných emisí (tCO <sub>2</sub> eq)			
							2023	2022	2021	2020
SAKO Brno	KVET	Obnova chemické úpravní vody		-	326,707	248,533	-	-	-	-
Teplárny Brno – provoz Špitálka	KVET	Investice do horkovodních vedení					43 528	69 810	84 263	61 991
Teplárny Brno – provoz Brno-Sever	KVET	Investice do horkovodních vedení					3 037	208	6 481	5 542
Teplárny Brno – provoz Staré Brno	Teplárna	Investice do horkovodních vedení	3 163,272				-	-	-	-
Teplárny Brno – provoz Červený mlýn	KVET	Investice do horkovodních vedení		1 090	500,126	4 256, 938				
		Realizace bateriového systému akumulace elektrické energie pro poskytování SVR					119 417	145 680	149 417	148 010

Lze si povšimnout, že kromě provozu Brno – Sever jsou všechny ostatní zdroje provedeny jako kombinované výroby elektřiny a tepla. Cena za 1 GJ tepla je na uvedených zdrojích podobná, až na cenu za 1 GJ v Brně. Cena za 1 GJ v Brně je takto odlišná kvůli vysoké závislosti Brna na zemním plynu. Podle [45] pochází 80 % veškeré výroby právě z plynu.

Tabulka 3.4 dále ukazuje zisk vyroben před zdaněním v roce 2023. Zisk je hlavním smyslem podnikání a představuje rozdíl mezi výnosy a náklady neboli rozdíl mezi tím, co bylo prodejem zboží získáno a tím, co bylo potřeba do výroby vložit [51]. Jsou tu uvedeny i tržby vyroben z prodeje tepla. Tržba představuje souhrn všech finančních prostředků přijatých danou firmou za prodané zboží nebo služby v určitém časovém období [52].

V tabulce 3.4 jsou též uvedeny významné investice daného výrobního zdroje. Tyto významné investice v řádech desítek milionů korun se týkají obnovy technologie nebo rekonstrukce přepravních sítí ve snaze zvýšit účinnost a tím využitelnost paliva. Taktéž si lze v tabulce povšimnout části „množství produkovaných emisí“, kde lze vidět pokles emisí v roce 2023 oproti roku 2020. Emise jsou zde vyjádřeny pomocí jednotky  $tCO_2eq$  neboli v tunách ekvivalentu oxidu uhličitého. Jde o jednotku používanou k porovnání emisí vzniklých z různých skleníkových plynů na základě jejich schopnosti podílet se na globálním oteplování. Ostatní skleníkové plyny jsou tedy přepočítávány na ekvivalentní množství oxidu uhličitého se stejnou schopností podílet se na globálním oteplování [53].

Jedním z projektů, který snížil množství využívaných fosilních paliv, byl projekt na dodávání tepla z jaderné elektrárny Temelín do Českých Budějovic. Jedná se o třetí nejdelší horkovod v České republice, který byl dokončen v říjnu roku 2023 a tvoří ho dvě předizolovaná potrubí, každé o délce 26 kilometrů. Voda do horkovodu je ohřívána párou z turbosoustrojí a poté pomocí čerpadel čerpána do Českých Budějovic a zpět. I na takové vzdálenosti je předpokládána tepelná ztráta kolem 3 % (v zimním období) [54]. Tisková zpráva ČEZ [55] uvádí, že i přes výrobu tepla z páry z turbosoustrojí je dopad na výkon přibližně 0,5 %.

Obdobný projekt s dodávkou tepla z jaderné elektrárny se plánuje na trase mezi jadernou elektrárnou Dukovany a Brnem, který by měl být hotov mezi lety 2030 a 2031. Také u této stavby se jedná o vybudování horkovodu, v tomto případě o délce 42 km, který má snížit závislost na dováženém plynu. Předpokládá se, že by elektrárna měla do Brna ročně dodat 2000 TJ tepla. Otázkou v současné chvíli zůstává, jakým způsobem bude ovlivněna, kvůli odběru páry z turbín, produkce elektřiny v jaderné elektrárně [56][57].

Častým tématem v ochraně životního prostředí je také zpracování komunálního odpadu, které souvisí se zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech, který od roku 2030 zakazuje na skládku ukládat odpady, které je možné účelně recyklovat [58]. To vytváří příležitost k vybudování dalších zařízení pro energetické využití odpadu v České republice. Kromě již čtyř existujících zařízení pro energetické využití směšného

komunálního odpadu v Brně, Plzni, Liberci a Praze je v současné době dalších několik větších projektů v přípravě. Mezi tyto projekty patří například modernizace ZEVO Brno a výstavba ZEVO v lokalitě Mělník, Písek, Planá, Vráto a Opatovice [59].

## **3.2 Další potenciální zdroje tepla**

(následující část je založena na informacích z [59])

Jak již bylo zmíněno výše, zemní plyn se postupem času stane hlavním palivem využívaným v teplárenství, ale kvůli dalšímu snižování emisí bude v budoucnu nahrazen jinými nízkoemisními zdroji. S ohledem na tuto dekarbonizaci probíhající i v teplárenství příkládá Národní plán obnovy významný potenciál malým modulárním reaktorům nebo využití geotermální energie.

### **3.2.1 Malé modulární reaktory**

Již v listopadu 2023 byl vládou schválen Plán pro malé a střední reaktory v České republice, který pojednává o uplatnění lehkovodních SMR reaktorů na území České republiky nejen pro výrobu elektřiny a předcházení tak předpokládanému nedostatku elektrické energie do roku 2050, ale i pro výrobu tepla jako náhrady uhelných zdrojů [60]. Díky možnosti umístění SMR blíže k místům spotřeby dochází ve výsledku k usnadnění distribuce tepla, snížení ztrát při rozvodu a zvýšení celkové účinnosti a spolehlivosti. Zmíněný Plán hovoří o umístění SMR do lokalit současných uhelných elektráren, lokalit současných jaderných zdrojů v Temelíně a Dukovanech a lokalitách bez významných teplárenských zdrojů, nicméně s potenciálem jejich vytvoření. Jako vhodné lokality uvádí Mělník, Ledvice, Opatovice, Pruněrov, Tušimice a další.

### **3.2.2 Geotermální energie**

(následující část je založena na informacích z [61])

Geotermální energie, též označovaná zkratkou GTE, představuje další z možných zdrojů energie, o kterých se hovoří v rámci přechodu od fosilních paliv. Jedná se o získávání tepla zpod povrchu země. Mezi nejdostupnější geotermální zdroje patří takzvané mělké geotermální zdroje. V České republice využívají mělké geotermální zdroje vrtů kolem 200 metrů, ale jiné evropské země uvažují mělké zdroje do hloubky přibližně 400 metrů. Dalším řešením je využívání větších hloubek. Výhodou větších hloubek vrtů je následná vysoká účinnost a výkon. Na druhé straně jsou jejich nevýhodou vyšší investiční náklady.

Geotermální energie je značně využívána například na Islandu nebo na Novém Zélandu, kde jsou ideální podmínky pro její využití, čímž lze zajistit většinové pokrytí dodávek tepla a značný podíl elektřiny. Na Islandu pochází až 85 % tepelné energie právě z geotermálních zdrojů. Na Novém Zélandu se jedná o přibližně 17 %. V České republice se nachází pouze jediný významnější geotermální zdroj využívaný průmyslově, a to v Děčíně.

Mezi hlavní výhody geotermální energie patří například její dostupnost na kterémkoliv místě, nezávislost na klimatických podmínkách nebo střídání dne a noci. Jedná se též o relativně dobře říditelný zdroj, jehož dodávku lze regulovat podle potřeby, a který není závislý na dodávkách paliva. Další výhodou je i jeho vysoká bezpečnost provozu. Pro teplárenství je velkou výhodou zmíněná dostupnost na kterémkoliv místě a tím možnost zkrácení rozvodů SZTE. Toto tvrzení však přináší i jistá omezení, kdy je potřeba brát v úvahu již zastavěná území nebo chráněné krajinné oblasti, ve kterých takové zařízení nelze vybudovat. Omezením pro výstavbu takového zařízení je i potřebná hloubka vrtu v dané lokalitě, poloha oblasti v záplavovém území nebo v území s nestabilním podložím a rizikem sesuvů půdy. Využití potenciálu geotermální energie neulehčuje ani legislativa, ve které není zakotven jednotný proces pro povolování využití geotermálních zdrojů.

### 3.2.3 Vodík

(následující část je založena na informacích z [62])

Vodík je další palivo, které má sloužit jako jeden z hlavních nástrojů pro dosažení dekarbonizace dopravy, průmyslu, služeb, energetiky a dalších sektorů, protože jeho využitím vzniká pouze vodní pára. Ačkoliv se o něm mluví často v souvislosti s dopravou, tak se jeho potenciál projevuje i v energetice. V energetice je spojen se službami výkonové rovnováhy jako další vhodný způsob ukládání přebytečné elektrické energie, generované zejména z obnovitelných zdrojů.

Podle [62] se očekává využití vodíku i pro vytápění, nicméně jeho využití nebude možné do doby, než bude zajištěna kontinuální dodávka vodíku během celého roku a nákladově přijatelné způsoby sezónního skladování. Tato limitace je dána sezónností výroby tepla, které je potřeba hlavně v zimních měsících, a sezónností výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, která je největší hlavně v letních měsících. Největší výroba vodíku z přebytečné elektrické energie je tedy v létě, ovšem jeho největší využití pro vytápění je v zimě, čímž jdou proti sobě.

S tím, jakým způsobem Evropská unie vymezila podporované typy výroby a spotřeby vodíku, se Vodíková strategie České republiky zaměřuje především na podporu obnovitelného vodíku. Obnovitelný vodík je legislativou definován jako obnovitelné palivo nebiologického původu, které je možné vyrobit pouze elektrolýzou použitím elektřiny z obnovitelných zdrojů s výjimkou biomasy. Jelikož je tedy potřeba obnovitelných zdrojů pro jeho výrobu, nemůže Česká republika konkurovat státům, které mají vyšší podíl obnovitelných zdrojů a lepší klimatické podmínky pro jejich fungování. Jeho dalším omezením je v současné chvíli tedy i to, že je dražší v porovnání s fosilními palivy. Zdroj [62] nicméně hovoří o tom, že v budoucnu lze předpokládat růst cen fosilních paliv, další výzkum i vývoj v oblasti vodíkového hospodářství, na základě čehož lze očekávat lepší konkurenceschopnost vodíku.

Na budoucí využívání vodíku se připravuje například Německo, které v roce 2024 představilo plán na výstavbu dalších několika nových plynových elektráren, které jsou typu „H2-ready“. Elektrárny typu „H2-ready“ jsou elektrárny, které mají být provozovány na zemní plyn pouze dočasně a poté být převedeny na spalování vodíku, až bude dostupný ve velkých objemech [63]. Nicméně je vhodné zmínit, že tato „H2-Readiness“ je u takovýchto elektráren dána typem použité turbíny. Podle [64] se dělí na úrovně A, B a C, kde tyto úrovně pojednávají o procentuálním zastoupení vodíku v objemu spalovaného zemního plynu, který je turbína schopna zvládnout. Úroveň C odpovídá až 10 % vodíku v objemu zemního plynu, úroveň B až 25% zastoupení a úroveň A odpovídá 100 %. V případě úrovně A ovšem zdroj [64] informuje také o tom, že faktický objem vodíku pro tuto úroveň je ve skutečnosti 95 % a více.

### 3.3 Přeprava tepla

V kapitole 2.3 byl definován pojem systému zásobování tepelnou energií, který tvoří mimo jiné i rozvodná tepelná zařízení. Obrázek 3.1 v kapitole 3 dále říká, že distribuční část tepla lze rozdělit na distribuci pomocí parovodů, teplovodů nebo horkovodů.

(následující část je založena na informacích z [17][24])

**Parovody** – jak již název vypovídá, jedná se o potrubí přenášející teplo v páře. Zdroj [24] uvádí, že vyrobená pára je dodávána do sítě parovodů při maximálních parametrech do 1,5 MPa a 240 °C. Soustavu tvoří přívodní parní potrubí a vratné kondenzátní potrubí doplněné o přečerpávací stanice kondenzátu a redukční stanice. V současné době se jedná již o zastaralý způsob přenosu tepla kvůli jejich nízké účinnosti, která se pohybuje okolo 80 % [40].

**Teplovody** – jde o soustavu dopravující teplo v teplé vodě. Parametry teploty látky na výstupu ze zdroje jsou do teploty 110 °C a tlaku maximálně 1,6 MPa.

**Horkovody** – soustava dopravující teplo ve vodě s maximální teplotou do 180 °C. Tlak může mít hodnotu maximálně 2,5 MPa.

Následující tabulka 3.5 uvádí přibližné velikosti ztrát, kterých mohou jednotlivé typy rozvodů dosahovat.

Tabulka 3.5 Velikosti ztrát v jednotlivých typech rozvodů, převzato a upraveno autorem z [40][65][24]

	<b>Parní rozvody</b>	<b>Teplovodní rozvody</b>	<b>Horkovodní rozvody</b>
<b>Ztráty (%)</b>	20-30	5-15	5-15

Z důvodu malé účinnosti parních rozvodů jsou významné investice prováděny právě v oblastech rekonstrukcí rozvodů tepla. Přejít na rozvody s nižší teplotou snižuje ztráty v rozvodech a parovody jsou z tohoto důvodu přestavovány na horkovodní nebo teplovodní rozvody, pokud tedy některý technologický proces přímo nevyžaduje potřebu páry. Tyto investice poté snižují velikost neúčinně vyrobeného tepla [41].

Zmíněnou snahu převádět parovody na teplovodní nebo horkovodní soustavy lze vidět v tabulce 3.6 níže.

Tabulka	3.6 Délka rozvodů tepla (km), převzato a upraveno autorem z [41][59]						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Parní rozvody</b>	1 470,6	1 452,2	1 425,71	1 415,43	1 374,45	1 360,37	1 348,89
<b>Teplovodní rozvody</b>	3 509,1	3 439,8	3 449,09	3 454,98	3 441,96	3 461,68	3 473,44
<b>Horkovodní rozvody</b>	2 732,8	2 602,5	2 633,16	2 646,46	2 642,25	2 657,2	2 685,93
<b>Celková délka</b>	7 712,5	7 494,5	7 507,96	7 516,87	7 458,66	7 479,25	7 508,26

Je si možno povšimnout, že z přibližné celkové délky 7 500 km rozvodů tepla (k roku 2020) činily parovody zhruba 1 350 km, teplovodní soustavy 3 470 km a horkovody 2 660 km.

Analýza Teplárenského sdružení České republiky uvádí, že je možné provést rekonstrukci až 754 km parních sítí na horkovodní či teplovodní. Zbývající délka parovodů je určena pro dodávku páry pro průmysl, a proto nemůže být rekonstruována na teplovody, případně horkovody, jak již bylo zmíněno výše. Dále je uveden předpoklad, kdy by do roku 2040 mělo být nahrazeno až 640 km parovodů [59].

Tento přechod na účinnější soustavy je prosazován evropskou legislativou opět za účelem účinnější spotřeby primární energie. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2023/1791 o energetické účinnosti a o změně nařízení 2023/995 v článku 26 „Dodávky vytápění a chlazení“ stanovuje kritéria, která musí systém dálkového vytápění a chlazení splňovat. Tyto požadavky jsou shrnuty v tabulce 3.7 níže.

Tabulka 3.7 Požadavky na systém dálkového vytápění a chlazení, aby se jednalo o účinný systém dálkového vytápění a chlazení, převzato a upraveno autorem z [61][66]

Období	Množství energie z OZE (%)	Množství energie z odpadního tepla (%)	Množství energie z OZE nebo odpadního tepla (%)	Množství energie z KVET (%)	Další
Do 31.12.2027	50	50	-	75	50 % kombinace tepla z OZE, odpadního tepla a tepla z KVET
Od 1.1.2028	50	50	50	80 (vysokoučinná KVET)	Minimálně 50 % kombinace tepla z OZE, odpadního tepla nebo tepla z vysokoúčinné KVET, přičemž podíl z OZE nejméně 5 %
Od 1.1.2035	50	50	50	-	Minimálně 80 % kombinace tepla z OZE, odpadního tepla nebo tepla z vysokoúčinné KVET, přičemž podíl z OZE nebo odpadního tepla nejméně 35 %
Od 1.1.2040	75	75	75	-	Minimálně 95 % kombinace tepla z OZE, odpadního tepla nebo tepla z vysokoúčinné KVET, přičemž podíl z OZE nebo odpadního tepla nejméně 35 %
Od 1.1.2045	75	75	75	-	-
Od 1.1.2050	100	100	100	-	-

K tomu, aby se dal systém dálkového vytápění a chlazení tedy označit jako „účinný“, musí v daném období splňovat alespoň jednu z podmínek uvedených v tabulce 3.7. Z tabulky si lze povšimnout, že s časem rostou požadavky na zastoupení (využívání) obnovitelných zdrojů a odpadního tepla v soustavě. Naopak klesá možnost splnit podmínku „účinného systému dálkového vytápění“ využitím KVET, jejíž možnost využití odpadá v roce 2045.

### 3.3.1 Materiálová vybavenost teplovodních soustav

(následující část je založena na informacích z [40][67])

Základ přenosu tepelné energie tvoří potrubí a izolace, nad kterou je dále umístěna ochranná vrstva chránící potrubí a izolaci proti mechanickému poškození a tepelným vlivům (nátěry, chráničky). Tyto prvky jsou voleny podle velikosti odběrů v daných lokalitách, způsobu uložení a velikosti investičních nákladů.

Materiály používané pro teplovody bývají nejčastěji z nerezové oceli, které mívají navíc protikorozní ochranu z vrstvy vysokohustotního polyethylenu. V produktovém katalogu [67] výrobce předizolovaného potrubí lze však pro teplonosné (i chladonosné) potrubí najít i jiné materiály, které jsou voleny v závislosti na použití tohoto potrubí.

Jako ochranná vrstva je používána buď plášťová trubka z vysokohustotního polyethylenu, která bývá využívána pro podzemní rozvody, ze spirálovitě překládaného ocelového pozinkovaného plechu, nebo hliníkového spirálovitě překládaného plechu, který se používá pro nadzemní rozvody.

Prostor mezi teplonosnou trubkou a plášťovou (ochrannou) trubkou je vyplněn izolačním materiálem. Na tyto izolační materiály je kladeno několik požadavků:

- Nízká tepelná vodivost – pro snížení tepelných ztrát
- Vysoká životnost
- Přijatelná hmotnost – schopnost bezpečného provozu bez nadměrného mechanického zatížení
- Malá hořlavost
- Mechanická tvarovatelnost
- Přijatelná cena

Používanými materiály pro izolace jsou materiály na bázi minerálních a skelných vat. Minerální vaty jsou nehořlavé, tvarově stabilní, lehké, stálé v širokém rozsahu teplot, ale jsou hůře tvarovatelné kvůli větší hustotě. Vlna s příměsí křemíku je dalším typem, který má výbornou žáruvzdornost a odolnost, ale vysokou pořizovací cenu. Další typ představuje polyuretanová pěna (PUR), která má nízkou tepelnou odolnost, avšak velmi dobré izolační vlastnosti. Obdobné vlastnosti mají i kaučuk a polyethylenové pěny. Dále lze zmínit pěnové sklo, které má velmi vysokou tepelnou stabilitu, nízkou tepelnou vodivost a je nehořlavé.

Shrnutí materiálů používaných izolací spolu s provozní teplotou je uvedeno v tabulce 3.8 níže.

Tabulka 3.8 Izolační materiály a jejich provozní teploty, převzato a upraveno autorem z [40]

<b>Materiál</b>	<b>Provozní teploty (°C)</b>	<b>Tepelná vodivost (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)</b>
Minerální vata	250-800	0,04-0,31
Skelná vata	<450	0,05-0,31
Keramická vata	<1650	0,04-0,45
Pěnové sklo	-270-430	0,06-0,10
Kaučuk	-200-150	0,04-0,45
PE pěna	<105	0,04
PUR pěna	-200-140	0,02-0,09

## 4. HODNOCENÍ EFEKTIVITY INVESTIC

Hodnocení efektivity investic lze dělit na hodnocení ekonomického charakteru a neekonomického charakteru. Hodnocení ekonomické efektivity investic je hlavní částí celého investičního rozhodování. Je třeba posoudit, zda se daná investice vyplatí a zajistí základní finanční cíl podnikání neboli bude generovat požadovaný výnos (maximalizuje tržní hodnotu podniku). Mezi kritéria neekonomického charakteru patří sociální kritéria, dopad na životní prostředí a podobně. Jinými slovy lze tedy efekt z investice rozdělit na peněžně vyjádřitelný a peněžně nevyjádřitelný [68]:

**Finanční efektivita** – vyhodnocení návratnosti investic, doby návratnosti, čisté současné hodnoty nebo vnitřního výnosového procenta.

**Sociální a ekologická efektivita** – zlepšení kvality života, snížení emisí.

Investici lze v teplárenství považovat za efektivní, pokud vykazuje prvky modernizace, ekonomické návratnosti, zvýšení účinnosti, snížení environmentálních dopadů (emise, hluk) nebo dosažení úspor (stabilizace ceny tepla nebo její snížení) [69].

V České republice je možné podnikat v energetických odvětvích na základě zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, kdy se tomuto zákonu taktéž zkráceně říká energetický zákon. Podnikání je umožněno pouze na základě licence, kterou pro dané území vydá Energetický regulační úřad (bližší informace k ERÚ byly uvedeny v kapitole 2.1 Právní pojmy). Licence je tedy vyžadována pouze v případě, že činnost subjektu působí jako podnikání, tedy jedná se o soustavnou výdělečnou činnost za účelem dosažení zisku [41].

Metodika hodnocení efektivity investic vychází z metodiky pro hodnocení efektivity investic v teplárenství Energetického regulačního úřadu a dotýká se všech subjektů, které mají licenci. Metodika se tedy v teplárenství týká několikanásobně většího počtu držitelů licence, než je tomu v elektroenergetice a plynárenství [69].

Metodika pro ERÚ znamená větší přehled o budoucím vývoji investic v teplárenství a s nimi spojenými náklady, které poté vstupují do tvorby ceny tepla.

Rozdělení investic [69]:

- **Investice do obnovy** – investice prováděné za účelem obnovy stávající infrastruktury a tím zlepšení kvality služeb.
- **Investice do kvantitativního rozvoje** – investice vykonávané se záměrem zajistit vyšší kapacitu připojení vyvolané potřebou připojení nových zákazníků.
- **Investice do kvalitativního rozvoje** – investice s cílem dosáhnout strategických cílů České republiky a Evropské unie, kterými jsou například zvyšování nároků na ochranu životního prostředí, zvyšování účinnosti a tím dosažení vyšších úspor.

U hodnocení ekonomické efektivity investic je potřebné zhodnotit, zda bude u investice respektován či nerespektován faktor času. Rozhodování o provedení investice je samo o sobě charakteristické dlouhodobým časovým horizontem, obzvláště pak v sektoru energetiky, a proto jsou upřednostňována dynamická kritéria neboli ta, která respektují faktor času [68].

V následující části budou uvedeny ukazatele efektivity investic:

**NPV – Net Present Value – Čistá současná hodnota** – jedná se o ukazatel efektivity investičních projektů, který respektuje faktor času a pracuje s celkovým peněžním příjmem z investice (nejen se ziskem). Vyjadřuje množství peněžních příjmů nebo výdajů, které za zvolenou dobu hodnocení investice daná investice vytvoří [70]. Projekt je považován za přijatelný, pokud je NPV větší než nula. NPV je definováno vztahem [71]:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i} - C_0, \quad (4.1)$$

kde

$NPV$  je čistá současná hodnota,

$n$  je doba hodnocení investice,

$CF_i$  je cashflow v jednotlivých letech,

$k$  je diskontní sazba,

$C_0$  jsou celkové počáteční investiční náklady.

**IRR – Internal Rate of Return – Vnitřní výnosové procento** – jde o kritérium, které pracuje s celkovým peněžním příjmem z investice při respektování faktoru času. Jde o úrokovou míru, při které je NPV rovna nule. Investice je potom přijatelná, pokud je IRR větší než požadovaná výnosnost (úrokové sazby). Hodnocení pomocí IRR nám říká, kolik procent provedenou investicí vyděláme. IRR lze získat ze vztahu [72]:

$$\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0 = NPV = 0, \quad (4.2)$$

kde

$IRR$  je vnitřní výnosové procento,

$T$  je doba hodnocení,

$C_t$  je cashflow v jednotlivých letech,

$C_0$  jsou celkové počáteční investiční náklady,

$NPV$  je čistá současná hodnota.

**PI – Profitability Index – Index ziskovosti** – představuje poměr přínosů a počátečních kapitálových výdajů. Projekt může být realizován, pokud je index ziskovosti větší než 1. (Ve vzorci si lze povšimnout, že pokud  $PI \geq 1$ , tak je i  $NPV$  kladná). Současně čím je index rentability investice větší než 1, tak tím více je projekt ekonomicky výhodnější. Bývá ním doplňováno rozhodování založené na  $NPV$ . Je taktéž významný pro hodnocení a výběr investic podniku, který si připravil více projektů, ale není schopen realizovat všechny kvůli nedostatku finančních prostředků. Index ziskovosti je dán vztahem [71]:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i}}{C_0}, \quad (4.3)$$

kde

$PI$  je index ziskovosti,

$n$  je doba hodnocení investice,

$CF_i$  je cashflow v jednotlivých letech,

$k$  je diskontní míra,

$C_0$  jsou celkové počáteční investiční náklady.

**PP – Payback Period – Doba návratnosti** – vyjadřuje dobu, za kterou splatí peněžní příjmy z investice kapitálový výdaj. Jedná se však o statickou metodu, která nerespektuje faktor času. I přes to se používá pro prvotní předběžné posouzení investice. Toto kritérium označuje investici za přijatelnou, pokud je doba návratnosti kratší, než je doba životnosti investice a lze jej vyjádřit vztahem [73]:

$$PP = \frac{IC}{R}, \quad (4.4)$$

kde

$PP$  je doba návratnosti,

$IC$  je velikost investičních nákladů,

$R$  je roční výnos.

U všech výše zmíněných ukazatelů používaných k hodnocení investičních variant se volí doba hodnoceného období investice v závislosti na minimální době živostnosti daného zařízení. Pro investice, ve kterých se nachází zařízení s různými délkami minimální doby živostnosti, zdroj [69] uvádí, že se má zvolit doba nejdelší. Zařízení s kratší dobou živostnosti poté započtou do nákladů investice potřebné na jejich obnovu v letech, které odpovídají koncům jejich minimální doby živostnosti.

Pokud je při přípravě investice hodnoceno více investičních variant, tak tyto varianty mohou vést k různé míře spolehlivosti nebo se mohou lišit v míře připravenosti na nejistoty, které souvisí s budoucím vývojem. Součástí mohou být taktéž varianty, které přináší negativní závěrečné hodnocení [69].

## 5. SIMULACE CENTRÁLNÍHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM

System centrálního zásobování teplem byl představen již v kapitole 2.3 jako soustava, která je tvořena vzájemně propojenými zdroji tepelné energie a rozvodnými tepelnými zařízeními sloužícími pro dodávku tepla do míst, ve kterých se spotřebovává pro vytápění, chlazení, ohřev teplé vody nebo další technologické procesy. V této kapitole bude představena a popsána simulace takového systému, která byla vytvořena v programovacím jazyce Python s využitím knihovny „pandapipes“, která je určena pro simulování potrubních systémů, a asistencí Claude AI [74][75].

Před samotným spuštěním kódu je potřebné do vývojového prostředí pro Python nainstalovat knihovny, které rozšiřují funkčnost Pythonu a které vytvořený kód používá. Pro instalaci knihovny „pandapipes“ stačí do konzole v programu vložit příkaz:

```
pip install pandapipes
```

Dále je potřebné nainstalovat balíček GLPK. Pokud bylo vývojové prostředí Pythonu získáno prostřednictvím Anaconda Distribution, tak pro jeho instalaci stačí v Anaconda Navigator stáhnout program „anaconda\_prompt“, do kterého je potřebné vložit příkaz:

```
conda install conda-forge::glpk
```

Zdroje [76][77] obsahují případné doplňující informace k instalaci balíčku GLPK. Po získání těchto rozšíření jsou nainstalovány knihovny potřebné ke spuštění kódu.

Následující kapitoly představují jednotlivé funkce a jejich výstupy, které byly v Pythonu vytvořeny a vypočítány. Bližší popis jednotlivých úseků kódu je proveden v příloženém kódu DP\_Ostadal.py.

S ohledem na velké množství údajů zobrazovaných do konzole po zahájení výpočtu je před spuštěním onoho výpočtu vhodné v nastavení zvýšit počet zobrazovaných řádků.

### 5.1 Schéma soustavy

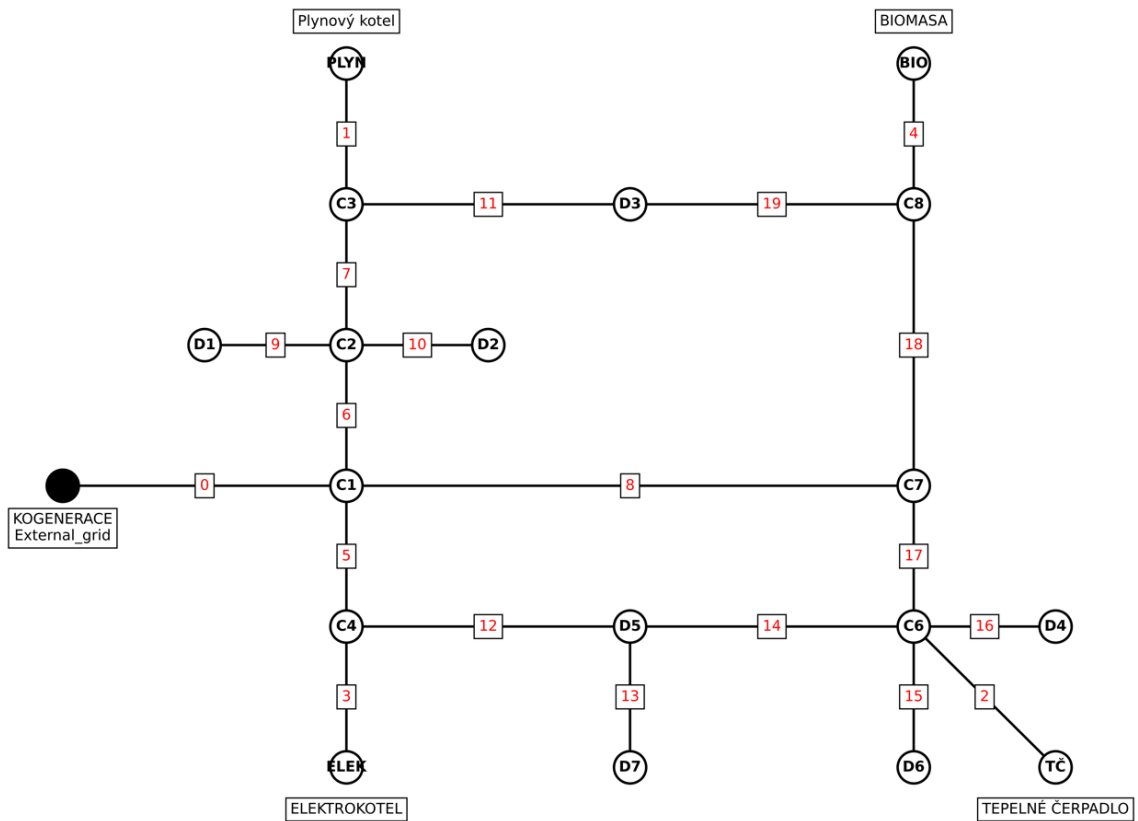
S využitím knihovny „pandapipes“, zmiňované výše, bylo v Pythonu vytvořeno schéma soustavy, které lze najít na obrázku 5.1 níže. Vytvořené schéma bylo založeno na příkladech schémat uvedených v [78].

Schéma páteřní sítě obsahuje pět zdrojů – kogeneraci, plynový kotel, kotel na biomasu, elektrokotel a tepelné čerpadlo. Jejich nastavené výkony lze vidět v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 Přehled výchozích nastavených výkonů zdrojů v síti

	Kogenerace	Plynový kotel	Tepelné čerpadlo	Elektrokotel	Kotel na biomasu	Celkový výkon
Výkon (MW <sub>t</sub> )	5	8	4	5	5,8	27,8

Schéma dále obsahuje čtrnáct uzlů, které jsou označeny písmenem C – centrum nebo D – doplňkový uzel, do kterých jsou zmíněné zdroje připojeny a do kterých se připojují i odběry.



Obr. 5.1 Schéma zapojení páteřní sítě centrálního zásobování teplem

Jednotlivé zdroje, odběry a uzly jsou propojeny pomocí potrubí. Délky potrubí mezi uzly sítě a délky potrubí připojující zdroje do sítě se nastavují v proměnné `length_km`, kterou lze v kódu najít na příslušných řádcích obsahujících funkci `create_pipe_from_parameters`. Délky potrubí připojující do sítě jednotlivé odběry lze nastavit v proměnné `custom_lengths`, kterou lze v případě potřeby libovolně upravovat. Délky potrubí jsou nastaveny tak, že v součtu dávají celkem 26,89 km a jejich příslušné délky lze nalézt v tabulce 5.7. Kvůli lepší orientaci v kódu se pro informaci ve schématu taktéž zobrazuje interní index příslušného potrubí.

Pro potrubí byla uvažována potrubí jmenovitých světlostí – DN, jejichž seznam lze nalézt v tabulce 5.2 níže spolu se skutečně nastavenou hodnotou průměru potrubí. Skutečně nastavované průměry, které odpovídají reálným vnitřním průměrům daného potrubí, byly získány z [79]. Tento rozdíl mezi hodnotou uvedenou u DN a skutečně použitou hodnotou je způsoben definicí DN. Norma ČSN EN ISO 6708 Potrubní části – Definice a výběr jmenovitých světlostí – DN definuje jmenovitou světlost DN jako číselné označení rozměru části potrubního systému, které je používáno pro referenční účely. Označení se kromě písmen DN skládá i z celého bezrozměrného čísla, které se nepřímo vztahuje k fyzikálnímu přípojovacímu rozměru vnitřního nebo vnějšího průměru v milimetrech. Ono číslo, následující za DN, tedy nepředstavuje žádnou měřitelnou hodnotu [80].

Průměry potrubí lze v kódu opět nastavit na řádcích obsahujících funkci `create_pipe_from_parameters` pod proměnnou `diameter_m` nebo v proměnné `pipe_diameters`, která slouží pro nastavení průměrů potrubí připojujících jednotlivé odběry. Průměr konkrétního potrubí je poté uveden opět v tabulce 5.7.

Tabulka 5.2 Dimenze potrubí DN, skutečně použité rozměry a celkové délky potrubí, rozměry potrubí byly převzaty a upraveny autorem z [79]

Dimenze DN	Skutečně použitý rozměr (mm)	Celková délka (km)
50	54,5	2,86
80	82,5	3,1
100	107,1	3,34
150	160,3	3,96
200	210,1	5,12
250	263,0	3,32
300	312,7	5,19

U potrubí byla v již zmiňované funkci `create_pipe_from_parameters` dále nastavena drsnost povrchu `k_mm`, teplota okolí `text_k` a i součinitel přestupu tepla `u_w_per_m2`, který se pro potrubí připojující odběry nastavuje v proměnné `pipe_heat_transfer_coefficients`. Příslušné hodnoty drsnosti povrchu potrubí a nastavené teploty okolí lze nalézt v tabulce 5.3 níže spolu s dalšími nastavenými vstupními parametry, které se týkají teploty přívodní a vratné vody, měrné tepelné kapacity vody a výchozích nastavených tlaků v uzlech zdrojů, sítě a odběrů pro výpočet. Nastavené hodnoty součinitele přestupu tepla každého potrubí lze poté vidět v tabulce 5.7.

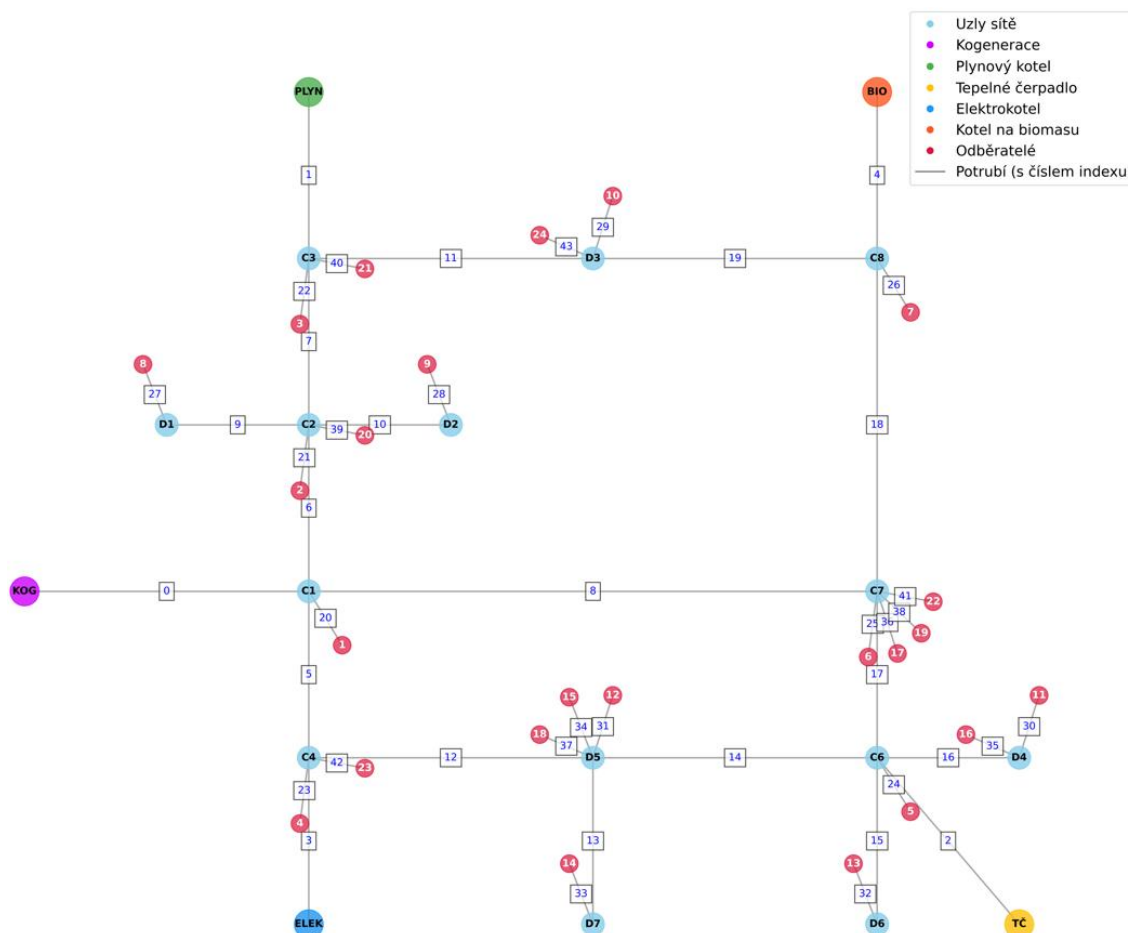
Tabulka 5.3 Vstupní nastavované parametry

<b>Parametr</b>	
Teplota přívodní vody (°C)	90
Teplota vratné vody (°C)	60
Měrná tepelná kapacita (J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	4190
Tlaky v uzlech zdrojů (bar)	7
Tlaky v uzlech sítě (bar)	6
Tlaky v uzlech odběrů (bar)	5
Drsnost potrubí (mm)	0,1
Teplota půdy (°C)	10

Počet odběrů je nastaven na 24 a jejich velikost lze v kódu upravit proměnnou `consumer_power_values`. Těmto nastaveným hodnotám jsou v kódu přiřazena označení „typy odběrů“ z možností „malý“, „střední“ a „velký“ odběr. Tato označení slouží pro nastavení velikosti průměrů potrubí a velikosti odběrů na předem definovanou hodnotu pro případ, že nedošlo k definování konkrétní hodnoty ve výše zmiňovaných proměnných. Také tím dochází k ovlivnění statistiky o počtu připojení jednotlivých typů odběrů. Toto označení lze pro každý odběr nastavit v proměnné `consumer_size_types`.

Následně je do každého uzlu připojen alespoň jeden odběr. Místo připojení každého odběru lze nalézt v tabulce 5.4 a měnit v proměnné `consumer_connections`. V této proměnné se pro každý odběr nastavuje uzel, ve kterém bude odběr připojen do soustavy. Pro lepší přehlednost bylo vytvořeno ještě další schéma zapojení sítě, ve kterém se navíc znázorní jednotlivá místa připojení odběrů v síti včetně jejich číselného označení (pozn. zákazník N se v kódu definuje pod číslem N-1, neboť indexace začíná od nuly). Toto schéma lze nalézt na obrázku 5.2. Také zde je pro informaci u každého potrubí vypisován jeho interní index.

Jedním z prvních výstupů z kódu po spuštění výpočtu je zmíněná statistika o připojení. Vypíše se počet odběrů připojených do sítě a počet odběrů označených jako „malý“, „střední“ a „velký“ odběr. Taktéž se vypíše počet odběrů připojených k hlavním a doplňkovým uzlům, které lze v síti najít.



Obr. 5.2 Schéma zapojení pátevní sítě centrálního zásobování teplem včetně zvýrazněných míst připojení jednotlivých odběrů

## 5.2 Způsob výpočtu

Pro výpočet a samotné spuštění výpočtu je nutná komponenta „ext\_grid“, kterou lze ve schématu nalézt pod názvem „Kogenerace“. Tato komponenta definuje okrajové podmínky pro hydraulický výpočet. Ostatní zdroje a odběry připojené ve schématu jsou v kódu tvořeny pomocí „source“ a „sink“. Způsob, jakým knihovna „pandapipes“ počítá, u nich vyžaduje nastavení hmotnostních průtoků [81]. Tyto hmotnostní průtoky jsou získávány z kalorimetrické rovnice vyjádřením hmotnosti (hmotnostního průtoky) a dosažením výkonu, měrné tepelné kapacity vody a teplot přívodní a vratné vody u každého zdroje a odběru.

$$Q_m = \frac{P_t}{c \cdot \Delta T}, \quad (5.1)$$

kde

$Q_m$  je hmotnostní průtok,

$P_t$  je tepelný výkon,

$c$  je měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta T$  je rozdíl teplot přívodní a vratné vody.

Takto získané hmotnostní průtoky v kilogramech za sekundu u jednotlivých zdrojů a odběrů spolu s dalšími nastavenými parametry jsou poté využity funkcí `pipeflow`, která je součástí „`pandapipes`“ a provádí hydraulický výpočet.

## 5.3 Simulace vytvořených scénářů

V kódu bylo vytvořeno několik případů, které budou v této kapitole představeny.

### 5.3.1 Simulace sítě při normálním provozu, výpadku zdroje a zimní špičce a výpočet poklesu teploty na potrubí

V této části budou představeny tři scénáře provozu sítě a výpočet poklesu teploty na potrubí. Jedná se o scénář normálního provozu, výpadku zdroje – plynového kotle a zimní špičky. Taktéž bude uveden výpočet poklesu teplot na jednotlivých potrubích.

- Normální provoz představuje stav, kdy jsou všechny zdroje připojeny do sítě a v soustavě se neděje nic neobvyklého. Výpočet a analýzu normálního stavu v kódu provádí vytvořená funkce `analyze_results`.
- Výpadek plynového kotle představuje stav, kdy v soustavě dojde k výpadku jednoho zdroje – plynového kotle. Tento případ se v kódu provádí pomocí vytvořené funkce `simulate_source_failure`. Funkce odpojí plynový kotel, nicméně je zachována velikost celkového odběru, který byl i ve stavu normálního provozu. Pro zachování rovnosti mezi výrobou a spotřebou se zvýší výkon kogenerace, která má v kódu mimo jiné i funkci zdroje s proměnlivým výkonem.
- Zimní špička představuje stav, kdy v soustavě dojde ke zvýšení poptávky po teple. V kódu je to provedeno vynásobením hmotnostního průtoku odběrů určitým koeficientem, který byl pro tento případ 1,5. To znamená, že odběr během zimní špičky je 1,5krát větší, než pro normální stav. Simulaci tohoto scénáře zajišťuje funkce `simulate_peak_demand`.
- Pro výpočet průběhu teplot v připojených potrubích v síti knihovna „`pandapipes`“ vyžaduje, aby byly odpojeny veškeré zdroje „`source`“ a byla ponechána pouze

komponenta „ext\_grid“. Tento výpočet se provádí funkcí `analyze_bidirectional_network`. Funkce zajistí zmiňované odpojení všech zdrojů, avšak zároveň nastaví celkový dodávaný výkon do soustavy tak, aby se rovnal dodávanému výkonu v případě „normální provoz“.

Následně je pro každý scénář proveden výpočet. Níže lze nalézt přehledovou tabulku 5.4 s výchozími hodnotami velikosti odběrů, které byly pro výpočet použity.

Tabulka 5.4 Velikosti odběrů

Odběratel	Typ odběru	Místo připojení	Normální provoz	Výpadek zdroje	Výpočet teploty	Zimní špička
					Výkon (MW <sub>t</sub> )	
1	malý	C1		0,45		0,68
2	střední	C2		1,14		1,71
3	střední	C3		1,19		1,79
4	malý	C4		0,50		0,75
5	malý	C6		0,46		0,69
6	střední	C7		1,11		1,67
7	střední	C8		1,39		2,08
8	velký	D1		1,61		2,42
9	velký	D2		1,87		2,81
10	střední	D3		1,23		1,84
11	velký	D4		1,74		2,61
12	střední	D5		1,16		1,74
13	velký	D6		1,94		2,91
14	malý	D7		0,43		0,65
15	střední	D5		1,30		1,95
16	malý	D4		0,51		0,77
17	velký	C7		1,77		2,65
18	střední	D5		1,42		2,13
19	střední	C7		0,58		0,87
20	střední	C2		1,47		2,21
21	malý	C3		0,44		0,66
22	velký	C7		1,87		2,81
23	střední	C4		1,34		2,01
24	střední	D3		1,13		1,70
Celkový odebraný výkon				28,05		42,08

Přehledová tabulka 5.5 poté uvádí výkony jednotlivých zdrojů a jejich celkový dodávaný výkon v každém scénáři.

Tabulka 5.5 Přehled výsledných dodávaných výkonů zdrojů v síti pro každý stav

	<b>Kogenerace</b>	<b>Plynový kotel</b>	<b>Tepelné čerpadlo</b>	<b>Elektrokotel</b>	<b>Kotel na biomasu</b>	<b>Celkový výkon</b>
<b>Výkon (MW<sub>i</sub>) – Normální provoz</b>	5,25	8	4	5	5,80	28,05
<b>Výkon (MW<sub>i</sub>) – Výpadek zdroje</b>	13,25	0	4	5	5,80	28,05
<b>Výkon (MW<sub>i</sub>) – Zimní špička</b>	19,27	8	4	5	5,8	42,08

Výstupem ze simulací jsou vypočítané hodnoty tlaků v jednotlivých uzlech soustavy pro případ normálního provozu, výpadku zdroje a zimní špičky. Hodnoty tlaků lze najít v tabulce 5.6 .

Tabulka 5.6 Vypočítané tlaky v uzlech pro normální provoz, výpadek zdroje a zimní špičku

<b>Uzel</b>	<b>Normální provoz</b>	<b>Výpadek zdroje</b>	<b>Zimní špička</b>
	<b>Tlak (bar)</b>		
Centrum 1	6,94	6,65	6,26
Centrum 2	6,94	6,51	6,15
Centrum 3	6,98	6,50	6,16
Centrum 4	6,95	6,65	6,23
Centrum 6	6,91	6,59	6,05
Centrum 7	6,92	6,59	6,08
Centrum 8	6,96	6,60	6,11
Doplňková 1	6,74	6,31	5,71
Doplňková 2	6,68	6,25	5,58
Doplňková 3	6,96	6,50	6,11
Doplňková 4	6,81	6,49	5,84
Doplňková 5	6,90	6,58	6,05
Doplňková 6	6,84	6,51	5,89
Doplňková 7	6,89	6,58	6,04
Kogenerace	7,00	7,00	7,00
Plynový kotel	7,34	6,50	6,52
Tepelné čerpadlo	6,99	6,67	6,14

## Pokračování tabulky 5.6

Uzel	Normální provoz	Výpadek zdroje	Zimní špička
	Tlak (bar)		
Elektrokotel	7,09	6,79	6,38
Kotel na biomasu	7,21	6,85	6,35
Odběratel 1	4,31	4,02	0,36
Odběratel 2	4,39	3,96	0,44
Odběratel 3	4,29	3,81	0,12
Odběratel 4	4,33	4,03	0,37
Odběratel 5	4,64	4,32	0,97
Odběratel 6	6,36	6,04	4,84
Odběratel 7	6,09	5,73	4,16
Odběratel 8	6,61	6,17	5,40
Odběratel 9	6,64	6,21	5,48
Odběratel 10	6,34	5,89	4,73
Odběratel 11	6,67	6,35	5,51
Odběratel 12	4,92	4,60	1,60
Odběratel 13	6,82	6,50	5,86
Odběratel 14	4,58	4,26	0,86
Odběratel 15	4,61	4,29	0,90
Odběratel 16	4,49	4,17	0,63
Odběratel 17	6,80	6,47	5,81
Odběratel 18	4,51	4,19	0,69
Odběratel 19	4,26	3,93	0,11
Odběratel 20	4,63	4,20	0,96
Odběratel 21	5,15	4,67	2,06
Odběratel 22	6,68	6,35	5,54
Odběratel 23	5,97	5,67	4,04
Odběratel 24	6,18	5,72	4,36

Již několikrát zmiňovaná tabulka 5.7 se týká potrubí v síti. Jsou v ní uvedeny nastavené délky, průměry a hodnoty součinitele přestupu tepla jednotlivých potrubí. Dále lze vidět i hodnoty průtoků a poklesů tlaku v potrubí pro stavy – normálního provozu, výpadku zdroje a zimní špičky sítě. Současně tabulka uvádí také hodnoty poklesů teplot v potrubích a jim odpovídající průtoky. V posledním sloupci je možno vidět souhrnné velikosti ztrát tepla na daném potrubí za období jednoho roku.

Tabulka 5.7 Přehled parametrů potrubí, průtoků a poklesů tlaku, poklesů teplot a ztrát

Potrubí	Normální provoz						Výpadek zdroje		Zimní špička		Výpočet teploty v potrubí		Tepelné ztráty za rok (GJ)
	Délka (km)	Dimenze DN	Skutečný průměr (mm)	Součinitel přestupu tepla ( $W m^{-2} K^{-1}$ )	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles teploty ( $^{\circ}C$ )	
Kogenerace – Centrum 1	0,30	250	263,0	2,2	41,77	0,055	105,41	0,350	153,34	0,741	223,15	0,03	912,6
Plynový kotel – Centrum 3	0,26	200	210,1	2,6	63,64	0,358	0,00	0,000	63,64	0,358	0,00	0,00	0,0
Tepelné čerpadlo – Centrum 6	0,25	200	210,1	2,6	31,82	0,086	31,82	0,086	31,82	0,086	0,00	0,00	0,0
Elektrokotel – Centrum 4	0,27	200	210,1	2,6	39,78	0,145	39,78	0,145	39,78	0,145	0,00	0,00	0,0
Biomasa – Centrum 8	0,34	200	210,1	2,6	46,14	0,246	46,14	0,246	46,14	0,246	0,00	0,00	0,0
Centrum 1 – Centrum 4	0,86	300	312,7	2,2	-2,34	0,000	1,89	0,000	26,75	0,026	57,74	0,41	3052,8
Centrum 1 – Centrum 2	0,89	300	312,7	2,2	14,27	0,008	61,62	0,144	54,26	0,112	78,26	0,31	3172,4
Centrum 2 – Centrum 3	0,86	300	312,7	2,2	-34,17	0,043	13,17	0,006	-18,41	0,013	29,81	0,78	2926,4
Centrum 1 – Centrum 7	0,94	300	312,7	2,2	26,25	0,028	38,32	0,059	66,96	0,18	83,56	0,31	3351,2
Centrum 2 – Doplněk 1	0,84	150	160,3	2,9	12,81	0,194	12,81	0,194	19,21	0,435	12,81	1,19	1897,9
Centrum 2 – Doplněk 2	0,81	150	160,3	2,9	14,88	0,252	14,88	0,252	22,32	0,565	14,88	0,99	1845,8

## Pokračování tabulky 5.7

Potrubí	Délka (km)	Dimenze DN	Skutečný průměr (mm)	Součinitel přestupu tepla ( $W m^{-2} K^{-1}$ )	Normální provoz		Výpadek zdroje		Zimní špička		Výpočet teploty v potrubí		Tepelné ztráty za rok (GJ)
					Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles teploty ( $^{\circ}C$ )	
Centrum 3 – Doplněk 3	0,75	250	263,0	2,2	16,50	0,022	0,20	0,000	25,78	0,053	16,85	1,00	1991,0
Centrum 4 – Doplněk 5	0,89	250	263,0	2,2	22,80	0,049	27,03	0,069	44,57	0,186	43,11	0,47	2559,6
Doplněk 5 – Doplněk 7	0,82	200	210,1	2,6	3,42	0,003	3,42	0,003	5,13	0,008	3,42	4,89	1776,7
Doplněk 5 – Centrum 6	0,88	250	263,0	2,2	-11,48	0,012	-7,26	0,005	-6,86	0,005	8,82	2,21	2255,8
Centrum 6 – Doplněk 6	0,87	200	210,1	2,6	15,43	0,071	15,43	0,071	23,15	0,159	15,43	1,18	2099,9
Centrum 6 – Doplněk 4	0,86	200	210,1	2,6	17,90	0,094	17,90	0,094	26,85	0,211	17,90	1,01	2090,9
Centrum 7 – Centrum 6	0,71	300	312,7	2,2	16,66	0,009	12,43	0,005	30,53	0,028	28,17	0,68	2427,2
Centrum 7 – Centrum 8	0,93	300	312,7	2,2	-32,81	0,043	-16,51	0,011	-27,18	0,03	12,99	1,92	3016,9
Doplněk 3 – Centrum 8	0,87	200	210,1	2,6	-2,27	0,002	-18,57	0,103	-2,38	0,002	1,93	8,60	1450,5
K odběrateli 1	0,51	50	54,5	3,5	3,58	2,634	3,58	2,634	5,37	5,902	3,58	1,07	488,0
K odběrateli 2	0,68	80	82,5	3,2	9,07	2,543	9,07	2,543	13,60	5,707	9,07	0,78	888,0

## Pokračování tabulky 5.7

Potrubí	Délka (km)	Dimenze DN	Skutečný průměr (mm)	Součinitel přestupu tepla (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	Normální provoz		Výpadek zdroje		Zimní špička		Výpočet teploty v potrubí		Tepelné ztráty za rok (GJ)
					Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles teploty (°C)	
K odběrateli 3	0,66	80	82,5	2,2	9,47	2,689	9,47	2,689	14,20	6,035	9,47	0,49	561,4
K odběrateli 4	0,41	50	54,5	3,5	3,98	2,615	3,98	2,615	5,97	5,861	3,98	0,77	383,8
K odběrateli 5	0,42	50	54,5	3,5	3,66	2,269	3,66	2,269	5,49	5,084	3,66	0,84	359,1
K odběrateli 6	0,61	100	107,1	2,9	8,83	0,554	8,83	0,554	13,25	1,242	8,83	0,84	935
K odběrateli 7	0,61	100	107,1	2,9	11,06	0,867	11,06	0,867	16,59	1,945	11,06	0,65	802,0
K odběrateli 8	0,59	150	160,3	2,9	12,81	0,138	12,81	0,138	19,21	0,309	12,81	0,82	1224,2
K odběrateli 9	0,58	200	210,1	2,6	14,88	0,045	14,88	0,045	22,32	0,1	14,88	0,82	1438,3
K odběrateli 10	0,55	100	107,1	2,9	9,79	0,614	9,79	0,614	14,68	1,376	9,79	0,65	694,4
K odběrateli 11	0,53	150	160,3	2,9	13,84	0,145	13,84	0,145	20,76	0,324	13,84	0,67	1022,0
K odběrateli 12	0,51	80	82,5	3,2	9,23	1,979	9,23	1,979	13,84	4,441	9,23	0,57	640,3
K odběrateli 13	0,50	250	263,0	2,2	15,43	0,013	15,43	0,013	23,15	0,029	15,43	0,70	1181,2

## Pokračování tabulky 5.7

Potrubí	Délka (km)	Dimenze DN	Skutečný průměr (mm)	Součinitel přestupu tepla ( $W m^{-2} K^{-1}$ )	Normální provoz		Výpadek zdroje		Zimní špička		Výpočet teploty v potrubí		Tepelné ztráty za rok (GJ)
					Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles tlaku (bar)	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles teploty ( $^{\circ}C$ )	
K odběrateli 14	0,49	50	54,5	3,5	3,42	2,313	3,42	2,313	5,13	5,181	3,42	0,96	298,0
K odběrateli 15	0,47	80	82,5	2,2	10,34	2,291	10,34	2,291	15,51	5,142	10,34	0,32	410,0
K odběrateli 16	0,35	50	54,5	2,5	4,06	2,324	4,06	2,324	6,09	5,211	4,06	0,62	277,5
K odběrateli 17	0,42	150	160,3	2,9	14,08	0,119	14,08	0,119	21,12	0,267	14,08	0,55	975,7
K odběrateli 18	0,41	80	82,5	3,2	11,30	2,386	11,30	2,386	16,95	5,357	11,30	0,37	519,0
K odběrateli 19	0,31	50	54,5	3,5	4,61	2,662	4,61	2,662	6,92	5,97	4,61	0,51	296,0
K odběrateli 20	0,37	80	82,5	3,2	11,69	2,310	11,69	2,310	17,54	5,187	11,69	0,33	492,5
K odběrateli 21	0,37	50	54,5	3,5	3,50	1,831	3,50	1,831	5,25	4,103	3,50	0,78	326,8
K odběrateli 22	0,77	150	160,3	2,9	14,88	0,241	14,88	0,241	22,32	0,54	14,88	0,94	1758,8
K odběrateli 23	0,74	100	107,1	2,9	10,66	0,976	10,66	0,976	15,99	2,189	10,66	0,85	1124,4
K odběrateli 24	0,83	100	107,1	2,9	8,99	0,779	8,99	0,779	13,48	1,747	8,99	1,07	1029,7

Pro získání hodnoty celkových tepelných ztrát v soustavě za období jednoho roku je využita funkce `analyze_bidirectional_network` zmíněná již na začátku kapitoly 5.3.1. S její pomocí je vytvořena v kódu nová funkce s názvem `simulate_yearly_pipe_losses`.

Tato funkce spočítá pokles teploty na všech potrubích v síti v každé hodině během roku a současně ukládá i velikosti průtoků pro daný okamžik. Opětovným využitím kalorimetrické rovnice je z těchto hodnot určena velikost ztrátového výkonu, respektive ztrátové energie v megawatthodinách za rok, která je poté převedena na ztrátu energie v gigajoulech.

$$\Delta P_t = Q_m \cdot c \cdot \Delta T , \quad (5.2)$$

kde

$Q_m$  je hmotnostní průtok,

$\Delta P_t$  je ztrátový tepelný výkon,

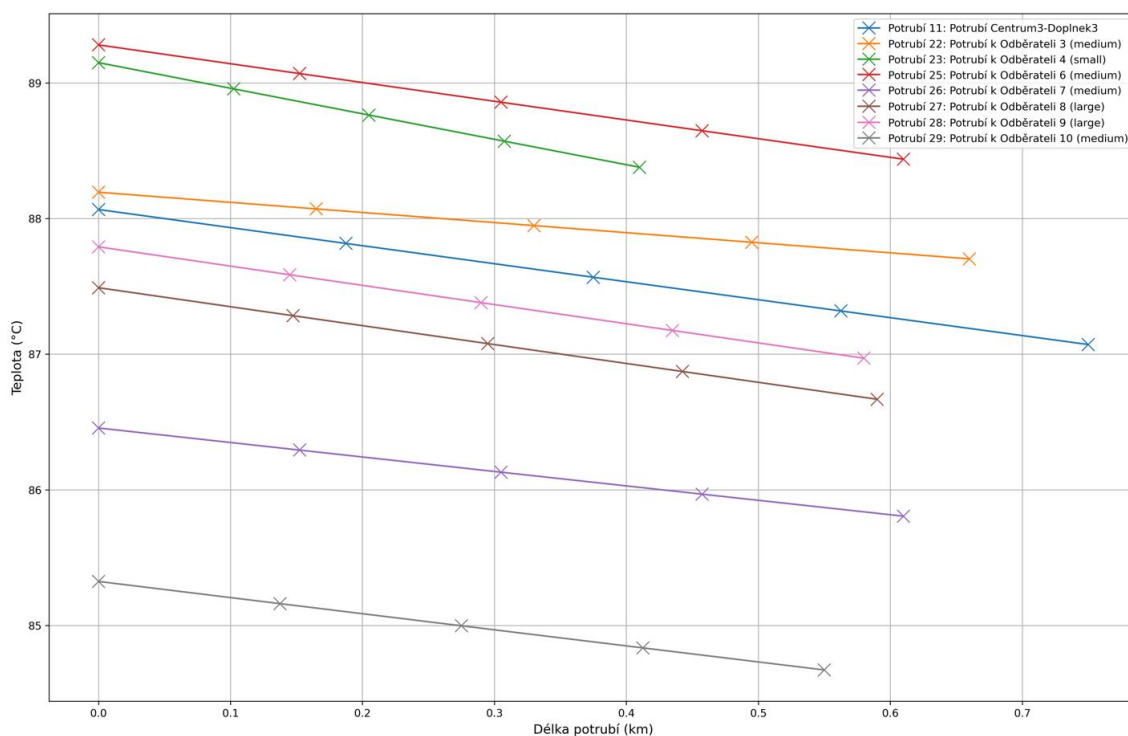
$c$  je měrná tepelná kapacita vody,

$\Delta T$  je pokles teploty v příslušném potrubí.

Je důležité zmínit, že tento výpočet trvá přibližně 7 minut, a proto je v kódu ve výchozím nastavení zablokován. Pro jeho odblokování je potřebné na řádku 2753 smazat „#“ a spustit výpočet ještě jednou.

Taktéž je vhodné komentovat nastavené hodnoty součinitele přestupu tepla u potrubí. Uvedené hodnoty je potřebné brát s rezervou, neboť součinitel přestupu tepla je závislý na mnoha okolnostech, přičemž všechny z nich nemohly být respektovány.

Zmíněné poklesy teplot na vybraných potrubích v síti lze také pozorovat na obrázku 5.3 uvedeném níže.



Obr. 5.3 Pokles teploty ve vybraných potrubích

Vybraná potrubí, která se mají v grafu zobrazit, lze nastavit na řádku s proměnnou

```
main_pipes = [11,22,23,25,26,27,28,29]
```

Dále si lze u některých hodnot průtoků uvedených v tabulce 5.7 povšimnout záporného znaménka. Záporné znaménko u průtoků znamená, že jde o obrácený směr toku, než jak je v kódu zapojeno dané potrubí. Například potrubí Doplněk 5 – Centrum 6 je tedy v kódu zapojeno z uzlu Doplněk 5 do uzlu Centrum 6, ale směr toku je přesně obrácený, tedy z uzlu Centrum 6 do uzlu Doplněk 5.

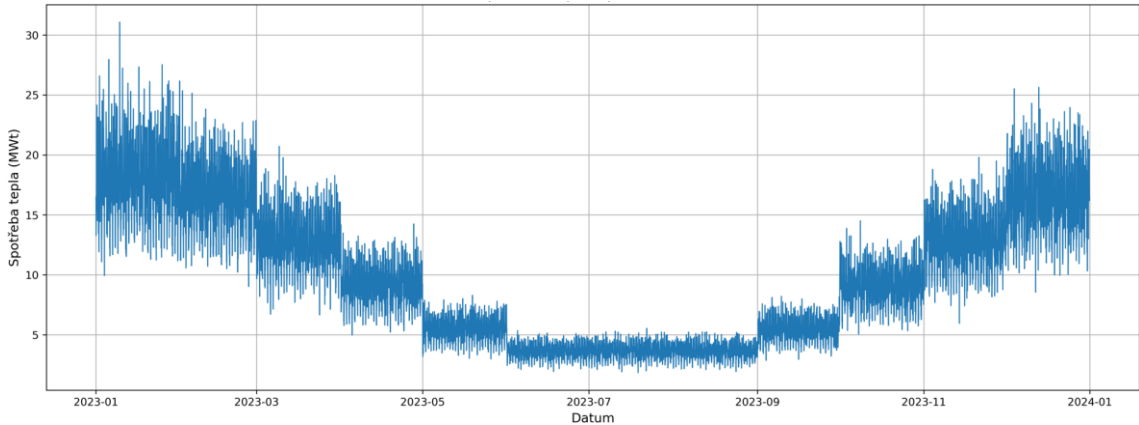
Shrnutí tabulky 5.7 z pohledu tepla je provedeno v tabulce 5.8, kde je možno vidět celkovou délku potrubí připojených do sítě a celkové dodané množství tepla do soustavy a tepelné ztráty v soustavě za daný rok.

Tabulka 5.8 Celkové ztráty tepelné energie v soustavě

<b>Celková energie dodaná do soustavy (GJ/rok)</b>	304 543,1
<b>Celkové ztráty v soustavě (GJ/rok)</b>	54 948
<b>Celkové ztráty v soustavě (%)</b>	18,04
<b>Celková délka potrubí (km)</b>	26,89

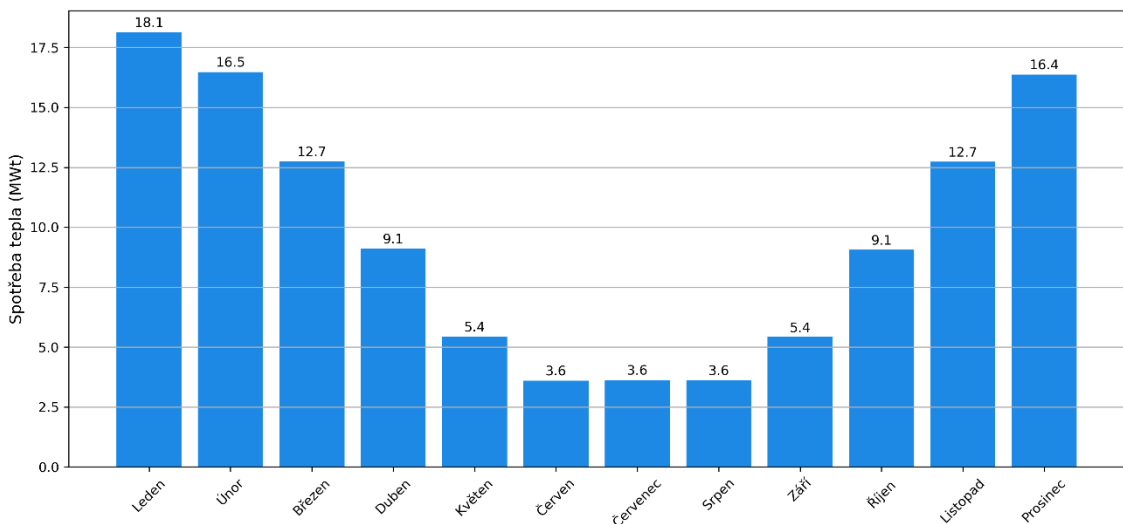
### 5.3.2 Spotřeba tepla v průběhu roku, měsíce a dne

Funkce `simulate_yearly_heat_demand` slouží k vytvoření průběhu spotřeby tepla během roku, což lze vidět na obrázku 5.4. Tento průběh byl vytvořen pro použití v dalších funkcích a je získáván vynásobením celkového odběru v soustavě různými koeficienty, aby se dosáhlo požadovaného průběhu. Průběh je poté podobný tomu, který lze vidět na obrázku 3.2.

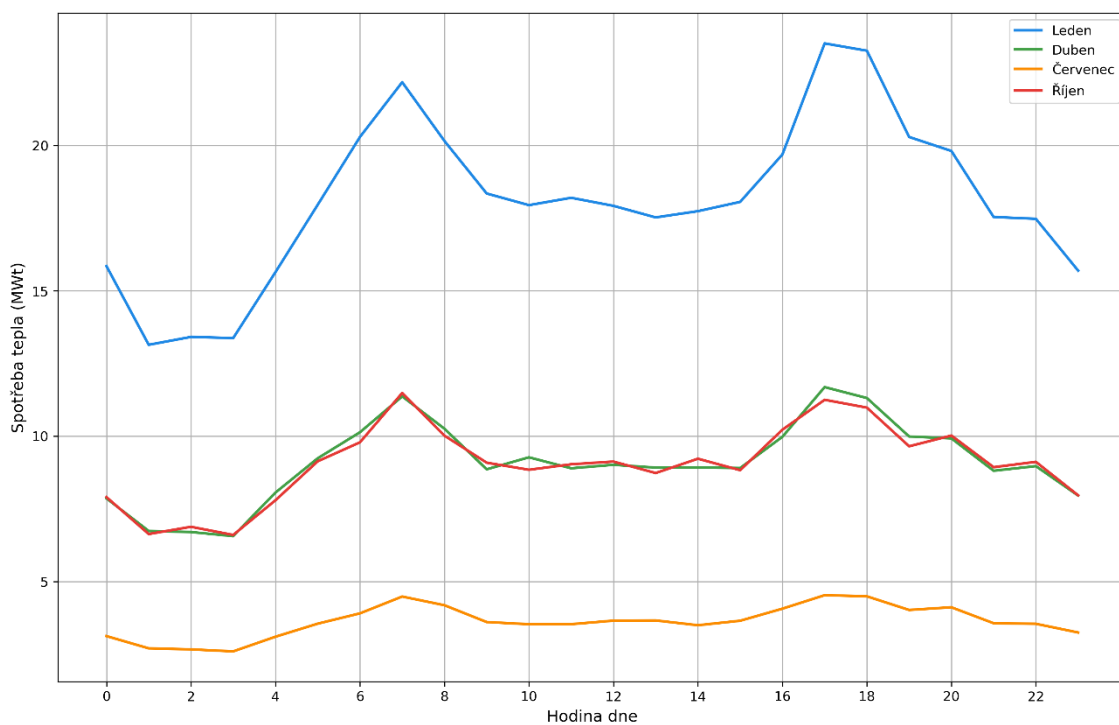


Obr. 5.4 Graf spotřeby tepla v průběhu roku

Z tohoto průběhu jsou poté pro ověření správnosti vytvořeny ještě další dva grafy, ve kterých je znázorněna průměrná měsíční spotřeba tepla, zobrazena na obrázku 5.5, a denní profil spotřeby tepla v různých měsících v roce, zobrazen na obrázku 5.6.

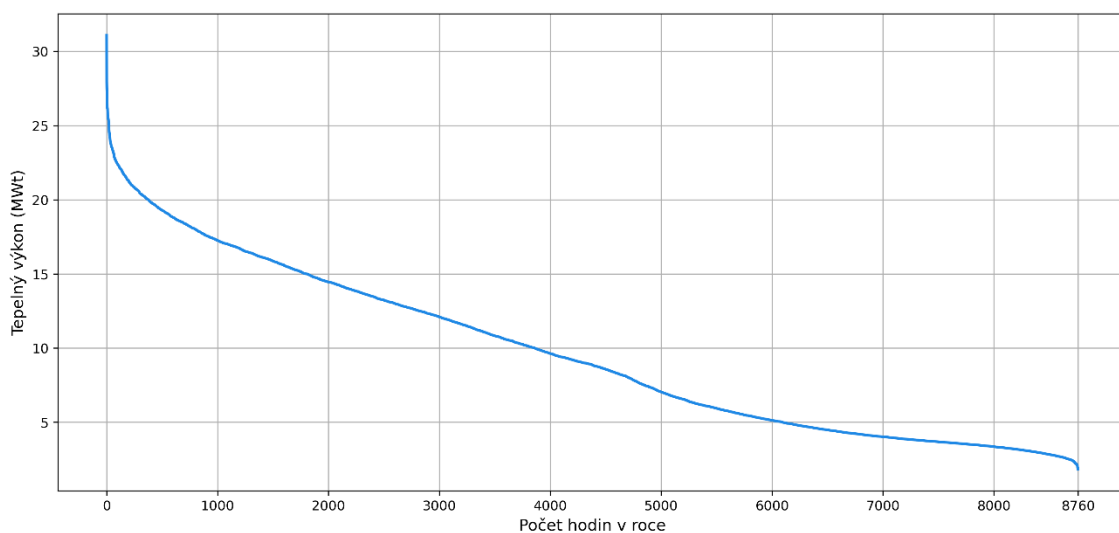


Obr. 5.5 Průměrná měsíční spotřeba tepla v průběhu roku



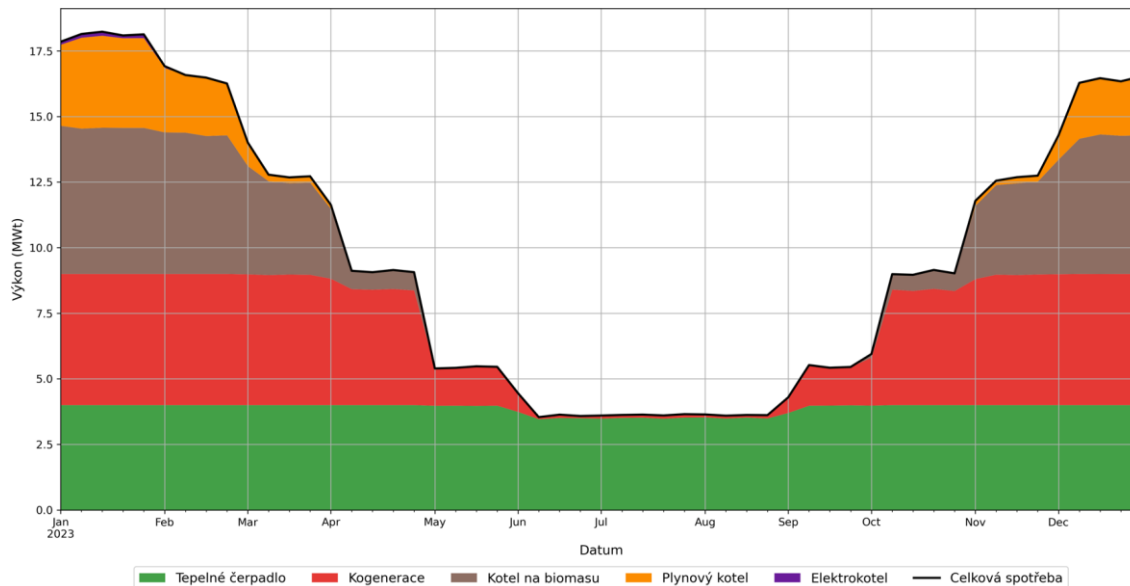
Obr. 5.6 Denní profil spotřeby tepla v různých měsících v roce

Z hodnot použitých pro vytvoření grafu na obrázku 5.4 zobrazujícího průběh spotřeby tepla během roku byl vytvořen taktéž diagram trvání tepelného výkonu v roce, který je zobrazený na obrázku 5.7. Tento graf lépe zobrazuje rozložení tepelného zatížení v roce.



Obr. 5.7 Diagram trvání tepelného výkonu v roce

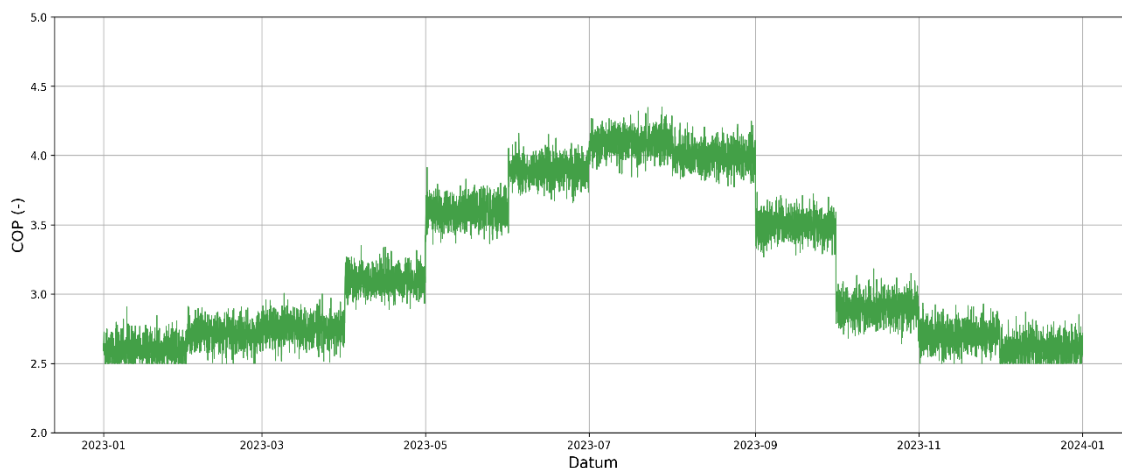
Další graf, který byl vytvořen s využitím průběhu na obrázku 5.4, je zobrazen na obrázku 5.8 níže. Lze na něm vidět, jakými zdroji je pokryta spotřeba tepla a jak se podílí na pokrytí této spotřeby v průběhu roku.



Obr. 5.8 Pokrytí spotřeby tepla jednotlivými zdroji v průběhu roku

### 5.3.3 Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP

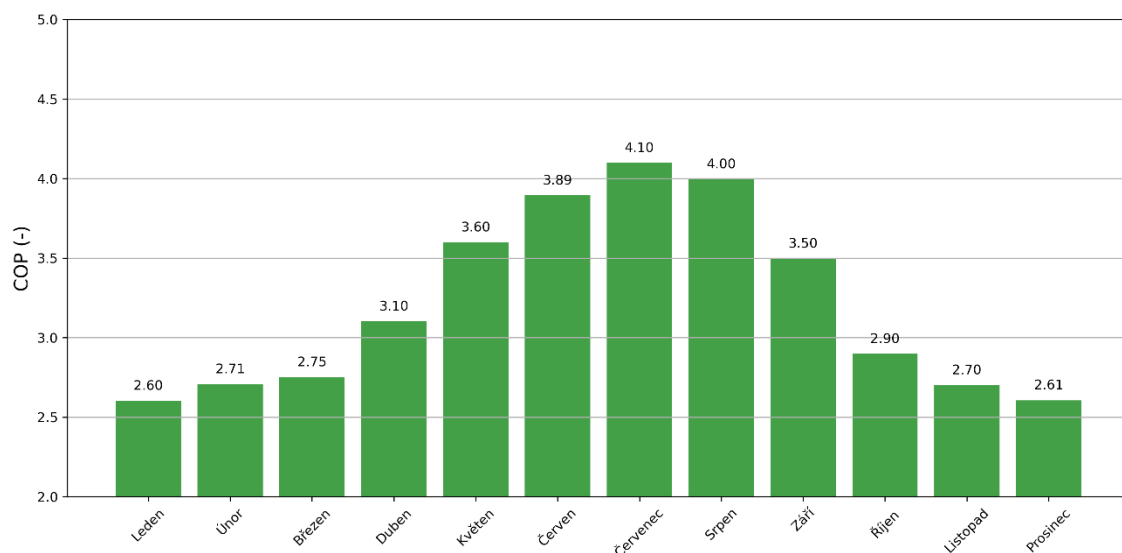
Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP je dalším z případů, které byly v kódu vytvořeny. V kódu tento případ zajišťuje vytvořená funkce s názvem `create_and_connect_heat_pumps`. Následuje jí funkce s názvem `simulate_network_with_new_heat_pumps`, která poté spouští výpočet. Funkce využívá již několikrát zmiňovaného průběhu spotřeby tepla během roku, který lze vidět na obrázku 5.4. Mimo jiné využívá i průběhu hodnoty COP tepelného čerpadla v průběhu roku, který lze vidět na obrázku 5.9. Zvolený rozsah hodnot v tomto grafu je založen na informacích v [82].



Obr. 5.9 Průběh hodnoty COP tepelného čerpadla v průběhu roku

Hodnota COP – Coefficient Of Performance je dána jako poměr tepelného výkonu ku elektrickému příkonu a ve své podstatě vyjadřuje, jak dobře dané zařízení využije energii dodanou pro svůj provoz v porovnání s vytvořenou užitečnou energií [83].

Pro informaci je uveden i graf na obrázku 5.10 znázorňující průměrné hodnoty COP v každém měsíci během roku, který vychází z grafu na obrázku 5.9.



Obr. 5.10 Průměrné hodnoty COP tepelného čerpadla v každém měsíci v průběhu roku

Ve funkci vznikají tři nová tepelná čerpadla s výkony uvedenými v tabulce 5.9, která jsou připojována do uzlů D1, D2 a D7. Funkce na základě zvolené hraniční hodnoty COP a velikosti poptávky v daný okamžik tepelná čerpadla buď připojí, nebo nechá odpojené. Hraniční hodnotu COP lze nastavit na řádku s proměnnou:

```
cop_threshold_min = 2.7
```

Tabulka 5.9 Přehled výkonů nových tepelných čerpadel a délek a průměrů jejich potrubí

Zdroj	Výkon (MW <sub>t</sub> )	Délka potrubí (km)	Dimenze DN	Skutečný průměr (mm)
Tepelné čerpadlo 1	1,5	0,5	100	107,1
Tepelné čerpadlo 2	2	0,39	100	107,1
Tepelné čerpadlo 3	1	0,47	100	107,1

Při nedostatečné hodnotě COP v daný okamžik je provedeno přizpůsobení výroby spotřebě odpojováním původních zdrojů podle nastaveného pořadí. Pokud je v daném okamžiku hodnota COP a poptávky větší, než je nastavená hraniční hodnota, dochází k připojení jednoho, dvou nebo všech tří nových tepelných čerpadel. Tyto nově připojené zdroje současně nahrazují původní zdroje v soustavě, opět podle nastaveného pořadí, které lze měnit v proměnné `priority_order`.

Simulace se provádí pro nastavený počet časových bodů, jejichž počet lze opět libovolně měnit na řádku s proměnnou:

```
sample_indices = [i * 730 for i in range(12)]
```

Tímto řádkem je v kódu přednastavené, aby se provedla přibližně jedna simulace pro každý měsíc v roce. Funkce vezme pro příslušný den a hodinu velikost odběru v soustavě a na základě něj provede optimalizaci a výpočet.

Výstupem je hodnota COP pro daný časový bod, velikost poptávky, vyjmenování nových tepelných čerpadel, která jsou aktivní, a také záznam, jakým způsobem byla provedena optimalizace v síti. Pro ilustraci budou uvedeny výsledky výpočtu jen jednoho časového bodu, které lze nalézt v tabulce 5.10 níže. Jako ukázkový časový bod byl vybrán bod 1460, který odpovídá 2. březnu.

Tabulka 5.10 Výsledky simulace pro jeden vybraný časový bod – závislost na COP

<b>Hodnota COP</b>	2,74
<b>Poptávka (MW<sub>t</sub>)</b>	13,94
<b>Aktivní tepelná čerpadla</b>	TČ1, TČ2, TČ3
<b>Výkon dodávaný před regulací (MW<sub>t</sub>)</b>	32,30
<b>Výkon dodávaný po regulaci (MW<sub>t</sub>)</b>	13,94

Taktéž se vypisuje seznam zdrojů, které zůstaly připojeny a které byly odpojeny. Tyto údaje je možno vidět v tabulce 5.11. Regulace výkonu se zde provádí i změnou výkonu plynového kotle.

Zdroj	Výkon (MW <sub>t</sub> )
Kogenerace	3,64
Plynový kotel	4,44
Tepelné čerpadlo	0,00
Elektrokotel	0,00
Kotel na biomasu	0,00
Tepelné čerpadlo 1	1,50
Tepelné čerpadlo 2	2,00
Tepelné čerpadlo 3	1,00
Celkový dodaný výkon	12,58
Celkový odebraný výkon	12,58

V tabulce 5.11 si lze povšimnout rozdílu v celkovém dodávaném výkonu oproti celkovému dodávanému výkonu po regulaci uvedeném v tabulce 5.10. Tento rozdíl je způsoben interním chováním výpočetní funkce `pipeflow`, kdy dochází k úpravě rozložení průtoků a tlaků.

### 5.3.4 Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP a plynového kotle v závislosti na ceně plynu

Výpočet tohoto případu v kódu zajišťuje funkce s názvem `simulate_network_with_new_heat_pumps_2`. Jedná se o funkci, která funguje totožně jako funkce `simulate_network_with_new_heat_pumps` zmiňovaná v kapitole 5.3.3 Připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP výše, nicméně je rozšířena o připojení, respektive odpojení plynového kotle v závislosti na spotových cenách plynu.

Spotové ceny plynu jsou dostupné na stránkách operátora trhu s energiemi OTE a.s., například zde [84]. Stažený excel soubor, který je umístěn ve stejné složce jako samotný kód, je poté automaticky nahráván do Pythonu funkcí `load_gas_prices_excel`, kde jsou tyto hodnoty dále využity. Jako výchozí složka je nastavena složka „Stažené soubory“. Umístění a jméno nahrávaného souboru lze měnit na řádku s proměnnou:

```
file_path = os.path.join(os.path.expanduser('~'),
                          'Downloads', 'VDT_plyn_03_2025_CZ.xlsx')
```

Pro tento případ lze kromě prahové hodnoty COP a poptávky nastavit i prahovou hodnotu ceny plynu, která rozdělí hodnoty na ceny přijatelné a nepřijatelné. Prahou hodnotu lze nastavit na řádku s proměnnou:

```
gas_price_high_threshold = 45
```

Pro tento případ se simulace provádí pomocí funkce `simulate_network_with_new_heat_pumps_and_gas_prices` v jednu stanovenou hodinu každého dne ve vybraném měsíci. Měsíc, který má být odsimulován, je opět možno nastavit v proměnné `month` této funkce.

Většina výstupů z této funkce je totožná s výstupy z funkce `simulate_network_with_new_heat_pumps`. Hodnoty pro tento případ lze vidět v tabulce 5.12. Uvedené hodnoty jsou pro 6. březen v 16:00.

Tabulka 5.12 Výsledky simulace pro jeden vybraný časový bod – závislost na COP a na ceně za plyn

<b>Hodnota COP</b>	2,68
<b>Poptávka (MW<sub>t</sub>)</b>	12,90
<b>Aktivní tepelná čerpadla</b>	žádná
<b>Stav plynového kotle</b>	<b>Důvod:</b> nedostatečné COP připojen
<b>Výkon dodávaný před regulací (MW<sub>t</sub>)</b>	23,80
<b>Výkon dodávaný po regulaci (MW<sub>t</sub>)</b>	12,90

Přehled připojených zdrojů pro tento případ, je zobrazen v tabulce 5.13.

Tabulka 5.13 Přehled zdrojů připojených v síti po regulaci

<b>Zdroj</b>	<b>Výkon (MW<sub>t</sub>)</b>
Kogenerace	3,74
Plynový kotel	2,10
Tepelné čerpadlo	0,00
Elektrokotel	0,00
Kotel na biomasu	5,80
Tepelné čerpadlo 1	0,00
Tepelné čerpadlo 2	0,00
Tepelné čerpadlo 3	0,00
Celkový dodaný výkon	11,64
Celkový odebraný výkon	11,64

Navíc se vypisuje cena plynu v simulovaný den, prahová hodnota ceny plynu a to, jestli jsou plynový kotel nebo tepelná čerpadla odpojeni či nikoliv. Výstupy pro jeden den je možno najít v tabulce 5.14 níže.

Tabulka 5.14 Statistika simulace – cena plynu a jeho prahová hodnota

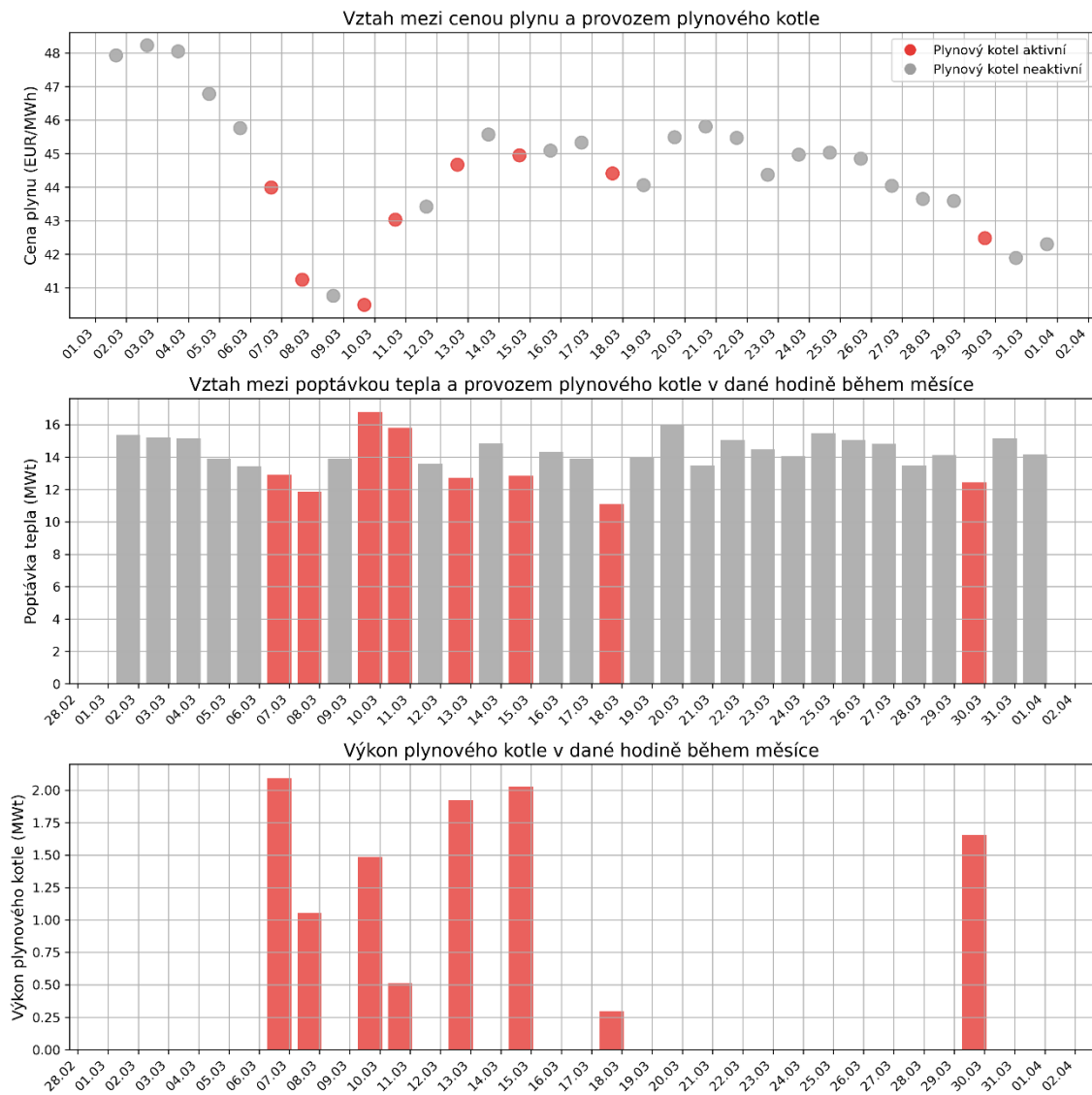
<b>Aktuální cena plynu (EUR/MWh)</b>	43,99
<b>Prahová hodnota (EUR/MWh)</b>	45,00

Na závěr je vypsána statistika o průběhu simulace, kterou lze vidět v tabulce 5.15. Je v ní vyjádřeno – kolik dní bylo simulováno a jaká byla průměrná poptávka a průměrná hodnota COP ve zvolenou hodinu během daného měsíce. Taktéž se zobrazí, kolik dní z měsíce bylo v danou hodinu aktivní příslušné tepelné čerpadlo a plynový kotel.

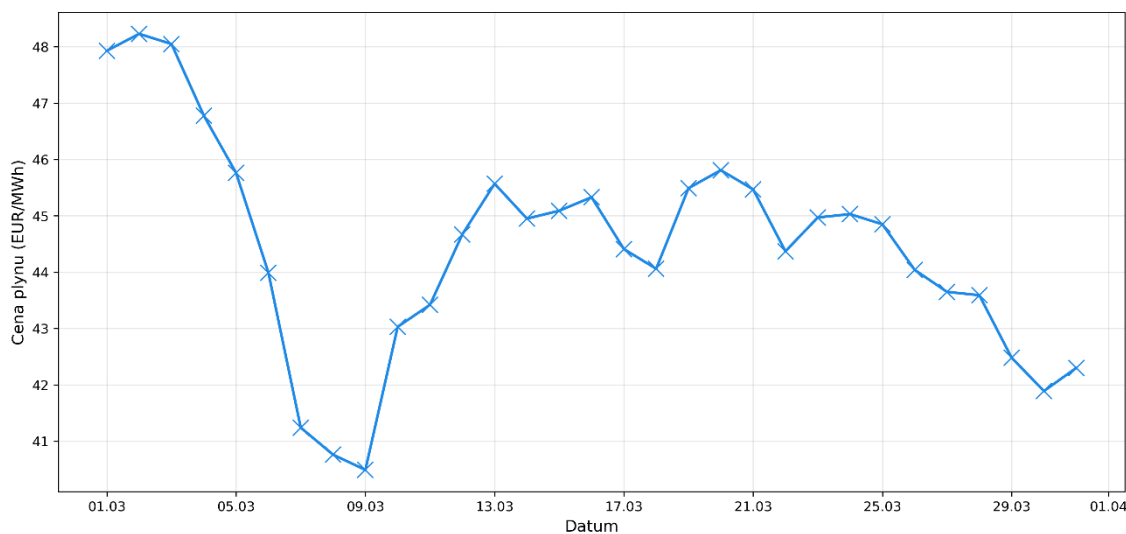
Tabulka 5.15 Statistika simulace – připojování na základě hodnoty COP a ceny plynu

<b>Počet simulovaných dnů</b>	31
<b>Průměrná poptávka (MW<sub>t</sub>)</b>	14,17
<b>Průměrné COP</b>	2,75
<b>Počet aktivních dní TČ 1</b>	25/31
<b>Počet aktivních dní TČ 2</b>	25/31
<b>Počet aktivních dní TČ 3</b>	25/31
<b>Počet aktivních dní plynový kotel</b>	8/31

Výše popsané výsledky částečně shrnuje obrázek 5.11. Obrázek je tvořen třemi grafy. V prvním lze vidět, jak se mění cena plynu během zvoleného měsíce. Tento průběh je vytvořen z nahraného souboru s cenami plynu a je taktéž zobrazen v samostatném grafu na obrázku 5.12. Také lze vidět, jestli byl plynový kotel daný den a hodinu aktivní nebo neaktivní. Druhý graf zobrazuje, jaká byla v danou hodinu každý den v měsíci velikost poptávky, a také zda byl plynový kotel připojen či ne. Ve třetím grafu je zobrazeno, jak moc se plynový kotel v aktivní dny během dané hodiny podílel na dodávce tepla.



Obr. 5.11 Provoz plynového kotle v závislosti na ceně plynu a poptávce během měsíce



Obr. 5.12 Vývoj ceny plynu během měsíce

### 5.3.5 Finanční náročnost provozu kogenerace

Výpočet denních nákladů na palivo na provoz kogenerace zajišťuje funkce `simulate_daily_cogeneration`. Funkce ve zvoleném dni zvoleného měsíce provede výpočet sítě pro každou hodinu a pro každý tento časový bod určí, jaký výkon zdroj kogenerace dodává. Zvolený měsíc a den lze nastavit v proměnných `month` a `day` této funkce. Celková produkce kogenerace v daný den je poté násobena odpovídající cenou plynu, kterou kód získal ze zmiňovaného excel souboru výše.

Zobrazované výsledky určené touto funkcí jsou shrnuty v tabulce 5.16 níže.

Tabulka 5.16 Výsledky denních nákladů na palivo na provoz kogenerace

<b>Denní produkce (MWh)</b>	265,29
<b>Denní náklady na palivo (EUR)</b>	11 962,08

## 6. VYHODNOCENÍ

Vyhodnocení zpracovaných dat z vytvořených scénářů bude sloužit ke klasifikaci stanovených cílů.

### 6.1 Normální provoz soustavy, výpadek zdroje a zimní špička

Vytvořené scénáře normálního provozu soustavy, výpadku zdroje v soustavě a provozu při zimní špičce byly představeny v kapitole 5.3.1 a příslušné získané výsledky demonstrovány v tabulkách 5.6 a 5.7.

V režimu normálního provozu je celkový dodávaný výkon do soustavy ze všech zdrojů roven  $28,05 \text{ MW}_t$  a tlaky v síti se pohybují v rozmezí od 4,26 – 7 barů. Při výpadku zdroje o velikosti  $8 \text{ MW}_t$  si lze povšimnout, že dojde k dorovnání požadovaného výkonu zvýšením výkonu kogenerace z předcházejících  $5,25 \text{ MW}_t$  na  $13,25 \text{ MW}_t$ , avšak k poklesu tlaků v jednotlivých uzlech o průměrně 0,35 baru. Ve scénáři zimní špičky dochází k nárůstu poptávky o 50 % na  $42,08 \text{ MW}_t$  oproti normálnímu provozu. Je si možno povšimnout výrazných tlakových ztrát, kdy tlak v místech odběrů, která jsou propojena potrubím menšího průřezu, klesá až pod úroveň 0,5 baru. Zde lze hovořit o špatném návrhu stávajících dimenzí potrubí, které byly navrženy s malou rezervou pro navýšení průtoku. Tento problém by tedy mohl být odstraněn zvýšením průřezu či použitím čerpadel.

### 6.2 Vyhodnocení poklesů teplot a tepelných ztrát v soustavě

Z výpočtu poklesu teplot si lze povšimnout, že k nejvýraznějším poklesům dochází v potrubích, která mají malé průtoky. Kombinace malých průtoků a velkých délek potrubí následně vede k ještě větším poklesům. Tohoto chování si lze povšimnout v tabulce 6.1, v níž jsou uvedena některá vybraná potrubí s jejich průtoky a poklesy teplot.

Potrubí	Celková délka (km)	Dimenze DN	Součinitel přestupu tepla ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )	Hmotnostní průtok (kg/s)	Pokles teploty ( $^{\circ}\text{C}$ )
Doplněk 3 – Centrum 8	0,87	200	2,6	1,93	8,60
Doplněk 5 – Doplněk 7	0,82	200	2,6	3,42	4,89
Doplněk 5 – Centrum 6	0,88	250	2,2	8,82	2,21

Na základě výpočtu poklesu teplot v potrubí byly stanoveny i tepelné ztráty v soustavě za období jednoho roku, které dosahují velikosti 54 948 GJ. Z celkové dodané energie do soustavy o velikosti 304 543,1 GJ tak představují ztrátu o velikosti 18 %.

### **6.3 Vliv hodnoty COP a ceny plynu na připojování zdrojů**

Simulace případu připojování tepelných čerpadel v závislosti na hodnotě COP ukazuje, že během roku je možno úplně nahradit nebo alespoň částečně zmenšit dodávku tepla z jiných zdrojů tak, jak to lze vidět v tabulce 5.11, za dodávku tepla z tepelných čerpadel, která byla jako náhrada těchto zdrojů do sítě během simulace připojena.

Pokud bude do simulace zahrnuta i cena plynu, tak si lze v tabulce 5.15 povšimnout, že k připojení plynového kotle došlo pouze 8krát za celý měsíc a pokud bylo třeba, byla chybějící dodávka pokryta kotlem na biomasu.

### **6.4 Finanční náročnost provozu kogenerace**

Výslednou cenu ve výši téměř 12 000 EUR za plyn pro provoz kogenerace za daný den, která je uvedena v tabulce 5.16, lze chápat jako poměrně vysokou. Pokud se však vezme v potaz fakt, že výstupem kogenerační jednotky není pouze energie tepelná, ale i energie elektrická, lze prodejem elektrické energie na trhu výslednou cenu za plyn snížit.

## 7. ZÁVĚR

Diplomová práce seznamuje s problematikou teplárenství a rozvodem tepelné energie a je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části je cílem definovat pojmy, které souvisí s teplárenstvím a hodnocením efektivity investic v teplárenství. V návaznosti na to je představeno teplárenství v České republice spolu s vyjmenováním vybraných teplárenských zdrojů a oblastí a jimi používanými druhy paliv. Následuje bližší pohled na některé tyto zdroje stran významných provedených investic, ročního prodeje tepla a množství produkovaných emisí. Poté jsou vyjmenovány další potenciální zdroje tepla v České republice a je provedeno seznámení s používanými typy rozvodů tepelné energie a jejich materiálovou vybaveností. Závěr teoretické části se věnuje představení způsobu hodnocení efektivity investic v teplárenství.

V praktické části je provedena simulace soustavy zásobování tepelnou energií pro vytvořené scénáře normálního provozu, výpadku zdroje a zimní špičky. Taktéž je proveden výpočet pro určení poklesu teplot v potrubích a následného zjištění velikosti ztrát v soustavě za období jednoho roku. Pomyslná druhá část je věnována simulacím s variabilitou zdrojů, kdy dochází k přizpůsobování výroby ostatních zdrojů v závislosti na možnosti připojení tepelných čerpadel podle hodnoty COP, respektive připojení tepelných čerpadel podle hodnoty COP v kombinaci s cenou plynu pro plynový kotel v daný den a hodinu.

## LITERATURA

- [1] TAČR. *Prioritní výzkumné cíle 2. veřejná soutěž programu THĚTA 2*. Online. Praha, 2024. Dostupné z: [https://tacr.gov.cz/wp-content/uploads/documents/2024/08/30/1725019382\\_P%C5%99%C3%ADloha%20%C4%8D.%201%20-%20Prioritn%C3%AD%20v%C3%BDzkumn%C3%A9%20c%C3%ADle.pdf](https://tacr.gov.cz/wp-content/uploads/documents/2024/08/30/1725019382_P%C5%99%C3%ADloha%20%C4%8D.%201%20-%20Prioritn%C3%AD%20v%C3%BDzkumn%C3%A9%20c%C3%ADle.pdf) [cit. 2024-12-12].
- [2] ERÚ. *O ERÚ*. Online. Energetický regulační úřad. 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/o-eru>. [cit. 2024-12-12].
- [3] MŽP. *Posuzování vlivů na životní prostředí*. Online. Praha. Dostupné z: <https://mzp.gov.cz/cz/agenda/environmentalni-nastroje/posuzovani-vlivu-na-zivotni-prostredi>. [cit. 2024-12-12].
- [4] ČESKO. Zákon č. 76/2002 Sb. Zákon o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci). Online. In: *Zákony pro lidi*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-76>. [cit. 2024-12-14].
- [5] EU. Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2017/1442: závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU pro velká spalovací zařízení. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Publications Office of the European Union, 2017. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/ALL/?uri=CELEX%3A32017D1442>. [cit. 2024-12-12].
- [6] MPO. *Referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách (BREF)*. Online. Praha, 2013. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/ippc/bref/--143226/>. [cit. 2024-12-14].
- [7] ČESKO. Zákon č. 526/1990 Sb. Zákon o cenách. Online. In: *Zákony pro lidi*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1990-526>. [cit. 2024-12-12].
- [8] KEBORT, Michal. *Tisková zpráva: ERÚ vydal nové cenové rozhodnutí pro teplárenství*. Praha: ERÚ, 2021. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/eru-vydal-nove-cenove-rozhodnuti-pro-teplarenstvi>. [cit. 2024-12-12].
- [9] ERÚ. *Jaké jsou základní podmínky pro ceny tepelné energie?* Online. Dostupné z: [https://eru.gov.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/teplo/01\\_zakladni-podminky.pdf](https://eru.gov.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/teplo/01_zakladni-podminky.pdf). [cit. 2024-12-12].
- [10] HODBOŇ, Josef. *Bytový dům a náklady za teplo z pohledu struktury ceny tepla*. Online. TZB-info. 2023. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/24794-bytovy-dum-a-naklady-za-teplo-z-pohledu-struktury-ceny-tepla>. [cit. 2024-12-14].
- [11] ERÚ. *Jaká jsou pravidla pro sjednání ceny tepelné energie?* Online. Dostupné z: [https://eru.gov.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/teplo/26\\_sjednani.pdf](https://eru.gov.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/teplo/26_sjednani.pdf). [cit. 2024-12-14].

- [12] HONDLOVÁ, Sylva. *Cenové rozhodnutí ERÚ k cenám tepelné energie na rok 2025*. Online. Jihlava: ERÚ, 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/cenove-rozhodnuti-ceny-tepelne-energie-2025>. [cit. 2024-12-14].
- [13] ELEKTRÁRNÝ OPATOVICE A.S. *Ceny a obchodní podmínky: Zákazník jasně ví, za co platí*. Online. Dostupné z: <https://www.eop.cz/ceny-a-obchodni-podminky>. [cit. 2024-12-14].
- [14] ELEKTRÁRNÝ OPATOVICE A.S. *Otázky a odpovědi*. Online. Dostupné z: <https://www.eop.cz/nejcastejsi-otazky>. [cit. 2024-12-14].
- [15] ERÚ. *Roční zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky 2023*. Online. 06/2024. Jihlava, 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/rocn-zprava-o-provozu-teplarenskych-soustav-cr-za-rok-2023>. [cit. 2024-12-13].
- [16] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. *Program pro poskytování podpory z prostředků Modernizačního fondu: Modernizace soustav zásobování tepelnou energií (HEAT)*. Online. Praha, 2021. Dostupné z: [https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621341727\\_ModF\\_HEAT\\_podminky.pdf](https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/05/18/1621341727_ModF_HEAT_podminky.pdf). [cit. 2024-12-12].
- [17] PRAŽSKÁ TEPLÁRENSKÁ. *Energetický slovníček*. Online. VEOLIA. Praha. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/energeticky-slovnicek/>. [cit. 2024-12-12].
- [18] ELEKTRÁRNÝ OPATOVICE A.S. *Co je ZEVO?* Online. Opatovice nad Labem. Dostupné z: <https://www.zevo-opatovice.cz/co-je-zevo/>. [cit. 2024-12-12].
- [19] REPSOL. *What is cogeneration of energy?* Online. Dostupné z: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/cogeneration/index.cshtml>. [cit. 2024-12-12].
- [20] BUDÍN, Jan. *Kogenerace – princip, technologie a výhody*. Online. Oenergetice.cz. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>. [cit. 2024-12-12].
- [21] TEPLŮ ZLÍN, A.S. *Slovníček pojmů*. Online. Dostupné z: <https://www.teplozlin.cz/slovnicek-pojmu>. [cit. 2024-12-13].
- [22] EU. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů*. Online. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Publications Office of the European Union, 2018. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>. [cit. 2024-12-12].
- [23] KOZELSKÝ, Tomáš a NOVÁK, Radek. *Teplárenství v ČR*. Online. Praha, 2018. Dostupné z: [https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www\\_csas\\_cz/dokumenty/analzy/Tepl%C3%A1renstv%C3%AD%20v%20C4%8CR\\_2018\\_10\\_public.pdf](https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/dokumenty/analzy/Tepl%C3%A1renstv%C3%AD%20v%20C4%8CR_2018_10_public.pdf). [cit. 2024-12-12].
- [24] KARAFIÁT, Josef. *Popis systémů CZT: Historie, typy a principy KVET*. Online. Dostupné z: [https://www.powerwiki.cz/attach/Vyroba/Popis\\_systemu\\_CZT.pdf](https://www.powerwiki.cz/attach/Vyroba/Popis_systemu_CZT.pdf). [cit. 2024-12-12].
- [25] TEPLŮ BRUNTÁL A.S. *Pojmy v teplárenství*. Online. 19.2.2017. Dostupné z: <https://www.teplobr.cz/pojmy-v-teplarenstvi/d-1068>. [cit. 2024-12-13].

- [26] ERÚ. *Roční zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky 2022*. Online. 6/2023. Jihlava, 2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/rocní-zprava-o-provozu-teplarenskych-soustav-cr-za-rok-2022>. [cit. 2024-12-13].
- [27] EGÚ BRNO, A.S. *Centrální a decentrální výroba elektřiny a tepla*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.ceskajadernaasociace.cz/wp-content/uploads/2021/05/Centralni-a-decentralni-vyroba-elektriny-a-tepla.pdf>. [cit. 2024-12-13].
- [28] SKUPINA SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, A.S. *Zpráva o hospodaření 2020*. Online. 2021. Dostupné z: [https://www.suas.cz/images/clanky/Hospodarske/2020\\_HV.pdf](https://www.suas.cz/images/clanky/Hospodarske/2020_HV.pdf). [cit. 2024-12-13].
- [29] UNITED ENERGY, A.S. *Výroční zpráva 2023*. Online. Most-Komořany. Dostupné z: [https://www.ue.cz/files/VZ/2023/UE\\_vyrocní\\_zprava\\_2023.pdf](https://www.ue.cz/files/VZ/2023/UE_vyrocní_zprava_2023.pdf). [cit. 2024-12-13].
- [30] ČEZ, A. S. *Teplárna Trmice, přechod na nízkoemisní zdroje*. Online. ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Informační systém EIA. 2023. Dostupné z: [https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA\\_OV4229?lang=cs](https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OV4229?lang=cs). [cit. 2024-12-13].
- [31] EOP DISTRIBUCE, A.S. *Výroční zpráva 2023*. Online. Opatovice nad Labem, 2024. Dostupné z: [https://www.eop.cz/media/cache/file/5e/EOP-Distribuce\\_vyrocní\\_zprava\\_2023\\_FINAL.pdf](https://www.eop.cz/media/cache/file/5e/EOP-Distribuce_vyrocní_zprava_2023_FINAL.pdf). [cit. 2024-12-13].
- [32] TEPLÁRNA ČESKÉ BUDĚJOVICE, A.S. *Výroba tepla a elektřiny: Popis a technologické schéma výroby*. Online. Dostupné z: <https://www.teplarna-cb.cz/vyroba-tepla-a-elektriny/>. [cit. 2024-12-13].
- [33] TEPLÁRNY BRNO, A.S. *Technologie: Dodávka tepla ze zdrojů SZTE*. Online. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/cs/technologie>. [cit. 2024-12-13].
- [34] SEV.EN ČESKÁ ENERGIE A.S. *Teplárna Zlín s.r.o.* Online. Dostupné z: <https://www.7.cz/cz/skupina/teplarna-zlin.html>. [cit. 2024-12-13].
- [35] VEOLIA ENERGIE ČR, A.S. *Elektrárna Třebovice – největší závod společnosti Veolia*. Online. Dostupné z: <https://www.spolecne2030.cz/nase-moderni-technologie/kotelna>. [cit. 2024-12-13].
- [36] VEOLIA ENERGIE ČR, A.S. *Veolia Energie v Moravskoslezském kraji*. Online. Dostupné z: <https://www.spolecne2030.cz/stranka/veolia-energie-v-moravskoslezskem-kraji>. [cit. 2024-12-13].
- [37] TEPLÁRNA KLADNO S.R.O. *Údaje o výrobě Teplárna Kladno s.r.o. - výroba KLADNO*. Online. 2021. Dostupné z: [https://www.7.cz/files/7zeta/Udaje\\_o\\_vyrobe\\_Kladno\\_2021\\_12.pdf](https://www.7.cz/files/7zeta/Udaje_o_vyrobe_Kladno_2021_12.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [38] SEV.EN ČESKÁ ENERGIE A.S. *Činnosti: Transformační role elektřiny a tepla z uhlí pro přechod k bezfosilní budoucnosti*. Online. Dostupné z: <https://www.7.cz/cz/cinnosti/>. [cit. 2024-12-14].

- [39] C-ENERGY S.R.O. *Výroční zpráva 2023*. Online. Dostupné z: [https://www.c-energy.cz/upload/Dokumenty/Vyrocní\\_zpravy/Vyrocní\\_zprava\\_CEP\\_2023.pdf](https://www.c-energy.cz/upload/Dokumenty/Vyrocní_zpravy/Vyrocní_zprava_CEP_2023.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [40] EGÚ BRNO, A.S. *Potenciál úspor energie při přechodu CZT pára-horká voda*. Online. 2020. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/0209\\_209-15-potencial-uspor-energie-pri-prechodu-czt-para-horka-voda-s-mapou.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/0209_209-15-potencial-uspor-energie-pri-prechodu-czt-para-horka-voda-s-mapou.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [41] KNÁPEK, Jaroslav; VALENTOVÁ, Michaela; KREJCAR, Rostislav; VAŠÍČEK, Jiří a VECKA, Jiří. *Klimaticko-energetické investice v teplotě 2014–2030*. Online. Praha: ČVUT v Praze, 2021. Dostupné z: <https://ekonom.fel.cvut.cz/cs/katedra/lide/valenmi7/cic2030/reports/ipp-teplotenstvi-report-final.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [42] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S. *Výroční zpráva 2023*. Online. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zprava-2023/>. [cit. 2024-12-14].
- [43] SAKO BRNO, A.S. *Výroční zpráva konsolidovaného celku 2023*. Online. Dostupné z: [https://www.sako.cz/sites/default/files/docs/2024/07/sako\\_vz2023.pdf](https://www.sako.cz/sites/default/files/docs/2024/07/sako_vz2023.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [44] TEPLÁRNY BRNO, A.S. *Teplo*. Online. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/cs/teplo>. [cit. 2024-12-14].
- [45] TEPLÁRNY BRNO, A.S. *Výroční zpráva za období říjen 2022 až září 2023*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/cs/vyrocní-zpravy>. [cit. 2024-12-14].
- [46] EUROPEAN COMMISSION. *Union Registry*. Online. 2024. Dostupné z: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_en). [cit. 2024-12-14].
- [47] SEVEROČESKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S. *Ceny tepelné energie a ostatních komodit pro rok 2024*. Online. 2023. Dostupné z: <https://setep.cz/files/ke-stazeni/ceny-tepla/Ceny-pro-rok-2024.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [48] EOP DISTRIBUCE, A.S. *Ceník tepelné energie účinný od 1. 1. 2024 - Pro obce: Hradec Králové, Pardubice, Chrudim, Rybitví, Lázně Bohdaneč*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.eop.cz/media/cache/file/d2/Cenik-tepla-EOP-Distribuce-2024.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [49] C-ENERGY S.R.O. *Cenová pravidla C-Energy Planá pro rok 2024*. Online. Dostupné z: [https://www.c-energy.cz/upload/Dokumenty/Cenik/Cen\\_k\\_2024.pdf](https://www.c-energy.cz/upload/Dokumenty/Cenik/Cen_k_2024.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [50] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S. *Ceník*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/data/folders/372.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [51] KOMERČNÍ BANKA, A.S. *Zisk*. Online. KB. Dostupné z: <https://www.kb.cz/cs/podpora/slovník/vyrazy-zacinajici-na-z/zisk>. [cit. 2024-12-14].

- [52] UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVĚ. *Tržba*. Online. Otvorená filozofická encyklopédia. Bratislava. Dostupné z: <https://dai.fmph.uniba.sk/~filit/fvt/trzba.html>. [cit. 2024-12-14].
- [53] EUROSTAT. *Carbon dioxide equivalent*. Online. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent). [cit. 2024-12-14].
- [54] SVITÁK, Marek. *Bezemisní teplo už proudí z Temelína do Českých Budějovic*. Online. Temelín, 2023. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/bezemisni-teplo-uz-proudi-z-temelina-do-ceskych-budejovic-183168>. [cit. 2024-12-13].
- [55] SVITÁK, Marek. *Za rok provozu dodal Temelín do Českých Budějovic 663 tisíc gigajoulů tepla*. Online. Temelín, 2024. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/za-rok-provozu-dodal-temelin-do-ceskych-budejovic-663-tisic-gigajoulu-tepla-201546>. [cit. 2024-12-13].
- [56] SKLENÁŘ, Oldřich. *Je horkovod z Dukovan skutečně nejlepším řešením?* Online. *Oenergetice.cz*. 2022. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/horkovod-dukovan-skutecne-nejlepsim-remenim>. [cit. 2024-12-14].
- [57] BRNO. *Horkovod z jaderné elektrárny Dukovany do Brna*. Online. 2024. Dostupné z: <https://cobude.brno.cz/projekt/tepelný-napajec-dukovany-brno/>. [cit. 2024-12-14].
- [58] ČESKO. Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. Online. In: *Zákony pro lidi*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>. [cit. 2024-12-14].
- [59] MPO. *Posouzení dekarbonizace dálkového vytápění v České republice*. Online. Praha, 2024. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2024/9/Posouzeni-dekarbonizace-dalkoveho-vytapeni-v-Cesku.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [60] MPO. *Plán pro malé a střední reaktory v České republice – využití a hospodářský přínos*. Online. Praha, 2023. Dostupné z: [https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2023/11/PlanSMR\\_graficke-zpracovani\\_CZ.pdf](https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2023/11/PlanSMR_graficke-zpracovani_CZ.pdf). [cit. 2024-12-14].
- [61] HÁJEK, Martin a VECKA, Jiří. *Potenciál využití nízkoteplotních zdrojů tepla v soustavách zásobování tepelnou energií (SZTE) v ČR: Závěrečná zpráva z projektu – modelování využitelnosti nízkoteplotních zdrojů tepla v teplárenství*. Online. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, 2024. Dostupné z: <https://tscr.cz/wp-content/uploads/2024/04/potencial-vyuziti-nizkoteplotnich-zdroju-tepla-v-SZTE-v-CR.pdf>. [cit. 2024-12-14].
- [62] MPO. *Vodíková strategie České republiky aktualizace 2024*. Online. Praha, 2024. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2024/7/Vodikova-strategie-CR-aktualizace-2024.pdf>. [cit. 2025-05-04].

- [63] WAISOVÁ, Šárka. *Od plynu k vodíku. Německo připravuje výstavbu nových elektráren.* Online. HYTEP. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/aktuality/od-plynu-k-vodiku-nemecko-pripravuje-vystavbu-novych-elektraren>. [cit. 2025-05-04].
- [64] EUTURBINES. *H2-Readiness of Turbine Based Power Plants – A Common Definition.* Online. 2021. Dostupné z: <https://www.euturbines.eu/wp-content/uploads/2021/09/EUTurbines-H2-ready-Definition-September-2021-1.pdf>. [cit. 2025-05-04].
- [65] BOYKO, Ekaterina; BYK, Felix; ILYUSHIN, Pavel; MYSHKINA, Lyudmila a FILIPPOV, Sergey. *Approach to Modernizing Residential-Dominated District Heating Systems to Enhance Their Flexibility, Energy Efficiency, and Environmental Friendliness.* Online. MDPI, 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app132212133>. [cit. 2024-12-14].
- [66] EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/1791: o energetické účinnosti a o změně nařízení (EU) 2023/955 (přepřacované znění). Online. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Publications Office of the European Union, 2023. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32023L1791>. [cit. 2024-12-14].
- [67] FINTHERM A.S. *Produktový katalog předizolovaného potrubí a příslušenství.* Online. 2023. Dostupné z: <https://www.finterm.cz/>. [cit. 2024-12-14].
- [68] HRDÝ, Milan. *Dlouhodobý finanční management.* Online. Wolters Kluwer, 2019. ISBN 978-80-7598-318-3. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/dlouhodoby-financni-management-11111/>. [cit. 2024-12-14].
- [69] APKO, Martin; BERAN, Hanuš; KOHOUT, Pavel; KLOUČEK, Vladislav a ČÍŽEK, Bohumil. *Zpracování, ověření a certifikace metodiky pro hodnocení efektivity investic v teplárenství.* Online. Praha: Taures, 2022. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/tirderu812-hodnoceni-efektivita-investic-v-regulovanych-sektorech-energetiky-v-cr>. [cit. 2024-12-14].
- [70] FERNANDO, Jason. *Net Present Value (NPV): What It Means and Steps to Calculate It.* Online. Investopedia.com. 2024. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>. [cit. 2024-12-14].
- [71] KISLINGEROVÁ, Eva. *Manažerské finance.* Online. 3. vydání. Praha: C. H. Beck, 2010. ISBN 978-80-7400-194-9. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=5p289uN-i18C&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>. [cit. 2024-12-18].
- [72] FERNANDO, Jason. *Internal Rate of Return (IRR): Formula and Examples.* Online. Investopedia.com. 2024. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>. [cit. 2024-12-18].

- [73] BALOGOVÁ, Kristina. *Ekonomické hodnocení veřejného investičního projektu*. Diplomová práce, vedoucí doc. Ing. Vít Hromádka, Ph.D. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení, 2019. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=202183](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=202183).
- [74] LOHMEIER, Daniel; CRONBACH, Dennis; DRAUZ, Simon Ruben; BRAUN, Martin a KNEISKE, Tanja Manuela. Pandapipes: An Open-Source Piping Grid Calculation Package for Multi-Energy Grid Simulations: An Open-Source Piping Grid Calculation Package for Multi-Energy Grid Simulations. Online. Sustainability. 2020, roč. 12, č. 23, article 9899. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su12239899>. [cit. 2025-05-04].
- [75] ANTHROPIC. *Konverzace s Claude.AI o kódu pro simulování systému zásobování teplem*. Online. 2025. Claude 3.7 Sonnet. AI program. Dostupné z: <https://claude.ai/new>. [cit. 2025-05-4]
- [76] CONDA-FORGE. *User Documentation: A brief introduction*. Online. 2025. Dostupné z: <https://conda-forge.org/docs/user/introduction/>. [cit. 2025-05-04].
- [77] ANACONDA. *GNU Linear Programming Kit*. Online. Dostupné z: <https://anaconda.org/conda-forge/glpk>. [cit. 2025-05-04].
- [78] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR ENERGY ECONOMICS AND ENERGY SYSTEM TECHNOLOGY. *Pandapipes – Networks*. Online. Dostupné z: <https://pandapipes.readthedocs.io/en/latest/networks.html>. [cit. 2025-05-04].
- [79] FINTHERM A.S. *Prospekt*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.fintherm.cz/>. [cit. 2025-04-20].
- [80] EVROPSKÁ KOMISE PRO NORMALIZACI. ČSN EN ISO 6708 (130015), *Potrubní části. Definice a výběr jmenovitých světlostí. DN*. Online. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-6708-130015-166886.html#>. [cit. 2025-05-08].
- [81] FRAUNHOFER INSTITUTE FOR ENERGY ECONOMICS AND ENERGY SYSTEM TECHNOLOGY. *The Pipeflow Procedure*. Online. Dostupné z: [https://pandapipes.readthedocs.io/en/latest/pipeflow/pipeflow\\_procedure.html](https://pandapipes.readthedocs.io/en/latest/pipeflow/pipeflow_procedure.html). [cit. 2025-05-04].
- [82] BOGDANOV, Dmitrii; SATYMOV, Rasul a BREYER, Christian. Impact of temperature dependent coefficient of performance of heat pumps on heating systems in national and regional energy systems modelling: Supplementary Material. Online. Applied Energy. 2024, č. 371. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261924010304-mmc1.pdf>. [cit. 2025-05-04].
- [83] GRIDX. *Coefficient of Performance (COP)*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.gridx.ai/knowledge/coefficient-of-performance-cop>. [cit. 2025-05-09].

- [84] OTE. *Výsledky vnitrodenního trhu plyn – březen 2025*. Online. Praha, 2025. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/plyn/vnitrodenni-trh?date=2025-03-01>. [cit. 2025-05-04].

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

AI	Umělá inteligence
BAT	Nejlepší dostupné techniky
BREF	Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách
C	Uzel centrum
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
COP	Topný faktor
CZT	Centralizované zásobování teplem
ČEZ	České energetické závody
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
D	Doplňkový uzel
DN	Jmenovitá světlost
DPH	Daň z přidané hodnoty
EIA	Posuzování vlivů na životní prostředí
EN	Evropská norma
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
EUR	Euro
GLPK	GNU Linear Programming Kit
GTE	Geotermální energie
H <sub>2</sub>	Vodík
IRR	Vnitřní výnosové procento
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Kč	Koruna česká
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
NPV	Čistá současná hodnota
OTE	Operátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PE	Polyethylen
PI	Index ziskovosti
PP	Doba návratnosti
PUR	Polyuretan
SMR	Malý modulární reaktor
SZTE	Systém zásobování tepelnou energií
TČ	Tepelné čerpadlo
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů

Symbols:

$c$	měrná tepelná kapacita	(J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$C_0$	počáteční investiční náklady	(Kč)
$C_t$	cashflow v letech	(Kč)
$CF_i$	cashflow v letech	(Kč)
$E$	energie	(J)
$IC$	investiční náklady	(Kč)
$IRR$	vnitřní výnosové procento	(-)
$k$	diskontní sazba	(-)
$l$	délka	(m)
$n$	doba hodnocení investice	(-)
$NPV$	čistá současná hodnota	(Kč)
$P_t$	tepelný výkon	(W <sub>t</sub> )
$p$	tlak	(Pa, bar)
$PI$	index ziskovosti	(-)
$PP$	doba návratnosti	(rok)
$Q$	teplo	(J)
$Q_m$	hmotnostní průtok	(kg/s)
$R$	roční výnos	(Kč/rok)
$T$	doba hodnocení investice	(-)
$t$	teplota	(°C)
$\alpha$	součinitel přestupu tepla	(W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
$\Delta P_t$	ztrátový tepelný výkon	(W <sub>t</sub> )
$\Delta T$	rozdíl teplot	(K)
$\lambda$	tepelná vodivost	(W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )

# **SEZNAM PŘÍLOH**

**PŘÍLOHA A – ZDROJOVÝ KÓD DP\_OSTADAL.PY**

**PŘÍLOHA B – SOUBOR S CENAMI PLYNU VDT\_PLYN\_03\_2025\_CZ.XLSX**