

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Výpočetní nástroj pro optimální dimenzování zdroje kombinované výroby elektřiny a tepla

Bc. Martin Lukeš

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lukeš** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **492392**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Výpočetní nástroj pro optimální dimenzování zdroje kombinované výroby elektřiny a tepla

Název diplomové práce anglicky:

Computational tool for optimal sizing of combined heat and power sources

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište kogenerační výrobu elektřiny a tepla a její technologii a porovnejte ji s oddělenou výrobou elektřiny a tepla.
- 2) Popište zásady dimenzování kogeneračního zdroje elektřiny a tepla.
- 3) Charakterizujte metody posuzování ekonomické efektivity energetických investic.
- 4) Navrhněte výpočetní nástroj pro optimální dimenzování zdroje kombinované výroby elektřiny a tepla.

Seznam doporučené literatury:

- 1) DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- 2) KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- 3) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika - 1. díl. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
- 4) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika - 2. díl. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-097-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **08.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 23. 5. 2024

Martin Lukeš

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu Diplomové práce Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D, za odborné vedení, cenné připomínky a za veškerou pomoc, kterou mi během zpracování diplomové práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu během studia.

Abstrakt

Diplomová práce se v teoretické části zabývá popisem kombinované výroby elektřiny a tepla, kogeneračních jednotek, porovnání se samostatnou výrobou elektřiny a tepla, návrhem kogenerační jednotky a ekonomickým zhodnocení investic. Tyto informace jsou pak využité v praktické části, která se zabývá tvorbou výpočetního nástroje pro dimenzování kogenerační jednotky.

Praktická část obsahuje popis elektrické a tepelné spotřeby. Dále tu jsou popsány vybrané varianty a nástroj, který byl vytvořen ve Wolfram Mathematica. Spotřeby a parametry vybraných variant byly vloženy do nástroje a z nástroje jsme poté dostali technické výsledky. Ty byly v nástroji dále využity k ekonomickému zhodnocení. Dále zde jsou provedeny citlivostní analýzy vstupních parametrů.

Klíčová slova

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla, Kogenerační jednotka, Ekonomická kritéria, Wolfram Mathematica, Spalovací motor

Abstract

The theoretical part of the thesis deals with the description of combined production of electricity and heat, cogeneration units, comparison with separate production of electricity and heat, design of cogeneration unit and economic evaluation of investments. This information is then used in the practical part, which deals with the development of a calculation tool for sizing the cogeneration unit.

The practical part contains a description of the electrical and thermal consumption. It also describes selected variants and the tool, which was developed in Wolfram Mathematica. The consumption and parameters of the selected variants were entered into the tool and the technical results were then obtained from the tool. These were further used in the tool for economic evaluation. In addition, sensitivity analyses of the input parameters are performed.

Keyword

Combined heat and power, Cogeneration unit, Economic criteria, Wolfram Mathematica, Combustion engine

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Kogenerace obecný popis a její technologie | 2 |
| 2.1 | Technické části zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla | 2 |
| 2.1.1 | Zařízení pro úpravu paliva..... | 3 |
| 2.1.2 | Primární jednotka | 3 |
| 2.1.3 | Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie..... | 3 |
| 2.1.4 | Zařízení pro rekuperaci tepelné energie | 4 |
| 2.1.5 | Kontrolní a řídicí systém | 4 |
| 2.1.6 | Akumulační nádrž..... | 4 |
| 2.1.7 | Absorpční chladicí jednotka | 5 |
| 2.2 | Dělení kombinované výroby elektřiny a tepla..... | 5 |
| 2.3 | Technické parametry kogenerační jednotky..... | 7 |
| 2.3.1 | Energetická účinnost..... | 7 |
| 2.3.2 | Teplárenský modul | 7 |
| 2.3.3 | Provozní parametry..... | 8 |
| 2.3.4 | Teplárenský součinitel..... | 8 |
| 2.4 | Oblasti použití kogenerace | 8 |
| 2.4.1 | Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem a modernizace elektráren | 9 |
| 2.4.2 | Hotely, internáty, vysokoškolské koleje a domovy důchodců | 9 |
| 2.4.3 | Nemocnice a léčebny dlouhodobě nemocných | 9 |
| 2.4.4 | Administrativní budovy a školy | 9 |
| 2.4.5 | Bazény a sportovní centra..... | 10 |
| 2.4.6 | Průmyslové podniky | 10 |
| 2.4.7 | Čistírna odpadních vod a spalovna komunálního odpadu..... | 10 |
| 2.5 | Porovnání kombinované výroby elektřiny a tepla se samostatnou výrobou | 10 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.5.1 | Úspora paliva | 11 |
| 2.6 | Technologie kogeneračních jednotek..... | 12 |
| 2.6.1 | Parní turbína..... | 12 |
| 2.6.2 | Organický Rankinův cyklus..... | 14 |
| 2.6.3 | Plynová turbína | 16 |
| 2.6.4 | Pístový spalovací motor | 17 |
| 2.6.5 | Stirlingův motor | 18 |
| 2.6.6 | Palivový článek..... | 19 |
| 3 | Zásady návrhu kogenerační jednotky | 21 |
| 3.1 | Místní podmínky | 21 |
| 3.2 | Dimenzování výkonu | 23 |
| 3.3 | Legislativa..... | 24 |
| 3.3.1 | Stavební povolení a kolaudace..... | 24 |
| 3.3.2 | Licence na výrobu elektřiny..... | 24 |
| 3.3.3 | Žádost o připojení výroby do sítě | 25 |
| 3.3.4 | Registrace k OTE | 26 |
| 3.3.5 | Výkup elektřiny..... | 26 |
| 3.4 | Nákup paliva | 26 |
| 3.5 | Servis kogenerační jednotky | 27 |
| 4 | Ekonomické parametry kombinované výroby elektřiny a tepla | 28 |
| 4.1 | Kritéria hodnocení investic | 28 |
| 4.1.1 | Prostá doba návratnosti | 29 |
| 4.1.2 | Diskontovaná doba návratnosti..... | 29 |
| 4.1.3 | Čistá současná hodnota | 30 |
| 4.1.4 | Vnitřní výnosové procento..... | 31 |
| 4.1.5 | Roční ekvivalentní peněžní tok..... | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Výdaje a příjmy kogenerační jednotky..... | 32 |
| 4.2.1 | Výdaje..... | 32 |
| 4.2.2 | Příjmy | 33 |
| 4.2.3 | Zelený bonus | 34 |
| 4.2.4 | Emisní povolenky | 34 |
| 5 | Popis vstupních dat, variant a výpočetního nástroje..... | 36 |
| 5.1 | Popis spotřeby elektrické a tepelné energie..... | 36 |
| 5.1.1 | Spotřeba elektrické energie | 36 |
| 5.1.2 | Spotřeba tepelné energie..... | 38 |
| 5.2 | Popis zvolených variant..... | 40 |
| 5.2.1 | Kogenerační jednotka | 40 |
| 5.2.2 | Kotel | 40 |
| 5.2.3 | Akumulační nádrž..... | 41 |
| 5.2.4 | Shrnutí | 41 |
| 5.3 | Výpočetní nástroj..... | 42 |
| 5.3.1 | Použitý program | 42 |
| 5.3.2 | Vstupní část nástroje..... | 42 |
| 5.3.3 | Popis technické části nástroje..... | 46 |
| 5.3.4 | Popis ekonomické části nástroje..... | 53 |
| 6 | Technické zhodnocení variant | 57 |
| 6.1 | Shrnutí technických výsledků..... | 57 |
| 6.2 | Technické výsledky varianty 1 - MNG 500 | 58 |
| 6.3 | Technické výsledky varianty 2 – MTUNG 700 | 59 |
| 6.4 | Technické výsledky varianty 3 – MTUNG 850 | 61 |
| 6.5 | Technické výsledky varianty 4 – MTUNG 1000 | 63 |
| 6.6 | Technické výsledky varianty 5 – MTUNG 1200 | 64 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7 | Ekonomické zhodnocení variant | 66 |
| 7.1 | Počáteční investice vybraných variant | 66 |
| 7.2 | Volba ekonomických parametrů | 66 |
| 7.2.1 | Doba hodnocení projektu | 66 |
| 7.2.2 | Diskont | 66 |
| 7.2.3 | Náklady na servis | 67 |
| 7.2.4 | Elektrína | 67 |
| 7.2.5 | Zemní plyn | 68 |
| 7.2.6 | Cena tepla | 68 |
| 7.3 | Výsledky ekonomických kritérií | 68 |
| 7.4 | Průběhy peněžních toků | 69 |
| 7.5 | Citlivostní analýza | 72 |
| 7.5.1 | Vliv diskontu na NPV | 72 |
| 7.5.2 | Vliv ceny tepla na NPV | 74 |
| 7.5.3 | Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV | 75 |
| 7.5.4 | Vliv výše ceny nakupovaného zemního plynu na NPV | 76 |
| 7.5.5 | Vliv ceny zemního plynu a elektřiny na nejlepší variantu dle NPV | 76 |
| 7.6 | Závěrečné zhodnocení | 77 |
| 8 | Závěr | 78 |
| 9 | Zdroje | 80 |
| 10 | Seznam příloh | 83 |

Obrázky

| | |
|---|----|
| Obr. 2-1 Princip kombinované výroba užitných energetických forem | 2 |
| Obr. 2-2 Elektronická platforma Vitobloc[3] | 4 |
| Obr. 2-3 Zdroje tepla pro vytápění hlavního města Prahy[4] | 6 |
| Obr. 2-4 T-s diagram a schéma Clausiova-Rankinova cyklu | 13 |
| Obr. 2-5 Základní schéma zapojení protitlaké parní turbíny | 13 |
| Obr. 2-6 Základní schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem tepla | 14 |
| Obr. 2-7 T-s diagram pro ideální/reálný organický Rankinův cyklus[8] | 15 |
| Obr. 2-8 Principiální schéma kogeneračního zařízení s organickým teplonositelem | 15 |
| Obr. 2-9 T-s diagram a schéma Braytonova cyklu | 16 |
| Obr. 2-10 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem | 17 |
| Obr. 2-11 Princip práce Stirlingova motoru | 18 |
| Obr. 2-12 Schéma zařízení pro kogenerační využití palivových článků | 19 |
| Obr. 3-1 Roční diagramy trvání potřeby tepla | 22 |
| Obr. 3-2 Rozdělení území ČR mezi distributory elektřiny[14] | 25 |
| Obr. 3-3 Rozdělení území ČR mezi distributory plynu[16] | 27 |
| Obr. 4-1 Cena Evropských emisních povolenek[19] | 35 |
| Obr. 5-1 Měsíční spotřeba elektrické energie v roce 2023 | 36 |
| Obr. 5-2 Spotřeba elektrické energie ve zvolených dnech v roce 2023 | 37 |
| Obr. 5-3 Celková denní spotřeba elektrické energie v roce 2023 | 37 |
| Obr. 5-4 Krabicový graf celkové denní spotřeby elektrické energie v roce 2023 | 38 |
| Obr. 5-5 Měsíční spotřeba tepelné energie v roce 2023 | 38 |
| Obr. 5-6 Celková denní spotřeba tepelné energie v roce 2023 | 39 |
| Obr. 5-7 Maximální a minimální denní spotřeba tepelné energie v roce 2023 | 39 |
| Obr. 5-8 Nízkoteplotní kotel Vitoplex 200[21] | 40 |
| Obr. 5-9 Import excel souborů s daty | 42 |

| | |
|--|----|
| Obr. 5-10 Ukázka prvního listu souboru s informacemi o zvolených variantách..... | 43 |
| Obr. 5-11 Ukázka druhého listu souboru s informacemi o zvolených variantách | 43 |
| Obr. 5-12 Ukázka formátu souboru se spotřebou elektrické a tepelné energie | 44 |
| Obr. 5-13 Ukázka formátu souboru s průměrnou denní teplotou a rychlostí větru | 44 |
| Obr. 5-14 Vstupní část nástroje – Technické údaje | 45 |
| Obr. 5-15 Vstupní část nástroje – Zpracování technických údajů | 45 |
| Obr. 5-16 Vstupní část nástroje – Ekonomické údaje..... | 46 |
| Obr. 5-17 Vstup TechFunkce..... | 47 |
| Obr. 5-18 Volba parametrů dle varianty a výpočet vyrobené energie za časové interval | 48 |
| Obr. 5-19 Volba situace pro výpočet vyrobeného tepla..... | 49 |
| Obr. 5-20 Funkce pro řešení situace | 49 |
| Obr. 5-21 Funkce pro řešení situace 2 | 50 |
| Obr. 5-22 Funkce pro řešení situace 3 | 50 |
| Obr. 5-23 Výpočet el. energie a spotřebovaného paliva kogenerační jednotky | 51 |
| Obr. 5-24 Výpočet ztrát akumulární nádrže | 51 |
| Obr. 5-25 Výstup TechFunkce..... | 52 |
| Obr. 5-26 Volání TechFunkce | 53 |
| Obr. 5-27 Zpracování výsledků z technické části | 53 |
| Obr. 5-28 Výpočet roční ceny za denní rezervovanou distribuční kapacitu..... | 54 |
| Obr. 5-29 Vstup funkce a výběr hodnot z tech. části..... | 55 |
| Obr. 5-30 Výpočet cash flow | 55 |
| Obr. 5-31 Výpočet ekonomických kritérií a výstup funkce..... | 56 |
| Obr. 6-1 Měsíční výroba tepelné energie varianty 1 - MNG 500..... | 59 |
| Obr. 6-2 Denní výroba tepla varianty 1 - MNG 500..... | 59 |
| Obr. 6-3 Měsíční výroba tepelné energie varianty 2 - MTUNG 700..... | 60 |
| Obr. 6-4 Denní výroba tepla varianty 2 - MTUNG 700 | 61 |

| | |
|---|----|
| Obr. 6-5 Měsíční výroba tepelné energie varianty 3 - MTUNG 850 | 62 |
| Obr. 6-6 Denní výroba tepla varianty 3 - MTUNG 850..... | 62 |
| Obr. 6-7 Měsíční výroba tepelné energie varianty 4 - MTUNG 1000 | 63 |
| Obr. 6-8 Denní výroba tepla varianty 4 - MTUNG 1000..... | 64 |
| Obr. 6-9 Měsíční výroba tepelné energie varianty 5 - MTUNG 1200 | 65 |
| Obr. 6-10 Denní výroba tepla varianty 5 - MTUNG 1200..... | 65 |
| Obr. 7-1 Vývoj ceny elektřiny za posledních 5 let[27] | 67 |
| Obr. 7-2 Vývoj ceny zemního plynu za posledních 5 let[29]..... | 68 |
| Obr. 7-3 Průběh CF od roku 0 až do 5. roku investice | 70 |
| Obr. 7-4 Průběh DCF od roku 0 až do 10. roku investice | 70 |
| Obr. 7-5 Průběh DCF od 10. roku až do konce investice | 71 |
| Obr. 7-6 Průběh KDCF od roku 0 až do 10. roku investice | 71 |
| Obr. 7-7 Průběh KDCF od 10. roku do konce hodnocení investice | 72 |
| Obr. 7-8 Závislost NPV na diskontu | 72 |
| Obr. 7-9 Závislost NPV na diskontu – detail 1 | 73 |
| Obr. 7-10 Závislost NPV na diskontu – detail 2 | 73 |
| Obr. 7-11 Vliv ceny tepla na NPV | 74 |
| Obr. 7-12 Vliv ceny tepla na NPV při 90% ceně zemního plynu | 74 |
| Obr. 7-13 Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV | 75 |
| Obr. 7-14 Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV – detail | 75 |
| Obr. 7-15 Vliv ceny zemního plynu na NPV | 76 |

Tabulky

| | |
|--|----|
| Tab. 3-1 Běžné plánované lhůty údržby a oprav | 27 |
| Tab. 5-1 Parametry vybraných kogeneračních jednotek..... | 40 |
| Tab. 5-2 Velikost akumulární nádrže vybraných variant | 41 |
| Tab. 5-3 Shrnutí vybraných variant | 41 |
| Tab. 6-1 Roční výroba elektrické a tepelné energie zvolených variant | 57 |
| Tab. 6-2 Procentuální rozdělení spotřeby tepla a elektřiny v objektu | 58 |
| Tab. 6-3 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 1 - MNG 500 | 58 |
| Tab. 6-4 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 2 - MTUNG 700 | 60 |
| Tab. 6-5 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 3 - MTUNG 850 | 61 |
| Tab. 6-6 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 4 - MTUNG 1000 | 63 |
| Tab. 6-7 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 5 - MTUNG 1200 | 64 |
| Tab. 7-1 Investiční náklady vybraných variant..... | 66 |
| Tab. 7-2 Ekonomická kritéria vybraných variant | 69 |
| Tab. 7-3 Nejlepší varianta dle NPV v závislosti na ceně elektřiny a zemního plynu..... | 77 |
| Tab. 8-1 Hlavní parametry zvolené varianty | 78 |

Zkratky

CF – Cash flow

C-R – Clausius–Rankinův

CZT – Centralizovaný zásobování tepla

DCF – Diskontovaných cash flow

DPP – Diskontovaná doba návratnosti

IRR – Vnitřní výnosové procento

KCF – kumulativní cash flow

KDCF – kumulativní diskontovaný cash flow

KVET – Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

NPV – Čistá současná hodnota

ORC – Organický Rankinův cyklus

PP – Prostá doba návratnosti

RCF – Roční ekvivalentní peněžní tok

TUV – Teplá užitková voda

1 Úvod

Už od pravěku lidstvo využívalo různé technologie ke zlepšení života. V dobách pravěku to byla tepelná energie ve formě ohně. Ta se používala k vaření jídla a ohřívání svého obydlí, aby při velkých zimách neumrzli. S postupným vývojem lidstva jsme objevovali technologie, které nám pomáhaly lépe zužítkovat energii nebo ji měnit na jiné formy. Mnohem později, v tomto tisíciletí, jsme objevili elektřinu. Ta je další z důležitých forem energie. V této diplomové práci se více zaměříme na elektrickou a tepelnou energii. Pod slovem výroba chápeme přeměnu jiných forem energie na tyto dvě.

Tepelná energie, jak bylo zde zmíněno, se používala již od pravěku. S postupným objevováním technologií jsme nacházeli další způsoby, jak tuto energii využít. V domácnostech se tato forma energie hlavně využívá k vaření potravin, ohřevu užitkové vody a vytápění objektů. V průmyslu se však objevuje i další využití v různých technologických procesech.

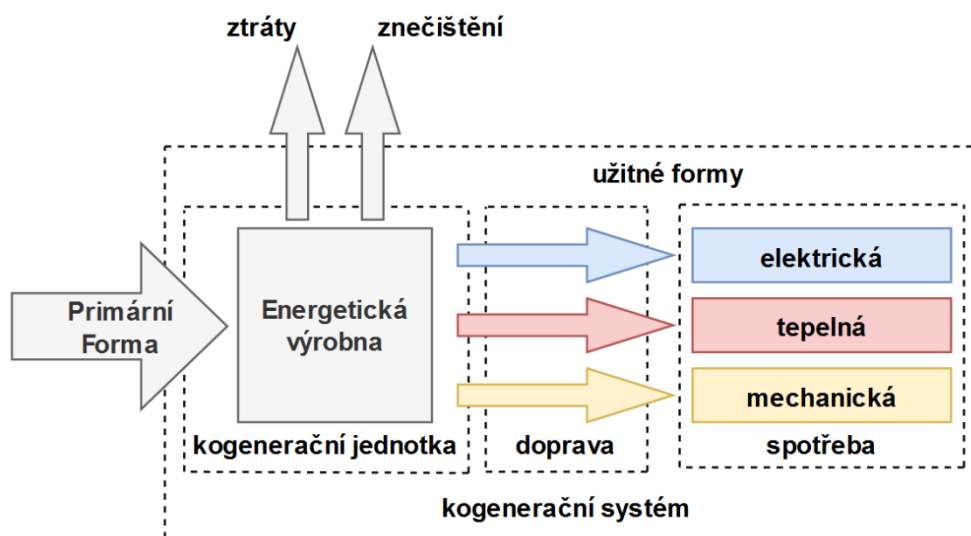
Elektrická energie je často vyráběna v elektrárnách. Ta je pomocí elektrické sítě distribuována do domácností, průmyslových objektů, nemocnic a dalších objektů. V těchto objektech je elektřina využívána k napájení různých zařízení. Tato zařízení využívají elektrickou energii pro splnění své funkce. Například žárovky nebo LED svítidla slouží k osvětlení určitých ploch, elektrické motory slouží k vytváření mechanické energie, bojlerů slouží k ohřevu užitkové vody, elektrické topení na vytápění objektu atd.

Máme různé metody výroby tepelné a elektrické energie. Jak pro samotnou výrobu tepla či elektřiny, tak i technologie, u kterých jsou výstupem obě tyto formy. To má za následek zvýšení celkové účinnosti přeměn a snížení nákladů na provoz. Je ale třeba zhodnotit, zda je výhodné v dané situaci uvažovat o kombinované výrobě elektřiny a tepla (dále také „KVET“).

Tato diplomová práce se bude zabývat KVET. Teoreticky zde bude popsána kogenerace obecně, využitelné technologie pro KVET, zásady dimenzování kogeneračního zdroje a ekonomické zhodnocení investic do KVET. Praktická část diplomové práce se bude zabývat vytvořením nástroje pro optimální dimenzování kogeneračního zdroje, který bude využit pro zvolení vhodné varianty kogenerační jednotky.

2 Kogenerace obecný popis a její technologie

Tato kapitola bude pojednávat o obecném představení KVET, aby čtenář získal základní znalosti o daném tématu. Bude zde popis zařízení pro KVET, které se označuje pojmem „kogenerační jednotka.“ Čtenář se v této kapitole dozví, podle jakých parametrů dělíme kogenerační jednotku a z jakých technických částí se může skládat. Dále zde budou popsány technické parametry, které zde využíváme, vhodné oblasti použití, výhody a nevýhody kogenerace. Bude také zmíněno porovnání KVET se samostatnou výrobou elektřiny a tepla. Ke konci kapitoly budou popsány technologie vhodné pro KVET.



Obr. 2-1 Princip kombinované výroby užitečných energetických forem¹

2.1 Technické části zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla

Kogenerační jednotka je složena z více technických částí, abychom na výstupu kogenerační jednotky měli vyrobenou elektřinu a teplo s danými parametry. Vyrobená elektřina a teplo jsou poté dopravovány na místo spotřeby. To může být buď blízko kogenerační jednotky nebo ve větší vzdálenosti. To závisí na tom, zda se jedná o lokální nebo centrální kogenerační jednotku. Kogenerační jednotka je složena z těchto částí:[1][2]

- Zařízení pro úpravu paliva
- Primární jednotka
- Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie
- Zařízení pro rekuperaci tepelné energie

¹ Překresleno dle [2], str 16

- Kontrolní a řídicí systém

Dále se u kogenerační jednotky můžeme setkat s následujícími pojmy:

- Akumulační nádrž
- Absorpční chladicí jednotka

2.1.1 Zařízení pro úpravu paliva

První částí, kterou kogenerační jednotka obsahuje, je zařízení pro úpravu paliva. V této části se různými způsoby upravují parametry paliva tak, aby bylo vhodné pro danou kogenerační jednotku. Procesy, které se zde mohou vyskytovat, jsou následující:[2]

- zušlechtění paliva
- úprava prvkového složení paliva
- úprava podmínek pro použití daného paliva.

2.1.2 Primární jednotka

Další částí, do které nám už vstupuje upravené palivo z předchozího celku, je primární jednotka. V této části probíhá změna formy energie, a to buď přímo na elektřinu/teplo nebo s mezikrokem na mechanickou, která je dále transformována na elektřinu a teplo. Jaké technologie se mohou využívat, budou popsány v kapitole 2.6 Technologie kogeneračních jednotek[2]

2.1.3 Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie

Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie je součástí kogeneračních jednotek. Slouží k přeměně energie vystupující z primární jednotky na elektrickou energii s vhodnými parametry. Mechanická energie je přeměněna na střídavé napětí v generátoru. V závislosti na kogenerační jednotce se můžeme setkat s asynchronním nebo synchronním generátorem. Kromě generátoru se zde můžeme setkat i s polovodičovým měničem. Ty slouží pro změnu parametrů elektrické energie. Parametry, které se zde mohou měnit, jsou následující: [2]

- Transformace mezi stejnosměrným a střídavým napětím
- změna amplitudy elektrického napětí
- změna frekvence elektrického napětí

2.1.4 Zařízení pro rekuperaci tepelné energie

Jak už zde bylo párkrát zmíněno, kogenerační jednotka nám vyrábí elektřinu a teplo. Proto obsahuje také zařízení pro rekuperaci tepelné energie, které dané teplo připraví pro dopravu k místu spotřeby. To je umožněno díky tepelným výměníkům, které pak teplo přepravují do místa spotřeby v různých formách. Využívá se například voda, vodní pára nebo teplý vzduch.[2]

2.1.5 Kontrolní a řídicí systém

Kontrolní a řídicí systém je zařízení, které řídí výše zmíněné části kogenerační jednotky. Bývá to počítač, díky kterému má vlastník kogenerační jednotky snazší ovládání jednotky a dálkový přístup, například přes internet. To umožňuje dané zařízení dobře monitorovat a předcházet tak problémům, kterých bychom si nemuseli všimnout. To má za důsledek zvýšení spolehlivosti. Dále díky systému můžeme jednoduše zaznamenávat nejrůznější data, která se mohou dále využít k diagnostice kogenerační jednotky.



Obr. 2-2 Elektronická platforma Vitobloc[3]

2.1.6 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž se ke kogenerační jednotce přidává za účelem akumulace vyrobeného tepla. Bez akumulace musíme zajistit, že veškeré teplo, které by kogenerační jednotka vyrobila, jsme schopni spotřebovat. Ohříváním vody v akumulaci si umožníme uložit přebytečné teplo, které bychom jinak nevyužili, a později ho využít. To sice způsobí zvýšení investičních nákladů o nákup akumulace, ale umožní efektivnější využití zdroje a udržení kvality dodávek tepla.

2.1.7 Absorpční chladicí jednotka

Při KVET je požadován neustálý odběr tepla. Ten však často v letních měsících klesá, a tím pádem by se snižovalo využití kogenerační jednotky. Z tohoto důvodu se ke kogenerační jednotce může připojit absorpční chladicí jednotka. Jednotce dodáváme vyrobené teplo z kogenerační jednotky. Teplo je poté využito k výrobě chladu, k výrobě ochlazené vody o nízké teplotě. Tuto vodu pak můžeme dále využívat k technologickým účelům, nebo ke klimatizaci budovy. V případě, že ke kogenerační jednotce připojíme absorpční chladicí jednotku, nazýváme tento proces trigenerací. To umožňuje kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu.

2.2 Dělení kombinované výroby elektřiny a tepla

V této kapitole budou zmíněna několik hledisek, dle kterých můžeme KVET dělit. V závislosti na lokaci KVET, jejího výkonu, počtu přeměn, jejím účelu, dle technologie primární jednotky, nebo dle konstrukce kogenerační jednotky. Dle lokace můžeme KVET dělit na:

- Centrální zdroje elektřiny a tepla
- Lokální zdroje elektřiny a tepla

Centrální zdroje elektřiny a tepla bývají blíže k zdroji paliva. Tím lze ušetřit na následné dopravě paliva a případném skladování. Takovéto zdroje pak dodávají elektřinu a teplo do většího počtu objektů. Situaci, kdy dodáváme teplo přes teplotěnskou síť do většího počtu objektů, nazýváme centralizované zásobování tepla (dále také „CZT“). Například sem můžeme zařadit elektrárnu Mělník, která dodává teplo do Pražské teplotěnské soustavy, a jadernou elektrárnu Temelín, která dodává teplo do Týna nad Vltavou a od nedávna i do Českých Budějovic. Na rozdíl od toho jsou lokální zdroje elektřiny a tepla využívány pro lokální distribuci elektřiny a tepla, ať už do jednoho místa spotřeby nebo do menší skupiny míst, které jsou blízko sebe. Stále se zde ale může objevovat prodej elektřiny do sítě, hlavně v případech, kdy prodáváme vyrobené přebytky elektřiny.[2]



Obr. 2-3 Zdroje tepla pro vytápění hlavního města Prahy[4]

Další způsob dělení kogenerační jednotky je podle jejího maximálního výkonu. Z tohoto hlediska můžeme kogenerační jednotky dělit na:[2]

- Mikro-kogenerace – kogenerace do výkonu 50 kW_e
- Mini-kogenerace – kogenerace do výkonu 500 kW_e
- Kogenerace malého výkonu do 1 MW_e
- Kogenerace středního výkonu do 50 MW_e
- Kogenerace velkého výkonu nad 50 MW_e

Kogenerační jednotku můžeme dělit podle počtu přeměn, které se v kogenerační jednotce vyskytují od získání energie z paliva až po výstup kogenerační jednotky, kde máme k dispozici elektřinu a teplo. Přímou přeměnou nazýváme kogenerační jednotku, kde se energie z paliva přímo uvolní ve formě elektřiny. S touto přeměnou se můžeme setkat v palivových člácích, kde se mění chemická energie paliva vlivem chemických reakcí přímo na elektřinu. Pokud se v kogenerační jednotce vyskytuje mezikrok, nazýváme ji jako nepřímou přeměnu. Mezikrokem může být například mechanická energie, která je dále využita k roztočení generátoru.[2]

Další dělení je dle obsažené primární jednotky v kogenerační jednotce. Můžeme se setkat se třemi většími skupinami primárních jednotek, které obsahují:

- Turbínu
- Motor
- Palivový článek

U turbín se můžeme setkat s následujícími technologiemi:

- Parní turbína
- Organický Rankinův cyklus
- Plynová turbína

U motorů se můžeme setkat s následujícími technologiemi:

- Pístový spalovací motor
- Stirlingův motor

V závislosti na konstrukci můžeme kogenerační jednotku dělit na dvě hlavní provedení: kompaktní blokové provedení a kontejnerové provedení. Blokové provedení bývá kvůli hlučnosti opatřeno protihlukovou kapotou a instaluje se do budovy. Kontejnerové provedení je vhodné k venkovní instalaci, a mezi jeho výhody patří snadná instalace a jeho odolnost proti povětrnostním vlivům.[5]

2.3 Technické parametry kogenerační jednotky

2.3.1 Energetická účinnost

Jedním z ukazatelů u kogenerační jednotky je její účinnost. Ta ukazuje, kolik užitečné energie z paliva při jeho spalování dokážeme přeměnit na vyrobené teplo a elektrickou energii.

$$\eta_{kj} = \frac{E + Q}{P_{kj}} \quad (2.1)$$

Kde:

- η_{kj} Účinnost přeměny energie paliva na elektrickou energii a teplo při KVET (-)
- E Vyrobené množství elektrické energie (kWh)
- Q Vyrobené množství tepla (kWh)
- P_{kj} Energie paliva při KVET (kWh)

2.3.2 Teplárenský modul

Teplárenský modul nám ukazuje, v jakém poměru vyrábí kogenerační jednotka elektrickou energii a teplo. Hodnota teplárenského modulu závisí na zvolené technologii kogenerační jednotky.

$$e = \frac{E}{Q} \quad (2.2)$$

Kde:

- e Teplárenský modul (-)
 E Vyrobené množství elektrické energie (kWh)
 Q Vyrobené množství tepla (kWh)

2.3.3 Provozní parametry

Doba provozu zdroje τ udává, po jakou dobu kogenerační jednotka je zapnutá a v provozu. Je to důležitý ukazatel pro plánované údržby.

Doba využití maximálního výkonu τ_{max} je doba, po kterou by kogenerační jednotka musela být v provozu při maximálním výkonu, aby vyrobila stejné množství energie, jako při běžném provozu.

2.3.4 Teplárenský součinitel

Teplárenský součinitel je definován jako podíl celkového jmenovitého tepelného výkonu kogenerační jednotky a požadovaného tepelného výkonu zdroje, nebo podíl roční dodávky tepla z kogeneračního zdroje a celkové roční dodávky tepla zdroje.

$$\alpha = \frac{Q_{kj}}{Q_{max}} \text{ nebo také } \alpha_r = \frac{Q_{rkj}}{Q_r} \quad (2.3)$$

Kde:

- α Výkonový teplárenský součinitel (-)
 Q_{kj} Součet jmenovitých tepelných výkonů kogeneračních jednotek zdroje (W)
 Q_{max} Požadovaný výpočtový (resp. Maximální) tepelný výkon zdroje (W)
 α_r Roční teplárenský součinitel (-)
 Q_{rkj} Roční dodávka tepla z kogeneračních zdrojů (kWh)
 Q_r Celková roční dodávka tepla zdroje (kWh)

2.4 Oblasti použití kogenerace

Výhodnost kogenerace závisí na charakteru spotřeby. Musíme být schopní odebírat elektřinu a teplo. Z tohoto důvodu jsou některé objekty výhodnější, jelikož mají dostatečně velkou potřebu tepla. V této kapitole budou zmíněny některé oblasti, ve kterých je vhodné uvažovat o nasazení kogenerační jednotky vzhledem k jejich typickému charakteru spotřeby elektřiny a tepla. Oblasti, ve kterých můžeme uvažovat nasazení kogenerační jednotky jsou: [1][5]

- Tepelné zdroje CZT
- Modernizace stávajících elektráren

- Hotely, internáty, vysokoškolské koleje a domovy důchodců
- Nemocnice a léčebny dlouhodobě nemocných
- Administrativní budovy a školy
- Bazény a sportovní centra
- Průmyslové podniky
- Čistírna odpadních voda spalovna komunálního odpadu

2.4.1 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem a modernizace elektráren

Tepelné zdroje CZT vyrábějí teplo, které je poté dopraveno ke spotřebitelům pro vytápění a k ohřev teplé užitkové vody (dále také „TUV“). Mívají dostatečně velkou potřebu výroby tepla, aby zde bylo vhodné uvažovat o nasazení kogenerační jednotky. Další oblastí centrálních zdrojů může být modernizace stávajících elektráren s možností KVET. V ČR jsme si v minulosti mohli povšimnout modernizace různých kondenzačních elektráren. Například již zmíněna elektrárna Mělník v kapitole 2.2.[1][5]

2.4.2 Hotely, internáty, vysokoškolské koleje a domovy důchodců

U lokálních zdrojů elektřiny a tepla je vyrobená energie využita v objektu, a většinou se jen přebytek elektřiny prodává do sítě. Jeden z příkladů, kde lze uvažovat o kogenerační jednotce, jsou hotely. Zde bývá dostatečná potřeba tepla pro zařazení kogenerační jednotky, zejména kvůli většímu počtu ubytovaných lidí. Teplo se v hotelech využívá především na vytápění objektu, ohřev TUV, bazénu a sauny. Kromě hotelů můžeme uvažovat také o internátech a vysokoškolských kolejích. V letních měsících však potřeba TUV klesá z důvodu letních prázdnin studentů. Dalším příkladem jsou domovy důchodců, kde může být dostatečná potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV.[1][5]

2.4.3 Nemocnice a léčebny dlouhodobě nemocných

Nemocnice a léčebny dlouhodobě nemocných jsou svojí velikostí dalším vhodným objektem, kde lze uvažovat o nasazení kogenerační jednotky. Teplo zde bývá využíváno k vytápění objektu a ohřevu TUV. Potřeba TUV zde bývá dostatečně velká i v letních měsících.[1][5]

2.4.4 Administrativní budovy a školy

U administrativních budov a škol bývá dostatečná potřeba tepla v pracovních dnech. Obdobně jako u internátu a vysokoškolských kolejí, zde klesá potřeba tepla v letních měsících. Jednou

z možností, jak tuto situaci zlepšit, je uvažování o absorpční chladicí jednotce pro klimatizaci budovy.[1][5]

2.4.5 Bazény a sportovní centra

U bazénu a sportovních center bývá potřeba tepla celoročně na ohřev vody v bazénu a sprchách. Dále zde bývá potřeba teplo na vytápění. Elektřina je zde potřebná na pohon čerpadel a osvětlení apod.[1][5]

2.4.6 Průmyslové podniky

Průmyslové podniky obecně jsou vhodnou oblastí, kde lze uvažovat o kogenerační jednotce. Bývá zde potřeba tepla na vytápění a ohřev vody. V závislosti na průmyslu zde hraje velkou roli i potřeba tepla pro technologické potřeby. Kogenerační jednotka se může uvažovat například u chemického, papírenského, strojírenského, keramického, cementářského, textilního a potravinářského průmyslu.[1]

2.4.7 Čistírna odpadních vod a spalovna komunálního odpadu

Další vhodnou oblastí jsou čistírny odpadních vod a spalovny komunálního odpadu. Zde se využívá toho, že mají k dispozici palivo, které lze využít v kogenerační jednotce. U čistíren odpadních vod se jako palivo využívá bioplyn, který vzniká během čištění vody. Vyprodukovaná elektřina a teplo jsou poté použity během procesu čištění. Spalovny komunálního odpadu využívají jako palivo komunální odpad. Je tedy vhodné v těchto oblastech uvažovat o nasazení kogenerační jednotky.[1]

2.5 Porovnání kombinované výroby elektřiny a tepla se samostatnou výrobou

KVET přináší několik výhod oproti samostatné výrobě. Jedna z hlavních výhod, kterou KVET přináší, je celková účinnost přeměny. Na rozdíl od samostatné výroby, kde se jen část energie přemění na elektrickou energii a zbytek se ve formě ztrát a zbytkového tepla odvede do ovzduší, u KVET využíváme teplo pro další potřeby. To zvyšuje celkovou účinnost zařízení a snižuje nároky na potřebné palivo. Pro výrobu daného množství elektrické energie a tepla spotřebujeme menší množství paliva než při samostatné výrobě elektřiny a tepla. Tím snižujeme náklady na palivo a také emise skleníkových plynů. Jelikož spalujeme menší množství paliva. Celková

účinnost KVET se pohybuje mezi 70–90 %. Uspořené palivo může dosahovat 40–50 % oproti samostatné výrobě elektřiny a tepla.[6]

Z dalších výhod kogenerace je její decentralizace. Kogeneraci lze stavět blízko spotřeby, což nám snižuje ztráty, které by vznikly přenosem. U elektřiny jsou ztráty na přenosové a distribuční soustavě. Kromě ztrát to přináší také zvýšení spolehlivosti dodávek energie. V případě poruchy v elektrické soustavě, která by způsobila nemožnost odebírat elektrickou energii, můžeme kogenerační jednotku využít jako záložní zdroj energie a provozovat ji v ostrovním provozu.

U kogenerační jednotky je důležité, aby byla schopna současně produkovat elektřinu a teplo. Přebytek elektřiny lze po dohodě dodávat do elektrické sítě. V případě přebytku tepla se ke kogenerační jednotce může instalovat akumulární nádrž, do které přebytečné teplo uložíme. Dále lze vyrobené teplo použít k výrobě chladu. Další nevýhodou kogenerace je její vyšší počáteční investice ve srovnání se samostatnou výrobou tepla.

2.5.1 Úspora paliva

Jedna z hlavních výhod, která byla zmíněna, je úspora paliva oproti samostatné výrobě elektřiny a tepla. Pokud bychom chtěli vyjádřit úsporu paliva pomocí vzorečku, můžeme to provést za pomoci následujících vzorců:[1]

Při samostatné výrobě elektřiny je pro vyrobení daného množství elektřiny potřeba P_{el} energie v palivu, kde pro P_{el} platí:

$$P_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \quad (2.4)$$

Při samostatné výrobě tepla je pro vyrobení daného množství tepla potřeba $P_{výt}$ energie v palivu, kde pro $P_{výt}$ platí:

$$P_{výt} = \frac{Q}{\eta_{výt}} \quad (2.5)$$

U KVET se při výrobě daného množství elektřiny a tepla spotřebuje P_{kj} energie v palivu, kde pro P_{kj} platí:

$$P_{kj} = \frac{Q + E}{\eta_{kj}} \quad (2.6)$$

Úspora paliva při využití KVET se dá spočítat jako rozdíl potřebného paliva pro vyrobení daného množství energie a tepla při samostatné výrobě elektřiny a tepla a KVET. Za pomoci rovnic (2.4), (2.5), (2.6) můžeme úsporu paliva psát jako:

$$P_u = \left(\frac{E}{\eta_{el}} + \frac{Q}{\eta_{výt}} \right) - \frac{E + Q}{\eta_{kj}} \quad (2.7)$$

Pro úsporu paliva vztaženou k jednotce vyrobeného tepla můžeme s využitím rovnice (2.7) psát:

$$\frac{P_u}{Q} = \left(\frac{1}{\eta_{výt}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) + e \left(\frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) \quad (2.8)$$

Při uvažování $\eta_{výt} = \eta_{kj}$ se rovnice (2.8) zjednoduší na:

$$\frac{P_u}{Q} = e \left(\frac{1}{\eta_{el}} - \frac{1}{\eta_{kj}} \right) \quad (2.9)$$

Kde:

- P_{el} Energie paliva při samostatné výrobě elektřiny (kWh)
- $P_{výt}$ Energie paliva při samostatné výrobě tepla (kWh)
- P_{kj} Energie paliva při KVET (kWh)
- P_u Úspora paliva při KVET oproti samostatné výrobě (kWh)
- E Vyrobené množství elektrické energie (kWh)
- Q Vyrobené množství tepla (kWh)
- η_{el} Účinnost přeměny energie paliva na elektrickou energii při samostatné výrobě (-)
- $\eta_{výt}$ Účinnost přeměny energie paliva na teplo při samostatné výrobě (-)
- η_{kj} Účinnost přeměny energie paliva na elektrickou energii a teplo při KVET (-)
- e Teplárenský modul (-)

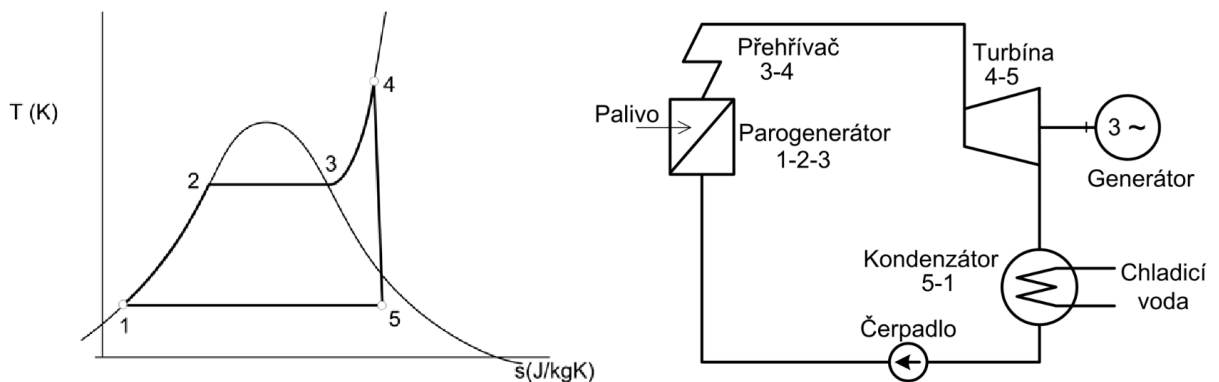
2.6 Technologie kogeneračních jednotek

2.6.1 Parní turbína

Parní turbíny jsou jedny ze starších technologií, které už prošli mnohaletým vývojem. Jsou využívány nejen pro KVET, ale i pro samostatnou výrobu elektrické energie. U této technologie se v parním kotli ohřívá voda z čerpadla a přeměňuje se na páru. Tepelný oběh parní turbíny se nazývá Clausius–Rankinův (dále také „C-R“) cyklus. Na Obr. 2-4 můžeme vidět ideální cyklus

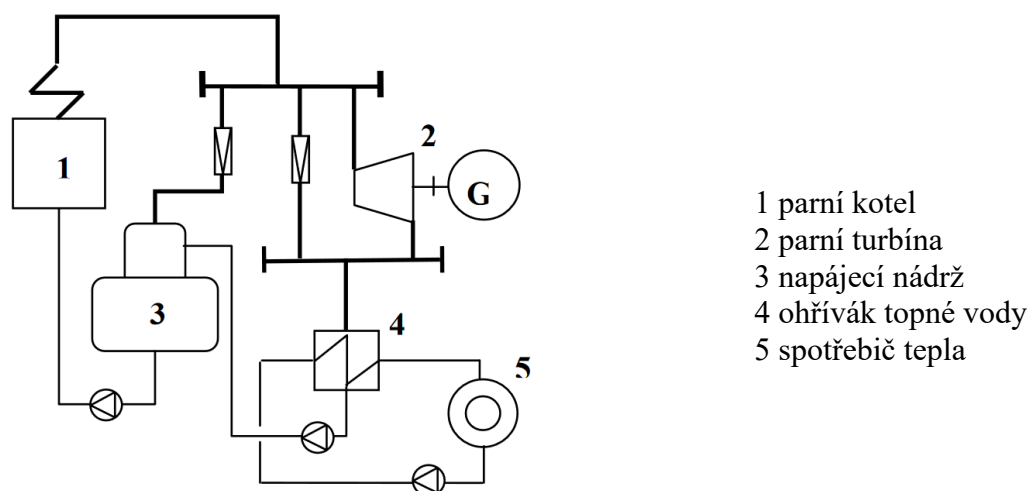
v T-s diagramu a jeho schéma. Mezi 1 až 3 probíhá izobarický ohřev a odpar vody. Pro zvýšení účinnosti daného oběhu izobaricky přehříváme sytou páru v přehříváči. To se děje mezi 3 až 4. Mezi 4 až 5 probíhá adiabatická expanze v parní turbíně. Zde se přeměňuje tepelná energie v páře na mechanickou energii, která je poté v generátoru transformována na elektrickou energii. Pára mezi 5 až 1 izobaricky kondenzuje v kondenzátoru. V závislosti na místě odběru tepla rozlišujeme:

- Protitlaké turbíny
- Kondenzační turbíny.



Obr. 2-4 T-s diagram a schéma Clausiova-Rankinova cyklu²

U protitlaké turbíny probíhá odběr tepla na výstupu turbíny. Z tohoto důvodu má tepelná energie u tohoto oběhu nízké parametry. Při zvyšování parametrů snižujeme účinnost transformace na elektrickou energii. Tento typ turbíny je vhodný v případě velké spotřeby tepla. Její základní schéma můžeme vidět na Obr. 2-5.[2]



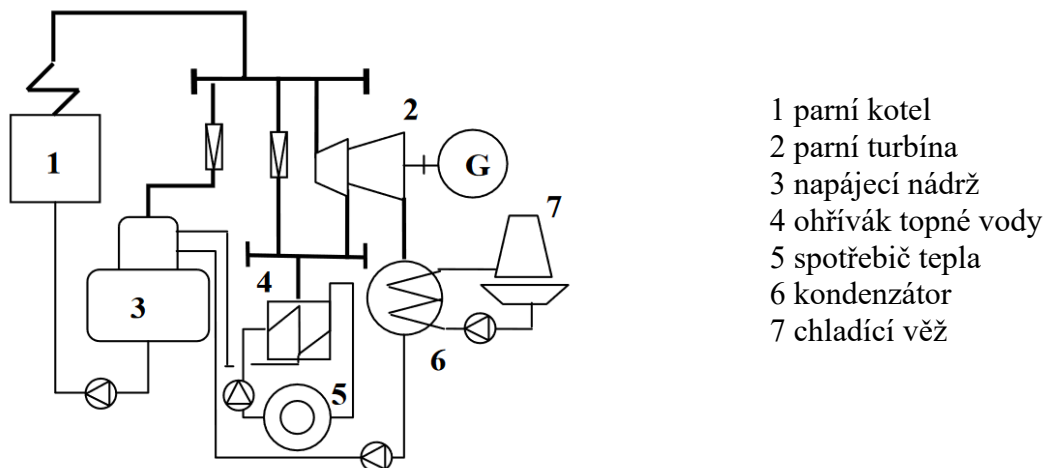
- 1 parní koteln
- 2 parní turbína
- 3 napájecí nádrž
- 4 ohřívák topné vody
- 5 spotřebič tepla

Obr. 2-5 Základní schéma zapojení protitlaké parní turbíny³

² [7], přednáška Termodynamika a termodynamické oběhy, slide 13

³ [1], str 20

U kondenzační turbíny má výstupní pára příliš nízkou teplotu pro další využití. Ta je skrz chladicí věž odváděna do okolí. Z tohoto důvodu jí nelze využít, a odebírá se pára pro dodávku tepla na začátku či v průběhu její expanze v turbíně. Na rozdíl od protitlaké turbíny zde není vzájemná závislost mezi odběrem elektrické a tepelné energie. Tento typ turbíny je vhodný pro výrobu elektrické energie s tím, že dodávka tepla je vedlejším produktem.[2]



Obr. 2-6 Základní schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem tepla⁴

Výhody parní turbíny:

- Účinnost přeměny při KVET
- Není zde omezení na použité palivo
- Dlouhá životnost a spolehlivost
- Proměnný teplotěnský modul

Nevýhody parní turbíny:

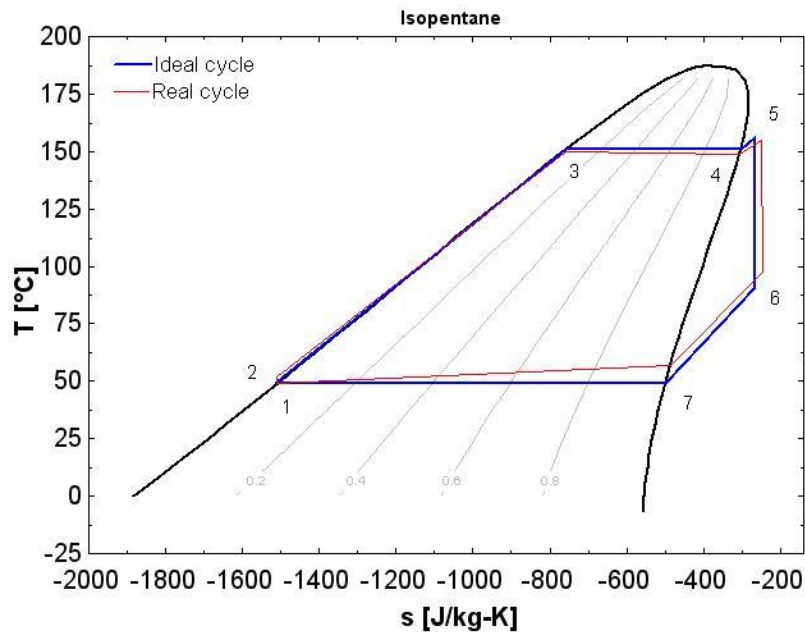
- Pomalý rozběh elektrárny
- Nízký teplotěnský modul

2.6.2 Organický Rankinův cyklus

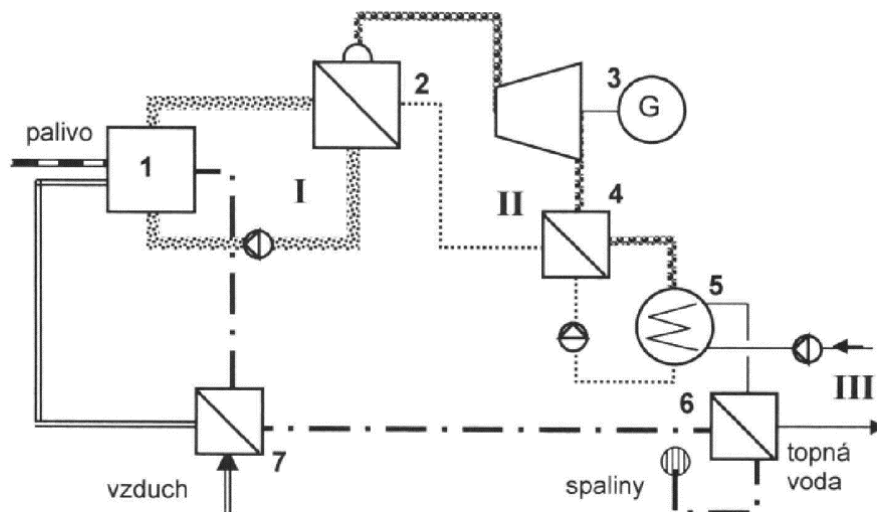
Organický Rankinův cyklus (dále také „ORC“) funguje stejně jako C-R cyklus. Rozdíl u tohoto zařízení je v pracovním médiu. Z důvodu nevhodných vlastností se místo vodní páry používá organická látka, například silikonový olej. Pro zařízení s nízkým výkonem máme problém, kvůli malému měrnému objemu páry účinně realizovat danou turbínu. Z tohoto důvodu lze použít ORC. T-s diagram takového zařízení lze vidět na Obr. 2-7. V turbíně nedochází ke

⁴ [1], str 20

kondenzaci páry, a tedy zde nedochází k erozi průtočné části turbíny. Zařízení mívá dlouhou životnost a malé nároky na údržbu.



Obr. 2-7 T-s diagram pro ideální/reálný organický Rankinův cyklus[8]



1 Olejový parní kotel, 2 Tepelný výměník olej/glykol, 3 parní turbína s generátorem, 4 regenerační výměník, 5 kondenzátor glykolových par, 6 ohřívák topné vody
I Okruh termooleje, II Okruh organického teplonositele, III okruh topné vody

Obr. 2-8 Principiální schéma kogeneračního zařízení s organickým teplonositelem⁵

Výhody ORC:

- ORC dosahují vysoké celkové účinnosti
- Vysoká životnost turbíny a dalších částí

⁵ [1], str 55

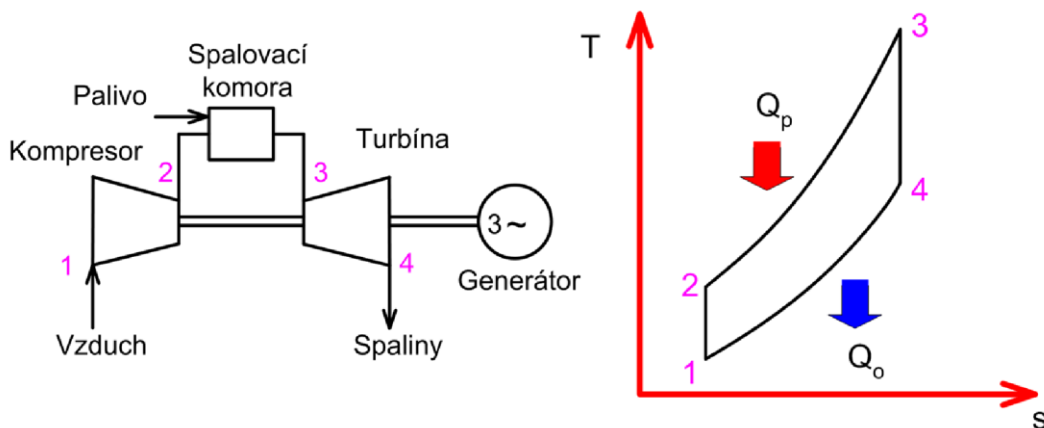
- Nepotřebujeme zařízení na úpravu vody
- Díky pracovnímu médiu s nižší teplotou varu můžeme využívat i méně kvalitní paliva, odpadní teplo, a obnovitelných zdrojů

Nevýhody ORC:

- Vysoké investiční náklady
- Pomalý start

2.6.3 Plynová turbína

Tepelný oběh plynové turbíny využívá Braytonův oběh. Jeho T-s diagram a schéma můžeme vidět na Obr. 2-9. Přivádíme vzduch do kompresoru (bod 1 na grafu Obr. 2-9), kde dojde k jeho stlačení. (bod 2). Stlačený vzduch je poté ve spalovací komoře ohříván (bod 3). V turbíně poté dochází k expanzi (bod 4), kde vzniká mechanická práce. Část práce je použita na provoz kompresoru. Zbytek je využito pro výrobu elektrické energie v generátoru. V tomto oběhu lze teplo získávat ze spalin, které odcházejí z turbíny.



Obr. 2-9 T-s diagram a schéma Braytonova cyklu⁶

Výhody plynové turbíny:

- Vysoká spolehlivost
- Nízké emise
- Možnost dodávat vysokopotenciální teplo

Nevýhody plynové turbíny:

- Potřeba plyn o vysokém tlaku
- Nízká účinnost při malém zatížení

⁶ [7], přednáška Termodynamika a termodynamické oběhy, slide 28

- Výkon je nepřímo závislý na okolní teplotě

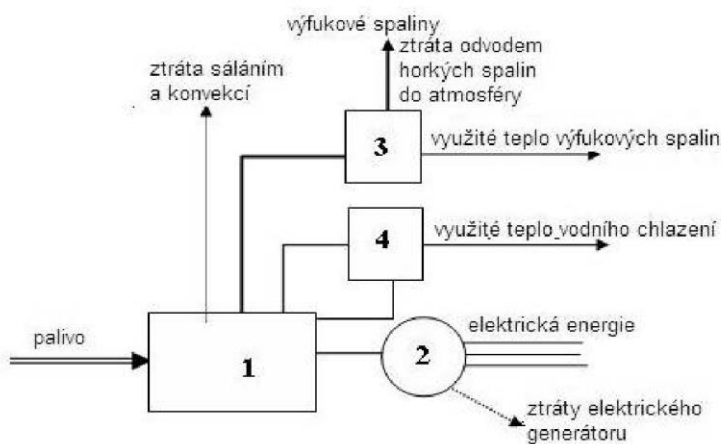
U plynové turbíny se můžeme setkat s následujícími palivy:

- Zemní plyn
- Generátorový plyn
- Skládkový plyn
- Topný olej

2.6.4 Pístový spalovací motor

Pístové spalovací motory se těší ve světě veliké oblibě. Využití nachází v dopravě, kde jej využíváme jako pohon pro vozidla, i když v poslední době je snaha nahradit spalovací motory v dopravě elektrickými motory. Dále také nachází uplatnění jako pohon různých strojních zařízení.

Spalovací motory se řadí mezi motory s vnitřním spalováním. Palivo je spalováno uvnitř motoru, kde uvolňuje svojí tepelnou energii a ta je přeměněna na mechanickou energii. V našem případě je mechanická energie využita v generátoru pro výrobu elektrické energie. Tepelná energie se získává z výfukových spalin a z chlazení



- 1 spalovací motor
- 2 elektrický generátor
- 3 výměník tepla spaliny/topná voda
- 4 výměník tepla Chladící voda/topná voda

Obr. 2-10 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem⁷

Výhody pístového spalovacího motoru:

- Vysoká účinnost i při částečném zatížení
- Rychlý rozběh elektrárny
- Nízké investiční náklady
- Možnost údržby přímo na místě

⁷ [1], str 33

- Provoz s plyny při nízkých tlacích.

Nevýhody pístového spalovacího motoru:

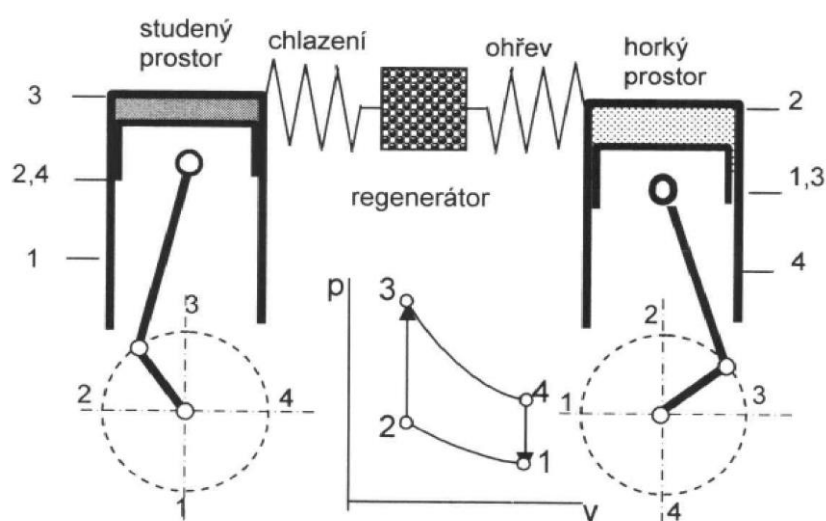
- Vysoké náklady na údržbu
- Vyšší emise
- Musí být neustále chlazen
- Velké hodnoty nízkofrekvenčního hluku

U spalovacího motoru se můžeme setkat s následujícími palivy:

- Zemní plyn
- Bioplyn
- Zkapalněný ropný plyn – LPG

2.6.5 Stirlingův motor

Stirlingův motor se řadí k pístovým motorům s vnějším spalováním. Jeho princip práce můžeme vidět na Obr. 2-11. Teplo je dodáváno z vnějšího zdroje pracovní látce skrz tepelný výměník ohřev. Přes tepelný výměník chlazení je pak odváděno teplo, které se dá dále využít, dále se dá využít i teplo spalin z vnějšího zdroje. Pracovní látka zůstává v prostorech pístu. Na rozdíl od spalovacího motoru, kde je vzduch s benzinovými parami vyfukován do ovzduší. Mezi jeho výhody řadíme nižší emise škodlivých plynů, možnost pracovat s různými zdroji tepla. Stirlingův motor je, ale oproti spalovacímu technicky náročnější, kvůli těsnění prostorů válců, vyšší hmotnosti na jednotku výkonu a vyšší ceně.[1]



Obr. 2-11 Princip práce Stirlingova motoru⁸

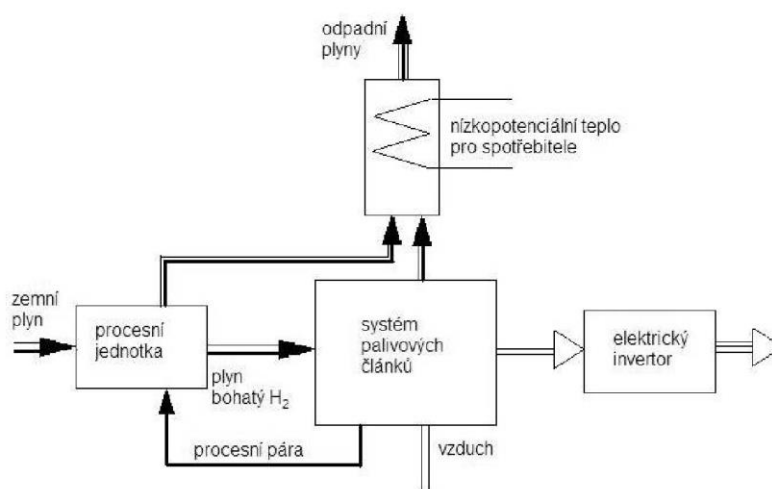
⁸ [1], str 46

Stirlingův motor je tu zmíněn z důvodu, že se v minulosti uvažoval jako vhodná technologie pro kogeneraci a na trhu existovali jednotky dostupné ke koupi. V České republice byl v minulosti uveden model Vitotwin 300-W od firmy Viessmann. Na trhu již není dostupný. Tato technologie je spíše věcí minulosti. Do budoucna se s větším komerčním rozšířením nepočítá.[9]

2.6.6 Palivový článek

Palivový článek je další z perspektivních technologií pro KVET. Na rozdíl od předchozích technologií, kde se tepelná energie přeměňuje na mechanickou energii a ta je v generátoru využita pro výrobu elektřiny, vzniká zde chemickou reakcí přímo elektrická energie, u které se upraví parametry.

Tato technologie zatím není komerčně rozšířena. Ve světě už ale můžeme najít palivové články v provozu. Jedna z nich je i využita pro KVET. Jedná se o 2,2 MW elektrárnu ve městě Woodbridge ve Velké Británii. Tato elektrárna dokáže dodávat do elektrické sítě, v případě nouze i do důležitých budov ve městě a teplo získané z jednotky je využito pro topení místní školy.[10]



Obr. 2-12 Schéma zařízení pro kogerační využití palivových článků⁹

Výhody palivového článku:

- Nízké emise a tichost
- Vysoká účinnost při velkém rozsahu zatížení
- Modulárnost

⁹ [1], str 42

Nevýhody palivového článku:

- Vysoké náklady
- Citlivé na znečištění paliva
- Nízká hustota energie

U palivových článků se jako palivo může využívat vodík, zemní plyn, propan, methanol.

3 Zásady návrhu kogenerační jednotky

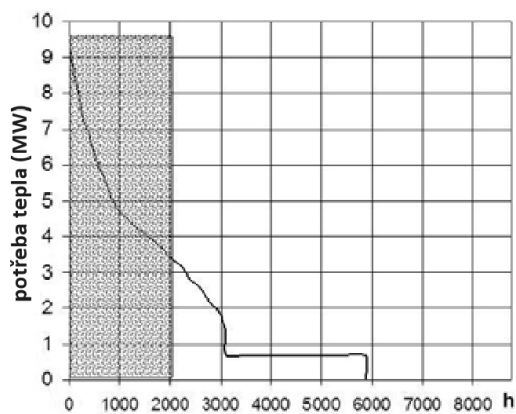
Aby byla kogenerační jednotka rentabilní je třeba zajistit její správný návrh. Nejsou to jen technické a ekonomické záležitosti jako volba druhu kogenerační jednotky, určení jmenovitých výkonů, druhu paliva, ekonomické zhodnocení apod. Jsou to i legislativní záležitosti, které musíme vyřešit, abychom se nedostali do problému se zákonem. V této kapitole bude využito vícero zdrojů, které tuto problematiku řeší a budou zde popsány kroky při návrhu kogenerační jednotky. V této kapitole jsou použity informace z [1][11] a případně dalších zdrojů, které jsou zmíněny v textu.

Před samotným návrhem kogenerační jednotky je vhodné posoudit vhodnost instalace. Na základě tohoto posouzení můžeme zjistit, jestli je vhodné se zabývat její instalací. Není ekonomicky výhodné uvažovat o instalaci kogenerační jednotky, pokud nemáme vyřešený odběr vyrobeného tepla. Z tohoto důvodu musíme mít objekt, který má přiměřené požadavky na jejich využití s ohledem na množství energie, dobu ročního využití. Příklady oblastí, kde je vhodné o instalaci kogenerační jednotky uvažovat, byly zmíněny v kapitole 2.4. Zjišťujeme i místní podmínky objektu, které pomohou s rozhodováním o kogenerační jednotce. Tyto podmínky budou více popsány v následující kapitole 3.1.

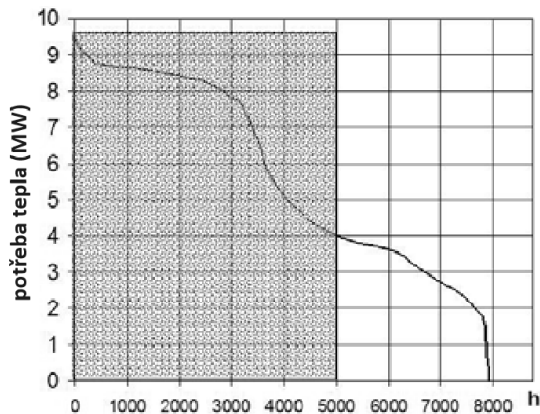
Po zpracování všech dostupných informací a jejich posouzení dojdeme k závěru, jestli je nebo není vhodné uvažovat o instalaci kogenerační jednotky. Pokud daný objekt je vhodný k instalaci kogenerační jednotky, přistoupíme k jejímu návrhu.

3.1 Místní podmínky

Jedna z hlavních věcí, kterou potřebujeme pro návrh, jsou údaje o elektrické a tepelné spotřebě. Bez těchto údajů nemůžeme pokročit k samotnému návrhu. Čím kvalitnější data o spotřebě získáme, tím snáze se bude dělat správný návrh. Nejzákladnější údaje, které pravděpodobně od zákazníka získáme, jsou měsíční celkové hodnoty odebrané elektřiny a tepla. To je dobrý základ, ale pro správný návrh je vhodné získat i další věci. Pro posouzení charakteru spotřeby odběru tepla je dobré znát roční diagram trvání potřeby tepla. Na tomto diagramu lze vidět, po jakou dobu v roce je potřeba daný výkon. Pro kogenerační jednotku není příliš vhodné, aby objekt měl špičkový charakter. V takovém objektu má kogenerační jednotka menší roční dobu využití maxima a můžeme mít problémy s ekonomickou rentabilitou. Diagram se špičkovým charakterem můžeme vidět na Obr. 3-1 a).



a) roční doba využití max. potřeby 2000 h



b) roční doba využití max. potřeby 5000 h

Obr. 3-1 Roční diagramy trvání potřeby tepla¹⁰

Další z diagramů, který je vhodný získat, je denní diagram potřeby elektřiny a tepla. V tomto diagramu lze vidět, jak se mění spotřeba elektřiny a tepla v daném dnu. U elektřiny je tento údaj jednodušší získat díky instalaci elektroměrů, který umožňují záznam spotřeby v hodinovém měřítku. Tyto elektroměry, ale nejsou instalovány u všech zákazníků. Stále existují skupiny zákazníků, kde se spotřeba elektřiny odečítá jednou za měsíc. Je vhodné se pokusit zkonstruovat denní diagramy pro typické dny například pro dny, kdy se pracuje a kdy je volno. Uvažujeme i jak se bude spotřeba elektřiny a tepla vyvíjet do budoucna.

Od majitele objektu zjišťujeme kromě spotřeby i další věci. Pro provoz kogenerační jednotky musíme vědět kam můžeme jednotku instalovat. Jestli je vhodné uvažovat o venkovní instalaci, nebo instalaci uvnitř budovy. Dále musíme zjistit kam budeme odvádět vyrobené teplo. Je vhodné, aby spotřeba tepla byla blízko kogenerační jednotce. Musíme naplánovat i kudy se bude vyrobené teplo dopravovat k spotřebě, odvod spalin apod.

Zjišťujeme zde i dostupná paliva v lokalitě, která bychom mohli k provozu kogenerační jednotky použít. Při zvolení paliva řešíme i jeho dopravu. Například u zemního plynu řešíme výstavbu přípojky a dalších zařízení, které jsou potřeba. Musíme zde i případně řešit komunikaci s majiteli pozemků, přes které by vedla přípojka. U paliva řešíme vývoj ceny, a tedy i dostupnosti. Může se nám stát, že v současné době je palivo levné a dostupné, ale to nemusí s ohledem na vývoj zásob paliva, politickou situaci, boji proti znečištění ovzduší uhlíkovými plyny apod. zůstat i v budoucnu.

Při provozu kogenerační jednotky může být vhodné prodávat vyrobenou elektřinu do sítě. Buď co se vyrobí, to se i prodá, nebo je elektřina využita ke spotřebě v objektu a případné přebytky

¹⁰ [1], str 18

se prodají do sítě. S ohledem na tuto skutečnost musíme komunikovat s obchodníkem, kde se dohodneme, jestli budeme prodávat jen přebytky elektřiny, nebo budeme prodávat to co vyrobíme. V závislosti na tom se pak s obchodníkem dohodneme na výkupní ceně, množství a harmonogramu dodávky elektřiny. Dále pokud vyrobenou elektřinu využíváme k vlastní spotřebě je možnost zvážit, jestli se nevyplatí změna podmínek, za kterých odebíráme elektřinu.

3.2 Dimenzování výkonu

Když se podíváme na možnosti zhodnocení elektřiny a tepla. Vyjde nám, že elektřinu dokážeme snáze zhodnotit. Elektřinu můžeme prodávat do sítě. U zdrojů CZT se prodává celá vyrobená elektřina. Popřípadě u lokálních kogeneračních jednotek se prodává jen přebytek. Tuto věc u tepla tak jednoduše nedokážeme. U tepla je ale akumulace oproti elektřiny jednodušší a levnější. Pro úschovu přebytečného tepla můžeme využít akumulaci nádrží. Přebytečné teplo lze poté využít později. Aby kogenerační jednotka byla ekonomicky rentabilní musíme maximálně využít vyrobené teplo a vyrobenou elektřinu s teplem maximálně zhodnotit.

Při provozu kogenerační jednotky je s ohledem na využití tepla a zhodnocení tepla a elektřiny doporučován provoz v základním pásmu zatížení. Tím zajistíme, že kogenerační jednotka během roku je v provozu dlouhou dobu při jmenovitých parametrech. Špičkové zatížení je poté vykryto jinými zdroji tepla. Například instalací dodatečných kotlů. V tomto případě se kotle dimenzují, aby dokázaly pokrýt zbývající teplo, které už kogenerační jednotka nepokryje. Druhá varianta je, že kogenerační jednotku dodatečně instalujeme ke kotlům, které už máme v objektu. To způsobí zvýšení celkového instalovaného tepelného výkonu. To má za následek snížení ročního využití maxima daných kotlů. S ohledem na toto se používá teplotní součinitel. Teplotní součinitel se volí menší jak 1. Dle [1] se pro špičkový charakter může obvykle pohybovat v rozmezí 0,2 až 0,4. Při větší době trvání maximální potřeby tepla i 0,4 až 0,6.

Pro dosažení ekonomické rentability kogenerační jednotky se obvykle doporučuje, aby roční doba využití jejího jmenovitého výkonu nepoklesla pod 3000 až 4000 hodin za rok. Nicméně existují objekty, kde toto pravidlo nemusí platit. Například v průmyslových závodech s jednosměrným provozem nám může vyjít, že je výhodné provozovat kogenerační jednotku jen během pracovní směny, tedy přibližně $2000 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ a dimenzovat jednotku jen dle odběrů během směny. Tím dosáhneme především snížení platby za odběrové maximum v dodávce elektrické energie ze sítě.

3.3 Legislativa

Zprovoznění kogenerační jednotky není pouhá technická a ekonomická záležitost. Tato situace je zatížena různými legislativními kroky, které při návrhu, instalaci a provozu kogenerační jednotky řešíme. Bez vyřešení těchto kroků bychom mohli narazit na různé právní problémy. V této kapitole bude výčet úkonů, na které můžeme narazit. V závislosti na situaci se s těmito kroky můžeme a nemusíme setkat. Legislativní kroky jsou následující:

- Stavební povolení a kolaudace
- Licence na výrobu elektřiny
- Žádost o připojení výroby do sítě
- Registrace k OTE
- Výkup elektřiny
- Nákup paliva

3.3.1 Stavební povolení a kolaudace

Během instalace kogenerační jednotky obvykle probíhají stavební úpravy. Může se tedy jednat o stavbu, a tedy je možné, že je požadováno stavební povolení. Pokud bylo třeba získat stavební povolení je dále potřeba, před zahájením provozu kogenerační jednotky, zažádat o kolaudaci.

3.3.2 Licence na výrobu elektřiny

Další z legislativních kroků obvykle potřebných k řešení je získání licence na výrobu elektřiny. Licence je požadována na základě energetického zákona.¹¹ Na základě § 3 části (3) musí mít každá výrobní elektřiny, která je propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou a má instalovaný výkon nad 50 kW licenci. O licence se žádá u energetického regulačního úřadu a žadatel musí pro udělení licence splnit několik požadavků:[12][13]

- Dospělost, svéprávnost, bezúhonnost a odborná způsobilost žadatele nebo odpovědného zástupce
- Majetkový vztah k zařízení, které bude využíváno pro výkon licencované činnosti
- Technické požadavky
- Finanční požadavky

¹¹ Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů

U odborné způsobilosti je požadováno technické vzdělání a určitá délka praxe v oboru. Popřípadě pro energetické zdroje do instalovaného výkonu 1 MW postačuje rekvalifikace.

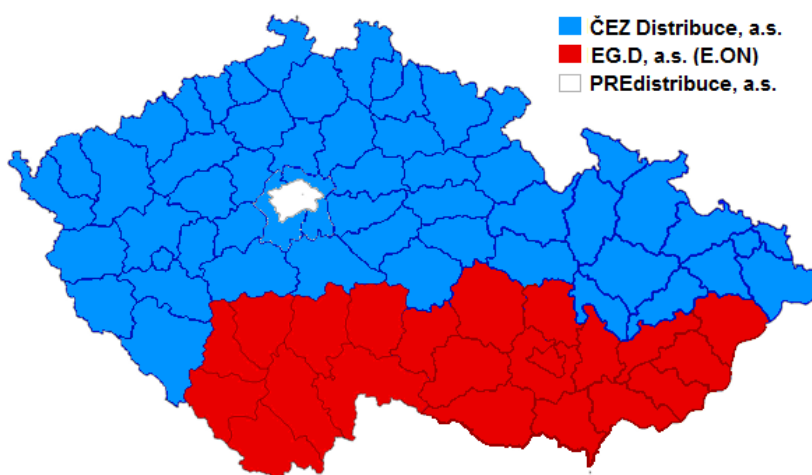
Při žádosti o licenci musí žadatel doložit, že má vlastnické nebo užívací právo k danému energetickému zařízení. To lze doložit výpisem z katastru nemovitostí, nebo smlouvou ze které vlastnické nebo užívací právo vyplívá.

S ohledem na technický stav energetického zařízení se revizní zprávou dokládá, že jej lze bezpečně provozovat, popřípadě lze způsobilost prokázat u již provozovaných zařízení zkouškou, pokud není potřeba provádět revizi. U kogenerační jednotky je dále potřeba foto štítku soustrojí a jeho technický list. S ohledem na stavební zákon je potřeba doložit určité dokumenty v souvislosti o jaký typ stavby se jedná.

Žadatel taky musí prokázat, že má dostatečné finanční prostředky pro provoz daného zařízení. Tyto požadavky nemusí žadatel dokládat, pokud se jedná o výrobu elektřiny s instalovaným elektrickým výkonem nižším než 200 kW a výrobnou tepelné energie s instalovaným tepelným výkonem nižším než 1 MW.

3.3.3 Žádost o připojení výroby do sítě

Abychom mohli připojit kogenerační jednotku do elektrické sítě je potřeba požádat distributora elektřiny. Kterého z nich požádáme závisí, na jaké části území připojujeme výrobu. S žádostí je potřeba doložit údaje žadatele, technické údaje o výrobny a odběrném místě. Je třeba počítat i s tím, že musíme doložit jednopólové schéma zapojení výroby.



Obr. 3-2 Rozdělení území ČR mezi distributory elektřiny[14]

3.3.4 Registrace k OTE

Na základě vyhlášky č. 408/2015 Sb. § 15 je požadováno, aby účastník trhu s elektřinou se zaregistroval do 30 dnů od udělení licence. Registrace probíhá u organizátoru trhu. Tím je v našem případě akciová společnost OTE, a.s. Tato společnost drží licenci na činnosti operátora trhu s elektřinou a plynem v ČR.[15]

3.3.5 Výkup elektřiny

V případě, že chceme vyrobenou elektřinu prodávat do sítě, musíme se dohodnout s obchodníkem, který bude vyrobenou elektřinu vykupovat. Z větších obchodníků to jsou například PRE, ČEZ, E.ON. Existují další menší obchodníci, se kterými můžeme danou smlouvu o výkupu elektřiny uzavřít. Pro uzavření smlouvy na výkup energie jsou potřebné určité dokumenty. Ty jsou následující:

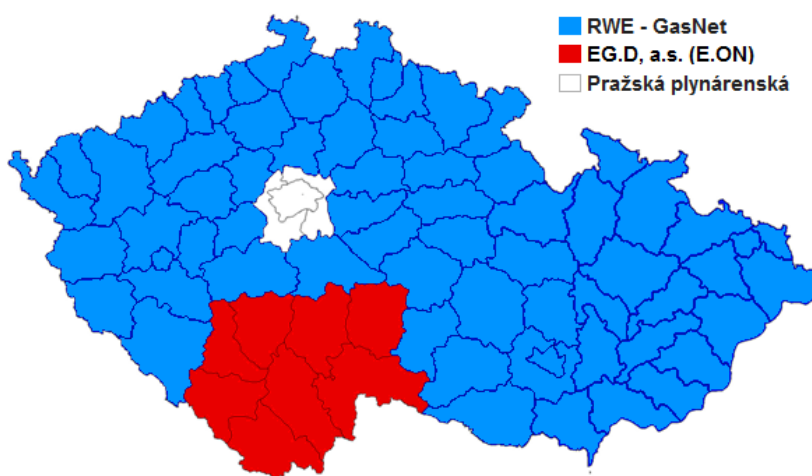
- Vyplněná žádost o smlouvu na výkup energie
- Smlouvu o připojení do distribuční soustavy
- Provozní oznámení o provedení prvního paralelního připojení výroby k DS
- Licenci, pokud je pro výrobu požadována

Mnoho obchodníků ani nepožaduje nutnost mít od nich zajištění odběr elektřiny. Lze tedy mít dodávku energie od jedné společnosti a výkup elektřiny od jiné. To lze na základě toho, že máme rozdělené spotřební a výrobní EAN. EAN je číselný kód, který slouží k identifikaci odběrného místa. V případě, že jsme jej nezískali automaticky. Je potřeba požádat distributora o výrobní EAN. Dále můžeme narazit na to, že obchodníci přebírají odpovědnost za odchylku a fakturaci formou tzv „self-billingu“. To znamená, že fakturu vystavuje obchodník a následnou částku za kterou byl výkup proveden pošle na účet. Tím šetříme čas a náklady na příjem, zpracování a kontrolu zaslaných faktur.

3.4 Nákup paliva

Další záležitostí, kterou je potřeba řešit, je nákup paliva. Druh paliva závisí na zvoleném typu kogenerační jednotky. Pokud se jedná o uhlí, biomasu, nebo jiné podobné palivo, uzavíráme kupní smlouvu o dodávce paliva. V případě zemního plynu řešíme připojení k distribuční soustavě. Podobně jako u elektřiny je rozděleno na oblasti. Můžeme je vidět na Obr. 3-3, kde se dělí ČR na distributoři plynu RWE, EG.D, a.s. a Pražskou plynárenskou. Pro připojení

k distribuční soustavě je potřeba vyplnit „žádost o připojení k distribuční soustavě“ a zajistit výstavbu plynovodní přípojky, pokud ji nemáme již postavenou.



Obr. 3-3 Rozdělení území ČR mezi distributory plynu[16]

3.5 Servis kogenerační jednotky

Během provozu kogenerační jednotky je potřeba provádět plánovanou údržbu zařízení, abychom zajistili bezproblémový chod. V závislosti na daném úkonu existují plánované lhůty údržby a oprav v závislosti na hodin provozu zařízení. Běžné lhůty pro určité úkony jsou:[11]

| Úkon | Hodin provozu |
|------------------------------|-----------------|
| Výměna oleje | 1 000 – 4 000 |
| Výměna svíček | 1 000 – 4 000 |
| Seřízení kontaktů | 2 000 – 4 000 |
| Seřízení ventilů | 800 – 2 000 |
| Čištění spalínového výměníku | 1 x ročně |
| Výměna hlavy | 6 000 – 12 000 |
| Střední oprava | 6 000 – 8 000 |
| Generální oprava | 20 000 – 50 000 |

Tab. 3-1 Běžné plánované lhůty údržby a oprav

Máme několik možností, jak zajistit údržby a opravy. Jedna z nich je, že já jako provozovatel zařízení mám smlouvu s dodavatelem, ve které jsou poplatky vztažené k provozním hodinám, nebo k vyrobenému množství elektrické energie. Dodavatel mi za tyto poplatky zajišťuje údržbu a neplánované opravy. Další z možností je, že si od dodavatele objednávám plánovanou údržbu a opravy, za které platím dle úkonu za cenu dle ceníku, nebo mi údržbu a opravy nemusí zajišťovat dodavatel nebo jiný subjekt a mohu si jej zajišťovat sám.

4 Ekonomické parametry kombinované výroby elektřiny a tepla

4.1 Kritéria hodnocení investic

Jeden z hlavních důvodů, proč uvažujeme o KVET je ekonomický. Ať už jsme investor, jehož motivace je zisk, či majitel, který uvažuje o KVET, aby buď vydělal na jejím provozu v případě prodeje elektřiny a tepla dalším subjektům, nebo aby ušetřil oproti stávajícímu stavu. Například odebírá teplo z CZT či má jiné zařízení, které dodává jenom teplo. V těchto situacích musíme posoudit, zda je KVET vhodná pro naši situaci. K tomuto posouzení využíváme několik různých kritérií. Následující vybraná kritéria zde budou představena:

- Prostá doba návratnosti (dále také „PP“)
- Diskontovaná doba návratnosti (dále také „DPP“)
- Čistá současná hodnota (dále také „NPV“)
- Vnitřní výnosové procento (dále také „IRR“)
- Roční ekvivalentní peněžní tok (dále také „RCF“)

Před samotným představením kritérií si musíme představit cash flow (dále také „CF“). Je to peněžní tok za určité období. V našem případě za rok. Pokud jsme měli větší příjmy jak výdaje, vyjde cash flow kladné. V opačném případě vyjde záporný. Výpočet cash flow se provádí dle rovnice (4.1)

$$CF_t = V - N \quad (4.1)$$

Kde:

- V Příjmy z investice (Kč)
- N Výdaje (Kč)
- T Rok hodnoceného období (rok)

Do výnosů z investice můžeme v našem případě zařadit výnosy z prodeje vyrobené elektřiny a tepla. Výdaje lze rozdělit na dvě skupiny. Na provozní výdaje a investiční výdaje. Do provozních výdajů patří výdaje potřebné k provozu dané jednotky. V našem případě by to mohly být například výdaje na nákup paliva, mzdy zaměstnancům, výdaje na případné opravy. Pod investiční výdaje můžeme zařadit počáteční investici na pořízení a instalaci kogenerační jednotky, případné úpravy v objektu během instalace jednotky.

4.1.1 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je jedno z kritérií, které se používá. Tento způsob hodnocení investic je jeden z těch jednodušších pro pochopení. Z tohoto důvodu se používá. Má, ale dost nevýhod a rozhodovat se jen dle tohoto kritéria nemusí být to nejvhodnější. Výstupem tohoto kritéria je počet let, za kterých se nám vyrovnají CF s počáteční investicí a zaplatí se projekt. V tomto kritériu řešíme rovnici (4.2) pro prostou dobu návratnosti PP. Mezi jeho hlavní nevýhody a důvody proč není nejvhodnější využít pro hodnocení investice jen toto kritérium je, že neuvažuje časovou změnu peněz. Peníze postupem času ztrácejí na hodnotě. Další nevýhoda tohoto kritéria je, že nevíme nic o tom, co se děje potom co se daná investice zaplatí. Víme, že se daná investice zaplatí za x let. Ale už nevíme, zda v dalších letech daná investice bude stále vydělávat, nebo začne být ztrátová, pokud cash flow během doby hodnocení projektu není proměnlivý, můžeme využít vztah (4.3).

$$\sum_{t=1}^{PP} CF_t - IN = 0 \quad (4.2)$$

$$PP = \frac{IN}{CF_1} \quad (4.3)$$

Kde:

- PP Prostá doba návratnosti (rok)
- CF_t Cash flow v t-tém roce (Kč)
- IN Investiční výdaje (Kč)
- CF_1 Průměrný roční cash flow (Kč)

4.1.2 Diskontovaná doba návratnosti

Prostá doba návratnosti má dvě nevýhody. Jeden z nich je, že nezohledňuje časovou změnu peněz. Tuto nevýhodu řeší kritérium zvané diskontovaná doba návratnosti. Do výpočtu zavádí veličinu zvanou diskont. Tato veličina zohledňuje časovou změnu peněz, a navíc i rizikovost investice. Čím rizikovější investice je, tím větší výdělek od investice očekáváme. Podobně jako u prosté doby návratnosti řešíme počet let, za který se investice zaplatí. Cash flow vynásobený diskontem dle rovnice (4.4) nazýváme diskontovaný cash flow (dále také „DCF“)

$$\sum_{t=1}^{DPP} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (4.4)$$

Kde:

DPP Diskontovaná doba návratnosti (rok)

CF_i Cash flow v t-tém roce (Kč)

r Diskont (-)

IN Investiční výdaje (Kč)

4.1.3 Čistá současná hodnota

Jak si můžeme povšimnout, rovnice (4.4) se liší oproti rovnici (4.2) diskontem. Ten mění nominální hodnotu CF v t-tém roce na reálnou hodnotu v současném roce. Toto kritérium je oproti PP lepší v ohledu toho, že je zde zahrnuta časová změna peněz. Stále ale toto kritérium nezohledňuje CF po době návratnosti. Takže nevíme, jak se vyvíjí CF po zaplacení investice. Od toho tu máme následující dvě kritéria.

NPV je jedno z kritérií, které oproti PP a DPP zohledňuje období i po době návratnosti. Princip tohoto kritéria je sečtení všech DCF po dobu hodnocení projektu a od toho odečtení počáteční investice. Stejně jako DPP dané kritérium pracuje s diskontem. Rovnici pro výpočet NPV lze vidět v rovnici (4.5).

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_h} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN \quad (4.5)$$

Kde:

NPV Čistá současná hodnota (Kč)

T_h Doba hodnocení projektu (rok)

CF_t Cash flow v t-tém roce (Kč)

r Diskont (rok)

IN Investiční výdaje (Kč)

Rovnice pro výpočet NPV (4.5) a DPP (4.4) jsou podobné. Jediný rozdíl je v době počítání DCF. U DPP počítáme do doby návratnosti, tedy kdy se suma DCF vyrovná celkové investici. U NPV zde sčítáme DCF do doby hodnocení projektu. Ta se často volí v závislosti na době životnosti zařízení. Například u fotovoltaické elektrárny se za dobu hodnocení projektu volí doba životnosti fotovoltaických panelů. Ta bývá okolo 25 až 30 let. Pokud je doba životnosti daného zařízení kratší. Musíme do daného zařízení znova investovat. Po sečtení DCF a odečtení počáteční investice mohou nastat pro hodnotu NPV tři situace.

V případě, že NPV vyjde záporné, projekt nepokryje počáteční investici a očekávaný zisk dle zvoleného diskontu *r*. To ještě, ale nemusí znamenat, že danou investici odmítneme. Pokud si například děláme nové topení do rodinného domů, kde se rozhodujeme mezi kotlem na tuhá

paliva, plynná paliva, elektrickým vytápěním či tepelným čerpadlem, tak tato investice většinou negeneruje žádný peněžní zisk, a tedy nemůže NPV vyjít kladné. Pokud bychom se rozhodovali čistě ekonomicky, zvolili bychom nejméně záporné NPV. Musíme si ale dávat pozor na dobu životnosti. Nemůžeme pomocí NPV porovnávat investice s různou dobou životností. Jak se s tímto vypořádáme bude popsáno při popisu kritéria RCF.

V případě, že NPV vyjde nulové, projekt pokryje počáteční investici a očekávaný zisk dle zvoleného diskontu r . Vliv inflace a míra zisku z důvodu rizikovosti investice jsme zahrnuli do diskontu.

V případě, že NPV vyjde kladné, projekt vydělá více jak jsme požadovali. Zaplatila se tedy počáteční investice a vznikl větší zisk, než jsme požadovali vzhledem k danému riziku. V tomto případě se vyplatí do dané investice investovat, pokud máme dostupné peníze, nebo není jiná investice, která by vydělala více.

4.1.4 Vnitřní výnosové procento

IRR je velmi podobné kritérium jako NPV. S jediným rozdílem, že místo zadaného diskontu, zde měníme diskont tak, abychom našli situaci, kdy vyjde NPV nulové. Takto zjištěný diskont pak nazýváme IRR. Řešíme IRR dle rovnice (4.6). Pro hodnoty diskontu menší a rovné IRR je daná investice vhodná k realizaci. Při použití tohoto kritéria si musíme dávat pozor na pár věcí. Může nám nastat situace, že IRR nemůžeme nalézt. V tom případě se hodnoty NPV pohybují jen v kladných, nebo záporných hodnotách. Dále se může stát, že nám vyjde více hodnot diskontu, při kterých je NPV nulové. Při porovnávání investic si musíme dávat pozor na to, že toto kritérium nic neříká o počáteční investici.

$$\sum_{t=1}^{T_h} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (4.6)$$

Kde:

- T_h Doba hodnocení projektu (rok)
- CF_t Cash flow v t-tém roce (Kč)
- IRR Vnitřní výnosové procento (-)
- IN Investiční výdaje (Kč)

4.1.5 Roční ekvivalentní peněžní tok

RCF kritérium využívá pro porovnání investic o různé době životnosti veličinu zvanou anuita. Tato veličina se v úrokovém počtu využívá pro výpočet konstantních splátek pro půjčenou částku při době splacení. Pro naše potřeby se anuita počítá dle rovnice (4.7)

$$a_{Th} = \frac{(1+r)^{Th} \cdot r}{(1+r)^{Th} - 1} \quad (4.7)$$

Kde:

a_{Th} Anuita při době hodnocení projektu Th (-)

r Diskont (-)

Th Doba hodnocení projektu (-)

RCF využívá anuitu pro rovnoměrné rozdělení DCF po dobu hodnocení projektu. To umožní porovnávat projekty s různou dobou životností začínající ve stejném roce. Volba investice funguje stejně jako u NPV. Volíme investici s největší kladnou hodnotou RCF, popřípadě nejmenší záporné RCF, pokud všechna RCF vychází záporná. Výpočet je pouhé vynásobení NPV anuitou. Výpočet lze vidět v rovnici (4.8).

$$RCF = a_{Th} \cdot NPV \quad (4.8)$$

Kde:

RCF Roční ekvivalentní peněžní tok (Kč)

a_{Th} Anuita při době hodnocení projekty Th (-)

NPV Čistá současná hodnota (Kč)

4.2 Výdaje a příjmy kogenerační jednotky

Během instalace a následného provozu kogenerační jednotky vznikají výdaje a příjmy. V této kapitole budou popsány, s jakými výdaji se můžeme setkat a jejich dělení, dále zde budou popsány odkud nám vznikají příjmy při provozu kogenerační jednotky. Ke konci kapitoly zde bude zmínka o zeleném bonusu, který pro KVET existoval a o emisních povolenkách.

4.2.1 Výdaje

U výdajů kogenerační jednotky máme několik způsobů dělení. Jeden ze způsobů dělení je dle toho, kdy výdaje vznikají. To můžeme rozdělit na investiční výdaje a provozní výdaje. Do investičních výdajů můžeme zařadit výdaje, které vznikly před samotným provozem kogenerační jednotky.

Do provozních výdajů můžeme zařadit všechny potřebné výdaje, které během provozu kogenerační jednotky vzniknou.

Do investičních výdajů můžeme zařadit:[1][2]

- Kogenerační jednotka, akumulární nádrž tepla, skladiště paliva, měřící zařízení
- Připojení k veřejné elektrické a tepelné síti
- Mechanická propojení
- Stavební úpravy
- Školení zaměstnanců na obsluhu kogenerační jednotky, vypracování projektu

Do provozních výdajů můžeme zařadit: [1][2]

- Pořízení, doprava, skladování a úprava paliva
- Mzdy zaměstnanců obsluhující kogenerační jednotku
- Údržba, prohlídky a servis kogenerační jednotky
- Likvidace zplodin
- Materiálové náklady
- Režijní náklady

Dále můžeme výdaje dělit v závislosti na vyráběném množství elektřiny a tepla. Výdaje jako jsou mzdy zaměstnanců, údržba, režijní náklady nezávisí na tom, zda je kogenerační jednotka v provozu. Aby byla kogenerační jednotka provozuschopná, musíme je platit. Výdaje, které nezávisí na vyráběném množství elektřiny a tepla nazýváme stále výdaje.

Výdaje, které se mění v závislosti na vyráběném množství elektřiny a tepla nazýváme proměnné. Do těchto nákladů můžeme zařadit například výdaje na pořízení, dopravu, skladování a úpravu paliva. S větším množstvím vyráběné energie je zapotřebí větší množství paliva.

4.2.2 Příjmy

Příjmy kogenerační jednotky vznikají prodejem vyrobené elektřiny a tepla. V závislosti na provozu kogenerační jednotky mohou nastat následující situace. Vyrobená elektřina nestačí pro pokrytí celé spotřeby objektu. V tomto případě musíme zbytek pokrýt z veřejné sítě. Vyrobená elektřina představuje úsporu peněz. Jelikož bychom dané množství elektřiny museli nakoupit ze sítě. Další ze situací je, že vyrobená elektřina stačí pro pokrytí spotřeby objektu. V tomto případě opět vznikají úspory, a navíc můžeme mít další příjem z prodeje přebytku elektřiny,

kterou už v objektu nevyužijeme. Pokud vyrobenou elektřinu nepoužíváme k pokrytí spotřeby objektu, nastane nám poslední situace. Vznikají zde jen příjmy z prodeje elektřiny.

4.2.3 Zelený bonus

Součástí prodeje elektřiny do sítě je zelený bonus. To je podpora, kterou výrobce elektřiny získal jejím prodejem do sítě. Do této podpory patřili i výrobci KVET. Podpora byla udávána v Kč · MWh⁻¹ a její výše byla závislá na datu uvedení výrobní do provozu, instalovaného výkonu výrobní, úspory primární energie, celkové účinnosti kogenerační jednotky a počtu provozních hodin kogenerační jednotky. Od letošního roku již zelený bonus pro KVET neplatí.[17]

4.2.4 Emisní povolenky

Emisní povolenky jsou nástroj Evropské unie, která se s jejich pomocí snaží omezit emise skleníkových plynů v zúčastněných zemích. Evropský systém pro obchodování s emisními povolenkami byl spuštěn v roce 2005 a česká legislativa jej upravila zákonem č. 383/2012 Sb. o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. Tento systém zahrnuje určitá energetická odvětví, která svým provozem vypouštějí emise skleníkových plynů. Postupem času se i upravuje, které činnosti musí mít pro vypouštění skleníkových plynů emisní povolenky. V našem případě může zařízení pro KVET v závislosti na jmenovitém tepelném příkonu patřit pod činnost „Spalování paliv v zařízeních s celkovým jmenovitým tepelným příkonem vyšším než 20 MW.“

Pokud subjekt nedostane emisní povolenky zdarma, musí je nakoupit na burze. Ty mu umožňují vypustit dané množství emisí. Průběh ceny emisních povolenek můžeme vidět na Obr. 4-1. Od roku 2023 cena povolenek zaznamenala pokles a k dnešnímu dni (30. 4. 2024) je cena 68,52 EUR/t.¹²

Z důvodu lepší přehlednosti je Obr. 4-1 na následující stránce.

¹² Dle [18]

CENA EVROPSKÝCH EMISNÍCH POVOLENEK

Průměrná měsíční cena povolenky
(EUR za tunu CO₂)



Obr. 4-1 Cena Evropských emisních povolenek[19]

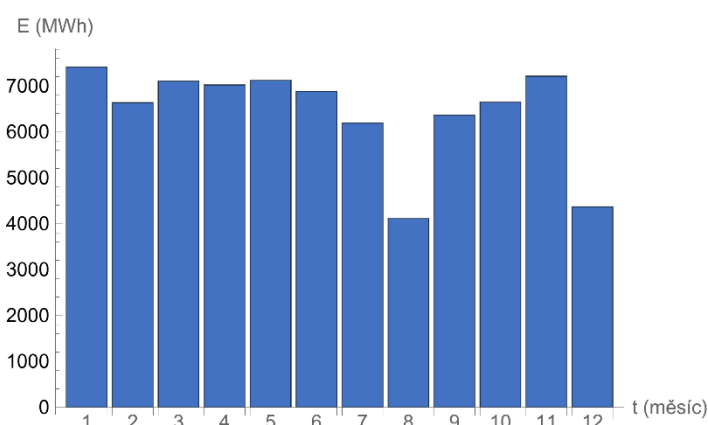
5 Popis vstupních dat, variant a výpočetního nástroje

Praktická část diplomové práce se bude zabývat dimenzováním kogenerační jednotky s využitím vytvořeného výpočetního nástroje. S využitím tohoto nástroje budeme schopni na základě ekonomického kritéria zvolit nejvhodnější variantu. Data o spotřebě elektrické a tepelné energie byla poskytnuta vedoucím diplomové práce. Data jsou využita pro zhodnocení vhodnosti nasazení kogenerační jednotky. Posuzovaná situace je průmyslový objekt odebírající teplo z CZT, který řeší, jestli se mu vyplatí přejít na vlastní zdroj tepla. V této kapitole budou popsány vstupní data jako je spotřeba elektrické a tepelné energie, vybrané varianty a výpočetní nástroj.

5.1 Popis spotřeby elektrické a tepelné energie

5.1.1 Spotřeba elektrické energie

Jeden ze vstupních údajů, který je využit při dimenzování kogenerační jednotky, je spotřeba elektrické energie. Dostupné údaje pocházejí z roku 2023 a byly měřeny po čtvrt hodinových intervalech. Podrobná data nám umožní počítat s přetoky vyrobené elektrické energie. Pokud bychom vzali celkovou spotřebu objektu za měsíc a z ní počítali přetoky elektrické energie do sítě, dopustili bychom se chyby. Na Obr. 5-1 můžeme vidět celkovou spotřebu elektrické energie v daných měsících vypočtenou z dostupných dat.¹³



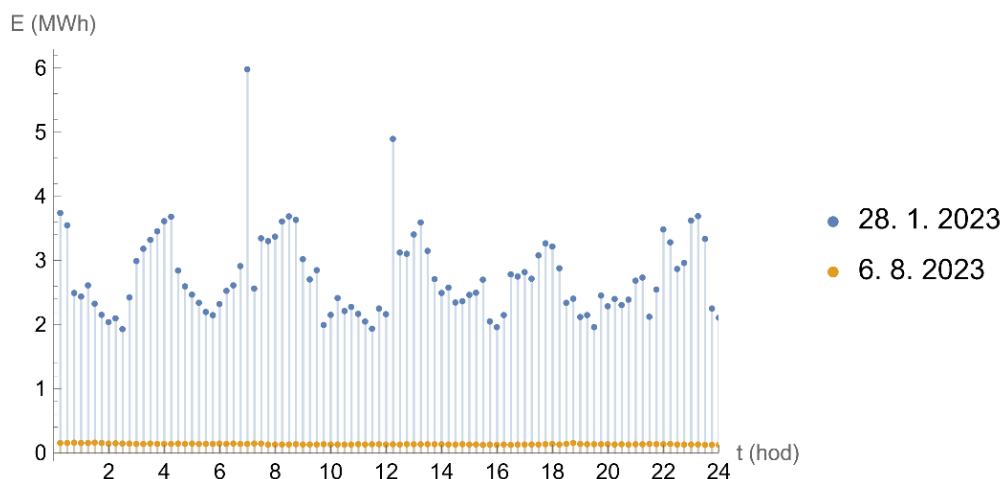
Obr. 5-1 Měsíční spotřeba elektrické energie v roce 2023¹⁴

Na Obr. 5-2 můžeme vidět průběh spotřeby elektrické energie ve dvou zvolených dnech. Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, měření probíhalo ve čtvrt hodinových intervalech.

¹³ Data o spotřebě elektrické energie byly poskytnuty vedoucím diplomové práce

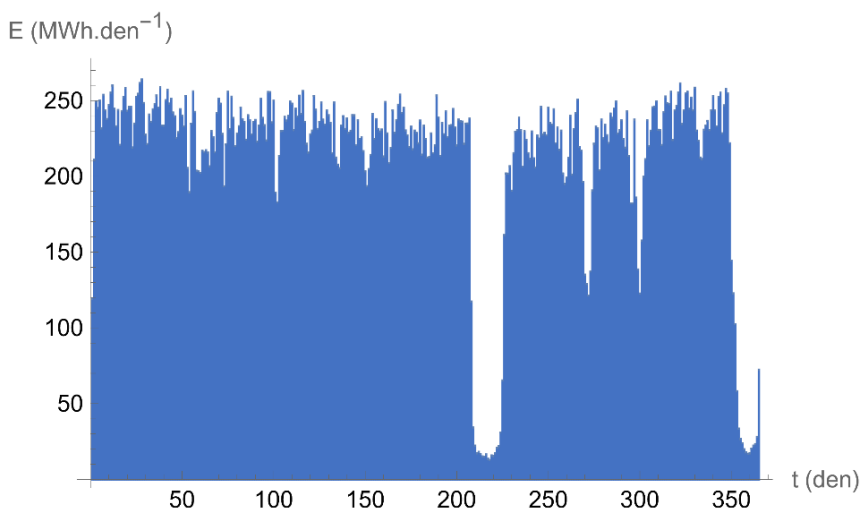
¹⁴ Vytvořeno autorem

Tyto dny byly zvoleny, protože podnik v těchto dnech zaznamenal největší a nejmenší celkovou denní spotřebu elektrické energie. Na grafu si můžeme povšimnout, že 28. 1. 2023 je během dne proměnlivá spotřeba elektrické energie. Jedná se o jeden ze dnů, kdy byl podnik plně v provozu. Spotřeba se měnila v závislosti na tom, který ze strojů byl zrovna zapnut. Na rozdíl od tohoto dne je spotřeba 6. 8. 2023 výrazně menší a rovnoměrně rozložena. Během dne se čtvrt hodinová spotřeba objektu pohybuje mezi 125 až 150 kWh.



Obr. 5-2 Spotřeba elektrické energie ve zvolených dnech v roce 2023¹⁵

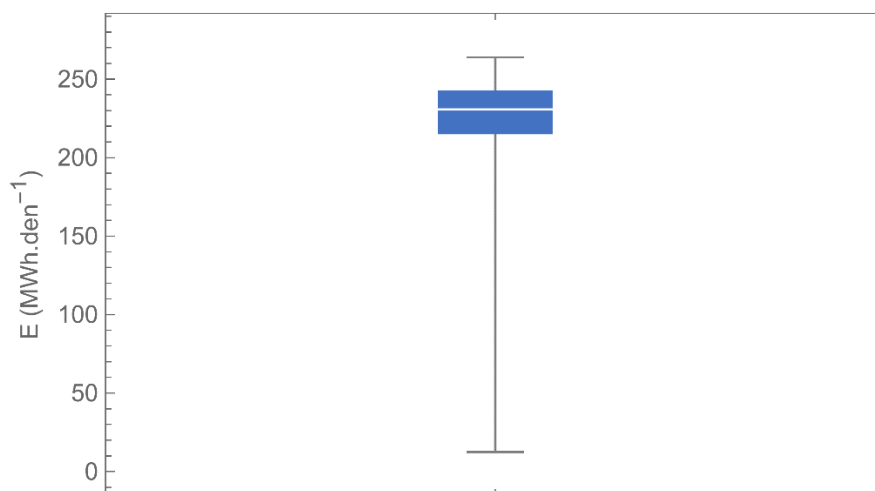
Jedná se o den, kdy se v podniku nepracovalo. Takovýchto dní je jen pár. Většinu dní se průběh spotřeby a celkové denní spotřeby pohybuje na podobných hodnotách. Názornější ukázkou srovnání celkových denních spotřeb elektrické energie můžeme vidět na Obr. 5-3, kde vidíme denní spotřebu v daném roce. Na Obr. 5-4 je z těchto hodnot vytvořen krabicový graf.



Obr. 5-3 Celková denní spotřeba elektrické energie v roce 2023¹⁶

¹⁵ Vytvořeno autorem

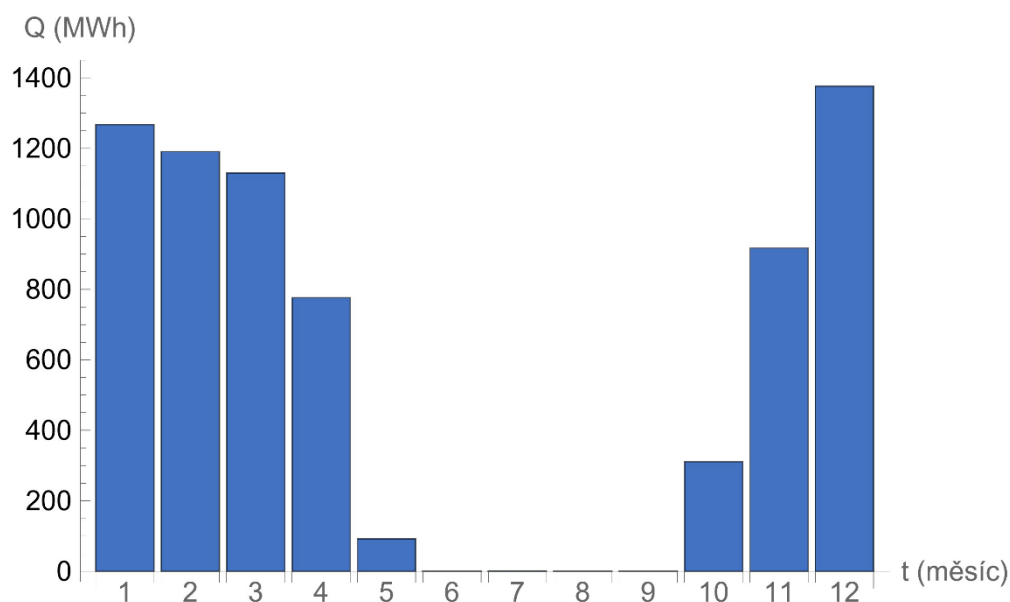
¹⁶ Vytvořeno autorem



Obr. 5-4 Krabicový graf celkové denní spotřeby elektrické energie v roce 2023¹⁷

5.1.2 Spotřeba tepelné energie

Další ze vstupních údajů, který je použit při dimenzování kogenerační jednotky, je spotřeba tepelné energie. Dostupné údaje pocházejí z roku 2023 a byly stejně jako u elektrické spotřeby měřeny po čtvrt hodinových intervalech. Z těchto hodnot byla spočtena celková spotřeba tepelné energie v daných měsících. To můžeme vidět na Obr. 5-5. Lze si povšimnout, že teplo je vyžadováno mezi měsíci říjen až květen. V květnu a říjnu je vyžadováno teplo jen část měsíce. V květnu to je od začátku měsíce do 5. května a v říjnu od 16. října.¹⁸



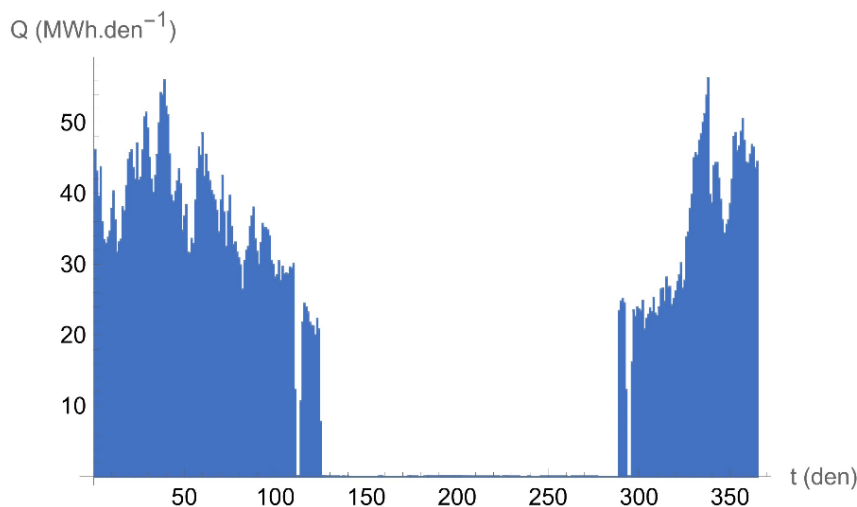
Obr. 5-5 Měsíční spotřeba tepelné energie v roce 2023¹⁹

¹⁷ Vytvořeno autorem

¹⁸ Data o spotřebě tepelné energie byly poskytnuty vedoucím diplomové práce

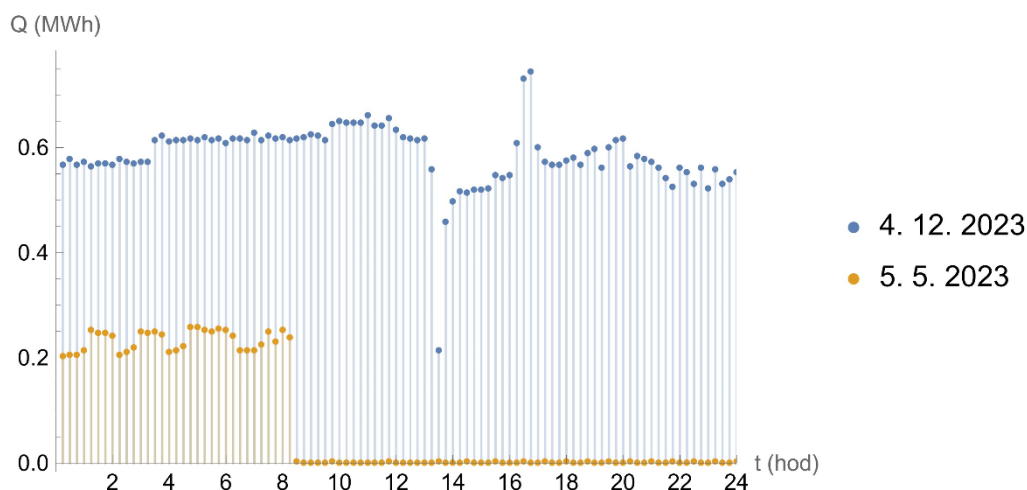
¹⁹ Vytvořeno autorem

Podrobnější znázornění spotřeby můžeme vidět na Obr. 5-6. Lze tu vidět denní spotřebu v daném roce. Dále tu lze vidět, že během léta přestaneme odebírat teplo.



Obr. 5-6 Celková denní spotřeba tepelné energie v roce 2023²⁰

Na Obr. 5-7 je zobrazena spotřeba tepelné energie ve zvolených dnech po čtvrt hodinových intervalech. Dny byly podobně jako u elektrické spotřeby voleny dle maximální a minimální celkové denní spotřeby. Teplo není spotřebováváno po celý rok. Existují dny s nulovou nebo mizivou spotřebou tepla. V těchto dnech není vhodné kogeneraci provozovat, proto byly při výběru dnů vynechány. Když se podíváme na vybrané dny, můžeme si povšimnout, že spotřeba je během dne rovnoměrně rozložena. 5. května je spotřeba tepla pouze do 8 hodin ráno. Po zbytek dne už odběr tepla podnik neodebírání teplo a začne jej odebírat až v říjnu.



Obr. 5-7 Maximální a minimální denní spotřeba tepelné energie v roce 2023²¹

²⁰ Vytvořeno autorem

²¹ Vytvořeno autorem

5.2 Popis zvolených variant

5.2.1 Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotky byly zvolené od firmy Gentec. Jedná se o českou firmu zabývající se výrobou kogeneračních jednotek na zemní plyn, bioplyn a jiná paliva. Výrobou kogeneračních jednotek se zabývají od roku 2011. Jedná se o modely se spalovacími motory s výkonovým rozsahem 50–2535 kWe. Jejich účinnost se pohybuje mezi 89,9 % až 95 %. Bylo vybráno 5 variant kogeneračních jednotek s elektrickým výkonovým rozsahem 530 až 1286 kWe. Parametry zvolených kogeneračních jednotek lze vidět v Tab. 5-1. Uvažované varianty budou pojmenovány podle názvů kogeneračních jednotek.[20]

| Název jednotky | P_{el} při zatížení 100/75/50 % (kW) | P_{tep} při zatížení 100/75/50 % (kW) | Spotřeba paliva při zatížení 100/75/50 % (Nm ³ /h) | Celková účinnost (%) |
|-------------------|---|--|---|----------------------------|
| KE-MNG 500-ASE | 530 / 396 / 263 | 636 / 495 / 362 | 138,7 / 105,9 / 74,6 | 92,2 |
| KE-MTUNG 700-ASE | 776 / 582 / 388 | 872 / 690 / 511 | 194 / 151,2 / 106,7 | 92,6 |
| KE-MTUNG 850-ASE | 854 / 641 / 427 | 938 / 747 / 566 | 207 / 160,7 / 115,5 | 94,6 |
| KE-MTUNG 1000-ASE | 999 / 749 / 501 | 1072 / 843 / 628 | 239,1 / 184,1 / 131,1 | 94,3 |
| KE-MTUNG 1200-ASE | 1286 / 965 / 643 | 1403 / 1114 / 804 | 314,9 / 244,1 / 170,9 | 93,3 |

Tab. 5-1 Parametry vybraných kogeneračních jednotek²²

5.2.2 Kotel

Kogenerační jednotka nebude jediný zdroj tepla v objektu. Pro pokrývání špiček a když se jednotka vypnuta bude využit nízkoteplotní plynový kotel od firmy Viessmann. Firma existuje již od roku 1917 a zabývá se produkty v oblasti vytápění, chlazení a větrání. Jedná se o Vitoplex 200 spolu se spalínovým výměníkem. Celkový maximální výkon zdroje je 2154 kW. Hořáky jsou od Weishaupt model WM-G30/1-A,ZM-3LN. Pro pokrytí špiček budou instalovány 3 kotle. Spotřeba tepla je odhadnuta přes spalné teplo dle účinnosti kotle, která činí 89 % (H_s).



Obr. 5-8 Nízkoteplotní kotel Vitoplex 200[21]

²² Vytvořeno autorem

5.2.3 Akumulační nádrž

Ke každé variantě je uvažována i akumulace tepla. Velikost nádrže byla volena dle velikosti tepelného výkonu kogenerační jednotky tak, aby byla schopna akumulovat 2 hodiny výroby tepla. Nádrž je skládána z jednotlivých nádrží o velikosti 10 m³. Maximální množství akumulovaného tepla v nádrži je počítáno dle rovnice (5.1)

$$Q_{Aku} = V_{aku} \cdot \rho_{H2O} \cdot c \cdot ((T_2 + 273,15) - (T_1 + 273,15)) \quad (5.1)$$

Kde:

| | |
|--------------|--|
| Q_{Aku} | Akumulované množství tepla (J) |
| V_{aku} | Objem akumulace (m ³) |
| c | Měrná tepelná kapacita (J · kg ⁻¹ · K ⁻¹) |
| ρ_{H2O} | Hustota vody v akumulaci (kg · m ⁻³) |
| $T_{2,1}$ | Max/Min teplota vody v nádrži (°C) |

| Varianta | Velikost akumulace (m ³) |
|------------|--------------------------------------|
| MNG 500 | 30 |
| MTUNG 700 | 40 |
| MTUNG 850 | 50 |
| MTUNG 1000 | 50 |
| MTUNG 1200 | 70 |

Tab. 5-2 Velikost akumulace vybraných variant²³

5.2.4 Shrnutí

Bylo zvoleno 5 různých variant, které se budou pomocí nástroje řešit. Varianty se liší výkonem kogenerační jednotky a velikostí akumulace. V ekonomickém zhodnocení se pak zvolí nejvhodnější varianta. Ta se prvně zvolí dle ekonomického kritéria NPV a poté budou provedeny citlivostní analýzy.

| Varianta | Kogenerační jednotka | Kotel | Velikost akumulace (m ³) |
|------------|----------------------|------------------|--------------------------------------|
| MNG 500 | KE-MNG 500-ASE | 3 x Vitoplex 200 | 30 |
| MTUNG 700 | KE-MTUNG 700-ASE | 3 x Vitoplex 200 | 40 |
| MTUNG 850 | KE-MTUNG 850-ASE | 3 x Vitoplex 200 | 50 |
| MTUNG 1000 | KE-MTUNG 1000-ASE | 3 x Vitoplex 200 | 50 |
| MTUNG 1200 | KE-MTUNG 1200-ASE | 3 x Vitoplex 200 | 70 |

Tab. 5-3 Shrnutí vybraných variant²⁴

²³ Vytvořeno autorem

²⁴ Vytvořeno autorem

5.3 Výpočetní nástroj

5.3.1 Použitý program

Pro tvorbu výpočetního nástroje byl využit program Wolfram Mathematica, který vyvíjí společnost Wolfram Research. Historie tohoto programu sahá až do roku 1988, kdy 23. června vyšla jeho první verze. Verze, která bude k tvorbě nástroje použita je 13.3.0.0. Původně Mathematica sloužila k provádění matematických výpočtů. Během mnohaletého vývoje byly do něj přidány nové funkce a možnosti, jak jej využít. V nejnovější verzi lze program například využít v následujících oblastech:

- Algebraické a numerické počty
- Manipulace s daty
- Vizualizace dat a funkcí
- Strojové učení
- Geografie
- Chemie
- Práce s obrázky, zvukem a videem
- A mnoho dalších oblastech

5.3.2 Vstupní část nástroje

Pro snazší manipulaci s nástrojem jsou některá data vložena skrz excelovský soubor. Tím se zabývá část nástroje na Obr. 5-9. U spotřeba tepla je proveden převod z GJ na kWh.

Import excel souborů

```
88]:= KJ = Import["KJ - Tech a ekonom. parametry.xlsx"];
(*Import excel souboru s tech a eko parametru*)
KJtech = KJ[[1]];
KJeko = KJ[[2]];
Varianty = KJtech[[2 ;;, 1]];

SpotrebaEQ = Import["spotreby.xlsx"][[1, 2 ;;]] /. {a_, b_} => {a,  $\frac{b}{3.6} * 1000$ };
(*Import excel souboru se spotřebou*)
TeplotyExcel = Import["teplota.xlsx"];
(*Import excel souboru s prům. teplotou a rychlostí větru*)
```

Obr. 5-9 Import excel souborů s daty²⁵

²⁵ Vytvořeno autorem

Jeden z těchto souborů obsahuje informace o zvolených variantách, které v nástroji řešíme. Soubor je rozdělen na dva listy. Do prvního listu se zadávají technické parametry. Jak takovýto list vypadá můžeme vidět na Obr. 5-10 a Obr. 5-11. V prvním sloupci prvního listu je zapsán název zvolené kogenerační jednotky. Tento údaj slouží pouze pro jednodušší orientaci mezi zvolenými variantami. V následujících třech sloupcích jsou informace o elektrickém výkonu dané kogenerační jednotky při zatížení motoru 100 %, 75 %, 50 %. Dále se zde zapisují hodnoty tepelného výkonu při zatížení motoru 100 %, 75 %, 50 %. Podobně jako u výkonů se zapisuje do tří sloupců spotřeba paliva kogenerační jednotky. Výkony a spotřeba paliva se zadávají třemi hodnotami z toho důvodu, že později v modelu jsou využity k proložení kvadratickou funkcí.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|--|--|--|---------------------------------------|
| | | Pel100 % (KW) | Pel75 % (KW) | Pel50 % (KW) | Ptep100 % (KW) | Ptep75 % (KW) | Ptep50 % (KW) | Spotřeba paliva KJ při 100 % (Nm3/h) | Spotřeba paliva KJ při zatížení 75 % (Nm3/h) | Spotřeba paliva KJ při zatížení 50 % (Nm3/h) | Kapacita Akumulační nádrže (m3) |
| 1 | Název | | | | | | | | | | |
| 2 | MNG 500 | 530 | 396 | 263 | 636 | 495 | 362 | 138,7 | 105,9 | 74,6 | 30 |
| 3 | MTUNG 700 | 776 | 582 | 388 | 872 | 690 | 511 | 194 | 151,2 | 106,7 | 40 |
| 4 | MTUNG 850 | 854 | 641 | 427 | 938 | 747 | 566 | 207 | 160,7 | 115,5 | 50 |
| 5 | MTUNG 1000 | 999 | 749 | 501 | 1072 | 843 | 628 | 239,1 | 184,1 | 131,1 | 50 |
| 6 | MTUNG 1200 | 1286 | 965 | 643 | 1403 | 1114 | 804 | 314,9 | 244,1 | 170,9 | 70 |

Obr. 5-10 Ukázka prvního listu souboru s informacemi o zvolených variantách²⁶

V druhém listu se zadávají ekonomické parametry konkrétních variant, které jsou pro každou variantu různé. Patří mezi ně:

- Cena kogenerační jednotky
- Cena kotle
- Cena akumulční nádrže
- Cena plynové přípojky
- Instalace + stavební úpravy

| | A | B | C | D | E | F |
|---|-------------------|--------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Název | Cena KJ (Kč) | Cena KOT (Kč) | Cena akumulční nádrže (Kč) | Plynová přípojka (Kč) | Instalace a ostatní (Kč) |
| 1 | | | | | | |
| 2 | MNG 500 | 8 500 000 | 4 500 000 | 600 000 | 2 000 000 | 7 800 000 |
| 3 | MTUNG 700 | 14 500 000 | 4 500 000 | 800 000 | 2 000 000 | 10 900 000 |
| 4 | MTUNG 850 | 15 500 000 | 4 500 000 | 1 000 000 | 2 000 000 | 11 500 000 |
| 5 | MTUNG 1000 | 16 500 000 | 4 500 000 | 1 000 000 | 2 000 000 | 12 000 000 |
| 6 | MTUNG 1200 | 17 500 000 | 4 500 000 | 1 400 000 | 2 000 000 | 12 700 000 |

Obr. 5-11 Ukázka druhého listu souboru s informacemi o zvolených variantách²⁷

Další soubor, který je využíván v nástroji, je soubor se spotřebou elektrické a tepelné energie. V tomto souboru jsou dva sloupce. V prvním z nich jsou změřené hodnoty spotřeby elektrické

²⁶ Vytvořeno autorem

²⁷ Vytvořeno autorem

energie a ve druhém sloupci změřená spotřeba tepelné energie. V našem případě se jedná o soubor s 2 x 35 040 hodnotami změřenými se čtvrt hodinovým intervalem. Není problém použít i data s jiným intervalem. Je však potřeba provést určité úpravy v nástroji, aby správně pracoval s těmito daty. Formát dat v souboru můžeme vidět na Obr. 5-12.

| | A | B |
|---|------------------------|-----------------------------|
| | Elektřina (kWh) | Tepelná energie (GJ) |
| 1 | | |
| 2 | 1630 | 1,83 |
| 3 | 385 | 1,74 |
| 4 | 940 | 1,70 |
| 5 | 400 | 1,75 |
| 6 | 360 | 1,69 |
| 7 | 575 | 1,70 |
| 8 | 530 | 1,68 |
| 9 | 605 | 1,72 |

Obr. 5-12 Ukázka formátu souboru se spotřebou elektrické a tepelné energie²⁸

K výpočtu tepelných ztrát akumulční nádrže jsou využity údaje o průměrné denní teplotě. Data jsou do nástroje vkládány přes excelovský soubor. Formát souboru můžeme vidět na Obr. 5-13. Údaje o teplotě byly vzaty z [22].

| | A | B | C | D |
|---|---------|---------|---------|-----------------------------|
| 1 | Column1 | Column2 | Column3 | Column4 |
| 2 | Rok | Měsíc | Den | Průměrná denní teplota (°C) |
| 3 | 2023 | 01 | 1 | 13,70 |
| 4 | 2023 | 01 | 2 | 8,70 |
| 5 | 2023 | 01 | 3 | 6,40 |
| 6 | 2023 | 01 | 4 | 7,40 |
| 7 | 2023 | 01 | 5 | 10,00 |
| 8 | 2023 | 01 | 6 | 9,30 |

Obr. 5-13 Ukázka formátu souboru s průměrnou denní teplotou a rychlostí větru²⁹

Na Obr. 5-14 jsou další vstupní technické údaje, které je potřeba pro výpočet zadat. První z nich je časové měřítko, ve kterém máme data o spotřebě elektřiny, V případě, že bychom místo čtvrt hodinových údajů měli hodinové. Dále se zde zapisuje účinnost kotle a informace o

²⁸ Vytvořeno autorem

²⁹ Vytvořeno autorem

akumulační nádrži, které jsou využity k výpočtu ztrát a maximální možné akumulované energii v nádrži.

Technické údaje

```
]= CasMeritko = 4; (*1 pro hodinový údaje, 4 pro čtvrt hodinové*)
ηKot = 0.89;
{Tmax, Tmin} = {90, 50}; (*Rozsah teploty vody v aku nádrži (°C, °C) *)
ρVod = 977.7; (*Hustota vody*)
Kapacita1Nadrz = 10; (*Kapacita jedné nádrže (m³) *)

λIzol = 0.03575; (*Tepelná vodivost izolace*)
tlouštkaIzol = 0.1; (*tlouštka izolace*)
r = 1; (*Poloměr aku nádrže*)
h = 3.5; (*Výška aku nádrže*)
```

Obr. 5-14 Vstupní část nástroje – Technické údaje³⁰

Na Obr. 5-15 vidíme zpracování technických údajů. Provádí se zde proložení výkonů a spotřeby paliva kogenerační jednotky kvadratickou funkcí. Ty jsou využity pro výpočet vyrobené elektřiny a spotřebovaného paliva v daném časovém intervalu. Spotřeba paliva je převedena přes spalné teplo z m³ na kWh. To je odhadnuto na 10,55 kWh · m⁻³. Dále se zde počítá celková velikost tepelné energie, kterou do nádrží můžeme uložit.

Zpracování tech. údajů

```
= PocVar = KJtech[[2 ;;]] // Length;
(*fitování výkonů a spotřeby kvadratickou funkcí*)
EPkj = Cases[KJtech[[2 ;;, 2 ;; 4]], {a_, b_, c_} => {{1, a}, {0.75, b}, {0.5, c}}];
QPkj = Cases[KJtech[[2 ;;, 5 ;; 7]], {a_, b_, c_} => {{1, a}, {0.75, b}, {0.5, c}}];
PalivSpotkj = Cases[KJtech[[2 ;;, 8 ;; 10]], {a_, b_, c_} =>
  {{{1, a * (10.55 / 4)}, {0.75, b * (10.55 / 4)}, {0.5, c * (10.55 / 4)}}];

EPkjfitVar = Fit[EPkj[[#]], {1, x, x^2}, x] & /@ Range[PocVar];
QPkjfitVar = Fit[QPkj[[#]], {1, x, x^2}, x] & /@ Range[PocVar];
PalivSpotfitVar = Fit[PalivSpotkj[[#]], {1, x, x^2}, x] & /@ Range[PocVar];

KapAkuNadrz = KJtech[[2 ;;, 11]];
PocetNadrzi = KapAkuNadrz / Kapacita1Nadrz;
TepKapVod = (4180. / (10^3 * 3600)); (*v kWh.kg^-1.K^-1 *)
QAkuMaxVar = KapAkuNadrz[[#]] * TepKapVod * ρVod * (Tmax - Tmin) & /@ Range[PocVar];

Teploty = Table[TeplotyExcel[[1, 3 ;;, 4]][[i]], {i, 1, 365}, {j, 1, CasMeritko * 24}] // Flatten;
```

Obr. 5-15 Vstupní část nástroje – Zpracování technických údajů³¹

³⁰ Vytvořeno autorem

³¹ Vytvořeno autorem

Ve vstupní části nástroje se zadávají zbylé ekonomické údaje, které jsou společné pro všechny varianty a nebyly zadány v excel souboru. Doplňujeme zde dobu hodnocení investice, hodnotu diskontu, částky, za které nakupujeme teplo, plyn, elektřinu a za kolik prodáváme přebytky elektřiny do sítě. Servis kogenerační jednotky se udává částkou za MWh. Servis kotle částkou za rok.

Ekonomické údaje

```
3]:= Th = 20; (*Doba hodnocení investice*)
    diskont = 0.08; (*-*)
    VykupEl = 1000; (*Kč.MWh-1*)
    CenaTeplo = 800; (*Kč.MWh-1*)
    ServisKJ = 300; (*Kč.MWh-1*)
    ServisKotel = 100000; (*Kč*)
    Plyn = {1300, 1200, 1150, 1100}; (*Kč pro prvních x let*)
    El = {2800, 2700, 2600, 2500}; (*Kč pro prvních x let*)

    NakupPlynu = Prepend[ Table[Plyn[[-1]], {i, 1, Th - Length[Plyn]}], Plyn] // Flatten;
    NakupEl = Prepend[ Table[El[[-1]], {i, 1, Th - Length[El]}], El] // Flatten;
    CenaKJ = KJeko[[2 ;;, 2]];
    CenaKOT = KJeko[[2 ;;, 3]];
    CenaAKU = KJeko[[2 ;;, 4]];
    CenaplynPrip = KJeko[[2 ;;, 5]];
    CenaStavba = KJeko[[2 ;;, 6]];
```

Obr. 5-16 Vstupní část nástroje – Ekonomické údaje³²

5.3.3 Popis technické části nástroje

Výpočetní nástroj je rozdělen na technickou a ekonomickou část. V technické části je potřeba vypočítat výrobu tepelné a elektrické energie z kogenerační jednotky a tepelné energie z kotle. Nástroj bude pracovat v režimu sledování potřeby tepla. Bude zde zjišťována potřeba tepelné energie v daném časovém úseku a dle potřeby tepla se vypočítá vyrobená energii z kogenerační jednotky, kotle a popřípadě i uložené energie v akumulární nádrži. Z tohoto důvodu je vytvořena v nástroji funkce, která pro daný časový okamžik tyto hodnoty vypočítá. Funkce je pojmenována a bude zmiňována pod názvem „TechFunkce.“ Pro přehlednost zde budou následovat obrázky jen s částmi kódu.

5.3.3.1 Vstup TechFunkce

Na Obr. 5-17 můžeme vidět proměnné, které do TechFunkce vstupují a lokální proměnné, které jsou ve funkci použity. Samotná funkce počítá vyrobenou elektřinu a teplo jen pro jeden časový interval. Pokud chceme spočítat výrobu pro celý rok, musíme zavolat funkci na první

³² Vytvořeno autorem

čtvrthodinu/hodinu v roce a výsledné hodnoty spolu se spotřebou pro následující časový interval dosadit opět do funkce. Toto opakujeme, dokud funkce nespočítá celé požadované období.

```
TechFunkce [{Var_, t_, EpozNext_, QpozNext_, Qkj_, Qkot_, Qaku_, EkjUvnitr_,
  Ees_, EpretokEs_, ZatKJ_, Pal_, QztrataAku_}] :=
Module [{QkjVyp, QkotVyp, QinAku, QoutAku, EkjVyp, EesVyp, EpretokEsVyp,
  ZatkjVyp, PalVyp, EPkjfit, QPkjfit, PalivSpotfit, QAkuMax, QkjMax,
  QkjPu1, QkotMax, EkjUvnitrVyp, QztratyAKUvyp, Tvod, TepVod},
```

Obr. 5-17 Vstup TechFunkce³³

Vstupní proměnné a jejich názvy jsou:

- Var – varianta
- t – krok funkce
- EpozNext – spotřebována elektrická energie
- QpozNext – spotřebována tepelná energie
- Qkj – vyrobené teplo kogenerační jednotkou v předchozím kroku
- Qkot – vyrobené teplo kotlem v předchozím kroku
- Qaku – Teplo v akumulární nádrži
- EkjUvnitr – elektrická energie z kogenerační jednotky spotřebována uvnitř objektu v předchozím kroku
- Ees – využitá elektrická energie ze sítě v předchozím kroku
- EpretokES – přetok elektrické energie z kogenerační jednotky do elektrické sítě v předchozím kroku
- ZatKJ – zatížení kogenerační jednotky v předchozím kroku
- Pal – spotřebované palivo kogenerační jednotkou v předchozím kroku
- QztrataAku – ztráta energie v akumulární nádrži v předchozím kroku

Proměnná Var značí jakou variantu počítáme. Varianty jsou vzaté z excel souboru obsahující jejich technické a ekonomické parametry. Soubor byl popisován v kapitole 5.3.2, V našem případě to je číslo od 1 do 5. Je potřeba si ohlídat, že zde nezadáme větší číslo, než je náš počet variant. Funkce by vyhodila chybu místo spočtených hodnot.

³³ Vytvořeno autorem

Krok funkce t označuje aktuální spočtený krok nástroje. Lze zde dosadit celé číslo v rozsahu (0, 35040). Toto platí pro případ, že počítáme celý rok ve čtvrt hodinových intervalech. Horní rozsah je limitován počtem dostupných dat o spotřebě.

Spotřebována elektrická/tepelná energie EpozNext/QpozNext značí požadované hodnoty energie, které je třeba v následujícím časovém okamžiku dodat. Tyto hodnoty jsou brány z druhého excelovského souboru, který byl popsán v 5.3.2.

Teplo v akumulární nádrži Qaku udává uloženou tepelnou energii v akumulární nádrži. Předpokládá se, že při začátku výpočtu není v nádrži žádná dodatečná uložená energie, tedy je zde dosazena 0.

Ostatní vstupní parametry nezasahují do výpočtu funkce a jsou zde jen pro správné fungování výpočtu. Pro přehlednost je do nich dosazena 0. Na výpočet to nemá žádný vliv. Může se zde dosadit jakékoliv jiné číslo.

5.3.3.2 Volba parametrů dle varianty a výpočet vyrobené energie za časový interval

Na Obr. 5-18 je část funkce, kde se dle zadané varianty volí parametry potřebné pro následující výpočty. Volí se zde vypočtené kvadratické funkce, které vznikly proložením ve vstupní části nástroje. Dále se zde počítá vyrobená tepelná energie při 100 % a 50 % zatížení motoru, který by kogenerační jednotka vyrobila, kdyby na dané zatížení jela po celý časový interval.

```
(*Volba proložených výkonů a spotřeby dle zvolené varianty*)
EPkjfit = EPkjfitVar [[Var]];
QPkjfit = QPkjfitVar [[Var]];
PalivSpotfit = PalivSpotfitVar [[Var]];
(*Výpočet vyrobené energie za časový interval a volba max kapacity
aku nádrže dle zvolené varianty*)
QkjMax = QPkj [[Var, 1, 2]] / CasMeritko;
QkjPu1 = QPkj [[Var, 3, 2]] / CasMeritko;
QAkuMax = QAkuMaxVar [[Var]];
```

Obr. 5-18 Volba parametrů dle varianty a výpočet vyrobené energie za časové interval³⁴

5.3.3.3 Výpočet vyrobené tepelné energie z kogenerační jednotky a kotle

Samotné počítání vyrobeného tepla je pro přehlednost řešeno voláním samostatných funkcí. To lze vidět na Obr. 5-19. V závislosti na velikosti spotřeby tepla mohou nastat následující tři situace:

- Situace 1 - Spotřeba tepla je větší, než co dokáže kogenerační jednotka vyrobit

³⁴ Vytvořeno autorem

- Situace 2 – Spotřeba tepla se pohybuje v rozmezí vyrobeného tepla kogenerační jednotkou při zatížení 50 % až 100 %
- Situace 3 – Spotřeba tepla je menší jak vyrobené teplo kogenerační jednotkou při zatížení 50 %

(*Rozhodování o situaci

1 – Požadavek tepla \geq Max energie co KJ vyrobí za časový interval

Prvně KJ, poté z Akumulace, zbytek kotel

2 – Požadavek tepla mezi Max energie a při polovičním zatížení

KJ Pouze KJ, zbytek do QKJMax do akumulace

3 – Požadavek tepla pod polovičním zatížení KJ – Prvně co je v akumulaci, zbytek z kotle*)

Which[

$Q_{pozNext} \geq Q_{kjMax}$, { Q_{kjVyp} , Q_{kotVyp} , Q_{outAku} , Q_{inAku} } =

Situace1Vybijeni[Q_{kjMax} , $Q_{pozNext}$, Q_{aku}],

$Q_{kjMax} > Q_{pozNext} \geq Q_{kjPul}$, { Q_{kjVyp} , Q_{kotVyp} , Q_{outAku} , Q_{inAku} } =

Situace2Nabijeni[Q_{kjMax} , Q_{akuMax} , $Q_{pozNext}$, Q_{aku}],

$Q_{pozNext} < Q_{kjPul}$, { Q_{kjVyp} , Q_{kotVyp} , Q_{outAku} , Q_{inAku} } =

Situace3Vypnuto[$Q_{pozNext}$, Q_{aku}]

];

Obr. 5-19 Volba situace pro výpočet vyrobeného tepla³⁵

Na Obr. 5-20 vidíme funkci pro řešení situace 1. Kogenerační jednotka jede na 100% zatížení. Zbytek spotřeby je dodáno z nádrže a kotle. Pokud stačí teplo z nádrže, je výroba tepla z kotle nulová.

```
Situace1Vybijeni[QkjMax_, Qpoz_, QStavAku_] := Module[{QkjVyp, QkotVyp, QoutAku},
  QkjVyp = QkjMax;
  Which[QStavAku ≤ 0, QoutAku = 0,
    (Qpoz - QkjMax) ≤ QStavAku, QoutAku = Qpoz - QkjMax,
    (Qpoz - QkjMax) > QStavAku, QoutAku = QStavAku
  ];
  QkotVyp = Qpoz - QkjMax - QoutAku;
  {QkjVyp, QkotVyp, QoutAku, 0}
]
```

Obr. 5-20 Funkce pro řešení situace³⁶

Na Obr. 5-21 vidíme funkci pro řešení situace 2. Kogenerační jednotka pokrývá spotřebu tepla a zbytek tepla, které může vyrobit, je dodáno do akumulární nádrže. Kogenerační jednotka

³⁵ Vytvořeno autorem

³⁶ Vytvořeno autorem

pojede na 100 %, pokud je nádrž dostatečně prázdná. Pokud není, jede na takové zatížení, že pokryje spotřebu a nabije nádrž na maximum.

```
Situace2Nabijeni[QkjMax_, QakuMax_, Qpoz_, QstavAku_] := Module[{QkjVyp, QinAku},
  If[(QkjMax - Qpoz) ≤ (QakuMax - QstavAku)
    , {QkjVyp, QinAku} = {QkjMax, QkjMax - Qpoz}
    , {QkjVyp, QinAku} = {QkjMax - ((QkjMax - Qpoz) - (QakuMax - QstavAku)),
      QakuMax - QstavAku}];
  {QkjVyp, 0, 0, QinAku}
]
```

Obr. 5-21 Funkce pro řešení situace 2

Na Obr. 5-22 vidíme funkci pro řešení situace 3. Kogenerační jednotka není v provozu. Teplo je pokryto teplem akumulární nádrží. Zbytek potřebného tepla je dodáno kotlem.

```
Situace3Vypnuto[Qpoz_, QstavAku_] := Module[{QkotVyp, QoutAku},
  Which[QstavAku ≤ 0, {QkotVyp, QoutAku} = {Qpoz, 0},
    Qpoz ≤ QstavAku, {QkotVyp, QoutAku} = {0, Qpoz},
    Qpoz > QstavAku, {QkotVyp, QoutAku} = {Qpoz - QstavAku, QstavAku}
  ];
  {0, QkotVyp, QoutAku, 0}
]
```

Obr. 5-22 Funkce pro řešení situace 3

5.3.3.4 Výpočet elektrické energie a spotřebovaného paliva kogenerační jednotky

Následující část na Obr. 5-23 se zabývá výpočtem spotřebovaného paliva a vyrobené elektrické energie kogenerační jednotky. K těmto výpočtům jsou využity proložené kvadratické funkce, které byly ve vstupní části nástroje. Pro výpočet těchto hodnot je zapotřebí zatížení jednotky. To spočteme z kvadratické funkce tepelných výkonů. Zjistíme zde, jaké zatížení odpovídá požadovanému tepelnému výkonu.

Vypočtené zatížení je poté dosazeno do zbylých kvadratických funkcí. Tím vypočteme spotřebované palivo a elektrický výkon jednotky, který je následně převeden na vyrobenou elektrickou energii.

Na základě spotřeby elektrické energie musíme rozhodnout, zda se celá vyrobená elektrická energie spotřebovuje v objektu, nebo se část prodá do sítě. To závisí na velikosti spotřeby. Při spotřebě větší, jak výrobě el. energie, je celá výroba spotřebována v objektu a zbytek spotřeby je pokryto ze sítě. Při spotřebě menší, jak výrobě el. energie je přebytek výroby prodán do sítě.


```

(*Výpočet zatížení KJ*)
If[QkjVyp ≥ QkjPu1
, ZatkjVyp = Solve[{QPkjfit == QkjVyp * CasMeritko, x ≥ 0}, x][[1, 1, 2]]
, ZatkjVyp = 0
];
(*Výpočet el. výkonu a spotřeby paliva kogenerační jednotky ze zatížení*)
If[ZatkjVyp ≥ 0.5
, {EkjVyp, PalVyp} = {

$$\frac{1}{\text{CasMeritko}} * \text{EPkjfit} /. x \rightarrow \text{ZatkjVyp}, \text{PalivSpotfit} /. x \rightarrow \text{ZatkjVyp}$$

, {EkjVyp, PalVyp} = {0, 0}
];
(*Výpočet elektrické energie, která se spotřebuje uvnitř, dodá ze sítě a prodá do sítě*)
If[EpozNext ≥ EkjVyp
, {EkjUvnitrVyp, EesVyp, EpretokEsVyp} = {EkjVyp, EpozNext - EkjVyp, 0}
, {EkjUvnitrVyp, EesVyp, EpretokEsVyp} = {EpozNext, 0, EkjVyp - EpozNext}
];

```

Obr. 5-23 Výpočet el. energie a spotřebovaného paliva kogenerační jednotky³⁷

5.3.3.5 Ztráta akumulární nádrže, výstup a volání TechFunkce

Na Obr. 5-24 vidíme výpočet ztrát akumulární nádrže. Ztráta akumulární nádrže je tu řešena zjednodušeně. Ztráta je závislá na mnoha faktorech, jako jsou rozměry nádrže, materiál a tloušťka nádrže, izolace nádrže, teplota vody v nádrži, teplota okolního vzduchu atd. Tento výpočet by byl potřeba provádět každý krok a to by příliš zatěžovalo výpočet. Navíc ztráty nejsou příliš velké na to, aby ovlivnili ekonomické zhodnocení. Proto jsem přistoupil k zjednodušení. Předpokládá se, že akumulární nádrž je válcová a je po všech stranách izolovaná. Dále je zde zanedbáno několik věcí, jako je například součinitel přestupu tepla, vliv ocelové konstrukce nádrže a sálání. Tyto věci byly zanedbány z důvodu malého vlivu na celkový výsledek ekonomického hodnocení, zvýšené náročnosti výpočtu a také jejich složitosti určení. Například součinitel přestupu tepla se určuje pomocí různých empirických vztahů. Tyto vztahy neplatí obecně, ale často jen pro určitý rozsah hodnot.

```

(*Ztráta aku nádrže*)
If[KapAkuNadrz[[Var]] > 0,

$$\text{TepVod} = \frac{2 \text{Pi} * \lambda \text{Izol}}{\text{Log}\left[\frac{r + \text{tloušťkaIzol}}{r}\right]} * h + 2 * \frac{\lambda \text{Izol}}{\text{tloušťkaIzol}} * \text{Pi} * r^2;$$


$$\text{Tvod} = \frac{Qaku + QinAku - QoutAku}{\text{KapAkuNadrz}[[\text{Var}]] * \text{TepKapVod} * \rho \text{Vod}} + \text{Tmin};$$


$$\text{QztratyAKUvyp} = (\text{Tvod} - \text{Teploty}[[t + 1]]) * \text{TepVod} * \frac{\text{PocetNadrzi}[[\text{Var}]]}{\text{CasMeritko} * 1000};$$

,
QztratyAKUvyp = 0;
];

```

Obr. 5-24 Výpočet ztrát akumulární nádrže³⁸

³⁷ Vytvořeno autorem

³⁸ Vytvořeno autorem

Výpočet ztrát je proveden dle rovnice (5.2). Teplota vody v nádrži je zjištěna za pomoci vztahu (5.1) vyjádřením T_2 . S tím rozdílem, že T_2 neznamená maximální, ale aktuální teplotu vody.

$$Q_{ztráta} = (T_2 - T_o) \left(\frac{2\pi \cdot \lambda \cdot h}{\ln\left(\frac{r+d}{r}\right)} + 2 \frac{\lambda \cdot \pi \cdot r^2}{d} \right) \quad (5.2)$$

Kde:

| | |
|--------------|--|
| $Q_{ztráta}$ | Teplná ztráta akumulární nádrže (W) |
| T_2 | Teplota vody v nádrži (°C) |
| T_o | Teplota okolí (°C) |
| λ | Teplná vodivost izolace (W · m ⁻¹ · K ⁻¹) |
| r | Poloměr akumulární nádrže (m) |
| d | Tloušťka izolace (m) |

V poslední části funkce je řešen její výstup. Tento výstup je pak vstupem pro další krok. Zadávají se sem stejné veličiny, které byly popsány na vstupu funkce. Na konci funkce je místo následujících spotřeb text „Konec.“ To je jen pro jednodušší orientaci. Mohlo by zde být jakýkoliv jiný text, nebo číslo. Dále se zde počítá aktuální stav akumulární nádrže, kde je od předchozího stavu nádrže přičteno dodané teplo, odebrané teplo a ztráty.

```
(*Výstup pro další krok programu*)
If[t == Length[SpotrebaEQ] - 1,
  {Var, t + 1, "Konec", "Konec", QkjVyp, QkotVyp, Qaku + QinAku - QoutAku - QztratyAKUvyp,
   EkjUvnitrVyp, EesVyp, EpretokEsVyp, ZatkjVyp, PalVyp, QztratyAKUvyp}
 , {Var, t + 1, SpotrebaEQ[[t + 2, 1]], SpotrebaEQ[[t + 2, 2]], QkjVyp, QkotVyp,
   Qaku + QinAku - QoutAku - QztratyAKUvyp, EkjUvnitrVyp, EesVyp, EpretokEsVyp,
   ZatkjVyp, PalVyp, QztratyAKUvyp}]
];
```

Obr. 5-25 Výstup TechFunkce³⁹

Zavolání TechFunkce řešíme na Obr. 5-26 využitím funkce „NestList.“ Do této funkce se zadávají tyto parametry:

- zvolená funkce,
- vstupní proměnné,
- počet opakování.

NestList zavolá vstupní proměnné na zvolenou funkci. Výstupní proměnné jsou poté opakovaně volány na zvolenou funkci. Dále je zde využita funkce „Table,“ která vytvoří list z výsledků TechFunkce pro všechny varianty. Do kroku funkce dosazujeme 0, do spotřeb

³⁹ Vytvořeno autorem

elektriny a tepla dosazujeme první prvek z listu spotřeb elektriny a tepla. U tepla v akumulační nádrži je nula. Na hodnotě ostatních veličin nezáleží a jsou zde také dosazeny nuly.

```
vysledek = Table[NestList[TechFunkce, {i, 0, SpotrebaEQ[[1, 1]], SpotrebaEQ[[2, 1]], 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
  Length[SpotrebaEQ]], {i, 1, PocVar}];
```

Obr. 5-26 Volání TechFunkce⁴⁰

5.3.3.6 Zpracování výsledků z technické části

Výsledky z TechFunkce musíme zpracovat pro ekonomickou část. To lze vidět na Obr. 5-27. Na začátku si vybereme potřebné údaje a dosadíme je do samostatných proměnných s tím, že jsou převedeny na MWh. Tyto výsledky jsou spojeny do jedné proměnné s názvem „Vysledky.“ Tato proměnná je využita ke spočtení měsíčních a ročních hodnot. Roční hodnoty uložené v proměnné „VysRocni“ jsou dále využity v ekonomické části.

```
DnyMesic = {31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31};
TeploKJ = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 5]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
TeploKOT = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 6]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
ElKJuvnitr = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 8]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
ELES = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 9]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
Elpretok = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 10]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
PalKJ = Table[vysledek[[i, 2 ;;, 12]], {i, 1, PocVar}] / 1000;
Ztraty = Total[Table[vysledek[[i, 2 ;;, 13]], {i, 1, PocVar}], {2}] / 1000;

(*Zpracování výsledků z technické části*)
Vysledky = Table[{TeploKJ[[i, j]], TeploKOT[[i, j]], ElKJuvnitr[[i, j]], ELES[[i, j]], Elpretok[[i, j]],
  PalKJ[[i, j]]}, {i, 1, PocVar}, {j, 1, Length[TeploKJ[[1]]}];
VysDny = Table[Partition[Vysledky[[i]], 24 * CasMeritko], {i, 1, PocVar}];
VysDnyMesic = Table[TakeList[VysDny[[i]], DnyMesic], {i, 1, PocVar}];
VysMesicniSpotreba = Table[Total[Total[VysDnyMesic[[i]], {3}], {2}], {i, 1, PocVar}];

(*Celkové výsledky z technické části pro všechny varianty v pořadí
  (TeploKJ (MWh), TeploKOT (MWh), ElKJuvnitr (MWh), ELES (MWh), Elpretok (MWh), PalKJ (MWh))*)
VysRocni = Total[VysMesicniSpotreba, {2}]
```

Obr. 5-27 Zpracování výsledků z technické části⁴¹

5.3.4 Popis ekonomické části nástroje

Pro výpočet ekonomických kritérií byla vytvořena funkce s názvem „EkoModel.“ V této funkci dochází k výpočtu CF a ekonomických kritérií. Pro přehlednost zde budou pouze obrázky s popisovanými částmi funkce.

⁴⁰ Vytvořeno autorem

⁴¹ Vytvořeno autorem

5.3.4.1 Výpočet roční ceny za denní rezervovanou distribuční kapacitu

Na Obr. 5-28 vidíme výpočet roční ceny za denní rezervovanou kapacitu. Ta je určena s předpokladem, že se jedná o distribuční oblast GasNet, s.r.o., pomocí následujícího vztahu[23]:

$$CK = (458,8754 - 25,5 \cdot \ln(k)) \cdot 1000$$

Kde:

CK Roční cena za denní rezervovanou distribuční kapacitu (Kč · m⁻³)

k denní rezervovaná distribuční kapacita (m³)

Ekonomická část

```
In[85]:= Plynn = Table [PalkJ[[i, j]] + TeploKOT[[i, j]] / ηKot, {i, 1, PocVar},  
  {j, 1, Length[TeploKJ[[1]]}];  
Plyndny = Total [Table [Partition [Plynn[[i]], 24 * CasMeritko], {i, 1, PocVar}], {3}];  
MaxdenniPlyn = Max [Plyndny[[#]]] / 10.55 & /@ Range [PocVar]  
RezervaceZaPlyn =  
  (458.8754 - 25.5 * Log [MaxdenniPlyn[[#]] * 1000]) * 1000 & /@ Range [PocVar] * MaxdenniPlyn
```

Obr. 5-28 Výpočet roční ceny za denní rezervovanou distribuční kapacitu⁴²

5.3.4.2 Vstup funkce a výběr hodnot z tech. Části

Do funkce vstupují následující proměnné:

- Var – Číslo varianty
- CenaTepla – Cena tepla v (Kč · GJ⁻¹)
- NakupEl – Cena za nákup elektřiny v (Kč · MWh⁻¹)
- VykupEl – Cena za výkup elektřiny v (Kč · MWh⁻¹)
- CenaPaliva – Cena paliva v (Kč · MWh⁻¹)
- CenaServisKJ – Náklady na servis kogenerační jednotky v (Kč · MWh⁻¹)
- ServisKOT – Náklady na roční servis kotle v (Kč)
- Diskont – diskont v (-)

Nákup elektřiny a paliva se zadává jako list hodnot pro každý rok po dobu doby hodnocení.

⁴² Vytvořeno autorem

```

EkoModel[[Var_, CenaTepLa_, NakupEL_, VykupEL_, CenaPaliva_, CenaServisKJ_,
  ServisKOT_, Diskont_]] :=
Module [ {TepKJrok, TepKOTrok, EKJESrok, Epretokrok, PalKJ, UsetreniZTepLa,
  ServisKJ, CF0, CF, KCF, DCF, NPV, PP, DPP, KDCF, CFi},
  TepKJrok = VysRocni[[Var, 1]];
  TepKOTrok = VysRocni[[Var, 2]];
  EKJESrok = VysRocni[[Var, 3]];
  Epretokrok = VysRocni[[Var, 5]];
  PalKJ = VysRocni[[Var, 6]];

```

Obr. 5-29 Vstup funkce a výběr hodnot z tech. části⁴³

5.3.4.3 Výpočet cash flow

Na Obr. 5-30 je na začátku vypočtena úspora z výroby tepla a servisních nákladů kogenerační jednotky. Ty jsou využity k výpočtu CF, DCF, kumulativního cash flow (dále také „KCF“), a kumulativního diskontovaného cash flow (dále také „KDCF“). Ty jsou poté využity k výpočtu ekonomických kritérií.

```

UsetreniZTepLa = (TepKJrok + TepKOTrok - Ztraty[[Var]]) * 3.6 * CenaTepLa;
ServisKJ = (EKJESrok + Epretokrok) * CenaServisKJ;
(*Výpočet cash flow*)
CF0 = CenaKJ[[Var]] + CenaKOT[[Var]] + CenaAKU[[Var]] + CenaStavba[[Var]] + CenaplynPrip[[Var]];
CFi[[rok_]] := UsetreniZTepLa + (EKJESrok * NakupEL[[rok]] + Epretokrok * VykupEL) -
  ((PalKJ + TepKOTrok / ηKot) * CenaPaliva[[rok]] + ServisKJ + ServisKOT +
  RezervaceZaPlyn[[Var]]);
CF = Table[CFi[[i]], {i, 1, Th}];
KCF = Table[Sum[CF[[i]], {i, 1, j}], {j, 1, Th}] - CF0;
DCF = Table[CFi[[i]] * (1 + Diskont)-i, {i, 1, Th}];
KDCF = Table[Sum[DCF[[i]], {i, 1, j}], {j, 1, Th}] - CF0;

```

Obr. 5-30 Výpočet cash flow⁴⁴

5.3.4.4 Výpočet ekonomických kritérií a výstup funkce

Na Obr. 5-31 vidíme výpočet PP, DPP a NPV. Výpočet PP a DPP je rozdělen na dvě části. V první části se kontroluje, jestli se v listu vyskytuje změna ze záporné hodnoty na kladnou. Pokud byla detekována změna, PP a DPP se vypočte lineární interpolací. Pokud nebyla detekována změna, do PP a DPP se dosadí text „Investice se nezaplátí.“ V druhé části výpočtu je ošetřen případ, že se investice zaplatí již během prvního roku. Na výstupu funkce se přidává k CF, DCF a KDCF nultý rok investice, u kterého je CF rovné investičním nákladům.

⁴³ Vytvořeno autorem

⁴⁴ Vytvořeno autorem

```

(*Výpočet PP,DPP,NPV*)
If[Positive@Max@KCF && Negative@Min@KCF,
  PP = FindRoot[Interpolation[KCF][x], {x, 1}][[1, 2]] // Quiet,
  PP = "Investice se nezaplatí"
];
If[Positive@Max@KDCF && Negative@Min@KDCF,
  DPP = FindRoot[Interpolation[KDCF][x], {x, 1}][[1, 2]] // Quiet,
  DPP = "Investice se nezaplatí"
];
If[MemberQ[KCF, x_ /; x < 0], , PP =  $\left(\frac{CF_0}{KCF[[1]] + CF_0}\right)$ ];
If[MemberQ[KDCF, x_ /; x < 0], , DPP =  $\left(\frac{CF_0}{KDCF[[1]] + CF_0}\right)$ ];
NPV = Total[DCF] - CF0;
(*Výstup*)
{CF0, Prepend[CF, -CF0], Prepend[DCF, -CF0], Prepend[KCF, -CF0], PP, DPP, NPV}
]

```

Obr. 5-31 Výpočet ekonomických kritérií a výstup funkce⁴⁵

⁴⁵ Vytvořeno autorem

6 Technické zhodnocení variant

6.1 Shrnutí technických výsledků

V této kapitole budou představeny výsledky z technické části nástroje. Na Tab. 6-1 můžeme vidět celkovou roční výrobu elektrické a tepelné energie zvolených variant. Ve sloupcích je výroba tepla kogenerační jednotkou/kotlem Q_{kj}/Q_{kot} a spotřebovaná elektrická energie z kogenerační jednotky uvnitř objektu, nebo prodána do sítě E_{kjU}/E_{kjP} . Můžeme si povšimnout, že oproti výrobě tepla, kde je vyrobená tepelná energie kogenerační jednotky a kotle v podobných řádech, je elektřina z kogenerační jednotky řádově menší jak spotřebovaná elektřina ze sítě. Kdyby tu nebyl takový rozdíl může se stát, že větší část vyrobené elektřiny bychom museli prodat do sítě. Dále zde můžeme vidět spotřebované palivo kogenerační jednotky a kotle P_{kj}/P_{kot} . V posledním sloupci máme ztráty akumulární nádrže, které byly pomocí zjednodušeného vzorce spočteny.

| Varianta | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjP} (MWh) | P_{kj} (MWh) | P_{kot} (MWh) | $Q_{ztrátAku}$ (MWh) |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| MNG 500 | 2956 | 4109 | 2463 | 74634 | 0 | 6800 | 4617 | 2,00 |
| MTUNG 700 | 4050 | 3019 | 3600 | 73498 | 4,55 | 9506 | 3393 | 6,59 |
| MTUNG 850 | 4350 | 2722 | 3948 | 73150 | 11,9 | 10127 | 3059 | 9,94 |
| MTUNG 1000 | 4916 | 2159 | 4538 | 72559 | 33,1 | 11557 | 2426 | 12,08 |
| MTUNG 1200 | 6050 | 1037 | 5378 | 71719 | 94,5 | 14246 | 1165 | 24,40 |

Tab. 6-1 Roční výroba elektrické a tepelné energie zvolených variant⁴⁶

Na Tab. 6-2 můžeme vidět procentuální rozdělení spotřeby elektřiny a tepla. Teplo z kogenerační jednotky je sníženo o ztráty z akumulární nádrže. U první varianty MNG 500 si můžeme povšimnout, že teplo je pokryto kogenerační jednotkou a kotlem v poměru 41,8 % ku 58,2 %. Se zvyšujícím výkonem kogenerační jednotky klesá dodané teplo z kotle. U poslední varianty MTUNG 1200 je pak tento poměr 85,3 % ku 14,7 %. Můžeme zde pozorovat, že již u posledních dvou variant kogenerační jednotka pokrývá většinu potřeby tepla. Elektřina z kogenerační jednotky pokrývá jen jednotky procent celkové spotřeby.

Z důvodu malého množství vyrobené elektřiny vzhledem k celkové spotřebě elektřiny se v technických výsledcích zaměříme v grafech na vyrobené teplo. Jak uvidíme v tabulkách u vybraných variant, tak k přetokům buď nedošlo anebo došlo v malém množství v prosinci.

⁴⁶ Vytvořeno autorem

| Varianta | $Q_{kjbezZtrát}$ (%) | Q_{kot} (%) | E_{kjU} (%) | E_{es} (%) |
|------------|----------------------|---------------|---------------|--------------|
| MNG 500 | 41,8 | 58,2 | 3,19 | 96,8 |
| MTUNG 700 | 57,3 | 42,7 | 4,67 | 95,3 |
| MTUNG 850 | 61,5 | 38,5 | 5,12 | 94,9 |
| MTUNG 1000 | 69,4 | 30,6 | 5,89 | 94,1 |
| MTUNG 1200 | 85,3 | 14,7 | 6,98 | 93,0 |

Tab. 6-2 Procentuální rozdělení spotřeby tepla a elektřiny v objektu⁴⁷

6.2 Technické výsledky varianty 1 - MNG 500

V této kapitole můžeme vidět výsledky z technické části první varianty MNG 500. Na Tab. 6-3 lze vidět měsíční výrobu elektřiny a tepla. U této varianty si můžeme hlavně všimnout toho, že veškerá vyrobená elektřina z kogenerační jednotky byla spotřebována v objektu a nedošlo k přetokům.

| Měsíc | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjP} (MWh) |
|----------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Leden | 470 | 797 | 392 | 7023 | 0 |
| Únor | 427 | 764 | 356 | 6283 | 0 |
| Březen | 470 | 661 | 391 | 6715 | 0 |
| Duben | 408 | 368 | 340 | 6682 | 0 |
| Květen | 66,3 | 25,9 | 55,3 | 7069 | 0 |
| Červen | 0 | 0,2 | 0 | 6886 | 0 |
| Červenec | 0 | 1,2 | 0 | 6194 | 0 |
| Srpen | 0 | 0,3 | 0 | 4115 | 0 |
| Září | 0 | 0,2 | 0 | 6366 | 0 |
| Říjen | 190 | 121 | 158 | 6490 | 0 |
| Listopad | 458 | 459 | 382 | 6831 | 0 |
| Prosinec | 466 | 911 | 388 | 3980 | 0 |

Tab. 6-3 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 1 - MNG 500⁴⁸

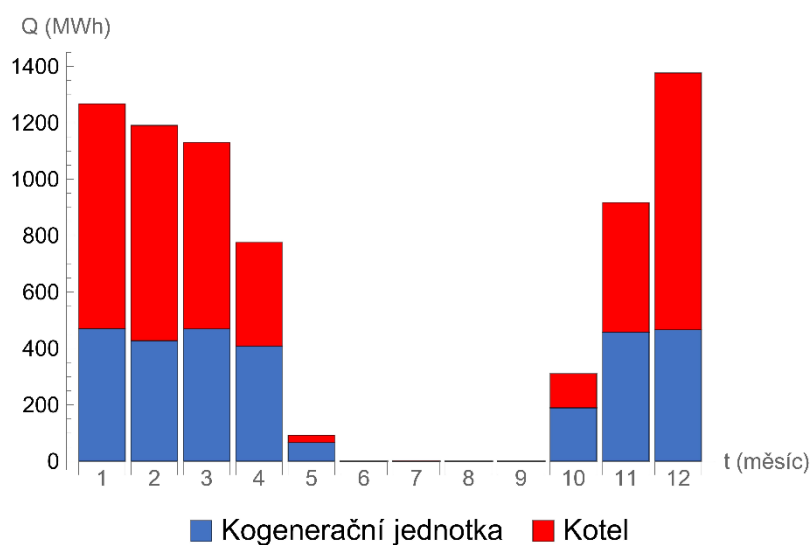
Na Obr. 6-1 lze vidět sloupcový graf výroby tepla. Lze tu lépe vidět procentuální rozdělení mezi výrobou z kogenerační jednotky a kotle. V zimních měsících jednotka vyrábí mezi 400 až 470 MWh · měsíc⁻¹ tepla. V květnu a říjnu už jednotka převládá nad kotlem, díky menší potřebě tepla.

Na Obr. 6-2 pak lze vidět denní výrobu tepla z kogenerační jednotky a kotle. Můžeme zde vidět, že kogenerační jednotka dodává stabilně okolo 15 MWh · den⁻¹ tepla. Kotel většinu doby

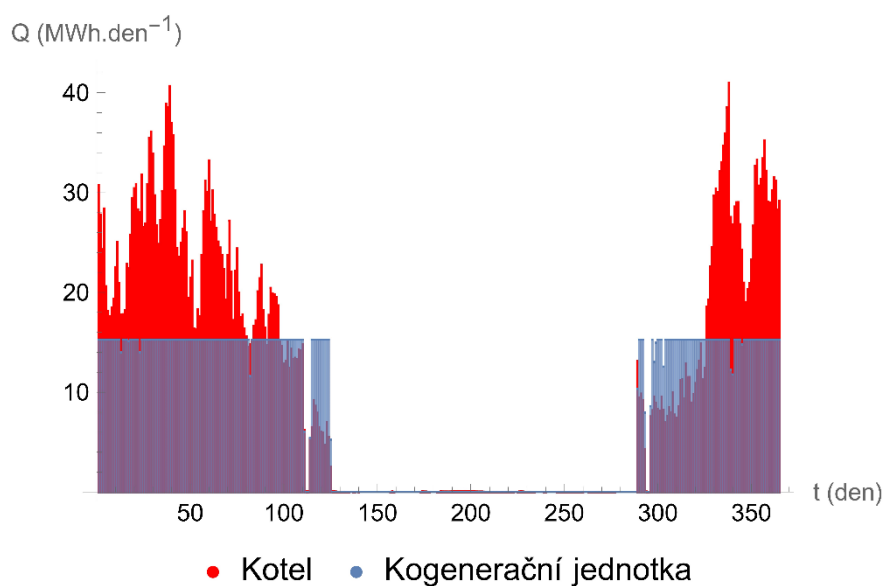
⁴⁷ Vytvořeno autorem

⁴⁸ Vytvořeno autorem

dodává denně více tepla než kogenerační jednotka. Maximální denní výroba kotle se pohybuje okolo $40 \text{ MWh} \cdot \text{den}^{-1}$. Většinu období dodává větší množství tepla než jednotka.



Obr. 6-1 Měsíční výroba tepelné energie varianty 1 - MNG 500⁴⁹



Obr. 6-2 Denní výroba tepla varianty 1 - MNG 500⁵⁰

6.3 Technické výsledky varianty 2 – MTUNG 700

Na Tab. 6-4 lze vidět měsíční výrobu elektřiny a tepla druhé varianty MTUNG 700. Kogenerační jednotka v této variantě dodává většinu měsíců podobné množství tepla jako kotel. V této variantě již došlo k přetokům. V porovnáním se spotřebovanou elektřinou v objektu je

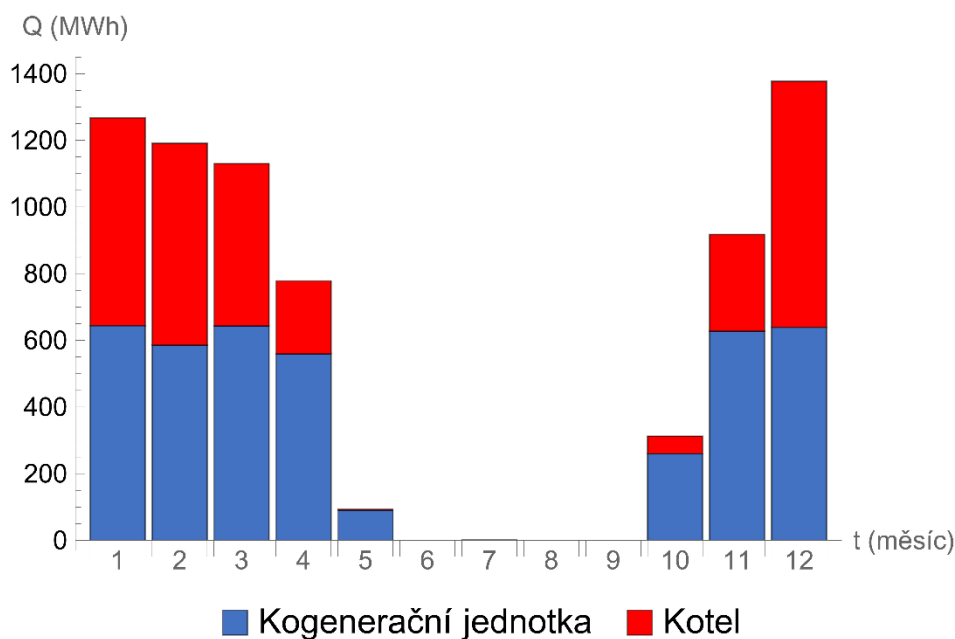
⁴⁹ Vytvořeno autorem

⁵⁰ Vytvořeno autorem

to jen velmi malá část. Na Obr. 6-3 lze vidět sloupcový graf výroby tepla z kogenerační jednotky a kotle.

| Měsíc | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjP} (MWh) |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Leden | 644 | 623 | 573 | 6842 | 0 |
| Únor | 586 | 605 | 521 | 6117 | 0 |
| Březen | 643 | 487 | 572 | 6534 | 0 |
| Duben | 559 | 219 | 498 | 6525 | 0 |
| Květen | 90,5 | 2,5 | 80,5 | 7043 | 0 |
| Červen | 0 | 0,2 | 0 | 6886 | 0 |
| Červenec | 0 | 1,2 | 0 | 6194 | 0 |
| Srpen | 0 | 0,3 | 0 | 4115 | 0 |
| Září | 0 | 0,2 | 0 | 6366 | 0 |
| Říjen | 260 | 52,8 | 231 | 6416 | 0 |
| Listopad | 628 | 290 | 559 | 6654 | 0 |
| Prosinec | 639 | 738 | 564 | 3805 | 4,55 |

Tab. 6-4 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 2 - MTUNG 700⁵¹

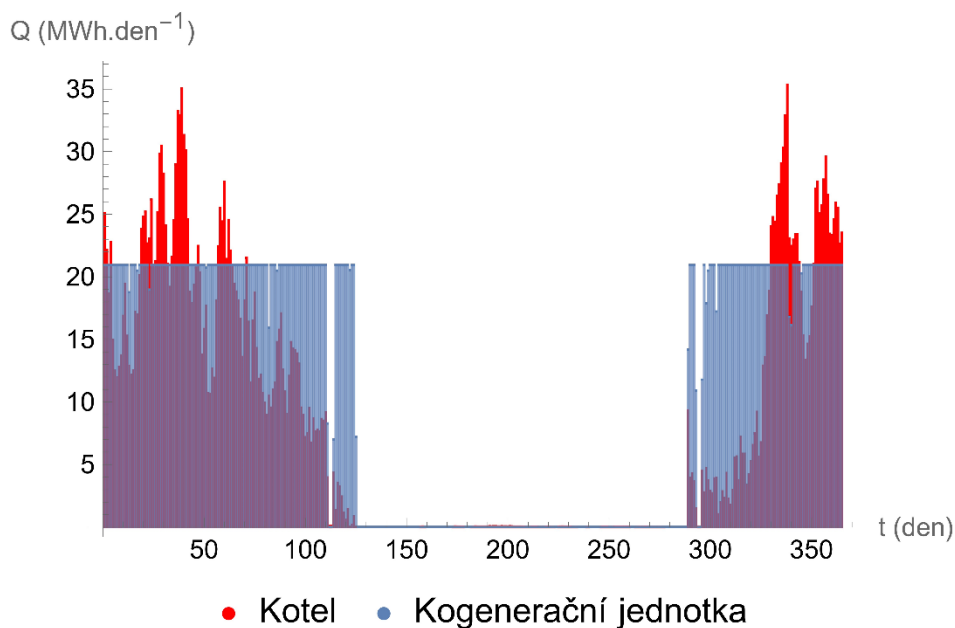


Obr. 6-3 Měsíční výroba tepelné energie varianty 2 - MTUNG 700⁵²

Na Obr. 6-4 vidíme denní výrobu tepla. Oproti předchozí variantě už zvládá vyrábět větší množství tepla než kotel. Teplo z kotle již často nepřevažuje teplo z kogenerační jednotky. Kogenerační jednotka dodává většinu dnů přibližně $21 \text{ MWh} \cdot \text{den}^{-1}$ tepla. Maximální denní výroba kotle se pohybuje okolo $35 \text{ MWh} \cdot \text{den}^{-1}$.

⁵¹ Vytvořeno autorem

⁵² Vytvořeno autorem



Obr. 6-4 Denní výroba tepla varianty 2 - MTUNG 700⁵³

6.4 Technické výsledky varianty 3 – MTUNG 850

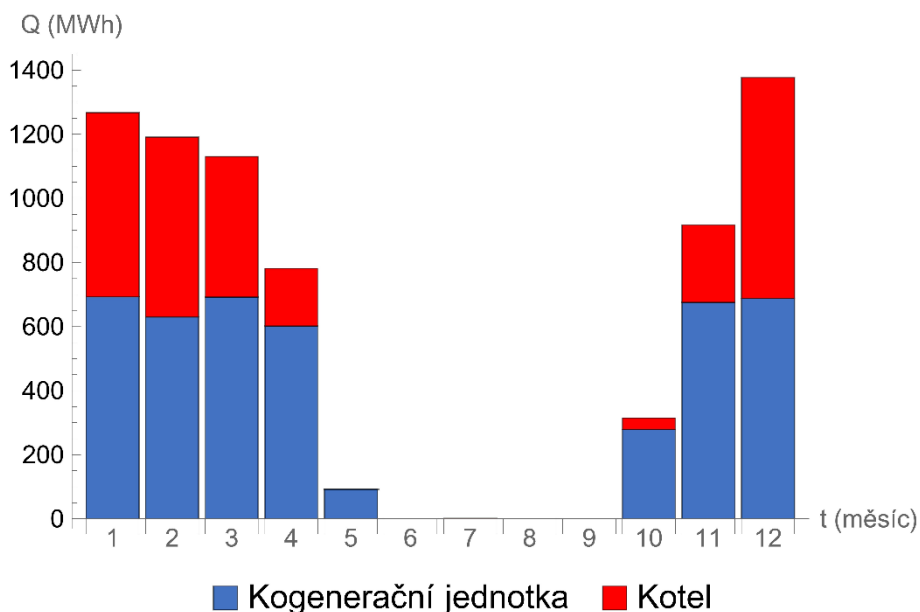
Na Tab. 6-5 vidíme měsíční výrobu elektřiny a tepla třetí varianty MTUNG 850. Lze si tu povšimnout, že kogenerační jednotka zvládá pokrýt spotřebu tepla pro měsíc květen.

| Měsíc | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjP} (MWh) |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Leden | 693 | 575 | 631 | 6784 | 0 |
| Únor | 630 | 561 | 574 | 6065 | 0 |
| Březen | 692 | 438 | 630 | 6477 | 0 |
| Duben | 601 | 180 | 548 | 6475 | 0 |
| Květen | 92,2 | 0 | 82,8 | 7041 | 0 |
| Červen | 0 | 0,2 | 0 | 6886 | 0 |
| Červenec | 0 | 1,2 | 0 | 6194 | 0 |
| Srpen | 0 | 0,3 | 0 | 4115 | 0 |
| Září | 0 | 0,2 | 0 | 6366 | 0 |
| Říjen | 279 | 35,5 | 254 | 6394 | 0 |
| Listopad | 675 | 242 | 615 | 6598 | 0 |
| Prosinec | 688 | 690 | 614 | 3755 | 11,9 |

Tab. 6-5 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 3 - MTUNG 850⁵⁴

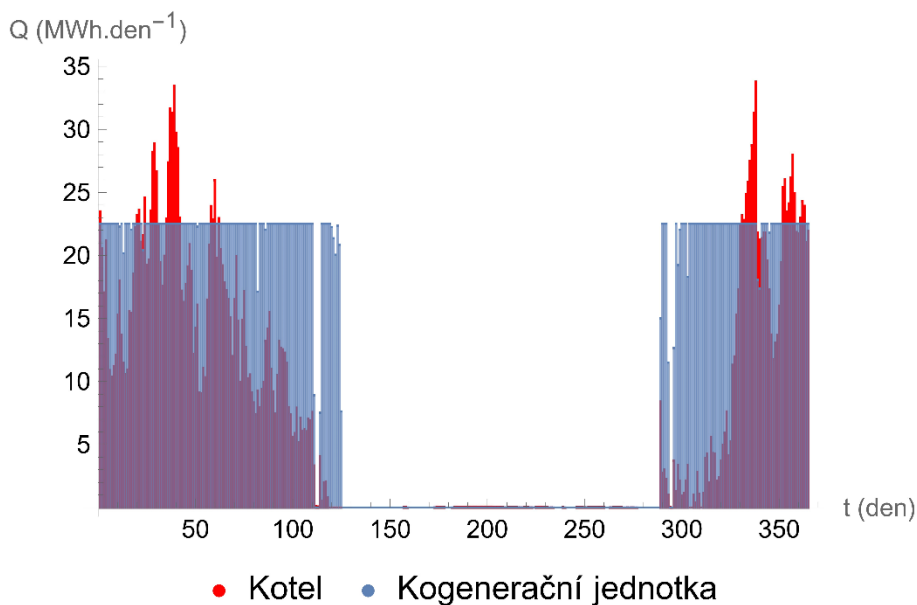
⁵³ Vytvořeno autorem

⁵⁴ Vytvořeno autorem



Obr. 6-5 Měsíční výroba tepelné energie varianty 3 - MTUNG 850⁵⁵

Na Obr. 6-6 vidíme denní výrobu tepla. Kogenerační jednotka vyrábí většinu dní okolo 22,5 MWh · den⁻¹ tepla. Kogenerace většinu dní vyrábí na 100% zatížení. Oproti předchozí variantě zde lze pozorovat jen menší zvýšení výroby tepla kogenerační jednotkou. Lze tu pozorovat menší zapojení tepla z kotle na konci topné sezóny.



Obr. 6-6 Denní výroba tepla varianty 3 - MTUNG 850⁵⁶

⁵⁵ Vytvořeno autorem

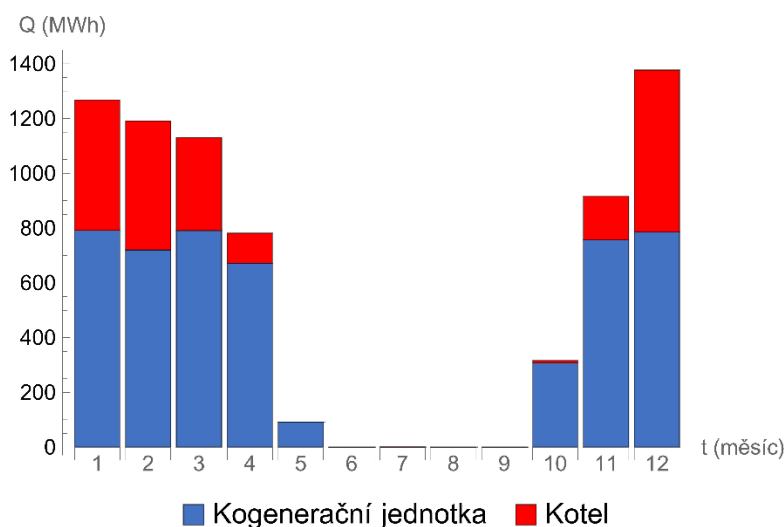
⁵⁶ Vytvořeno autorem

6.5 Technické výsledky varianty 4 – MTUNG 1000

Na Tab. 6-6 vidíme měsíční výrobu elektřiny a tepla čtvrté varianty MTUNG 1000. Začíná zde již výrazněji převažovat výroba tepla z kogenerační jednotky. V zimních měsících je stále nezanedbatelná část tepla z kotle.

| Měsíc | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjP} (MWh) |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Leden | 792 | 476 | 738 | 6677 | 0 |
| Únor | 720 | 471 | 671 | 5968 | 0 |
| Březen | 791 | 340 | 737 | 6370 | 0 |
| Duben | 672 | 110 | 623 | 6399 | 0 |
| Květen | 92,3 | 0 | 82,8 | 7041 | 0 |
| Červen | 0 | 0,2 | 0 | 6886 | 0 |
| Červenec | 0 | 1,2 | 0 | 6194 | 0 |
| Srpen | 0 | 0,3 | 0 | 4115 | 0 |
| Září | 0 | 0,2 | 0 | 6366 | 0 |
| Říjen | 307 | 9,0 | 284 | 6363 | 0 |
| Listopad | 757 | 160 | 703 | 6510 | 0 |
| Prosinec | 786 | 592 | 699 | 3670 | 33,1 |

Tab. 6-6 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 4 - MTUNG 1000⁵⁷



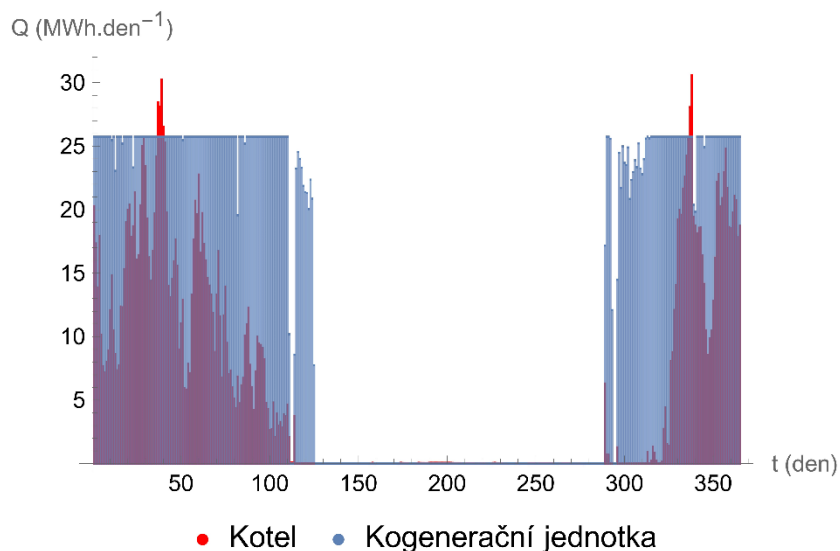
Obr. 6-7 Měsíční výroba tepelné energie varianty 4 - MTUNG 1000⁵⁸

Na Obr. 6-8 vidíme denní výrobu tepla. Výroba kotle není již tak výrazná jako v předchozích variantách. Denní výroba kogenerační jednotky se pohybuje okolo 25 MWh · den⁻¹ tepla. Kogenerační jednotka nám převyšuje výrobu tepla z kotle ve dvou oblastech. Při těchto případech vyskočí denní výroba kotle na 30 MWh · den⁻¹. Můžeme si povšimnout, že na začátku

⁵⁷ Vytvořeno autorem

⁵⁸ Vytvořeno autorem

května a října již není tak velká potřeba tepla, aby kogenerační jednotka dokázala pracovat na 100% zatížení.



Obr. 6-8 Denní výroba tepla varianty 4 - MTUNG 1000⁵⁹

6.6 Technické výsledky varianty 5 – MTUNG 1200

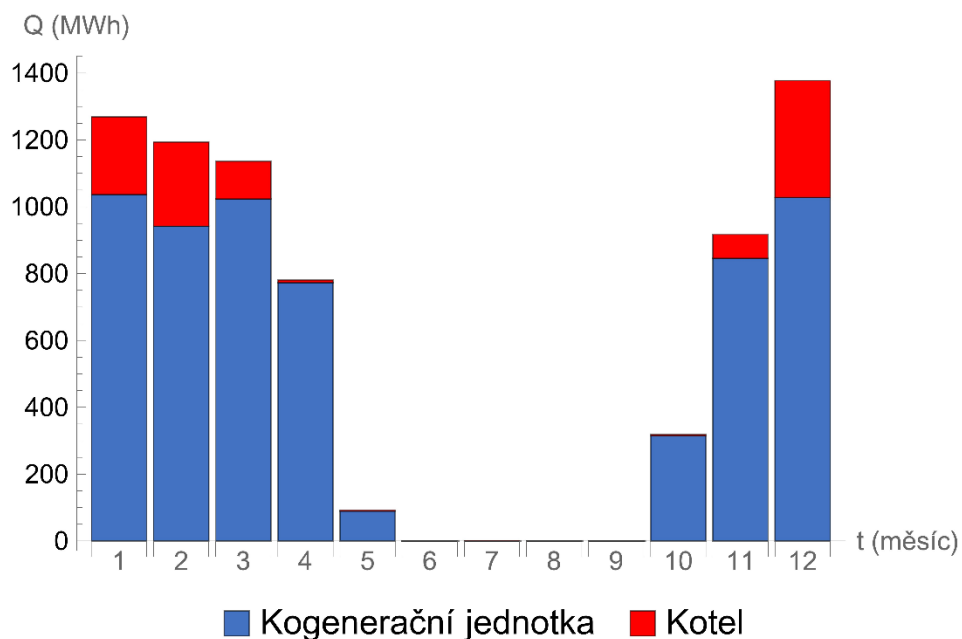
Poslední varianta byla MTUNG 1200. Zde již nejvíce převažuje výroba tepla z kogenerační jednotky. Kotel pokrývá jen okolo 15 % celkové spotřeby tepla. Přetok elektřiny zde dosahuje okolo 94,5 MWh · měsíc⁻¹ za měsíc prosinec.

| Měsíc | Q_{kj} (MWh) | Q_{kot} (MWh) | E_{kjU} (MWh) | E_{es} (MWh) | E_{kjp} (MWh) |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Leden | 1036 | 233 | 950 | 6465 | 0 |
| Únor | 941 | 252 | 863 | 5776 | 0 |
| Březen | 1023 | 113 | 935 | 6171 | 0 |
| Duben | 773 | 7,9 | 688 | 6335 | 0 |
| Květen | 89,0 | 3,3 | 77,5 | 7046 | 0 |
| Červen | 0 | 0,2 | 0 | 6886 | 0 |
| Červenec | 0 | 1,2 | 0 | 6194 | 0 |
| Srpen | 0 | 0,3 | 0 | 4115 | 0 |
| Září | 0 | 0,2 | 0 | 6366 | 0 |
| Říjen | 315 | 3,9 | 273 | 6374 | 0 |
| Listopad | 845 | 72,2 | 745 | 6468 | 0 |
| Prosinec | 1028 | 350 | 848 | 3521 | 94,5 |

Tab. 6-7 Měsíční výroba elektrická a tepelné energie varianty 5 - MTUNG 1200⁶⁰

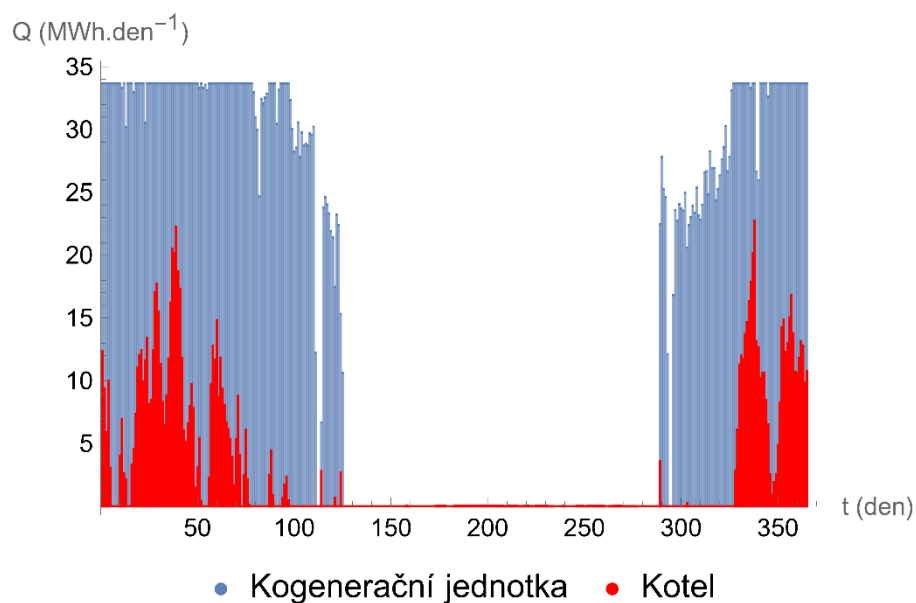
⁵⁹ Vytvořeno autorem

⁶⁰ Vytvořeno autorem



Obr. 6-9 Měsíční výroba tepelné energie varianty 5 - MTUNG 1200⁶¹

Na Obr. 6-10 vidíme denní výrobu tepla. Zde již výrazněji pokrývá spotřebu tepla kogenerační jednotka. Většinu dní vyrábí $33,7 \text{ MWh} \cdot \text{den}^{-1}$ tepla. Pozorujeme zde menší zatížení kogenerační jednotky na začátku a konci topné sezóny.



Obr. 6-10 Denní výroba tepla varianty 5 - MTUNG 1200⁶²

⁶¹ Vytvořeno autorem

⁶² Vytvořeno autorem

7 Ekonomické zhodnocení variant

7.1 Počáteční investice vybraných variant

Počáteční investice se skládá z nákupu zařízení, instalace plynové přípojky a dalších nákladů, které spadají pod instalaci a ostatní. Cena kogenerační jednotky, kotle a akumulární nádrže byly odhadnuty dle orientačních cen. Cena plynové přípojky byla odhadnuta na 2 000 000 Kč. Výše instalace a ostatních nákladů byly odhadnuty jako 50 % nákladů na pořízení kogenerační jednotky, kotle, akumulární nádrže a plynové přípojky. Veškeré ceny a ekonomické výpočty jsou uvedeny bez DPH.

| Položka | MNG 500 | MTUNG 700 | MTUNG 850 | MTUNG 1000 | MTUNG 1200 |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kogenerační jednotka (Kč) | 8 500 000 | 14 500 000 | 15 500 000 | 16 500 000 | 17 500 000 |
| Kotel (Kč) | 4 500 000 | 4 500 000 | 4 500 000 | 4 500 000 | 4 500 000 |
| Akumulační nádrž (Kč) | 600 000 | 800 000 | 1 000 000 | 1 000 000 | 1 400 000 |
| Plynová přípojka (Kč) | 2 000 000 | 2 000 000 | 2 000 000 | 2 000 000 | 2 000 000 |
| Instalace a ostatní (Kč) | 7 800 000 | 10 900 000 | 11 500 000 | 12 000 000 | 12 700 000 |
| Celkem (Kč) | 23 400 000 | 32 700 000 | 34 500 000 | 36 000 000 | 38 100 000 |

Tab. 7-1 Investiční náklady vybraných variant

7.2 Volba ekonomických parametrů

7.2.1 Doba hodnocení projektu

Doba hodnocení projektu byla odhadnuta na základě životnosti kogenerační jednotky. Ta byla stanovena na 20 let.

7.2.2 Diskont

Diskont byl zvolen na základě několika faktorů. Inflace v posledních letech v ČR zaznamenala velký růst. To by ovlivnilo volbu zvýšením diskontu. Inflace již klesá a dosahuje nízkých jednotek procent. Dále je potřeba zvážit, jak moc na dané investici chceme vydělat. Fyzická osoba nemá moc způsobů kam investovat. Jelikož se, ale jedná o průmyslový objekt tak

možnosti investic je více, a to také ovlivní diskont. Diskont byl na základě těchto věcí zvolen 10 %.

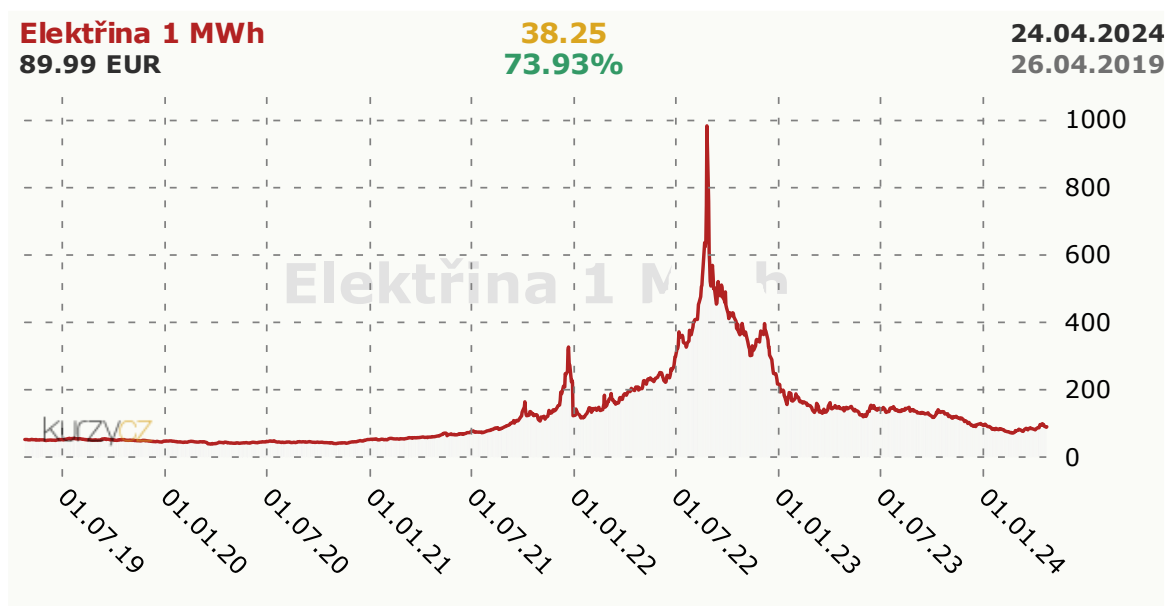
7.2.3 Náklady na servis

Náklady na servis jsou rozdělené na dvě části. Servis kogenerační jednotky je určen jednotkovou cenou za vyrobenou MWh elektřiny. Ta byla odhadnuta včetně generální opravy na 300 Kč · MWh⁻¹. Servis kotle je určen jednorázovou roční částkou.

7.2.4 Elektřina

U elektřiny řešíme nákup elektřiny a prodej přebytku do sítě. Cena výkupu elektřiny byla odhadnuta částkou 1000 Kč · MWh⁻¹. Nákup elektřiny byl odhadnut na základě následujících věcí. V [24] můžeme vidět cenu silové elektřiny na vnitrodenním trhu. Za rok 2023 a první čtvrtletí 2024 se průměrná cena elektřiny pohybovala okolo 94 EUR. Dále k ceně elektřiny musíme přidat přírážky od obchodníka a distribuční poplatky, které jsou určeny energetickým regulačním úřadem [25].

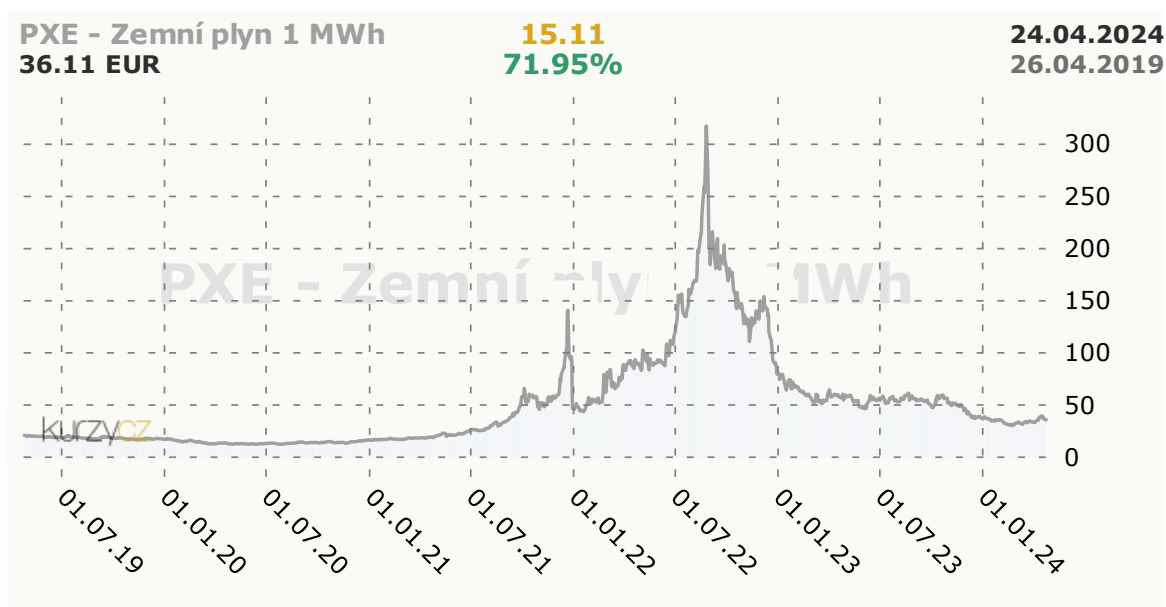
Za poslední rok jsme mohli zaznamenat vysoké ceny elektřiny. Ty se již začali stabilizovat a klesli na hodnoty před invazí Ruska na Ukrajinu z roku 2022. S ohledem [26] by cena elektřiny mohla zaznamenat další pokles. Z těchto důvodů byl nákup elektřiny odhadnut pro první 4 roky na 2800, 2700, 2600, 2500 Kč a po zbytek doby hodnocení na 2500 Kč.



Obr. 7-1 Vývoj ceny elektřiny za posledních 5 let[27]

7.2.5 Zemní plyn

Náklady na zemní plyn jsou složeny z nákladů na nákup zemního plynu a denní rezervované distribuční kapacity. Průměrná cena zemního plynu se během roku 2023 a prvního čtvrtletí 2024 pohybovala okolo 40 EUR.[24] K této ceně dále musíme přičíst přírážku od obchodníka a distribuční poplatky, které jsou také určeny energetickým regulačním úřadem.[23] Podobně jako elektřina, tak i zemní plyn zaznamenal v posledních letech nárůst. Na základě [28] lze odhadovat, že cena zemního plynu by mohla v následujících letech klesnout. Z těchto důvodů byl nákup zemního plynu odhadnut pro první 4 roky na 1300, 1200, 1150, 1100 Kč a po zbytek doby hodnocení na 1100 Kč. Roční cenu za denní rezervovanou kapacitu je určena s předpokladem, že se jedná o distribuční oblast GasNet, s.r.o., a objekt je připojen skrz distribuční plynárenskou soustavu.



Obr. 7-2 Vývoj ceny zemního plynu za posledních 5 let[29]

7.2.6 Cena tepla

Cena tepla je určena částkou, kterou by průmyslový podnik platil teplárně za dodané teplo. Tato částka byla odhadnuta na $700 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$ bez DPH.

7.3 Výsledky ekonomických kritérií

Varianty byly zhodnoceny pomocí popsaných kritérií z kapitoly 4.1. Výsledné hodnoty těchto kritérií můžeme vidět v Tab. 7-2. tyto výsledky jsou pro vstupní parametry popsané v kapitole 7.2. Při jiných parametrech mohou výsledky vycházet jinak. Jaký mají vliv, budeme řešit

v citlivostních analýzách. Dle tabulky nejnižšího PP a DPP dosahuje první varianta MNG 500. Varianta se zaplatí mezi třetím a čtvrtým rokem. Vzhledem k nízké době návratnosti se PP a DPP výrazně neliší. Tyto kritéria neřeší CF po zaplacení investice. Proto není vhodné se spoléhat jen na tyto kritéria a spíše využít NPV a IRR. U IRR kritéria je nejvýhodnější první varianta MNG 500. U NPV kritéria dosahují varianty rozdílných výsledků. První varianta je druhá nejvýhodnější. Nejvýhodnější varianta dle NPV je čtvrtá varianta MTUNG 1000. Výhoda první varianty je její nízká počáteční investice vlivem levnější kogenerační jednotky. Tyto ceny můžeme vidět v Tab. 7-1. Mezi první a druhou variantou je rozdíl v ceně kogenerační jednotky 6 000 000 Kč. U následujících variant je tento rozdíl 1 000 000 Kč.

| Varianta | PP (-) | DPP (-) | NPV (mil. Kč) | IRR (-) |
|------------|--------|---------|---------------|---------|
| MNG 500 | 2,95 | 3,61 | 49,19 | 0,35 |
| MTUNG 700 | 3,69 | 4,77 | 46,21 | 0,27 |
| MTUNG 850 | 3,70 | 4,80 | 48,12 | 0,27 |
| MTUNG 1000 | 3,71 | 4,82 | 49,67 | 0,27 |
| MTUNG 1200 | 3,87 | 5,09 | 48,62 | 0,26 |

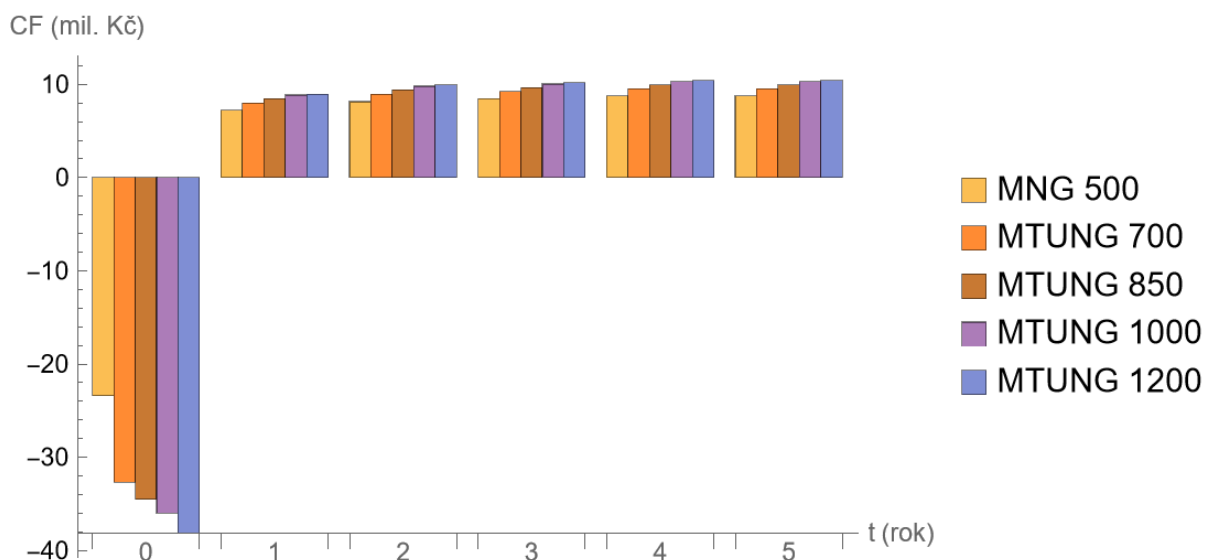
Tab. 7-2 Ekonomická kritéria vybraných variant⁶³

7.4 Průběhy peněžních toků

V této kapitole budou zobrazeny průběhy peněžních toků vybraných variant. Na Obr. 7-3 můžeme vidět nediskontované CF od začátku až po 5. rok investice. Od 4. roku investice jsou CF stejné. Proto zde bylo zobrazeno pouze do 5. roku. Mezi 1. až 4. rokem se CF lehce zvedá kvůli snižující ceně zemního plynu. Tento růst kompenzuje klesající cena nakupované elektřiny. Také je tu lépe vidět poměr mezi počátečními investicemi vybraných variant. Ty jsou rovné CF v 0. roce. Přesné hodnoty investičních nákladů (CF v 0. roce) lze vidět v Tab. 7-1. CF pro 1. až 20. rok je rovný součtu těchto položek:

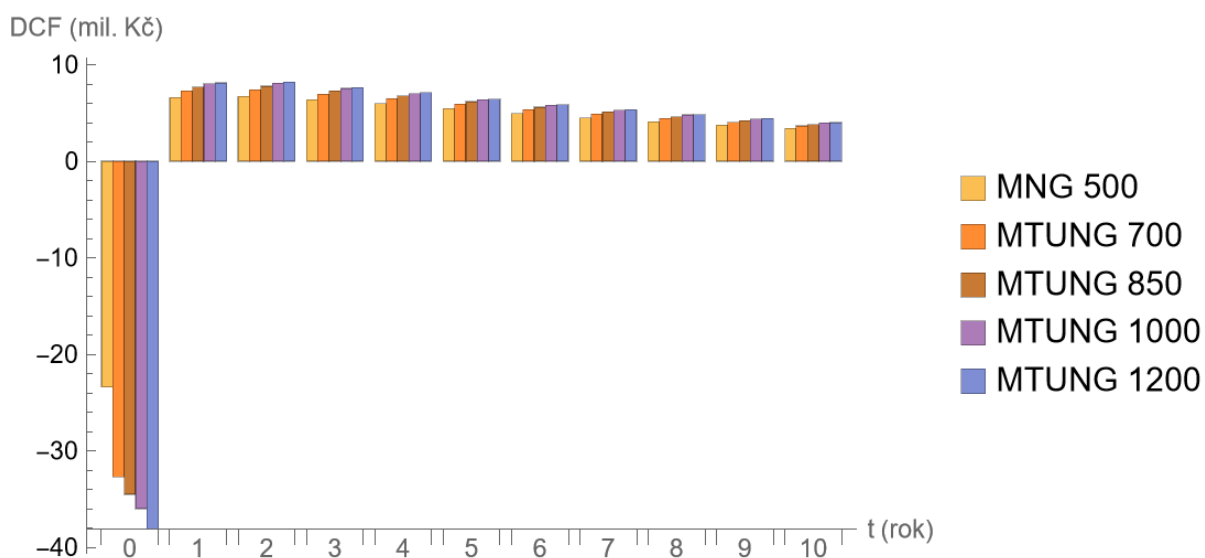
- Úspora z výdajů z nenakoupené tepelné energie
- Úspora z výdajů z nenakoupené elektrické energie spotřebované v objektu
- Příjem z prodané elektrické energie do sítě
- Výdaje na pořízení zemního plynu pro kogenerační jednotku a kotel
- Roční cena za denní rezervovanou kapacitu
- Výdaje na servis kogenerační jednotky
- Výdaje na servis kotle

⁶³ Vytvořeno autorem



Obr. 7-3 Průběh CF od roku 0 až do 5. roku investice⁶⁴

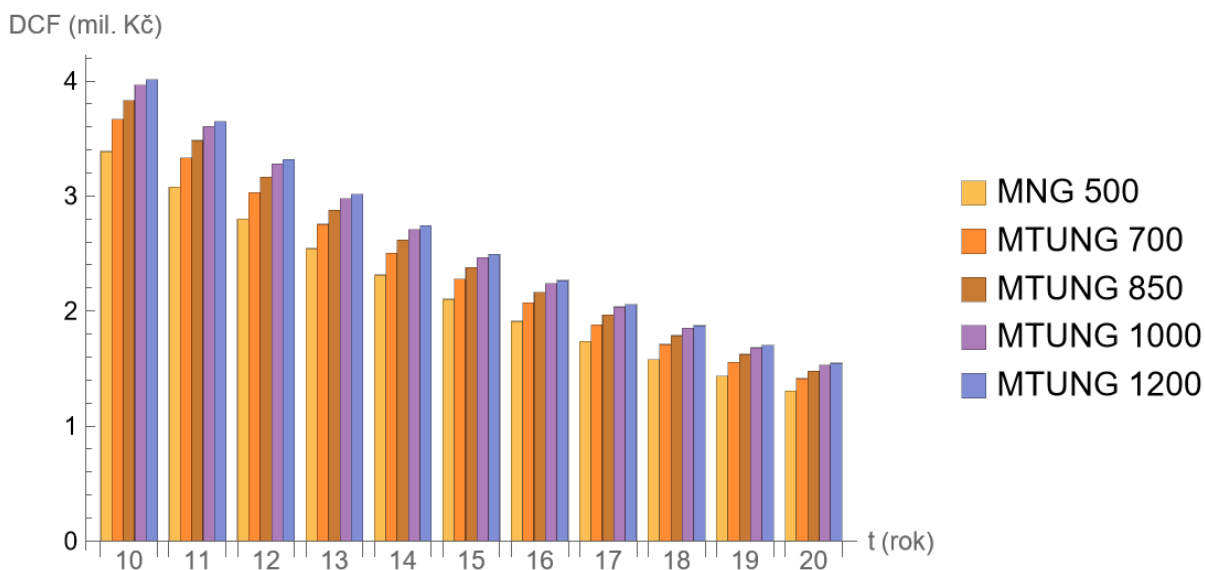
Na Obr. 7-4 a Obr. 7-5 je zobrazený DCF. Diskont byl rovný 10 %. Průběh DCF byl pro přehlednost rozdělen na dva grafy. Na prvním obrázku vidíme průběh DCF od začátku investice po 10. rok investice. Na druhém obrázku pak je průběh DCF od 10. roku investice až po konec doby hodnocení investice. Na tomto obrázku lze vidět, že vliv CF na výsledek investice postupně klesá. CF v 1. roce, který se pohyboval okolo 6, až 8 milionu Kč vlivem diskontu klesá na konci doby hodnocení na cca 1,5 milionu Kč.



Obr. 7-4 Průběh DCF od roku 0 až do 10. roku investice⁶⁵

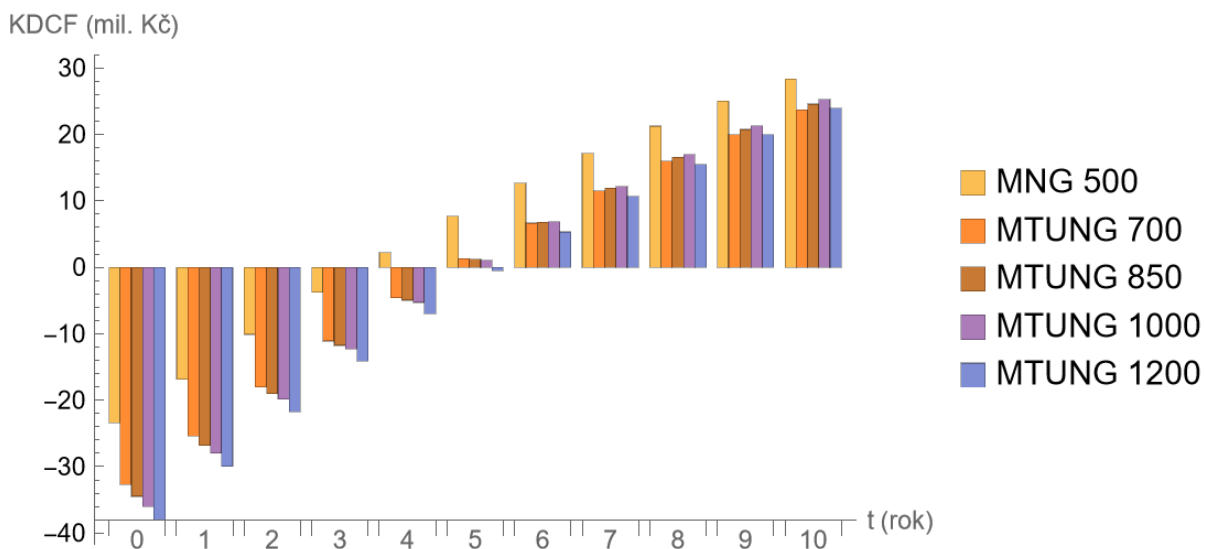
⁶⁴ Vytvořeno autorem

⁶⁵ Vytvořeno autorem



Obr. 7-5 Průběh DCF od 10. roku až do konce investice⁶⁶

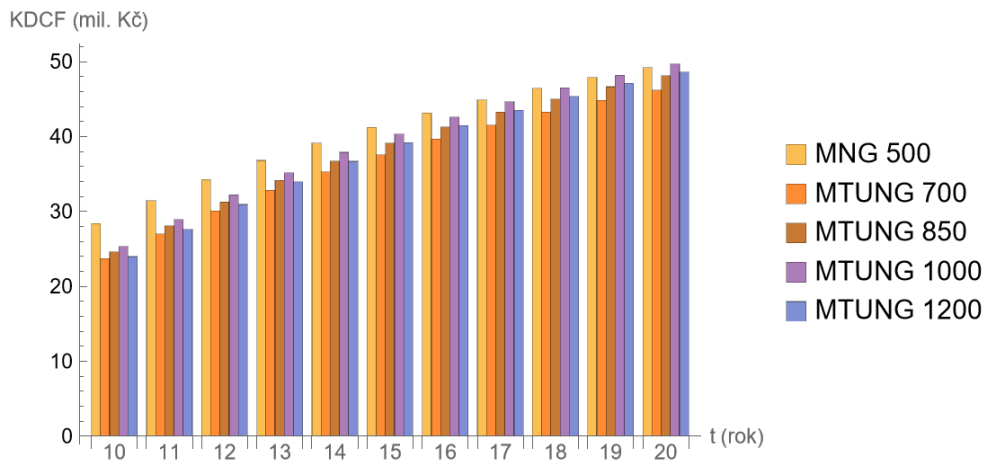
Na Obr. 7-6 a Obr. 7-7 vidíme KDCF po dobu hodnocení investice. V těchto grafech lze vidět i mezi kterými roky se DPP pohybuje. Ty byly vypočteny v Tab. 7-2. U první varianty se KDCF změnil ze záporné hodnoty na kladnou (zaplatí se počáteční investice) mezi 3. a 4. rokem. Pro druhou až čtvrtou variantu to je mezi 4. a 5. rokem. Pátá varianta se zaplatí po 5. roce. Lze si povšimnout, že ze začátku je nejvýhodnější první varianta MNG 500. Čtvrtá varianta MTUNG 1000 začne být nejvýhodnější až od 18. roku.



Obr. 7-6 Průběh KDCF od roku 0 až do 10. roku investice⁶⁷

⁶⁶ Vytvořeno autorem

⁶⁷ Vytvořeno autorem

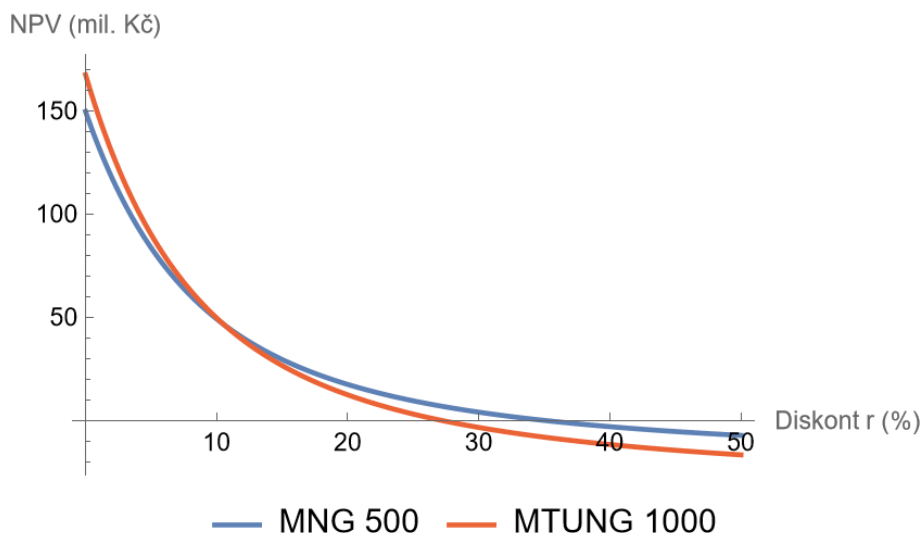


Obr. 7-7 Průběh KDCF od 10. roku do konce hodnocení investice⁶⁸

7.5 Citlivostní analýza

7.5.1 Vliv diskontu na NPV

Vliv diskontu na NPV můžeme vidět na Obr. 7-8. Pro přehlednost zde byly zobrazeny varianty, které byly nejvýhodnější v ekonomických kritériích. Vidíme zde hodnotu NPV i pro velmi vysoké hodnoty diskontu. To je, aby bylo vidět při jakých hodnotách nám NPV klesne pod nulu. Jedná se o první variantu MNG 500 a čtvrtou variantu MTUNG 1000. Můžeme zde vidět, že okolo diskontu 0,11 se mění nejvýhodnější varianta. Při nižším diskontu je nejvýhodnější čtvrtá varianta. Při vyšším diskontu je nejvýhodnější první varianta.

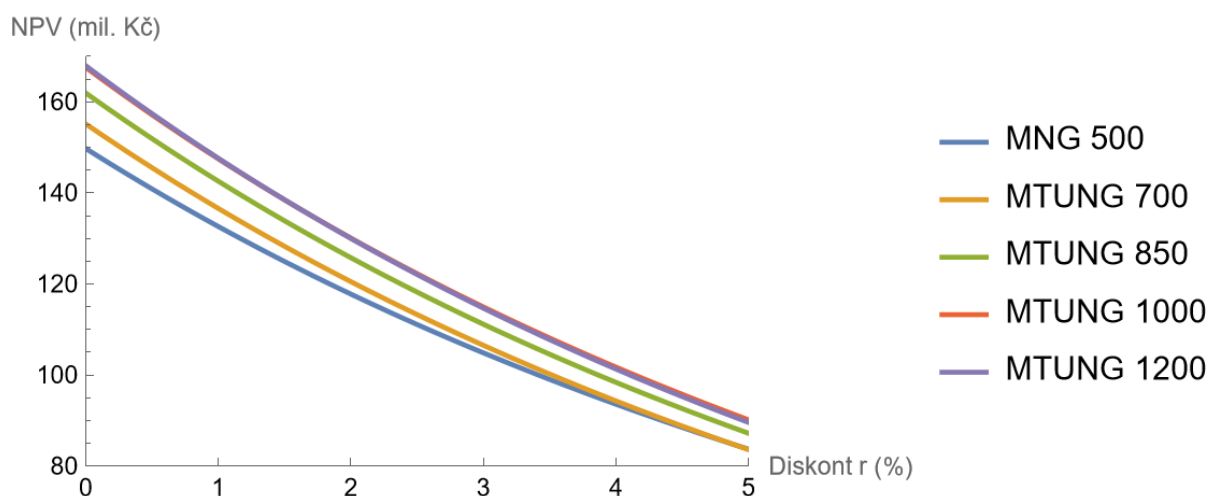


Obr. 7-8 Závislost NPV na diskontu⁶⁹

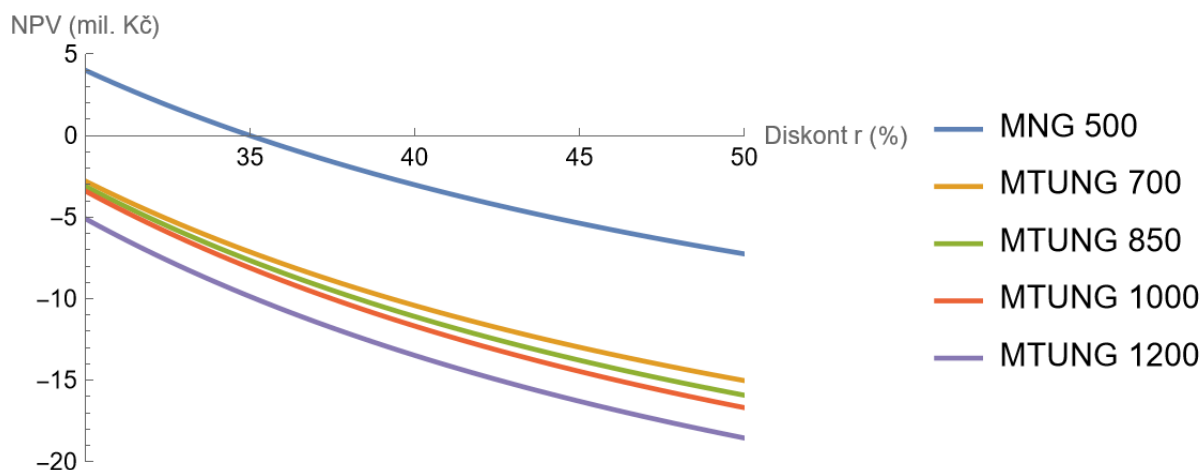
⁶⁸ Vytvořeno autorem

⁶⁹ Vytvořeno autorem

Na Obr. 7-9 a Obr. 7-10 vidíme detail závislosti NPV na diskontu. Zde již jsou zobrazeny všechny varianty. Na prvním obrázku máme detail na nízkou hodnotu diskontu. Lze tu vidět, že varianty MTUNG 700 a MTUNG 850 leží mezi první variantou MNG 500 a čtvrtou variantou MTUNG 1000. Pátá varianta MTUNG 1200 je velmi podobná ke čtvrté variantě MTUNG 1000. Na grafu sice vypadá, že je nejvýhodnější, ale čtvrtá varianta začne být nejvýhodnější již při hodnotě diskontu okolo 1 %. Na druhém obrázku pak máme detail na vysoké hodnoty diskontu. Lze tu vidět, že se situace obrátila. Nejvýhodnější je první varianta MNG 500. Nejméně výhodná je pátá varianta MTUNG 1200.



Obr. 7-9 Závislost NPV na diskontu – detail 1⁷⁰



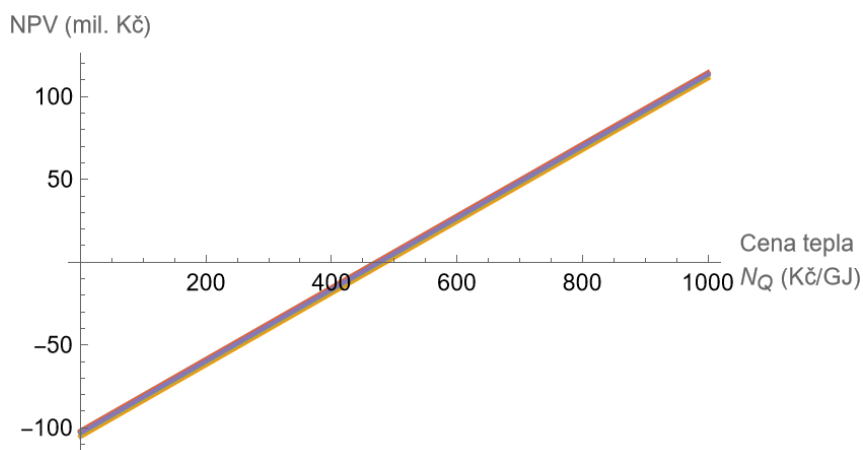
Obr. 7-10 Závislost NPV na diskontu – detail 2⁷¹

⁷⁰ Vytvořeno autorem

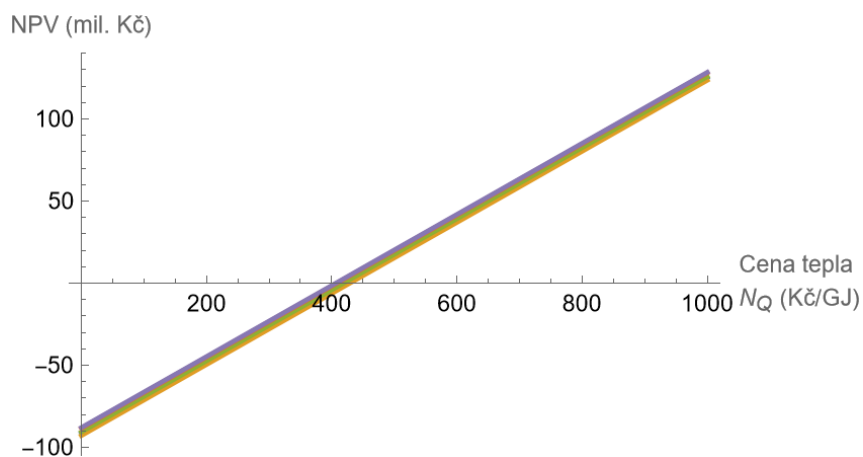
⁷¹ Vytvořeno autorem

7.5.2 Vliv ceny tepla na NPV

Na Obr. 7-11 vidíme vliv ceny tepla na NPV za předpokladu, že všechny ostatní parametry zůstanou stejné. S rostoucí cenou tepla roste NPV. Pod nulu klesne při 470 až 485 Kč · GJ⁻¹. Je, ale otázka, jak moc je tato situace reálná. Pokles ceny tepla by musel mít nějaký důvod, který by to zapříčinil a tento důvod by mohl ovlivnit i ostatní parametry. Například pokles ceny zemního plynu, který by způsobil pokles ceny tepla. V tomto případě sice ušetříme méně na vyrobeném teple, ale zase klesnou náklady na nákup zemního plynu. Toto jsem se pokusil ilustrovat na Obr. 7-12, kde jsem uvažoval 90% ceny zemního plynu. Můžeme zde vidět, že to pozitivně ovlivnilo NPV. Cena tepla, při které začne být NPV záporné se pohybuje mezi 400 až 430 Kč · GJ⁻¹. V grafech jsou vyneseny všechny varianty a mají stejné barevné označení jako v předchozích grafech. V detailu grafu bychom viděli, že nejvýhodnější varianta se nemění.



Obr. 7-11 Vliv ceny tepla na NPV⁷²



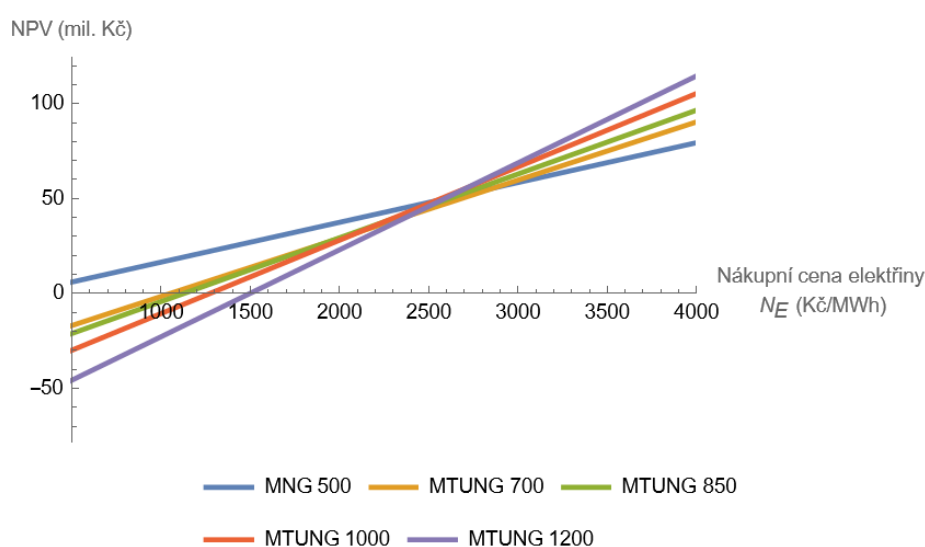
Obr. 7-12 Vliv ceny tepla na NPV při 90% ceně zemního plynu⁷³

⁷² Vytvořeno autorem

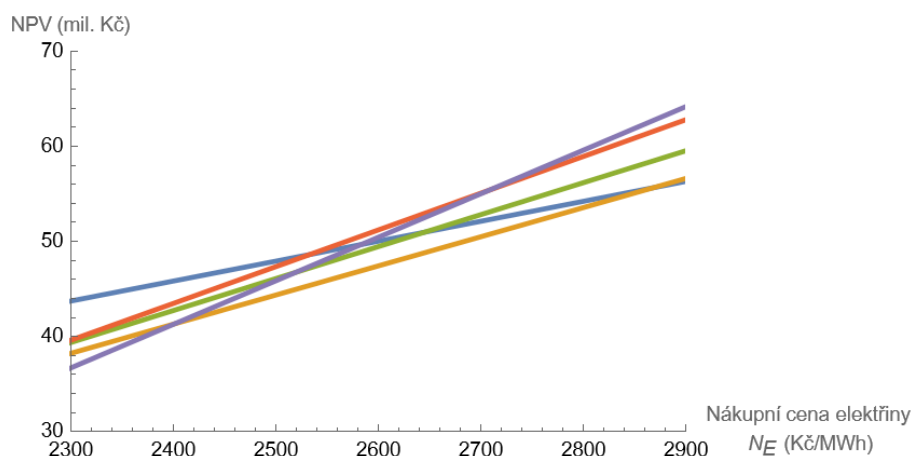
⁷³ Vytvořeno autorem

7.5.3 Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV

Další citlivostní analýza je vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV. To lze vidět na Obr. 7-13. Nejmenší vliv má na první variantu MNG 500. S rostoucím výkonem kogenerační jednotky roste závislost na výše ceny nakupované elektřiny. Z obrázku lze pozorovat, že při nízkých cenách elektřiny je nejvýhodnější první varianta. Se zvětšující cenou elektřiny se začíná vyplácet pátá varianta MTUNG 1200. V kapitole 7.3 vyšlo, že nejvýhodnější je čtvrtá varianta MTUNG 1000. Důvod toho je vidět na Obr. 7-14 během změny nejvýhodnější varianty. Změna probíhá okolo $2600 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$. Během této změny je nejvýhodnější čtvrtá varianta MTUNG 1000. Do této oblasti jsme dostali odhadnutými vstupními parametry.



Obr. 7-13 Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV⁷⁴



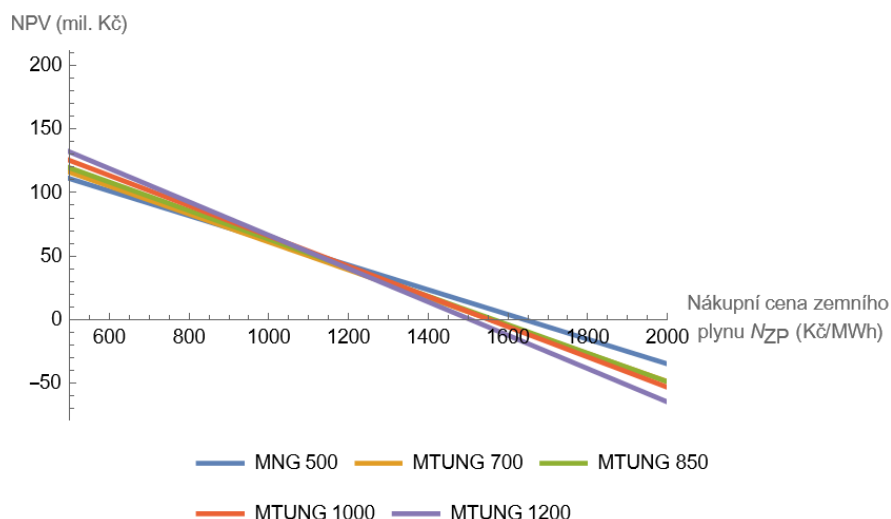
Obr. 7-14 Vliv výše ceny nakupované elektřiny na NPV – detail⁷⁵

⁷⁴ Vytvořeno autorem

⁷⁵ Vytvořeno autorem

7.5.4 Vliv výše ceny nakupovaného zemního plynu na NPV

U citlivostní analýzy zemního plynu na NPV pozorujeme podobnou věc jako u elektřiny. Zde je nejvýhodnější pátá varianta MTUNG 1200 při nízkých cenách zemního plynu. Při vysokých cenách zemního plynu je nejvýhodnější první varianta MNG 500. Změna se vyskytne okolo 1100 Kč · MWh⁻¹.



Obr. 7-15 Vliv ceny zemního plynu na NPV⁷⁶

7.5.5 Vliv ceny zemního plynu a elektřiny na nejlepší variantu dle NPV

V kapitolách 7.5.3 a 7.5.4 jsme prováděli citlivostní analýzu na cenu elektřiny a zemního plynu. Tyto dvě komodity bývají provázané. Růst ceny zemního plynu způsobí i růst elektřiny. To můžeme vidět na Obr. 7-1 a Obr. 7-2, kde vpád Ruska na území Ukrajiny způsobil zdražení zemního plynu a zároveň zdražila i cena elektřiny. Z tohoto důvodu byla provedena závislost nejlepší varianty dle NPV na ceně elektřiny a zemního plynu. To můžeme vidět na Tab. 7-3. Nejlepší varianta je označena číslem. Čísla znamenají:

- 0 – Všechny varianty dosahují záporného NPV
- 1 – Nejlepší varianta je MNG 500
- 4 – Nejlepší varianta je MTUNG 1000
- 5 – Nejlepší varianta je MTUNG 1200

V tabulce lze vidět vzájemný vztah ceny elektřiny a zemního plynu. V případě nízké ceny elektřiny je nejvýhodnější první varianta. Při zdražení elektřiny rostou úspory z vyrobené

⁷⁶ Vytvořeno autorem

elektriny. Úspory rostou s výkonem kogenerační jednotky.⁷⁷ Proto vidíme, že nejméně výhodná je první varianta jen při nízkých cenách elektriny. Na základě tabulky vyplývá, že první varianta se vyplatí zvolit pouze při nízkých cenách elektriny a zemního plynu. Při zdražení elektriny začne být nejméně výhodná čtvrtá varianta. Ta je nejméně výhodná jen při malé oblasti parametrů. Většinou je nejméně výhodná pátá varianta.

| | | Cena zemního plynu (Kč.MWh ⁻¹) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|--|--|
| | | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | | | | |
| Cena elektriny (Kč.MWh ⁻¹) | 1750 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2000 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2250 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2500 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2750 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 3000 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 3250 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 3500 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 3750 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 4000 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 4250 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 4500 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 4750 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 5000 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 5250 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 5500 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5750 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 6000 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

Tab. 7-3 Nejlepší varianta dle NPV v závislosti na ceně elektriny a zemního plynu⁷⁸

7.6 Závěrečné zhodnocení

V kapitole 7 jsme po zvolení vstupních kritérií zhodnotili varianty pomocí ekonomických kritérií. Dle těchto kritérií vedla první varianta MNG 500 v PP, DPP, IRR a čtvrtá varianta MTUNG 1000 v NPV. Na základě těchto výsledků bychom mohli ukončit ekonomické hodnocení a zvolit jednu z variant. Tímto jsme nekončili. Dále jsme posuzovali vliv vstupních parametrů na NPV. Z těchto citlivostních analýz jsme si odnesli několik užitečných poznatků.

Druhá a třetí varianta MTUNG 700 a 850 nikdy nebyla nejméně výhodná. První varianta začne být nejméně výhodná jen při nízkých cenách elektriny. Pokud dojde k zvýšení ceny elektriny, nebo k velkému zlevnění zemního plynu, začnou být nejméně výhodné ostatní varianty. Čtvrtá varianta, která se na začátku jevila dle NPV nejlépe je nejméně výhodná jen v malém rozmezí ceny elektriny a zemního plynu. Při změně jedné z cen začne být nejméně výhodná pátá varianta. Na základě tohoto se nejlépe jeví pátá varianta MTUNG 1200.

⁷⁷ Za předpokladu, že vyrobenou elektřinu dokážeme spotřebovat v objektu

⁷⁸ Vytvořeno autorem

8 Závěr

Diplomová práce v teoretické části přinesla čtenáři základní informace pro orientaci v oblasti kogenerace a jejím dimenzováním. Dále zde byla představena ekonomická kritéria, která byla v praktické části využita k zhodnocení variant. V praktické části jsme se zabývali tvorbou výpočetního nástroje a jeho použití na zvolení nejvhodnější varianty. Hodnocení bylo zúženo na pět variant. Ty byly vybrány dle spotřeby tepla. Jednotky s vyšším výkonem nebyly vybrány, protože bychom neměli odběr pro danou výrobu. Jednotky s nižším výkonem nebyly vybrány s ohledem na nejnižší stálou potřebu tepla.

V příloze diplomové práce jsou dvě verze vytvořeného nástroje. První z nich je se zpracovanými výstupy jako je tvorba grafů, citlivostních analýz atp. Druhý z nich je s výstupy exportovanými do excelu.

Situaci, která zde byla posuzována, je průmyslový podnik, který nakupuje teplo z CZT. Bylo zde řešeno, zda se takovému podniku vyplatí investovat do vlastního zdroje tepla. Ten byl složen z kogenerační jednotky a kotle. Za pomoci vytvořeného nástroje a citlivostních analýz bylo zjištěno, že se podniku vyplatí investovat do vlastního zdroje. Všechny varianty dosahovaly kladných hodnot NPV a byly zaplacené během první čtvrtiny doby hodnocení investic. Pátá varianta MTUNG 1200 se na základě ekonomického zhodnocení jevila nejvýhodněji. Na Tab. 8-1 můžeme vidět hlavní parametry zvolené varianty. Roční CF se nám mění z důvodu uvažované proměnlivé ceny nakupované elektřiny a zemního plynu pro první 4 roky.

| Parametry zvolené varianty | MTUNG 1200 |
|--|------------|
| Jmenovitý elektrický výkon kogenerační jednotky (kW) | 1286 |
| Jmenovitý tepelný výkon kogenerační jednotky (kW) | 1403 |
| Celkový jmenovitý tepelný výkon kotlů (kW) | 6462 |
| Investiční výdaje zvolené varianty (mil. Kč) | 38,1 |
| Roční CF (mil Kč) | 8,9 - 10,4 |

Tab. 8-1 Hlavní parametry zvolené varianty

Na základě výsledků v diplomové práci se dá takovému podniku doporučit, aby o investici do vlastního zdroje tepla uvažoval. Podnik tím kromě dosahované úspory získá vlastní zdroj tepla. Není tedy závislý na jiném subjektu, který by mu dané teplo dodával. Dále je potřeba počítat s tím, že pro provoz zdroje tepla je nutná dodávka paliva. V našem případě se jednalo o zemní plyn. Uvažovala se zde dodávka plynu od společnosti GasNet, s.r.o. Situace zde je podobná

jako u elektřiny. Distributor je daný dle lokality objektu. Můžeme si ale zvolit obchodníka, od kterého budeme zemní plyn odebírat.

Diplomová práce přinesla autorovi nové informace o kogeneraci, dimenzování KVET a právní stránce týkající se instalací kogenerační jednotky. Kromě kogenerace došlo k prohloubení znalostí s Wolfram Mathematica a jejím programovacím jazykem.

9 Zdroje

- [1] KRBEK, Jaroslav a POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky - zřízení a provoz*. GAS. Praha: GAS, 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [2] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [3] Elektronická platforma Vitobloc. In: *Viessmann* [online]. [cit. 2023-12-29]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/produkty/kogeneracni-jednotky/vitobloc-300-ng-15-20.html>
- [4] Zdroje tepla pro vytápění hlavního města Prahy. In: *Teplator* [online]. [cit. 2023-12-29]. Dostupné z: <https://www.teplator.cz/blog/pripadova-studie-bezemisniho-dalkoveho-vytapeni-prahy/>
- [5] ČEZ ENERGO. *Příklady využití / Typické instalace* [online]. [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/priklady-vyuziti-typicke-instalace>
- [6] *Výhody kogenerace pro decentralizaci energetiky* [online]. 2021 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/vyhody-kogenerace-pro-decentralizaci-energetiky/>
- [7] PROCHÁZKA, Radek. *Přednášky z předmětu Elektroenergetika 2 (B1B15EN2)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.
- [8] T-s diagram for the ideal/real ORC. *Wikipedia* [online]. 2007 [cit. 2023-12-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_Rankine_cycle#/media/File:Ideal_and_real_organic_rankine_cycle.jpg
- [9] *Viessmann uvedl na trh malou kogeneraci pro bytové a větší rodinné domy* [online]. 2012 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/8581-viessmann-vedl-na-trh-malou-kogeneraci-pro-bytove-a-vetsi-rodinne-domy>
- [10] Woodbridge, CT: a First of its Kind Microgrid. *Avanewsblog* [online]. 2022 [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://avanewsblog.com/2022/02/woodbridge-ct-a-first-of-its-kind-microgrid/>
- [11] RAEN. *Návrh a provoz kogeneračních jednotek* [online]. 2000 [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/efekt/publikace/911>

- [12] ČESKO. Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 21. 3. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [13] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Udělení licence* [online]. 2022, aktualizace 11.09.2023 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/udeleni-licence>
- [14] *Distributoři elektřiny – území distribuce, kontakty* [online]. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/distributori>
- [15] ČESKO. Vyhláška č. 408/2015 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 22. 3. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408>
- [16] *Distributoři plynu – území distribuce, kontakty* [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/plyn/distributori>
- [17] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník 5/2023* [online]. 2023 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-52023>
- [18] *Cena emisní povolenky (EUA)* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/emisni-povolenka>
- [19] *Jak fungují evropské emisní povolenky?* [online]. 2021, aktualizováno 1. 8. 2023 [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets>
- [20] Gentec. *Kogenerační jednotky* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://gentec.cz/kogeneracni-jednotky/>
- [21] VIESSMANN. *Nízkoteplotní plynový kotel Vitoplex 200* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.co.uk/en/products/low-temperature/vitoplex-200.html#vorteile>
- [22] *Historická data - meteorologie a klimatologie* [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>
- [23] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník 6/2023*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-62023>. [cit. 2024-04-25].

- [24] OTE. *Roční zpráva*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/rocnizprava>. [cit. 2024-04-25].
- [25] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník 7/2023*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/energeticky-regulacni-vestnik-72023>. [cit. 2024-04-25].
- [26] EEX. *Power – Futures*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%2219%22%7D>. [cit. 2024-04-25].
- [27] KURZY.CZ. *Elektrina - ceny a grafy elektřiny*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/>. [cit. 2024-04-25].
- [28] EEX. *Natural Gas – Futures*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22304%22%7D>. [cit. 2024-04-25].
- [29] KURZY.CZ. *Zemní plyn - ceny a grafy elektřiny*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/pxe-zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/>. [cit. 2024-04-25].
- [30] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika – 1 díl*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
- [31] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika – 2 díl*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-097-0.
- [32] *Catalog of CHP Technologies* [online]. U.S. Environmental Protection Agency, 2017 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies.pdf
- [33] MATUŠKA, Tomáš. *ZZT-P5-zdroje* [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2021/10/ZZT-P5-zdroje.pdf>

10 Seznam příloh

Přílohy jsou odevzdány v elektronické podobě

Příloha 1 – Výpočetní nástroj napsaný ve Wolfram Mathematica –
„Výpočetní nástroj - Martin Lukeš – ZpracVýstup.nb“

Příloha 2 – Výpočetní nástroj napsaný ve Wolfram Mathematica –
„Výpočetní nástroj - Martin Lukeš - Excel.nb“

Příloha 3 – Excel soubor se spotřebou elektrické a tepelné energie z roku 2023 –
„spotřeby.xlsx“

Příloha 4 – Excel soubor s parametry vybraných variant –
„KJ - Tech a ekonom. parametry.xlsx“

Příloha 5 – Excel soubor s průměrnou denní teplotou z roku 2023 –
„teplota.xlsx“