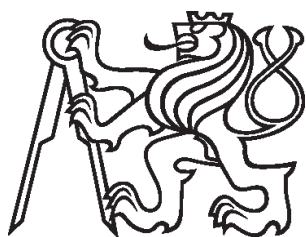


Diplomová práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická

## Změna způsobu vytápění průmyslového podniku

Bc. Jaroslav Šlajcher

Vedoucí práce: Ing. Radim Kolařík

2023



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šlajcher** Jméno: **Jaroslav** Osobní číslo: **483807**  
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:

**Změna způsobu vytápění průmyslového podniku.**

Název diplomové práce anglicky:

**Changing the heating method of an industrial enterprise**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Charakteristika stávajícího stavu vytápění průmyslového podniku.
- 2) Návrh zásobování teplem pomocí kogenerační jednotky.
- 3) Optimalizace návrhu a jeho technicko – ekonomická analýza.
- 4) Závěrečná doporučení.

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) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
- 3) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika - 2. díl – Energetika v příkladech. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-097-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Radim Kolařík Constellium Extrusions Děčín s.r.o.**

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

Datum zadání diplomové práce: **20.02.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **16.02.2025**

Ing. Radim Kolařík  
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 Lounech dne 12. 5. 2023

Bc. Jaroslav Šlajcher



## Poděkování

Mockrát děkuji vedoucímu práce panu Ing. Radimovi Kolaříkovi a panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za jejich ochotu, vstřícnost a podporu při tvorbě diplomové práce. Dále děkuji nejmenovanému průmyslovému podniku za poskytnutí vstupních dat a za konzultace při tvorbě diplomové práce. V neposlední řadě děkuji společnosti TEDOM a.s. za poskytnutí technických a ekonomických dat ke kogeneračním jednotkám.





## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá kombinovanou výrobou elektrické a tepelné energie. První polovina práce je věnována teoretickému popisu problematiky. Druhá polovina práce se věnuje využití teorie v praxi návrhem vytápění pomocí kogenerační jednotky. Vytápění je navrhováno pro konkrétní průmyslový podnik, který je v práci podrobněji popsán pro optimální návrh kogenerační jednotky. Na návrh následně navazuje optimalizace, která má za účel zužítkovat nevyužitý potenciál po prvotním návrhu vytápění. V závěru práce je provedena ekonomická analýza návrhu před optimalizací a po optimalizaci, k níž byl využit software MS Excel. Z výsledků ekonomické analýzy je formulováno závěrečné doporučení k provedení vytápění v průmyslovém podniku.

## **Klíčová slova**

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, KVET, kogenerace, návrh vytápění, průmyslový podnik, technicko – ekonomická analýza, kogenerační jednotka, spalovací motor, zemní plyn.



## **Abstract**

The diploma thesis deals with the combined production of electrical and thermal energy. The first half of the thesis is devoted to the theoretical description of the issue. The second half of the thesis is devoted to the use of theory in practice by designing a heating system using a cogeneration unit. The heating is designed for a specific industrial company, which is described in more detail in the work for the optimal design of the cogeneration unit. The design is subsequently followed by optimization, which aims to utilize unused potential after the initial heating design. At the end of the work, an economic analysis of the design before optimization and after optimization is performed, for which MS Excel software was used. From the results of the economic analysis, a final recommendation is formulated for the implementation of heating in an industrial company.

## **Keywords**

Combined production of electrical and thermal energy, CHP, cogeneration, heating design, industrial company, technical – economic analysis, cogeneration unit, combustion engine, natural gas.



## Obsah

1	ÚVOD .....	1
2	KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE .....	3
2.1	ZÁKLADNÍ VYSVĚTLENÍ A DEFINICE .....	3
2.2	KOGENERAČNÍ TECHNOLOGIE.....	6
2.2.1	NEPŘÍMÝ ZPŮSOB TRANSFORMACE ENERGIE .....	8
2.2.2	PŘÍMÝ ZPŮSOB TRANSFORMACE ENERGIE .....	9
2.2.3	KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ A PROPOJOVÁNÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK .....	10
2.3	PALIVA PRO KOGENERACI .....	12
2.3.1	ROZDĚLENÍ PALIV.....	13
2.3.2	JAKOSTNÍ PARAMETRY A VLASTNOSTI PALIV .....	16
2.4	PRIMÁRNÍ JEDNOTKY KOGENERAČNÍCH SYSTÉMŮ .....	21
2.4.1	PRIMÁRNÍ JEDNOTKY S PŘÍMOU TRANSFORMACÍ .....	21
2.4.2	PRIMÁRNÍ JEDNOTKY S NEPŘÍMOU TRANSFORMACÍ.....	25
2.5	LEGISLATIVA SPOJENÁ S KOGENERACÍ .....	33
3	HODNOCENÍ KVET .....	37
3.1	TECHNICKÁ HODNOTICÍ KRITÉRIA.....	37
3.1.1	ENERGETICKÉ PARAMETRY .....	37
3.1.2	ENVIRONMENTÁLNÍ PARAMETRY .....	40
3.2	EKONOMICKÁ HODNOTICÍ KRITÉRIA.....	43
3.2.1	TOK HOTOVOSTI.....	43
3.2.2	DISKONTOVANÝ TOK HOTOVOSTI.....	44
3.2.3	ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA .....	45
3.2.4	VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO .....	45
3.2.5	PROSTÁ DOBA SPLÁCENÍ.....	46
3.2.6	DISKONTOVANÁ DOBA SPLÁCENÍ .....	46
4	PRAKTICKÁ ČÁST.....	47
4.1	ZÁKLADNÍ POPIS PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU .....	47
4.1.1	SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ .....	49
4.1.2	SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ ZEMNÍM PLYNEM .....	56
4.1.3	SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM .....	62

4.2	CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍHO STAVU VYTÁPĚNÍ PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU.....	64
4.2.1	TEPELNÉ ZDROJE.....	64
4.2.2	DISTRIBUČNÍ SYSTÉM A PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY .....	65
4.2.3	VYTÁPĚNÍ OBJEKTŮ .....	68
4.3	NÁVRH ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM POMOCÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....	69
4.3.1	POPIS NÁVRHU KJ A TECHNICKÁ ANALÝZA .....	69
4.3.2	VÝPOČET PARAMETRŮ PLYNOUCÍCH Z NÁVRHU .....	75
4.3.3	SOUHRN VÝSLEDKŮ NÁVRHU .....	78
4.4	OPTIMALIZACE NÁVRHU .....	78
4.4.1	POPIS NÁVRHU OPTIMALIZACE A TECHNICKÁ ANALÝZA .....	79
4.4.2	VÝPOČET PARAMETRŮ PLYNOUCÍCH Z OPTIMALIZACE .....	85
4.4.3	SOUHRN VÝSLEDKŮ OPTIMALIZACE.....	88
4.5	EKONOMICKÁ ANALÝZA .....	88
4.5.1	VÝPOČET EKONOMICKÝCH PŘÍJMŮ.....	88
4.5.2	VÝPOČET EKONOMICKÝCH VÝDAJŮ.....	89
4.5.3	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NÁVRHU PŘED OPTIMALIZACÍ.....	91
4.5.4	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NÁVRHU PO OPTIMALIZACI.....	94
4.5.5	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ.....	97
5	ZÁVĚREČNÁ DOPORUČENÍ.....	101
5.1	SHRNUTÍ OBSAHU PRÁCE .....	101
5.2	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ NÁVRHU A OPTIMALIZACE.....	101
5.3	SHRNUTÍ VÝSLEDKU EKONOMICKÉ ANALÝZY A VÝSLEDNÉ DOPORUČENÍ AUTORA .....	102
5.4	PŘÍNOS PRÁCE PRO PRŮMYSLOVÝ PODNIK.....	103
6	SEZNAM LITERATURY .....	105
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	109

## Obrázky

Obr. 2.1 - Výhoda kogenerační výroby (převzato z [2]).....	3
Obr. 2.2 - Interpretace energetického systému (převzato z [3]) .....	5
Obr. 2.3 - Ukázka komponent KJ (převzato z [4]) .....	8
Obr. 2.4 - Zjednodušený princip palivového článku (převzato z [6]).....	10
Obr. 2.5 -Modulové (vlevo) a stavebnicové (vpravo) konstrukční provedení KJ (převzato z [7]).....	12
Obr. 2.6 - Složení paliva (převzato z [1]) .....	17
Obr. 2.7 – Technologické schéma s TO - parní turbína (volně z [1] a [11]) .....	26
Obr. 2.8 - Technologické schéma s TO - plynová turbína (volně z [1] a [11]) .....	28
Obr. 2.9 - Řez mikroturbínou (převzato z [12]).....	29
Obr. 2.10 - Technologické schéma s TO - ORC (volně z [1] a [13]) .....	30
Obr. 2.11 - Technologické schéma - Stirlingův motor (volně z [1]) .....	31
Obr. 2.12 - Technologické schéma PSM (volně z [1]) .....	32
Obr. 3.1 - Zavedení bilanční hranice u KS s PSM (vytvořeno autorem).....	38
Obr. 4.1 - Rozloha průmyslového podniku na základním mapovém podkladu.....	47
Obr. 4.2 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - leden 2021 .....	52
Obr. 4.3 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - červen 2021 .....	52
Obr. 4.4 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - listopad 2021 .....	52
Obr. 4.5 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - prosinec 2021 .....	53
Obr. 4.6 - Grafické zobrazení spotřeby elektrické energie v pracovní den .....	53
Obr. 4.7 - Grafické zobrazení spotřeby elektrické energie o víkend .....	54
Obr. 4.8 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie v nepracovní den.....	54
Obr. 4.9 - Přehled průměrných ročních cen za 1 kWh odebrané elektrické energie ....	55
Obr. 4.10 - Grafické znázornění spotřeby zemního plynu průmyslovým podnikem....	57
Obr. 4.11 - Grafické znázornění vyrobeného tepla kotelnou v jednotlivých měsících daného roku.....	59
Obr. 4.12 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v lednu 2021 .....	60
Obr. 4.13 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v dubnu 2021 .....	60
Obr. 4.14 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v květnu 2021 .....	60

Obr. 4.15 - Grafické zobrazení celkových průměrných cen zemního plynu v daném roce .....	61
Obr. 4.16 - Rozdělovač a sběrač topné vody ve staré hale.....	66
Obr. 4.17 - Distribuční síť topné vody .....	67
Obr. 4.18 - Paretův graf modelového roku.....	70
Obr. 4.19 - Sloupcový graf výroby a spotřeby elektrické energie .....	74
Obr. 4.20 - Výsledné hodnoty vyrobeného tepla pomocí KJ a tepelných potřeb průmyslového podniku v modelovém roce .....	78
Obr. 4.21 - Srovnání minimální spotřeby elektrické energie průmyslového podniku a celkové vyrobené elektrické energie po optimalizaci .....	84
Obr. 4.22 - Srovnání tepelných potřeb průmyslového podniku v modelovém roce a celkové vyrobené tepelné energie po optimalizaci.....	84
Obr. 4.23 - Sloupcový graf hodnot CCF a CDCF návrhu před optimalizací .....	92
Obr. 4.24 - Graf citlivostní analýzy NPV na $C_{el}$ návrhu před optimalizací .....	93
Obr. 4.25 - Graf citlivostní analýzy NPV na $C_{ZP}$ návrhu před optimalizací .....	93
Obr. 4.26 - Graf citlivostní analýzy NPV na $N_i$ návrhu před optimalizací .....	94
Obr. 4.27 - Sloupcový graf hodnot CCF a CDCF návrhu po optimalizaci .....	95
Obr. 4.28 - Graf citlivostní analýzy NPV na $C_{el}$ návrhu po optimalizaci .....	96
Obr. 4.29 - Graf citlivostní analýzy NPV na $C_{ZP}$ návrhu po optimalizaci .....	96
Obr. 4.30 - Graf citlivostní analýzy NPV na $N_i$ návrhu po optimalizaci.....	97
Obr. 4.31 - Sjednocení grafů citlivostní analýzy 1 .....	98
Obr. 4.32 - Sjednocení grafů citlivostní analýzy 2.....	99



## Tabulky

Tab. 2.1 - Výhřevnosti paliv (data vycházejí z [9]) .....	21
Tab. 2.2 - Zelené bonusy pro KVET s instalovaným výkonem do 5 MW <sub>e</sub> (převzato z [17]).....	35
Tab. 2.3 - Základní sazba zelených bonusů na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem do 5 MW <sub>e</sub> v roce 2021 (dle [19]) .....	36
Tab. 2.4 - Doplnková sazba zelených bonusů na elektřinu z KVET v roce 2021 (dle [19]).....	36
Tab. 4.1 - Výkonový popis transformátorů v průmyslovém podniku.....	50
Tab. 4.2 - Soupis zařízení pro kabelovou výrobu .....	51
Tab. 4.3 - Spotřeba elektrické energie průmyslového podniku .....	51
Tab. 4.4 - Přehled cen za 1 kWh odebrané elektrické energie.....	55
Tab. 4.5 - Historie spotřeby zemního plynu průmyslovým podnikem .....	57
Tab. 4.6 - Spotřeba zemního plynu kotelnou průmyslového podniku v m <sup>3</sup> .....	58
Tab. 4.7 - Vyrobené teplo kotelnou v jednotlivých měsících pro daný rok.....	59
Tab. 4.8 – Celková průměrná cena za odebraný zemní plyn kotelnou za rok .....	61
Tab. 4.9 - Vybavení v nové kompresorově nové haly .....	63
Tab. 4.10 - Soupis kotlů v kotelně s důležitými parametry .....	64
Tab. 4.11 – Maximální možný počet motohodin v roce .....	71
Tab. 4.12 – Maximální možný počet motohodin v roce pro daný procentní výkon KJ 72	
Tab. 4.13 – Technické parametry KJ Quanto 600 .....	72
Tab. 4.14 – Ekonomické parametry KJ Quanto 600 (ceny jsou bez DPH) .....	73
Tab. 4.15 - Vyrobené teplo a elektrická energie KJ Quanto 600 v modelovém roce ...	75
Tab. 4.16 - Spotřebovaný objem plynu KJ Quanto 600 v modelovém roce.....	76
Tab. 4.17 – Teplo vyrobené stávajícími kotli s odpovídajícím odběrem zemního plynu .....	76
Tab. 4.18 - Celkový objem spotřebovaného zemního plynu v měsících modelového roku .....	77
Tab. 4.19 - Přehled výsledných ročních parametrů návrhu zásobování teplem pomocí KJ .....	78
Tab. 4.20 – Počet motohodin dodatečné KJ .....	79
Tab. 4.21 - Technické parametry KJ Flexi 430 .....	80

Tab. 4.22 – Ekonomické parametry KJ Flexi 430 (ceny jsou bez DPH) .....	81
Tab. 4.23 - Vyrobené teplo a elektrická energie KJ Flexi 430 v modelovém roce .....	82
Tab. 4.24 – Celkové vyrobené teplo a elektrická energie pomocí KJ Quanto 600 a Flexi 430 v modelovém roce .....	83
Tab. 4.25 - Spotřebovaný objem plynu KJ Flexi 430 v modelovém roce .....	85
Tab. 4.26 - Spotřebovaný objem zemního plynu kogeneračními jednotkami po optimalizaci .....	86
Tab. 4.27 – Teplo vyrobené stávajícími kotli s odpovídajícím odběrem zemního plynu po optimalizaci .....	86
Tab. 4.28 - Celkový objem spotřebovaného zemního plynu v měsících modelového roku .....	87
Tab. 4.29 - Přehled výsledných ročních parametrů optimalizovaného návrhu zásobování teplem pomocí KJ .....	88
Tab. 4.30 – Vstupní parametry do ekonomického modelu pro návrh před optimalizací .....	92
Tab. 4.31 – Výsledné parametry plynoucí z ekonomického modelu návrhu před optimalizací .....	92
Tab. 4.32 – Vstupní parametry do ekonomického modelu pro návrh po optimalizaci .....	95
Tab. 4.33 – Výsledné parametry plynoucí z ekonomického modelu návrhu po optimalizaci .....	95
Tab. 4.34 – Hodnotící parametry při identických NPV návrhu před a po optimalizaci .....	98

## Seznam zkratk

AFCs	Alkalické články (Alkaline fuel cells)
CCF	Kumulovaný tok hotovosti (Cumulative cash flow)
CDCF	Kumulovaný diskontovaný tok hotovosti (Cumulative discounted cash flow)
CF	Tok hotovosti (Cash flow)
C-RC	Clausiův-Rankineův cyklus
CS	Centralizovaný systém
CTS	Centrální transformační stanice
CZT	Centralizované zásobování teplem
DCF	Diskontovaný tok hotovosti (Discounted cash flow)
DMCFs	Články pro přímou reakci metanolu (Direct methanol fuel cells)
DPP	Diskontovaná doba splácení
DS	Distribuční soustava
ELTO	Extra lehký topný olej
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
GO	Generální oprava
HUP	Hlavní uzávěr plynu
IRR	Vnitřní výnosové procento (Internal rate of return)
KJ	Kogenerační jednotka
KS	Kogenerační systém
KVET	Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie
LNG	Zkapalněný zemní plyn (Liquefied natural gas)
LPG	Zkapalněný ropný plyn (Liquefied petroleum gas)
LTO	Lehký topný olej
MCFCs	Články s roztavenými uhličitany (Molten carbonate fuel cells)
MEŘO	Metylester kyselin řepkového oleje
MO	Maloodběr
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu

MS	Microsoft
MT	Mikroturbína
NN	Nízke napětí
NPV	Čistá současná hodnota (Net present value)
ORC	Organický Rankineův cyklus
OTE	Operátor trhu
PAFCs	Články s kyselinou fosforečnou (Phosphoric acid fuel cells)
PAT	Parní turbína
PEMFCs	Palivové články s tuhými polymery (Proton Exchange membrane fuel cell)
PJ	Primární jednotka
PP	Prostá doba splácení
PSM	Pístový spalovací motor
PT1	Podružná transformační stanice 1
PT2	Podružná transformační stanice 2
SOFCs	Články s tuhými oxidy (Solid oxide fuel cells)
STL	Středotlaký plynovod
STM	Stirlingův motor
ŠL	Škodlivé látky
TKO	Tříděné komunální odpady
TO	Tepelný oběh
TOC	Celkový organický uhlík (Total organic carbon)
TTO	Těžký topný olej
TV	Teplá voda
TZL	Tuhé znečišťující látky
UPE	Úspora primární energie
VN	Vysoké napětí
VO	Velkoodběr
VOC	Těkavé organické sloučeniny (Volatile organic compounds)





# 1 ÚVOD

Energetické zdroje a jejich následná transformace na užité formy energií jsou zásadním předpokladem pro fungování moderní společnosti a pro umožnění jejího dalšího rozvoje. V souvislosti s rozvojem společnosti je spjat i rozvoj v oblasti energetiky a efektivního využívání energie obsažené v primárních zdrojích, kterého je dosaženo i pomocí kombinované výroby elektrické a tepelné energie (dále jen „kogenerace“). Kogenerace je technologie, která za svoji existenci prošla vývojem, díky kterému ji mohou využívat samotní odběratelé energií přímo v místě spotřeby. Zejména u průmyslových podniků se zastaralým způsobem vytápění je využití kogenerace výhodné pro samotného spotřebitele, ale také pro samotný energetický systém. Z pohledu spotřebitele se jedná zejména o ekonomické benefity, které s kogenerací přicházejí. Pro energetický systém je kogenerace ekologicky šetrným způsobem získávání energie, který snižuje zatěžování životního prostředí a energetickou náročnost hospodářství.

Tato práce se zabývá výše zmíněným využitím kogenerace a vyhodnocení jejího účinku pro průmyslový podnik se zastaralým způsobem vytápění. Jedná se tedy o návrh zásobování průmyslového podniku teplem pomocí kogenerace. Návrhu předchází první polovina práce, kde je problematika kogenerace popsána teoreticky. Samotný návrh je vytvořen pro existující anonymní průmyslový podnik za účelem zlepšení ekonomické náročnosti vytápění průmyslového podniku.



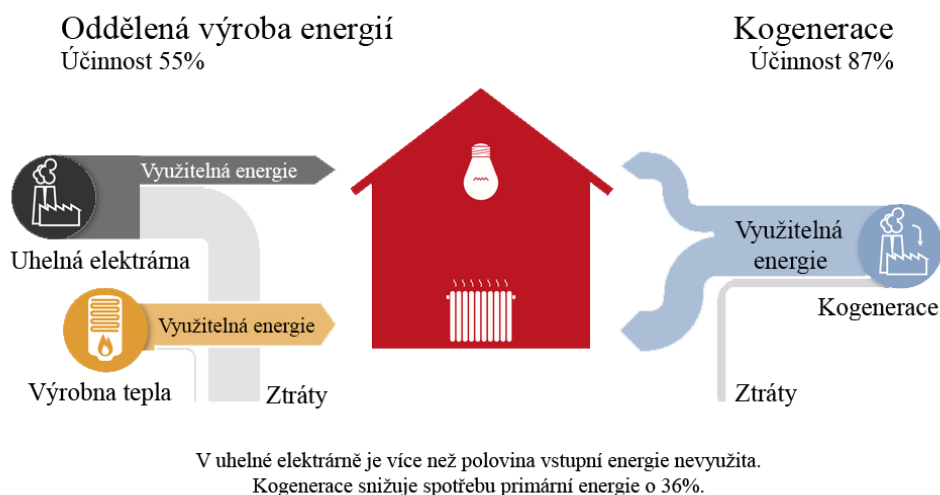


## 2 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE

Pro tuto kapitolu bylo vycházeno zejména z knihy „Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie“ [1]. Dále bylo využito vlastních poznámek a načerpaných znalostí ze studia fakulty elektrotechnické ČVUT. Aktuální vývoj a poznatky byly doplněny z internetových zdrojů, které jsou v místě použití odcitovány.

### 2.1 ZÁKLADNÍ VYSVĚTLENÍ A DEFINICE

Už z názvu „Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie“ (dále jen „KVET“) je patrné, že se jedná o společnou (kombinovanou) výrobu<sup>1</sup> elektrické a tepelné energie v jednom výrobním objektu přeměnou z primární formy energie v transformačních řetězcích. Hlavním důvodem vzniku těchto objektů je účinnost využívání primárních zdrojů, přesněji řečeno účinnost využití uložené energie v primárním zdroji. Tato účinnost je při samostatné výrobě elektrické energie kolem 35 % a u tepelné energie kolem 85 %. KVET se u moderních technologií často dostává přes hodnotu 90 %.



Obr. 2.1 - Výhoda kogenerační výroby (převzato z [2])

<sup>1</sup> Pojmem „výroba“ je v této práci myšlena transformace energie z primární dostupné formy na formy užité.

Dalšími výhodami KVET jsou:

- možnost umístění výroby blízko místa energetického využití (nižší ztráty vzniklé přenosem a distribucí),
- omezení znečištění životního prostředí,
- zvýšení konkurence mezi jednotlivými systémy energetického zásobování,
- snadné napojení na existující a plánované technologie v různých aplikacích v průmyslovém, komerčním a bytovém sektoru.

Obecný název „KVET“ v praxi představuje komplexní systém zásobování energií (neboli kogenerační systém, dále jen „KS“), který lze typově rozdělit podle charakteru odebírané energie na horní kogenerační systém a dolní kogenerační systém.

**Horní kogenerační systém** slouží primárně jako zdroj tepla o vysokých parametrech pro technologické procesy (pece na výrobu cementu, ocelářské a sklářské pece), a následně je jako sekundární produkt elektrická energie, která je získávána ze zbylého tepla prvotní transformací pomocí tepelného motoru (například plynová turbína, parní turbína apod.) transformována na mechanickou energii a následně na elektrickou energii pomocí elektrického generátoru. **Dolní kogenerační systém** je primárně zdrojem elektrické energie, kde se tepelná energie získává v průběhu výroby elektrické energie. Přesnější popis výroby elektrické a tepelné energie je popsán dále v této práci. Z popsaných dvou systémů je častěji využíván dolní kogenerační systém, vzhledem k většímu efektivnímu zisku technické práce v tepelných motorech. Dále je možné KS rozdělit na systémy lokální (také nekomerční), které jsou zdrojem energie blízko místu spotřeby, a na systémy komerční, které jsou zdrojem pro vícero odběratelů a využívají rozsáhlejší dopravní síť<sup>2</sup>. Toto rozdělení koresponduje s obecným rozdělením energetických systémů na centralizovaný a decentralizovaný systém, které je vysvětleno na následující straně.

Pro prvotní vysvětlení a definici KVET byla zmiňována výroba konečné formy energie, ale výroba neexistuje sama o sobě. Obecně v existuje energetickém systému výroba pro pokrytí spotřeby za pomoci dopravy. Jedná se tedy o tři hlavní segmenty, které existují

---

<sup>2</sup> Dopravní síť je zde myšlen systém přenosu vyrobené formy energie k odběrateli.

zároveň a jsou zobrazeny na Obr. 2.2, který zobrazuje energetický systém v oblasti elektrické energie. Nezmíněným a neméně důležitým segmentem v energetickém systému je dodavatel energie, který obchoduje spotřebu dané energie a je také zobrazen na obrázku 2.2 níže.



Obr. 2.2 - Interpretace energetického systému (převzato z [3])

Nejvíce rozebiratelným segmentem v této práci je výroba, a to hlavně její teoretické způsoby a následně i praktická uplatnění. S tím je automaticky samozřejmě spojena i spotřeba, kterou ovšem není zapotřebí blíže popisovat. U dopravy daných forem energií se dostáváme k prvnímu potřebnému rozdělení energetických systémů na systémy centralizované (dále jen „CS“) a decentralizované (dále jen „DS“).

**Centralizovaný systém** je klasický systém dopravy dané formy energie ke spotřebiteli, který není z pravidla v přímé blízkosti místa výroby. Tyto systémy využívají ekonomických výhod velkokapacitní výroby ve velkých výrobnách, kdy se celkové náklady s velikostí produkce snižují. V případě dopravy tepla se jedná o systémy centralizovaného zásobování teplem (dále jen „CZT“), kde je z hlavní výrobní tepelné energie následně pomocí tepelné sítě teplo distribuováno vícero odběratelům. Tepelná síť je tvořena primární sítí, která se skládá z dálkových potrubí a teplotonosné látky (pára, horká nebo teplá voda), a sekundární sítí, což jsou výměňkové stanice a potrubí z nich dopravující například topnou vodu přímo k odběrateli. Pro případ dopravy elektrické energie se jedná o přenosové a distribuční soustavy, které přivádějí elektrickou energii ke spotřebiteli.

**Decentralizované systémy** jsou systémy lokální. Výrobní jsou v blízkosti spotřeby a dopravní infrastruktura není tak rozsáhlá. Na rozdíl od CS mohou být DS provozovány i svým spotřebitelem. Obecně budou decentralizované systémy do budoucna rozvíjenou oblastní i vzhledem k rozvoji inteligentních sítí.

## 2.2 KOGENERAČNÍ TECHNOLOGIE

Pod pojmem „kogenerační technologie“ si lze představit způsoby transformace energie obsažené v palivu  $Q_{pal}$  na elektrickou energii  $E$  za současného využití tepelné energie  $Q_{UV}$ . Kogenerační technologie lze obecně dělit dle:

- výkonové hladiny,
- druhu spotřeby,
- paliva,
- fyzikálního hlediska.

**Dle výkonové hladiny** dělíme KS na:

- mikro-kogenerace... kogenerace do výkonu 50 kW<sub>E</sub>,
- mini-kogenerace... kogenerace do výkonu 500 kW<sub>E</sub>,
- kogenerace malého výkonu do 1 MW<sub>E</sub>,
- kogenerace středního výkonu do 50 MW<sub>E</sub>,
- kogenerace velkého výkonu nad 50 MW<sub>E</sub>.

**Druh spotřeby** je schopen určovat umístění KS, jelikož je obecně vhodné umístit KS blíže ke spotřebě tepelné energie než elektrické, což znamená, že tepelné zatížení rozhoduje o možnosti použití KS. Kogenerační výrobu dělíme podle druhu spotřeby na:

- centralizované zásobování teplem,
- průmyslovou kogeneraci<sup>3</sup>,
- kogeneraci pro komerční sféru,
- kogeneraci pro komunální sféru,
- kogeneraci pro bytovou sféru.

Kogenerační technologie lze dále dělit podle použitého **paliva** na technologie využívající obnovitelné zdroje a neobnovitelné zdroje. Obnovitelné zdroje jsou zdroje energie, které se přirozeně obnovují a nelze je tedy vyčerpat, jako například sluneční energie, geotermální energie a biomasa. Neobnovitelné zdroje jsou postupně spotřebovávány a jejich zásoba se tím neustále zmenšuje. Mezi neobnovitelné zdroje energie patří fosilní paliva, jako například uhlí a zemní plyn. Kogenerační systémy

---

<sup>3</sup> Pojem „kogenerace“ označuje běžně kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie stejně jako zkratka „KVET“ použitá v kapitole 2.1 Základní definice a vysvětlení.

mohou pracovat pouze s jedním z popsaných typů paliva nebo mohou být schopny pracovat na oba zmíněné typy. V případě možnosti využití obou typů paliv se KS nazývá hybridní. Déle existují duální KS, které jsou schopny využívat jak kapalných, tak plynných paliv.

**Z fyzikálního hlediska** dělíme kogenerační technologie podle počtu transformací na technologie s nepřímým způsobem přeměny energií a na technologie s přímým způsobem přeměny. Zařízení, kde tyto transformace probíhají, se nazývají kogenerační jednotky (dále jen „KJ“), které se skládají ze:

- zařízení pro úpravu paliva,
- primární jednotky (primárního motoru),
- zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie,
- zařízení pro rekuperaci tepelné energie.

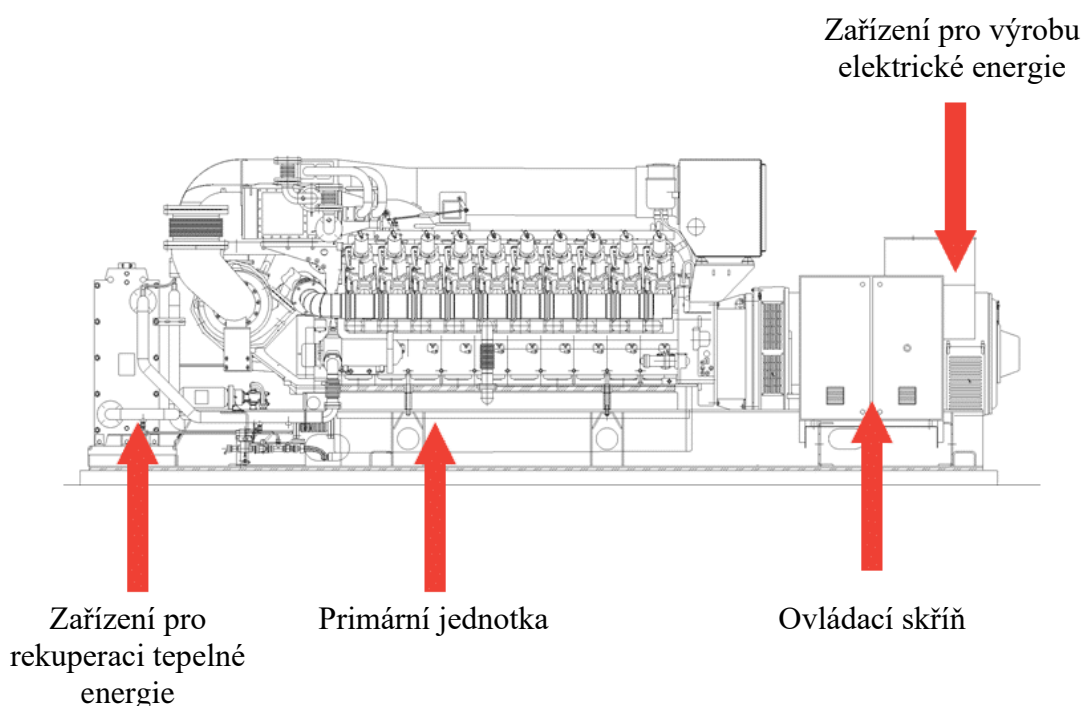
**Zařízení pro úpravu paliva** obecně upravuje parametry paliva tak, aby následné zpracování odpovídalo požadavkům. Přesněji je tím myšleno například zušlechtění, které se provádí za účelem zvýšení energie obsažené v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva (obecně se v současnosti nejedná přímo o fyzický segment KJ, ale zušlechtěná paliva se spíše nakupují a jsou do KJ přímo přiváděny). Dále se palivo upravuje z pohledu prvkového složení pro odstranění nežádoucích příměsí (voda,  $CO_2$ , pevné částice, síra) a zvýšení koncentrace reagujících prvků. Posledním typem úpravy paliva je úprava podmínek pro použití, čímž se zabezpečují vhodné podmínky pro dopravu do KJ (vložený okruh pro regeneraci tepla), popřípadě se vylepšují podmínky pro uvolnění energie v palivu (tlak teplota paliva).

**Primární jednotka** (dále jen „PJ“) je základní částí KJ. V PJ dochází k prvotnímu uvolnění tepla z paliva a prvním transformacím získané tepelné energie na ušlechtlejší formy (elektrickou, popřípadě mechanickou). PJ se rozlišují podle typu kogenerační technologie na tepelný motor (v případě nepřímého způsobu přeměny energie), nebo palivový článek (pro přímý způsob přeměny energie). Volba typu PJ souvisí s požadovanou formou dodávané energie.

**Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie** je možné rozdělit na zařízení pro výrobu elektrické energie (elektrický generátor) a na zařízení pro úpravu parametrů vyrobené elektrické energie (elektrický měnič). Elektrický generátor slouží pro transformaci z kinetické formy energie získané pomocí tepelného motoru na energii

elektrickou. Přesnější specifikace následně záleží na potřebách odběru elektrické energie. Generátory mohou být stejnosměrné nebo střídavé (asynchronní generátory nebo synchronní generátory). Elektrický měnič je součástí KJ, pokud je potřebné upravit parametry vyrobené elektrické energie. Úpravou parametrů může být změna frekvence, nebo transformace střídavých parametrů na stejnosměrné pomocí polovodičových prvků.

**Zařízení pro rekuperaci tepelné energie** transformuje odváděný tepelný výkon z KJ na požadované parametry a formu. Nejběžnějšími teplotními médii je voda o teplotě do 100 °C, voda o teplotě 150-200 °C, vodní pára a teplý vzduch.



Obr. 2.3 - Ukázka komponent KJ (převzato z [4])

## 2.2.1 NEPŘÍMÝ ZPŮSOB TRANSFORMACE ENERGIE

Pro dosažení potřebné užitné formy energie dochází u nepřímé transformace k více než jedné transformaci vstupní energie obsažené v palivu. Transformace obecně směřují k získání ušlechtilější formy energie. Proces získání ušlechtilější formy energie je pravotočivý tepelný oběh<sup>4</sup> (dále jen „TO“), který probíhá mezi tepelným zdrojem

---

<sup>4</sup> U pravotočivých oběhů je technická práce získávána z tepelného oběhu a v levotočivém oběhu je získávána tepelná energie z technické práce.

a tepelným motorem. Tepelný zdroj je část KJ, kde dochází k uvolnění chemické energie vázané v palivu oxidací hořlavých složek, k jaderné reakci, nebo může být dodávána tepelná energie z obnovitelného zdroje (Slunce, geotermální energie). Teplo získané z tepelného zdroje předává teplo pracovní látce, která obíhá mezi tepelným zdrojem a tepelným motorem. Tepelný motor z pracovní látky získává technickou práci a tento proces se stále opakuje (získaná technická práce může být dalšími prvky KJ transformována na jiný druh energie).

Tepelné oběhy se rozdělují na otevřené a uzavřené. Do otevřených tepelných oběhů je pracovní látka dodávána neustále nová, u uzavřených tepelných oběhů obíhá pracovní látka opakovaně. U otevřených oběhů se pracuje s pracovní látkou v plynném skupenství (vzdušinou). U uzavřených tepelných oběhů dochází ke změně skupenství pracovní látky (plynná a kapalná fáze). Typicky je využívána voda – vodní pára.

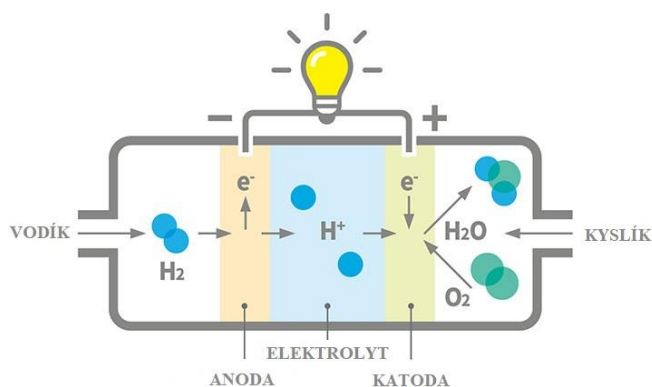
Tepelné motory dělíme podle umístění tepelného zdroje. Tepelné zdroje mohou být součástí tepelného motoru, nebo jsou samostatnou součástí KJ. V případě, kdy je tepelný zdroj součástí tepelného motoru, nazýváme ho tepelným motorem s vnitřním spalováním (tzv. spalovací motory), a v případě, kdy je tepelným zdroj samostatnou součástí, jedná se o tepelný motor s vnějším spalováním. Dále lze dělit tepelné motory podle způsobu přenosu energie na:

- objemové (pístové),
- dynamické lopatkové,
- dynamické proudové.

Podle druhu pracovní látky dělíme tepelné motory na parní, plynové a s jinou pracovní látkou.

### **2.2.2 PŘÍMÝ ZPŮSOB TRANSFORMACE ENERGIE**

K přímé transformaci energie je využíváno palivových článků, které fungují na principu obrácené elektrolýzy. Palivový článek (pro teoretický popis principu bylo využito [1] a [5]) je elektrochemické zařízení, ve kterém dochází sloučením vodíkového paliva s kyslíkem ke vzniku rozdílného potenciálu na elektrodách (dále také tepla a vody). Nejedná se o proces spalování, což znamená, že v průběhu reakce nevznikají škodlivé emise a jediný vedlejší produkt reakce je voda. Na Obr. 2.4 níže je zjednodušeně zobrazen princip palivového článku.



Obr. 2.4 - Zjednodušený princip palivového článku (převzato z [6])

Na zápornou elektrodu (anodu) je přiváděna aktivní látka neboli palivo. Jako palivo se využívá vodík, který oxiduje s anodou a jeho atomy se zbavují, často za přispění katalyzátoru, jednoho nebo několika elektronů z valenční vrstvy. Uvolněné elektrony představují elektrický proud, který se vnějším obvodem pohybuje ke kladné elektrodě (katodě). Na katodu se přivádí kyslíčoxid a dochází na ní k redukci (přiváděné kyslíčoxid absorbuje přiváděné elektrony) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Náboj na elektrodách vytvoří potenciálový rozdíl mezi elektrodami, který se nazývá elektrodový potenciál. Obvykle je výstupní napětí na elektrodách jednoho článku 0,6 V až 0,8 V. Pro dosažení vyšších napětí se články zapojují do série.

### 2.2.3 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ A PROPOJOVÁNÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

Konstrukce jednotlivých KJ je především dána výkonem KJ, prostorovými možnostmi v místě instalace a samotným místem, kam bude KJ instalována. Místo instalace KJ je dáno možnostmi připojení k přívodu paliva, zapojení do elektrické sítě, velikostí potřebného prostoru, statické únosnosti pod KJ apod. Obecně lze rozlišit dvě provedení konstrukce, které jsou dnešními výrobci zhotovovány:

- modulové uspořádání,
- stavebnicové uspořádání.

**Modulově uspořádané KJ** jsou spíše nižších výkonů a mají jednotlivé komponenty situované blízko u sebe. Tvoří jeden modul, který může být celkově zapouzdřený pro případy umístění KJ do venkovních prostor (kontejnerové provedení). Pro případy instalace KJ do interiéru se konstruuje jednotky nezapouzdřené nebo s protihlukovými



kryty. Mezi hlavní výhody tohoto typu konstrukce patří snadné propojování s dalšími modulovými typy KJ, úspora investičních nákladů, snadné zapojení do KS, rychlá instalace a automatizovaný provoz. Pro instalaci modulu jsou přesně určeny připojovací podmínky, tj. vyústění přírub pro připojení otopného okruhu, plynu, spalin, případně ventilačního vzduchu, vyvedení elektrického výkonu a zároveň parametry jednotlivých médií.

**Stavebnicově uspořádané KJ** jsou jednotky vyšších výkonů, které nejsou dodávány jako celek, ale v základních částech. Jednotlivé části nemusí být od jednoho výrobce, ale mohou být dodány od specializovaných firem na jednotlivé části a následně složeny do jednotného funkčního systému, kterým je kogenerační jednotka. U stavebnicového uspořádání jsou výhodou relativně nižší výrobní náklady jednotlivých komponent, a tedy i celkové výrobní náklady KJ. Zákazník ušetří prostředky na ceně KJ, ale oproti modulovému uspořádání jsou u stavebnicového další náklady spojené s vypracováním projektu na uspořádání jednotlivých komponent KJ ve strojovně, stavebními úpravami strojovny, řešením odvodu odpadního tepla a dalšími pracemi spojenými s realizací.

Kogenerační jednotky nejsou v dnešní době novinkou na trhu a za svou existenci prošly vývojem za účelem zvýšení účinnosti, snížení emisí, prodloužení životnosti a doby bez nutnosti oprav. S tím dochází i k vývoji v konstrukčním uspořádání a celkovém vzhledu KJ. Z pohledu konstrukčního uspořádání jde zejména o zmenšování rozměrů modulů a umístění elektrického rozvaděče k vyrobenému bloku KJ.

KJ mohou tvořit vhodným pospojováním nové systémy pro zásobování teplem a elektřinou, ale také mohou být zapojovány do stávajících systémů. Do stávajících systémů je obvykle vhodné zapojovat nové KJ sériově, jelikož jsou zde menší nároky na změnu průtoku teplonosných médií a na změnu řídicích systémů. Paralelně se zapojují KJ v nově budovaných systémech. Propojování KJ s jinými systémy je vhodné pro pokrytí spotřeby v různých pracovních stavech daného odběru energie. Jedná se tedy o spolupráci s jiným systémem k pokrytí spotřeby podle aktuálního zatížení. Na pokrytí spotřeby nemusí KJ spolupracovat jen s jinými výrobními systémy, ale může být paralelně<sup>5</sup> připojena k elektrizační soustavě (dále jen „ES“) a pro pokrytí elektrického

---

<sup>5</sup> Paralelní připojení zdroje energie do sítě je možné, pokud jsou splněny podmínky, které jsou kladeny provozovateli ES.

zátížení využít síť. Dále je také možné do sítě dodávat energii, pokud ji nelze jinak uplatnit. U KJ musí být vzhledem k pokrytí zátěže například myšleno i na stav, kdy je potřeba dodávat určitý elektrický výkon, ale pro tepelný výkon není v tu chvíli uplatnění. Tento tepelný výkon musíme v tom případě být schopni odvést nebo využít jinak.



Obr. 2.5 -Modulové (vlevo) a stavebnicové (vpravo) konstrukční provedení KJ (převzato z [7])

## 2.3 PALIVA PRO KOGENERACI

Palivo pro kogeneraci se získává zejména z primárních zdrojů. Získávání může představovat určitý výrobní proces, ze kterého na konci získáme palivo v požadované formě, ale také jsou primární zdroje, které mohou přímo palivo představovat. Tím mohou být například druhotné zdroje<sup>6</sup>. Třetí formou energie využívanou pro výrobu energie jsou obnovitelné zdroje, u kterých nás z pohledu energetiky zajímá nejvíce biomasa a solární energie. Po získání paliva v potřebné formě prochází úpravou k dosažení potřebných parametrů před použitím v KJ. Jedná se o úpravy, které obecně vedou ke zlepšení jakostních ukazatelů paliva (více popsáno v kapitole 2.2 Kogenerační technologie). Palivo je nejzásadnějším prvkem celé KJ. Druh paliva, který bude využit pro navrhovanou KJ, ovlivňuje celkové technologické provedení. Zároveň je časté, že druh paliva je jedna z prvotních podmínek před návrhem, a tedy výrazně ovlivňuje celkový návrh. Pokud není v počátku návrhu požadavek na konkrétní palivo, tak je jeho výběr dále určen kogenerační technologií, technickými, provozními, ekonomickými a ekologickými požadavky, a to za účelem nejvhodnějšího energetického využití.

---

<sup>6</sup> Jedná se o paliva získávaná z odpadních surovin jiných výrobních řetězců.

Energetické využití paliva je jedním z rozhodujících faktorů při vyhodnocování možnosti instalace a provozu KJ.

V podkapitolách níže je provedeno základní rozdělení používaných paliv, popis jejich jakostních, ekonomických a environmentálních parametrů a vlastností. Využito k tomu bylo literatury [1] v kombinaci s [8] a studijních materiálů získaných v průběhu studia.

### 2.3.1 ROZDĚLENÍ PALIV

Způsoby, jak rozdělit používaná paliva v energetice, je mnoho. Nejčastější rozdělením je podle:

- skupenství (tuhá, kapalná, plynná),
- původu (přírodní, umělá),
- stáří (fosilní, vzniklá ve vzdálenějších geologických obdobích, recentní, vznikající v současné době jako dřevo, biomasa aj.),
- stupně úpravy (těžná či surová, zušlechtěná, přepracovaná),
- dostupnosti (komerční, nekomerční).

Jedná se komplexní rozdělení všech používaných paliv z vícero úhlů pohledu. Nelze nyní rozepsat každou kategorii s přesným vyčleněním, co do každé zapadá, jelikož určitá paliva zapadají do více kategorií. Dále jsou v textu popsána základní používaná rozdělení v praxi. Nejrozšířenější je **rozdělením podle skupenství**, kterým dostáváme paliva tuhá, kapalná a plynná.

- Do **tuhých paliv** řadíme dřevo (přírodní nekusové, přírodní kusové, ve formě briket, štěpky, pilin a dalších produktů), černé uhlí, hnědé uhlí, rašelinu (rašelinové brikety, palivová rašelina), koks, polokoks, tuhá paliva odpadní (TKO – tříděné komunální odpady, různé průmyslové odpady) a biomasu. V porovnání se zbylými skupenstvími mají tuhá paliva obecně menší energetický obsah, což znamená, že je potřebný větší objem pro získání určitého množství energie. Energie je z tuhých paliv získávána spalováním (oxidací) a ideálním případem by bylo, abychom po procesu spalování z daného tuhého paliva získali pouze uvolněnou energii v podobě tepla, ovšem tuhé látky obsahují velké procento neoxidačních příměsí a látek, které znečišťují životní prostředí.

Tyto látky nesmějí být vypouštěny do ovzduší<sup>7</sup> a je potřeba je po oxidaci paliva ze spalovacího prostoru odvést do prostor, kde jsou ukládány, a popřípadě dále využívány. Z pohledu KJ to s sebou přináší vyšší náklady jak na realizaci, tak na provoz.

- **Kapalná paliva** představují kapalné produkty vzniklé zpracováním zemního plynu, plynový olej, střední olej, těžký topný olej, methanol nebo ethanol (a jiné čisté kapalné uhlovodíky), kapalné produkty vzniklé zpracováním uhlí, ropy a oleje (syntetické a dehtové oleje). Tyto typy kapalných paliv mají i své obchodní názvy jako benziny, nafta, bionafta (MEŘO – metylester kyselin řepkového oleje), topné oleje (ELTO, LTO, TTO), zkapalněný zemní plyn (LNG – liquefied natural gas), zkapalněný propan-butan (LPG – liquefied petroleum gas). Jedná se o paliva s vysokým energetickým obsahem, u kterých vzniká vlivem oxidace podstatně méně emisí než u tuhých paliv, což se promítá jak do pořizovacích, tak do provozních nákladů KJ. Na druhou stranu mají vyšší nároky a požadavky na bezpečnost při skladování a manipulaci než paliva tuhá, což se také promítá do nákladů. Dále jsou to paliva, která mají vysoké užité vlastnosti a k dokonalému spálení potřebují minimální přebytek vzduchu.
- **Plynnými palivy** jsou plynné produkty vzniklé zpracováním zemního plynu, uhlí, ropy a oleje, zemní plyn, propan nebo butan, popřípadě jejich směsi a jiné čisté plynné uhlovodíky, koksárenský plyn, degazační plyn (plyn uvolněný při těžbě uhlí), vysokopecní plyn, konvertorový plyn, bioplyn, plyn z rafinerií, syntézní plyn a jiné průmyslové plyny s obsahem síry do 0,1 %. Při správném spalování nedochází ke vzniku emisí pevných nezoxidovaných částic ve formě sazí a celkově jsou při spalování nižší emise nežádoucích látek než u tuhých paliv. Parametry plynných paliv se mění se stavovými podmínkami. Jmenovité parametry jsou brány při stavových podmínkách  $p_n = 1,01325 \cdot 10^5$  Pa,  $T_n = 273,15$  K. Jedním z nejvyužívanějších plynných paliv je zemní plyn. Zemní

---

<sup>7</sup> Zároveň jsou Zákonem č. 201/2012Sb. dány minimální emisní požadavky, které mohou při spalování vzniknout. Určují, v jakých množstvích může být zdrojem vypouštěno emisí do ovzduší.

plyn<sup>8</sup> je směs plynných uhlovodíků s proměnnou příměsí neuhlovodíkových plynů. Jeho hlavní složkou je metan  $CH_4$ . Uhlovodíky jsou nejvýhodnější hořlavinou v plynných palivech.

Dále je často využívané rozdělení podle stáří a původu na paliva fosilní, obnovitelná, alternativní paliva, a dále také na přírodní a umělá. Přírodní paliva zastřešují většinu doposud zmíněných paliv, a i paliv níže rozebíraných. Umělá paliva vznikají úpravou přírodních paliv za účelem zlepšit jejich vlastnosti či užité možnosti (brikety z uhlí, uhelný prášek, destilační produkty z ropy a zkapalněného uhlí, plyny vzniklé odplyněním).

- **Fosilními palivy** označujeme všechny látky, které nejspíše vznikly v době prvohor a druhohor z biomasy či organismů za nepřístupu vzduchu. Při slučování s kyslíkem uvolňují tepelnou energii. Mají vysoký energetický obsah a jsou jimi například antracit, černé uhlí, hnědé uhlí, lignit, rašelina, živičné břidlice, ropa a zemní plyn.
- **Obnovitelná paliva** se získávají z biomasy, což je organická hmota rostlinného a živočišného původu. Jsou považována za obnovitelná, jelikož pro jejich vznik je postačující maximálně doba srovnatelná s délkou lidského života. Do této kategorie spadají fyto-paliva, což jsou paliva rostlinného původu vzniklá fotosyntézou (rychle rostoucí dřeviny, triticales, sláma apod.). Fyto-paliva obsahují velké množství vody, čímž mají značně proměnlivou výhřevnost. Dále mají v porovnání s fosilními palivy energetický obsah v hmotnostní jednotce srovnatelný, ale v objemové jednotce značně nižší. Do kategorie obnovitelných paliv patří také biopaliva, která vznikají například v potravinových výrobních řetězcích jako kejda při chovu zvířat apod., dále také rostlinné oleje, bioetanol a bioplyn nebo procesní plyn ze zplyňování biomasy.
- **Alternativním palivem** je například vodík nebo jaderné palivo (syntéza lehkých jader). Jedná se o paliva, která jsou spíše ve stadiu ověřování možnosti využití. Snahou je získat palivo v dostatečném množství

---

<sup>8</sup> Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn, bez barvy, bez zápachu a bez chuti. Je lehčí než vzduch a je jedovatý.

z výkonného zdroje bez velkého vlivu na životní prostředí. U těchto paliv jsou aktuálně vysoké výrobní náklady a nepatří k běžně používaným.

Poslední rozdělení je možné provést **podle dostupnosti**. Dostupnost paliva je dána možnostmi pořízení na trhu, což je ovlivněno jak zásobou daného paliva, tak politikou. Politikou z pohledu místa, odkud je palivo získáváno a vztahům vůči okolí, kam má být dané palivo dováženo. Zdroje, ze kterých jsou paliva získávána, se nevyskytují rovnoměrně po celém světě, a proto je nutné určitá paliva dovážet. V České republice máme k dispozici v největší míře hlavně uhlí. Spalování uhlí má ovšem ve výrazné míře vymizet a v aktuální době by se mělo přecházet na paliva, která mají menší negativní vliv na životní prostředí při svém spalování. To znamená, že dostupnost daného paliva může v podmínkách České republiky hrát významnou roli při návrhu KJ.

### 2.3.2 JAKOSTNÍ PARAMETRY A VLASTNOSTI PALIV

Znalost jakostních parametrů paliv je zásadní pro posouzení a rozhodování o bezpečném, ekologickém a hospodárném spalování příslušného paliva. Jedná se zejména o parametry vyjadřující chemické, fyzikální a energetické vlastnosti paliva i jeho důležitých složek, především hořlaviny, nespalitelných prvků a vody.

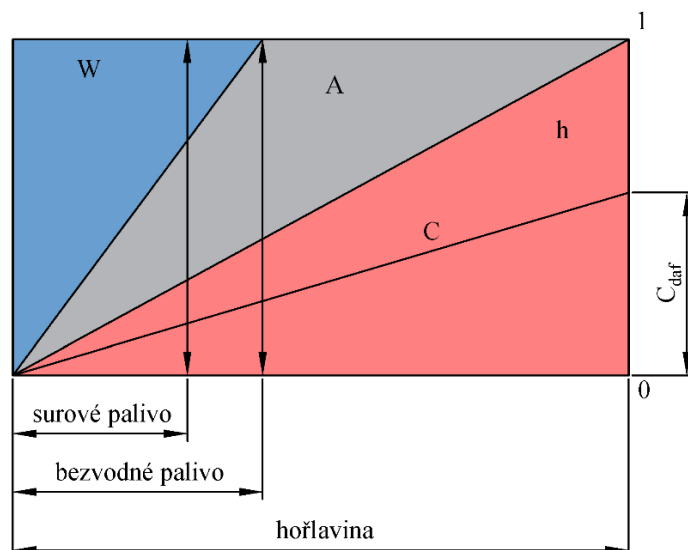
**Chemické vlastnosti** paliva představují schopnost paliva reagovat s kyslíkem neboli reaktivitu. Reaktivita závisí na prvkovém složení paliva, které představuje procentní zastoupení jednotlivých složek v měrné jednotce (m. j.). Celkově lze složení paliva zapsat jako:

$$NV_{daf} + V_{daf} + A + W = 100 \quad [\%; \%] \quad (2.1)$$

kde  $NV_{daf}$  je část hořlaviny, která se uvolní z paliva ve formě plynných látek a na neprchavý pevný zbytek,  $V_{daf}$  představuje podíl prchavé hořlaviny<sup>9</sup> (podíl paliva prchající při zahřívání na stanovenou teplotu bez přístupu vzduchu),  $A$  jsou nespalitelné prvky v palivu a  $W$  je obsah vody. Grafické zobrazení složení paliva je na Obr. 2.6 níže.

---

<sup>9</sup> Do obsahu prchavé hořlaviny se nepočítá voda.



Obr. 2.6 - Složení paliva (převzato z [1])<sup>10</sup>

Z rovnice 2.1 i obrázku 2.6 je patrné rozložení paliva na hořlavinu, nespalitelné prvky a vodu. Jedná se o hlavní tři složky neupravených paliv.

- **Hořlavina  $h$**  je tvořena pěti prvky reagujícími s kyslíkem. Jedná se o uhlík  $C$ , vodík  $H$ , síru  $S$  (pouze spalitelná síra, označovaná jako síra prchavá, nikoli síra nespalitelná, tzv. síra síranová), dusík  $N$  a palivový kyslík  $O$ . U plynných paliv se hořlavina skládá z hořlavých plynů a nevyskytuje se v ní palivový dusík. Nespalitelné prvky jsou inertní plyny a vodní pára. Složení hořlaviny z popsaných prvků určuje energetické a environmentální parametry paliva. Uhlík je obsažen v palivu ve formě organických sloučenin (uhlovodíků) a je hlavním nositelem tepelné energie. Při dokonalém spalování vytváří  $CO_2$  a v případě nedostatku okysličovačla vytváří  $CO$ . Vodík v porovnání s uhlíkem vyvine při hoření odhadem čtyřikrát více tepla na m. j., což má příznivý vliv na energetickou hustotu v palivu. Ovšem celkový podíl vodíku v palivu je dán vodíkem vázaným  $H_v$  a vodíkem nezadaným  $H_n$ , kde  $H_v$  nepřispívá k výhřevnosti paliva. Síra v palivu sice zvyšuje výhřevnost, ale je v palivu nežádoucí vzhledem k ochraně ovzduší (povolenou procentní hodnotu síry v palivech udává zákon o ochraně

<sup>10</sup>  $C_{daf}$  představuje obsah uhlíku v hořlavině.

ovzduší [22]). Dusík snižuje výhřevnost paliva, jelikož snižuje obsah ostatních možných prvků v palivu a při reakci hoření zcela přechází do spalín. Dále se také podílí na vzniku oxidů dusíku označovaných jako  $NO_x$ . Jedná se buď o oxidy přímo životu nebezpečné, nebo následně dochází po reakci s vodou k vzniku vysoce korozivních kyselin a jsou také limitovány zákonem o ochraně ovzduší [22]. Pojmy jako energetický obsah a výhřevnost jsou vysvětleny níže v textu (odstavec „Energetické vlastnosti“).

- **Nespalitelné prvky A** nereagují s kyslíkem a v procesu spalování jsou pouze ohřívány. Jedná se tedy prvky, které jsou v palivech nežádoucí, a ideální palivo tyto prvky neobsahuje. U tuhých paliv se nazývají popeloviny a společně s vodou tvoří část paliva nazývanou přítěž. Následně je po spalovacím procesu nutné odvést tuhé zbytky ze spalovacího prostoru, což představuje technologické, energetické a finanční problémy promítající se do nákladů. Ztrátu vlivem nedokonalého spálení paliva je možné snížit odvodem tuhých zbytků v tekutém stavu, k čemuž je potřeba zahřát popeloviny nad bod tavení. U plyných paliv je nehořlavou složkou například  $CO_2$ . Dále mohou být v různých druzích paliv obsaženy například anorganické látky, těžké kovy apod.
- **Voda W** je stejně jako nespalitelné prvky v palivu nežádoucí. Důvodem je velká tepelná kapacita. S narůstajícím obsahem vody v palivu rychle klesá jeho výhřevnost. Voda je po spalovacím procesu v plynném skupenství a energii vodních par lze následně regenerovat (u nespalitelných prvků tomu tak není). Dále je také možné pomocí vysoušení získat palivo bez obsahu vody neboli bezvodé palivo (viz obrázek 2.6).

**Fyzikálních vlastností** paliv je více, podle typu daného paliva. Vzhledem k využití v KJ je důležité zmínit měrnou hmotnost (hustotu), viskozitu, zápalnou teplotu, teplotu vzplanutí, meze vznětlivosti, spalnou teplotu a teploty fázových změn (tuhnutí, tavení, zkapalnění).

- **Měrná hmotnost  $\rho$**  je hmotnost jednotky objemu příslušné látky. Jedná se o důležitý parametr vzhledem k nárokům na skladovací prostory



u paliv, kde neprobíhá kontinuální dodávka. Velikost skladovacího prostoru je závislá na množství energie vyrobené v KJ.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}; \text{kg}, \text{m}^{-3}] \quad (2.2)$$

kde  $m$  je hmotnost a  $V$  je objem příslušné látky.

- **Viskozita** je vlastnost kapalných látek a je silně závislá na teplotě. Důležitým parametrem je z ohledu na dopravu kapalných paliv. S rostoucí viskozitou paliva roste i energetická náročnost dopravy, proto se některá paliva ohřívají nebo se do nich přidávají zředňující látky. Viskozitu lze ji rozdělit na dynamickou  $\eta$  a kinematickou  $\nu$ . Dynamická viskozita vyjadřuje odpor látky proti tečení. Základní jednotkou je Pa·s. Kinematická viskozita je dána dynamickou viskozitou vztaženou na měrnou hmotnost. Vyjadřuje míru odporu média k tečení způsobenému gravitační silou.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2\cdot\text{s}; \text{Pa}\cdot\text{s}, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (2.3)$$

- **Zápalná teplota  $t_{zap}$**  je minimální teplota, na kterou musí být zahřáta směs paliva a oxidantu, aby došlo k reakci spalování. Hodnotové vyjádření je závislé na druhu paliva a na podmínkách zapálení, ovšem platí, že  $t_{zap}$  klesá s rostoucí plochou styku mezi palivem a oxidantem. Například pro vodík je  $t_{zap} = 530 \text{ °C}$  a pro zemní plyn je  $t_{zap} = 645 \text{ °C}$ .
- **Teplota vzplanutí  $t_{vzp}$**  je nejnižší teplota, na kterou musí být zahřáta látka (kapalné palivo), aby vzniklé páry dosáhly hodnoty tlaku, při kterém tvoří zápalnou nebo výbušnou směs. Hodnotově se jedná o teplotu nižší, než je teplota zápalná. Podle teploty vzplanutí se rozdělují paliva do tříd hořlavosti kapalin od třídy I do IV. Jedná se tedy o významný požárně bezpečnostní parametr (vysoce hořlavé látky mají teplotu vzplanutí blízko pokojové teploty – třída I  $\rightarrow t_{vzp} < 21 \text{ °C}$ ).
- **Meze vznětlivosti** souvisí částečně se zápalnou teplotou. Udávají krajní hranice obsahu paliva ve spalovací směsi. V tomto rozmezí hranic pak probíhá spalování uspokojivým způsobem.
- **Spalná teplota  $t_s$**  je teplota, které lze dosáhnout spalováním daného paliva. Hodnota teploty vyplývá z prvkového složení, způsobu spalování

a druhu paliva. Při vysokých hodnotách spalné teploty dosahujeme vyšších hodnot účinnosti při nepřímé transformaci energie z paliva na elektrickou energii a vyšší kvality využitelné tepelné energie z KJ. Skutečnou spalnou teplotu je v praxi obtížné určit, vyjadřuje se tedy v podobě adiabatické spalné teploty při ideálním spalování nebo pomocí teoretické spalné teploty.

- **Teplota tuhnutí  $t_{uh}$**  se udává u kapalných látek. Vyjadřuje teplotu, při které kapalná látka přestává volně téct.
- **Teplota zkapalnění  $t_{zkap}$**  je důležitou hodnotou u plynných paliv, jelikož plyny stlačením zkapalňujeme pro lepší skladování a přepravu.

**Energetické vlastnosti paliv** lze popsat energetickými parametry. Nejzásadnější parametr je celková uvolněná energie z paliva, která se nazývá slučovací teplo. Slučovací teplo je dáno změnou entalpie, popřípadě změnou vnitřní energie při tvorbě sloučenin z hořlaviny. Lze ho určit z termochemických oxidačních rovnic. V praxi ovšem potřebujeme parametr, který je dobře měřitelný. Využívají se tedy energetické parametry jako spalné teplo, výhřevnost a energetická hustota.

- **Spalné teplo  $Q_s$**  je množství tepla, uvolněné dokonalým spálením m. j. paliva při ochlazení spalin a kondenzaci vodních par na původní teplotu. Jinak řečeno voda v palivu je zahřáta, až se přemění na vodní páru, následně zkondenzuje, čímž předá teplo, které je zahrnuto do spalného tepla. Celkově je možné spalné teplo přesně určit měřením v kalorimetrech nebo také výpočtem z prvkového složení paliva.
- **Výhřevnost  $Q_i$**  je množství tepla, uvolněné dokonalým spálením m. j. paliva a ochlazením spalin na původní teplotu. Rozdílem oproti spalnému teplu je, že u výhřevnosti neuvažujeme teplo k ohřátí a odpaření vody v palivu, a to tedy znamená, že hodnotově je výhřevnost nižší než spalné teplo. Výhřevnost lze jako spalné teplo určit pomocí výpočtu z prvkového složení paliva. Pomocí výhřevnosti je vhodnější provádět bilancování KJ, jelikož jsou paliva většinou prodávány za ceny vztažené

na hmotnost nebo objemové jednotky s garantovanou<sup>11</sup> výhřevností od výrobce. Porovnání různých paliv z pohledu výhřevnosti je provedeno v Tab. 2.1 níže.

Palivo	Výhřevnost – $Q_i$
Zemní plyn	33,48 MJ/m <sup>3</sup>
Propan	46,40 MJ/kg
Dřevo palivové	14,62 MJ/kg
Hnědé uhlí prachové – Most	11,72 MJ/kg
Černé uhlí energetické – Ostrava	29,21 MJ/kg
Lignit	8,79 MJ/kg
Komunální odpad	9,12 MJ/kg
Motorová nafta	42,61 MJ/kg

Tab. 2.1 - Výhřevnosti paliv (data vycházejí z [9])

- **Energetická hustota  $e$**  dává informaci o energetickém obsahu v m. j. paliva. Jedná se o důležitý parametr vzhledem k potřebné velikosti spalovacího a skladovacího prostoru, a také k přepravě daného paliva. Z pohledu energetického hodnocení je nejvhodnější takové palivo, které má největší energetický obsah.

Dále jsou kromě vyjmenovaných vlastností a parametrů důležité také parametry environmentální a ekonomické.

## 2.4 PRIMÁRNÍ JEDNOTKY KOGENERAČNÍCH SYSTÉMŮ

K popisu jednotlivých technologií primárních jednotek bylo využito již zmíněné knihy „Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie“ [1], a také „Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla“ [10], webu tzbinfo [5] a případně jiných internetových zdrojů odcitovaných v poznámce pod čarou. Tato kapitola je rozdělena na dvě hlavní podkapitoly, a to na primární jednotky s nepřímou transformací a na jednotky s přímou transformací.

### 2.4.1 PRIMÁRNÍ JEDNOTKY S PŘÍMOU TRANSFORMACÍ

Jak již bylo výše popsáno, jedná se o palivové články. Palivové články dělíme podle:

---

<sup>11</sup> Výhřevnost kupovaného paliva se může měnit, ale prodávající ručí za garantovanou hodnotu výhřevnosti, pod kterou nesmí skutečné hodnoty v daný okamžik klesnout.

- použitého elektrolytu,
- typu iontové vodivosti,
- pracovní teploty.

Z výše popsaných možností rozdělení je dále provedeno rozdělení pouze podle použitého elektrolytu, které naprosto postačuje k vytvoření základní představy jednotlivých typů. Aktuálně lze podle elektrolytu dělit palivové články na články s tuhými polymery (dále jen „PEMFCs“), alkalické články (dále jen „AFCs“), články s roztavenými uhličitany (dále jen „MCFCs“), články s kyselinou fosforečnou (dále jen „PAFCs“), články s tuhými oxidy (dále jen „SOFCs“) a články pro přímou reakci metanolu (dále jen „DMCFs“).

- PEMFCs mají jako elektrolyt tuhý organický polymer. Membrána je vodivá pro protony, z čehož vychází zkrácený název PEM – Proton Exchange Membrane. Zbylé označení FCs představuje „Fuel Cells“, což po překladu znamená: „Palivové články“. Tento typ palivového článku je jedním z nejvyvinutějších a nejběžněji používaných. Mezi výhody tohoto typu palivového článku patří vysoký poměr vyrobené energie k hmotnosti a rychlý náběh při použití vodíku. Soubor palivových článků funguje při mírné teplotě 80 °C a má účinnost kolem 50 %. Nevýhodami jsou vysoké výrobní náklady a složitý systém regulace vody. U těchto palivových článků je potřebné sledování teploty a dodávání kyslíku, což vyžaduje kompresory, čerpadla a další doplňky, které spotřebovávají určitou část energie. Při použití paliva o nižší čistotě (chemická čistota vodíku) může docházet k rozpadání a ucpávání membrány. K dosažení palivového článku o výstupní napětí 150 V je zapotřebí soubor 250 článků, s čímž je spojeno i obtížné zkoušení a oprava tohoto souboru článků. Dále je nutné zajistit, aby nedošlo k zamrznutí vody. Tyto články mohou být využity v autech (s životností 2 000 až 4 000 hodin) a ve stacionárních využitích (s životností až 40 000 hodin). Stárnutí palivových článků je podobné jako u baterií a s postupem času spíše dochází k postupnému poklesu výkonnosti, než aby došlo k okamžité nefunkčnosti.
- AFCs pracují s alkalickým elektrolytem (A – alkaline) tvořeným zpravidla zředěným hydroxidem draselným (KOH). Výrobní a provozní

náklady tohoto typu palivového článku jsou v porovnání s ostatními typy nízké. Nejsou zde vyžadovány kompresory ani jiná zařízení k regulaci vody. Účinnost se pohybuje kolem 60 %. Mezi nevýhody tohoto typu patří větší rozměry článků než například článek typu PEM a jako palivo je potřeba čistý kyslík a vodík. Čistým kyslíkem je myšleno, že i obsah oxidu uhličitého v lokální atmosféře města může články poškodit. Tento typ palivových článků si našel využití v oblasti letectví a kosmonautiky.

- MCFCs<sup>12</sup> mají jako elektrolyt roztavené uhličitany (v angličtině „molten carbonate“, z čehož je zkratka MC). Jedná se o palivové články, které pracují na vysoké teplotě 600 °C a výše. S vysokou provozní teplotou přichází i výhoda v podobě katalyzátoru na anodě a katodě z nevzácných kovů, čímž se snižují náklady. Tento typ článků byl vyvinut za účelem využití zemního plynu a bioplynu ze zplyňování biomasy jako paliva. Využití je možné v elektrotechnických, vojenských a průmyslových aplikacích o velkých výkonech. Účinnost může být dosažena kolem 50 % a v případech využití odpadního tepla se celková účinnost využití paliva pohybuje kolem 85 %. V porovnání s AFCs, PEMFCs a PAFCs nevyžadují MCFCs externí reformátor k přeměně paliv o vyšší energetické hustotě na vodík, jelikož se kvůli vysoké provozní teplotě zmíněná paliva samovolně přeměňují na vodík procesem zvaným vnitřní reformování, což také snižuje náklady. Dále je tento typ palivových článků odolnější vůči nečistotám a mohou využívat dokonce jako palivo i oxid uhličitý. Využití je proto možné u elektráren na fosilní paliva k elektrochemickému oddělování oxidu uhličitého ze spalin. Největší nevýhoda je aktuálně odolnost a životnost vzhledem k vysoké provozní teplotě a korozivnímu elektrolytu.
- PAFCs<sup>13</sup> používají jako elektrolyt kyselinu fosforečnou ( $HPO_3$ ). Anoda a katoda jsou z uhlíku s vrstvou platinového katalyzátoru. V porovnání ostatními články dosahují nižších účinností kolem 40 %, ale v případech využití i odpadního tepla pro kogeneraci je možné se dostat s účinností

---

<sup>12</sup> K popisu tohoto typu palivového článku bylo využito webu [26]

<sup>13</sup> Pro popis tohoto typu palivového článku bylo vycházeno z webu [27] a [28]

využití paliva až k 80 %. Provozní teplota článků je kolem 180 °C. Využití těchto článků je možné ve velkých vozidlech, jako jsou autobusy, a také k napájení komerčních prostor. Obecně se jedná o použití v oblastech středních a velkých výkonů. Tento typ palivového článku byl první komerčně prodáváný a jedná se tedy spíše o model minulosti. K prvnímu využití těchto článků došlo kolem roku 1960.

- SOFCs pracují s elektrolytem tvořeným z oxidů vybraných kovů. Jedná se o typ palivového článku, jehož provozní teplota byla v minulosti až k 1 000 °C. Nyní se s novou generací keramických materiálů dostáváme k provozním teplotám kolem 500 – 600 °C, což umožňuje využití levnějších materiálů pro pomocné díly. V porovnání s MCFCs, PAFCs jsou SOFCs nejméně vyvinutým typem. Vysoká provozní teplota opět přináší výhodu přímého uvolnění vodíku ze zemního plynu. U tohoto typu je možné dosáhnout účinnosti až 60 %, což je jedna z nejvyšších mezi palivovými články. Výkonově se pohybují v oblasti středních a velkých výkonů. Nevýhodou je potřeba neobvyklých materiálů, které zvyšují výrobní náklady a zároveň snižují životnost.
- DMFCs jsou palivové články pro přímou reakci metanolu (neboli v angličtině direct methanol, z čehož plyne zkratka DM). Jedná se o přenosné palivové články s dobrými elektrochemickými vlastnostmi. Ke své funkci nepotřebuje stlačený vodíkový plyn, palivo je uloženo v zásobníku, který se celý mění nebo případně doplňuje, což umožňuje nepřetržitý provoz. Využití je možné pro přenosné, mobilní i stacionární použití, ovšem mimo kogenerační způsoby využití. Účinnost se pohybuje kolem 20 %.

Obecně jsou palivové články zdrojem energií, který má už od 90. let předurčen velkou budoucnost. Jedná se totiž o čistý zdroj, který má nevyčerpatelné palivo, a to vodík. A právě zmíněný vodík je doposud největším problémem celé technologie. Vodík nelze jednoduše čerpat ze země jako třeba ropu, ale je potřeba ho vyrobit. Výroba vodíku je aktuálně možná z fosilních paliv, což je ale v porovnání s prostým spálením fosilního paliva nákladný proces. Do doby, než se přijde s novými a lepšími způsoby získání vodíku, nedá se předpokládat, že palivové články naplní původní velká očekávání

a jejich využití bude spíše v automobilovém průmyslu a podobných využitích než využití pro předurčenou čistou velkovýrobu energií.

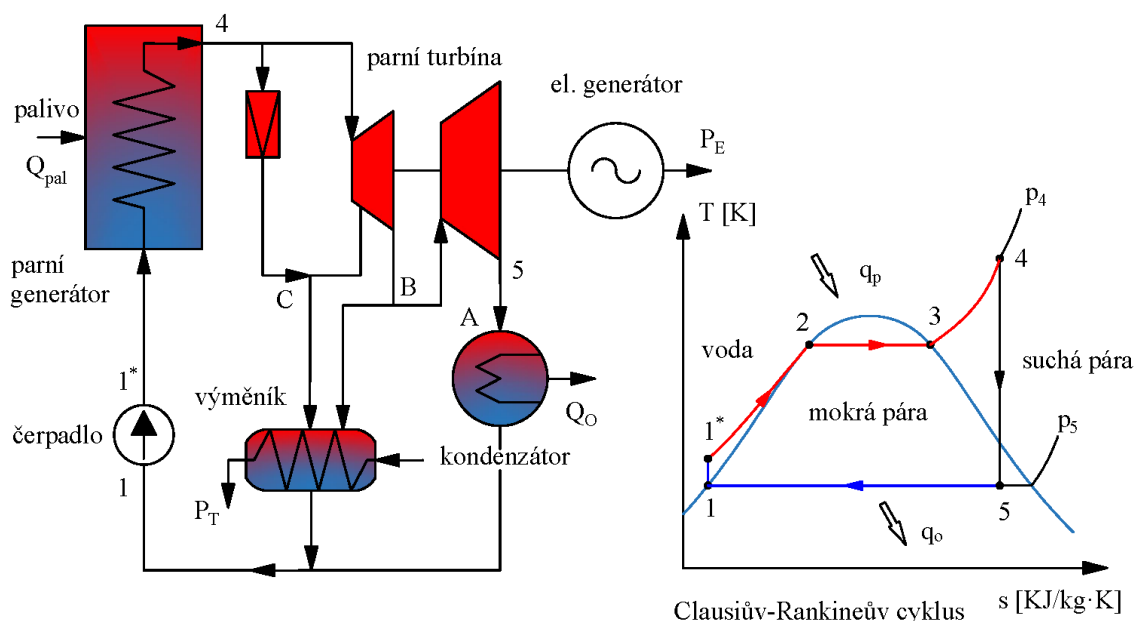
## 2.4.2 PRIMÁRNÍ JEDNOTKY S NEPŘÍMOU TRANSFORMACÍ

Narozdíl od primárních jednotek s přímou transformací je u jednotek s nepřímou transformací více technologií, kterými lze nepřímou transformaci provést. Jak již bylo výše v práci zmíněno, tak primární jednotky s nepřímou transformací dělíme na primární jednotky s vnějším a vnitřním spalováním.

**Vnější spalování** je využito u KJ s parní turbínou (dále jen „PAT“), plynovou turbínou (dále jen „PLT“), miktroturbínou (dále jen „MT“), organickým Rankineovým cyklem (dále jen „ORC“) a Stirlingovým motorem (dále jen „STM“).

- **PAT** je točivý stroj přeměňující část energie vstupní (admisní) páry na mechanickou práci. PAT je tvořena statorovou částí a rotorovou částí. Statorová část turbíny je tvořena statickými rozváděcími koly pro usměrnění toku přiváděné páry. Tok je usměrňován na rotorovou část tvořenou z vhodně natočených lopatek pro roztočení této rotorové části a zároveň i rotoru generátoru, který následně vyrábí elektrickou energii. Zmíněná pára, která vstupuje do turbíny, v ní postupně expanduje a ve spojení s transformací části její energie na mechanickou práci rotoru klesá její tlak a teplota, zároveň se zvětšuje i její objem. PAT lze dále dělit na kondenzační, odběrové a protitlaké. O jaký typ PAT se jedná, rozhoduje tlak na posledním stupni turbíny. V případě, že expanze je ukončena při tlaku vyšším jak atmosférickém (teplota výstupní páry je vyšší jak 100 °C), nazýváme PAT jako protitlakou. Pára výstupu má tedy relativně vysoké parametry a lze ji například dále využít pro ohřev teplé vody pomocí výměníku (viz obrázek 2.7 níže, kde by u výstupu A nebyl kondenzátor, ale například výměník tepla pro teplárenské využití). Tento typ PAT se využívá primárně pro dodávku tepelné energie a výroba elektrické energie je na odběru tepelné závislá. Zároveň také platí, že čím jsou vyšší emisní (výstupní) parametry páry na výstupu z PAT, tím je menší podíl vyráběné elektřiny vůči dodávkám tepla. U odběrových PAT je princip stejný, změna nastává v tom, že během expanze páry je v určitých úrovních turbíny, tam, kde jsou ještě dostatečné teplotní a tlakové parametry pro teplárenské využití, proveden odběr této páry a zbylá část pokračuje v expanzi. Na obrázku 2.7 je tato varianta zobrazena

výstupem C, který směřuje do výměníku s odběrem tepelného výkonu  $P_T$ . Do tohoto výstupu C je proveden odběr nejen z turbíny, ale i přímo přehřáté páry za parním generátorem. Takovéto odběry se nazývají regulované. Pro kondenzační turbíny platí, že kondenzátor je zapojen přímo za parní turbínou a výstupní pára z turbíny nemá parametry pro teplotní využití, což znamená, že je upřednostňovaná výroba elektrické energie. Na obrázku 2.7 níže by tomu odpovídalo zapojení s výstupem páry jen cestou A. V praxi bývá obvyklé rozdělovat PAT i pouze do dvou druhů než do tří výše popsaných, jelikož kondenzační PAT může být současně odběrovou. Záleží na aktuálních požadavcích odebíraného tepla, které může být i nulové, a pak se jedná o popsanou kondenzační PAT, v případě odběrové turbíny. K tomu, aby všechny druhy PAT fungovaly, jak mají, potřebují řadu dalších zařízení, díky kterým funguje celý TO, jehož je PAT součástí. K popisu TO u KS s PAT se využívá Clausiův-Rankineův cyklus (dále jen „C-RC“), který je zobrazen na obrázku 2.7 i s jednotlivými zařízeními v technologickém schématu níže.



Obr. 2.7 – Technologické schéma s TO - parní turbína (volně z [1] a [11])<sup>14</sup>

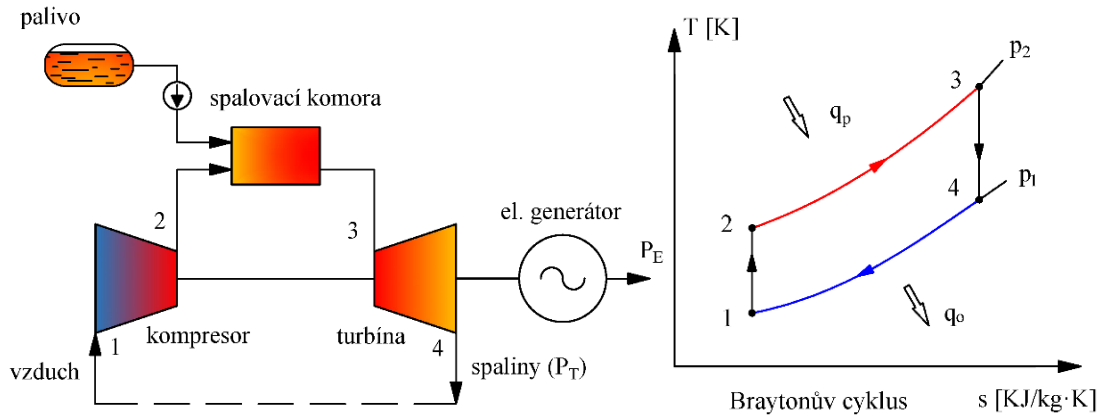
Výše zmíněná pára vstupující do parní turbíny se vytváří v parním generátoru, kde dochází spalováním paliva k předávání tepelné energie vodě o vysokém tlaku vytvořeném čerpadlem, čímž dochází ke změně jejího skupenství na páru.

<sup>14</sup> V TO značí  $q_p$  měrné přivedené teplo a  $q_o$  měrné odvedené teplo se základní jednotkou [J/kg].



V C-RC se jedná o body 1\* až 3, z bodu 3 do bodu 4 se dostáváme přehřátím již vzniklé páry. Celkově se v rozmezí bodů 1\* až 4 do TO teplo přivádí, a následně je tato přivedená energie částečně transformována na práci v turbíně, kde dochází, k již zmíněné expanzi páry, což je v C-RC zobrazeno mezi body 4 až 5. Dále v C-RC mezi body 5 až 1 nastává kondenzace páry a z TO je teplo odváděno, což představuje  $q_0$ . Mezi body 1 a 1\* je do TO dodávána práce čerpadlem, takže dochází ke stlačení kondenzátu. Následně se celý popsany proces cyklicky opakuje. Zobrazený a popsany C-RC odpovídá kondenzační PAT (v levé části obrázku 2.7 se jedná o zapojení bez výstupních cest B a C). Výkonový rozsah používaných PAT je v rozmezí 1 000 kW<sub>E</sub> až 250 MW<sub>E</sub>. Hodnota tepelného výkonu, který lze odebírat, je vyšší u protitlakých turbín. Termodynamické účinnosti turbín se pohybují od 65 % (malé jednotky) do 90 % (jednotky velkých výkonů). Účinnost roste s vyššími parametry páry, ale zároveň s nimi rostou i investiční a provozní náklady parního generátoru. Celková účinnost závisí na typu provozu turbíny, kde u protitlakých oběhů lze dosáhnout až 85 % (s účinností výroby elektrické energie kolem 25 % a tepelné kolem 60 %). U odběrových turbín se maximálně dosahuje celkové účinnosti kolem 60 %. Životnost turbín je při správném provozu a údržbě velmi dlouhá (až 50 let). PAT se nejčastěji využívají jako zdroje ve velkých teplárnách zásobující rozsáhlé systémy CZT, nebo v závodových teplárnách s kontinuální potřebou tepla a elektrické energie.

- **PLT** je točivý stroj složený ze tří částí. První částí je axiální kompresor, který nasává a stlačuje venkovní vzduch. Stlačený vzduch je dále veden do spalovací komory, kde je ohříván vlivem hoření paliva, čímž má snahu zvětšovat svůj objem neboli expandovat. Expanze vzduchu je umožněna ve třetí části turbíny, která je tvořena řadami lopatek, kde dochází k transformaci energetického potenciálu stlačeného vzduchu na mechanickou práci. Následně ze třetí části PLT vystupují spaliny o relativně vysoké teplotě (450 až 570 °C), které mohou být využitelné pro teplárenské účely, technologické účely, nebo pro rekuperaci tepla (ohřev topné vody, výroba páry apod.). Jako u PAT, tak i zde se jedná o TO, který se v tomto případě nazývá Braytonův cyklus, který je i s technologickým blokovým zapojením zobrazen na obrázku 2.8 níže.

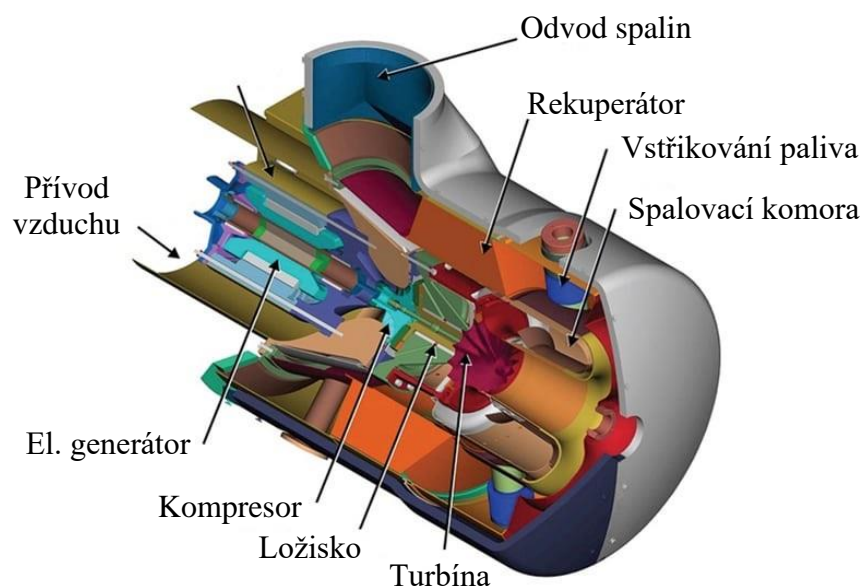


Obr. 2.8 - Technologické schéma s TO - plynová turbína (volně z [1] a [11])

Výkonový rozsah PLT se pohybuje od stovek  $\text{kW}_E$  až po výkony přes  $200 \text{ MW}_E$ . Elektrický výkon, a i elektrická účinnost jsou závislé na teplotě a tlaku nasávaného vzduchu. Čím nižší je teplota a vyšší tlak vzduchu, tím vyšší je elektrický výkon a naopak. Tepelná účinnost PLT je závislá na tlakovém poměru  $p_1$  a  $p_2$  (viz obrázek 2.8 výše), ale dále také na venkovní teplotě, teplotě vzduchu vstupujícího do spalovací komory, účinnosti kompresoru a ostatních turbínových zařízení, využití regenerace atd. U turbín o nižších výkonech (1 až  $10 \text{ MW}_E$ ) se pohybujeme s celkovou účinností kolem 80 % (účinnost výroby elektrické energie je kolem 30 % a účinnost výroby užitného tepla kolem 60 %) a u velkých turbín (50 až  $240 \text{ MW}_E$ ) se celková účinnost blíží k 90 % (účinnost výroby elektrické energie je kolem 40 % a účinnost výroby užitného tepla kolem 60 %). Životnost PLT se pohybuje v rozmezí 25 000 až 50 000 hodin. Závisí na způsobu provozu a údržby s dodržováním servisních intervalů a výměnou určitých komponent. Mezi hlavní výhody PLT patří možnost rychlého njetí, odstávky a malé nároky na prostorovou a stavební připravenost. Hlavními nevýhodami je spalování poměrně ušlechtilých paliv a vysoké nároky na kvalitu obsluhy a údržby. Využívají se zejména ve velkých průmyslových závodech s nepřetržitou potřebou elektřiny a tepla, ve výrobních a zpracovatelských podnicích s potřebami technologické páry nebo horkého vzduchu.

- **MT** označuje vysokootáčkové PLT o elektrickém výkonu 10 až  $100 \text{ kW}$ . Stejně jako PLT pracují s Braytonovým cyklem. Vzhledem k vysokým otáčkám (pohybují se kolem  $100\,000 \text{ ot/min}$ ) musí být použit vysokofrekvenční generátor s následnou úpravou elektrických parametrů vyráběné energie. Konstrukční řešení může být provedeno na společné hřídeli nebo dvouhřídelovým

uspořádáním. U dvouhřídelového uspořádání je na jednom hřídeli umístěn kompresor o vysokých otáčkách a na druhé hřídeli turbína s generátorem, což vede k tomu, že u tohoto uspořádání není potřebná úprava elektrických parametrů vyráběné energie. Častější ale bývá jednohřídelové uspořádání. Na rozdíl od velkých PLT pracují MT s radiálním prouděním pracovního média, což vede při malých výkonech právě k úspoře místa, menším ztrátám sáláním a větší účinnosti. Dále se pro zvýšení účinnosti využívá přehřevu spalovacího vzduchu pomocí rekuperátoru. Teplo na výstupu z MT je využíváno například ve výměníku pro ohřev teplonosného média. Elektrická účinnost MT se pohybuje kolem 25 až 30 %. Celková účinnost může být až 80 %. Mezi hlavní výhody MT patří kompaktnost, nízká hmotnost, vysoká provozní flexibilita a spolehlivost. Hlavní nevýhodou MT je vysoká cena v porovnání například s technologiemi využívajícími spalovací motory.

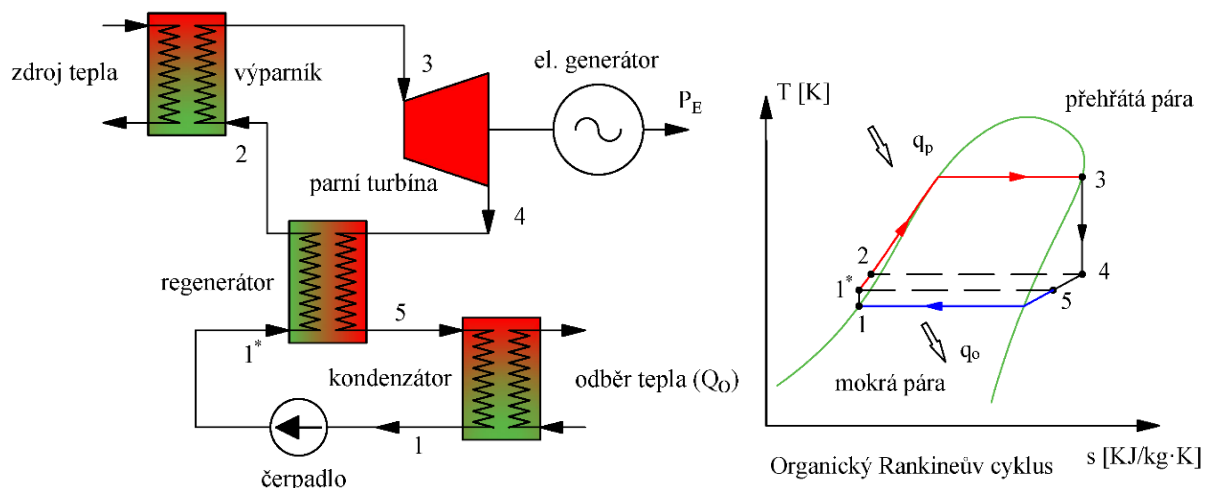


Obr. 2.9 - Řez mikroturbínou (převzato z [12])

- **ORC** je perspektivní technologie, obzvláště ve spojení se spalováním biomasy (myšleno pro Českou republiku<sup>15</sup>). Už z názvu plyne spojitost s již zmiňovaným C-RC. Rozdíl oproti C-RC u PAT a ORC je v použití pracovní látky, kde u PAT se jednalo o vodu (respektive vodní páru) a u ORC jsou to organické sloučeniny (termoolej, alkaný, freony, aromatické uhlovodíky, silikonové látky atd.).

<sup>15</sup> V jiných zemích s lepšími podmínkami může ORC využívat geotermální energii, solární energii, tepelnou energii oceánů, odpadní energii, atd.

Organické sloučeniny je vhodné využít při nízkých teplotách dosahovaných tepelných zdrojem a u nízkých výkonů turbín. Výhodou organických látek je, že expanze nasycených par probíhající v turbíně se nedostává do oblasti mokrých par. Po expanzi v turbíně je zbylá část přehřáté páry organické sloučeniny regenerována zpět do TO pomocí regenerátoru. V kondenzátoru je látce odebráno výparné teplo, které je užitečně využíváno. Na obrázku 2.10 níže je zobrazeno technologické schéma ORC s TO.

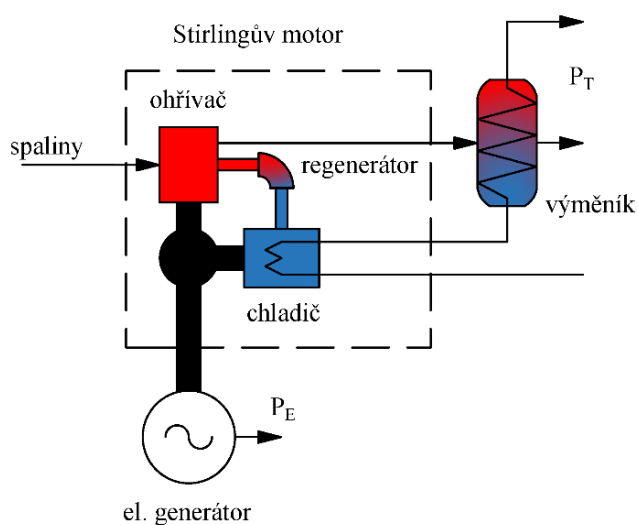


Obr. 2.10 - Technologické schéma s TO - ORC (volně z [1] a [13])

ORC jsou dodávány v modulárním uspořádání o výkonovém rozsahu 200 až 1 500 kW<sub>E</sub>. Pro vyšší výkony lze jednotlivé jednotky řadit paralelně. ORC jsou vhodné zejména pro dodávku tepla podobně jako protitlaké PAT. Z pohledu dodávky tepelné energie se u ORC jedná o nízkopotenciální teplo, které lze využít v lokálních teplárenských sítích. Dále je také při spalování biomasy ORC využitelné pro dodávku tepla pro technologické účely, jako například sušicí procesy. Elektrická účinnost se pohybuje kolem 15 až 20 %. Celková účinnost dosahuje hodnot kolem 85 %.

- **STM** je pístový motor s vnějším spalováním. Tyto motory se od ostatních pístových strojů odlišují především tím, že mají dva trvale vzájemně propojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou. Pracují s uzavřeným oběhem pracovní látky (například helium, dusík, CO<sub>2</sub>), která je střídavě stlačována ve studeném válci (kompresní prostor) a expanduje v horkém válci (expanzní prostor). Teplo je do okruhu přiváděno přes výměník z vnějšího zdroje a je následně transformováno na technickou práci hřídele. Teplo, které není přeměněno na

technickou práci, je odváděno chladicí vodou chladiče. Plyn se přenáší z horké zóny do chladiče a zpět pomocí regenerátoru. Konstrukčně je provedení STM rozděleno na tři typy: alfa (dva válce osově souměrné), beta (dva písty v jednom válci), gama (dva písty osově nesouměrné). Z STM jsou 3 možnosti odběru tepla, a to odběr přímo z tepelného zdroje, s využitím chladicího média motoru, a teplo odcházející z ohřívače. Využitelný je ovšem pouze odběr z ohřívače nebo chladiče (viz technologické schéma na obrázku 2.11 níže). Odebírané teplo z STM má parametry závislé na typu použitého paliva. Palivo lze obecně použít jakékoliv, ale z ekonomického hlediska je vhodné využít paliva o menší kvalitě, zejména biomasu. Další možností je získávat teplo z jiných zdrojů (například využití zbytkového tepla z technologických procesů nebo z jiného transformačního řetězce). Z pohledu elektrického výkonu jsou konstruovány jednotky s STM od  $10 \text{ kW}_E$  až do  $1,5 \text{ MW}_E$ . Elektrická účinnost se pohybuje kolem 30 %. Životnost STM je odhadována na 20 let.



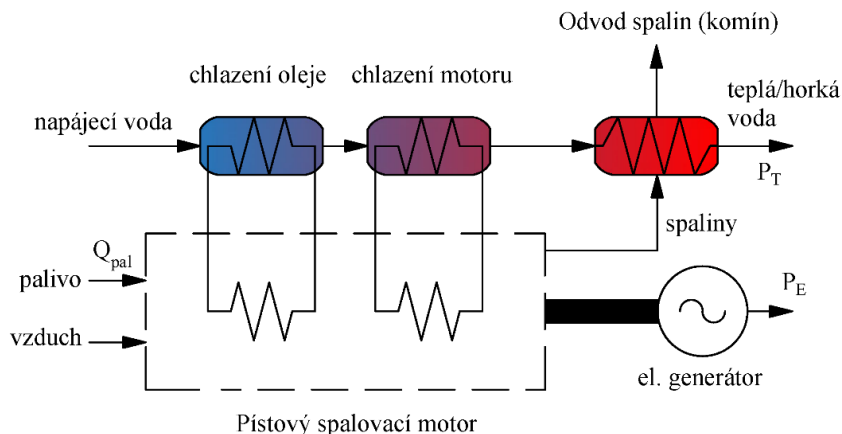
Obr. 2.11 - Technologické schéma - Stirlingův motor (volně z [1])

**Vnitřní spalování** je využíváno u pístových spalovacích motorů (dále jen „PSM“) pracujících v opakovaném plynovém cyklu. Jedná se o motory převádějící přímočarý pohyb pístů pomocí klikového mechanismu na pohyb rotační. Spalovací komora je válcová a je do ní přiváděn vzduch s palivem, nebo je do spalovacího prostoru palivo vstříkováno. Směs paliva a vzduchu je stlačena pístem a následně zapálena. Dojde k expanzi plynu, což vrátí píst tlakovou energií do původní pozice (transformace na mechanickou práci) a následně se proces opakuje. PSM jsou hojně využívány i mimo KS, jako například v dopravě a pro pohon strojních soustrojí (jedná se o motory

využívající stejný princip, ale konstrukce motorů v dopravě a pro KS je různá). Způsobů, jak PSM dělit, je více, ale hlavní rozdělení je možné provést podle způsobu zapalování paliva a podle počtu rovnoměrných pohybů použitých pro TO.

- **Podle zapalování paliva** rozlišujeme motory zážehové a vznětové. U zážehového motoru je směs paliva a vzduchu zapalována elektrickou jiskrou. TO těchto motorů se nazývá Ottův. U vznětových motorů dojde k zapálení směsi vzduchu a paliva samovolně dosažením zápalných hodnot. TO u vznětových motorů se nazývá Dieselův. Principiálně jsou oba zmíněné TO shodné a lze je pro představu připodobnit k TO zobrazeném na obrázku 2.8. Rozdílem u jednotlivých TO těchto dvou typů PSM je, že u zážehových motorů dochází teoreticky k přívodu tepla při konstantním objemu a u vznětových motorů při konstantním tlaku.
- **Podle počtu rovnoměrných pohybů** dělíme PSM na dvoutaktní a čtyřtaktní. Jedná se o počet posuvů pístů při realizaci jednoho TO. V oblasti KS se využívají zejména čtyřtaktní motory, které lépe splňují nároky na ochranu životního prostředí.

Způsob výroby elektrické energie pomocí PSM je zřejmý. Pomocí popsaného plynového cyklu dochází k transformaci energie v palivu na mechanickou práci a roztočení hřídele motoru, na kterém se nachází i elektrický generátor, který následně transformuje tuto energii na elektrickou. Způsob získávání tepelné energie nemusí být přímo zřejmý. Jedná se o princip zužitkování odpadního tepla pomocí výměníků z chlazení oleje, chlazení motoru, chlazení kompresoru spalovacího vzduchu (slouží k úpravě stavových hodnot spalovacího vzduchu) a z výfukových spalin (viz technologické schéma na obrázku 2.12 níže).



Obr. 2.12 - Technologické schéma PSM (volně z [1])

Využití odpadního tepla se provádí kaskádovitě od nejnižších teplot k nejvyšším (jak je zobrazeno na obrázku 2.12). Spaliny na výstupu z motoru mají teplotu kolem 450 až 650 °C. Teplota chladicí vody motoru se pohybuje kolem 90 až 100 °C a z celkového odpadního tepla představuje 50 % právě teplo odvedené chlazením motoru (včetně chlazení oleje). Součástí chlazení motoru může být i chlazení plnicího vzduchu za turbodmychadlem, pokud se jedná o přeplňovaný stroj. Z celkového množství odpadního tepla je možné regenerovat 70 až 80 %. Vzhledem k relativně malému podílu tepla o vysoké teplotě (pouze ve výfukových plynech) se teplo vyrábí z pravidla pouze ve formě teplé nebo horké vody. Páru lze produkovat pouze v omezené míře. Elektrická účinnost u PSM se pohybuje v rozmezí 30 až 48 %. Celková účinnost je závislá na využití odpadního tepla. Výkonový rozsah u KS s PSM je v širokém rozmezí od desítek kW<sub>E</sub> až po několik MW<sub>E</sub>. Jako palivo pro PSM můžou být využita kapalná i plynná paliva, ale u zážehových motorů je nejčastěji palivem zemní plyn. Dále jsou využívány i čistírenské a skládkové plyny neboli bioplyny s nižší výhřevností. U vznětových motorů je používáno kapalné palivo jako nafta a těžký olej. Z pohledu životnosti se jedná o vysoce spolehlivé zařízení, které jsou konstruována jako nízkootáčková, a relativně masivní stacionární stroje schopné stabilního a trvalého provozu. K dosažení dlouhé životnosti musí být splněny servisní intervaly, které mohou být například pro výměny olejů, filtrů a chladicí kapaliny relativně časté. Dále je potřebné provádět větší servisy spojené s výměnami určitých větších komponent, což může nastat po 8 000 až 30 000 hodinách provozu. Generální opravy mohou nastat v rozmezí 30 000 až 80 000 hodin v provozu. PSM jsou charakteristické možností četných a rychlých startů nebo odstávek, což je jedna z jejich hlavních výhod. Další výhodou je modulové uspořádání a jednoduchá instalace s relativně malými prostorovými nároky. Mezi nevýhody patří hlučnost a vibrace, s čímž je spojena nezbytnost pružného uložení a protihlukové ochrany.

## 2.5 LEGISLATIVA SPOJENÁ S KOGENERACÍ

S výstavbou kogeneračního systému je spjato obsáhlé množství legislativních požadavků a návazností, které je potřeba znát a do budoucna s nimi i počítat. Tyto požadavky a návaznosti lze rozdělit na dva typy. Prvním typem jsou požadavky a návaznosti spojené s výstavbou kogeneračního zdroje a druhým typem jsou návaznosti a požadavky spojené s výrobou energií kogeneračním systémem. Legislativně jsou

veškeré požadavky a návaznosti udávány energetickým zákonem [14] a vyhláškou o podmínkách připojení k elektrizační soustavě [15]. Důležitými subjekty vystupující v těchto dokumentech jsou Ministerstvo průmyslu a obchodu (dále jen „MPO“), Energetický regulační úřad (dále jen „ERÚ“) a Evropská komise. Vyjma zákonů a vyhlášek udává požadavky i distributor elektrické energie, do jehož distribuční soustavy chceme zdroj energie připojit (pokud chceme). Hlavní distributoři v České republice jsou ČEZ Distribuce, a. s., EG.D, a.s., a PREdistribuce, a.s. Tito distributoři mohou i po splnění všech požadavků daných zákonem a vyhláškou zamítnout připojení a dodávku elektrické energie do distribuční sítě.

Jedna z nejdůležitějších věcí, se kterou je spojeno MPO, je udělení státní autorizace na výstavbu výroby elektřiny. Tuto autorizaci je potřebné získat na výroby elektřiny o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 100 kW a více. MPO schvaluje autorizaci na základě písemné žádosti. Dále je také v případě výroby tepla a elektřiny důležitá licence na tuto výrobu<sup>16</sup>. Uděluje ji odbor licencí ERÚ na časově omezenou dobu. Jedním z vyžadovaných dokumentů k udělení licence je „*Osvědčení o původu elektrické energie*“, které vydává MPO. Zmíněné osvědčení dokazuje, že energie pochází z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla. Ve chvíli, kdy ERÚ udělí licenci na výrobu elektřiny a tepla, je možné se registrovat u operátora trhu (dále jen „OTE“). Zaregistrováním se daný subjekt (fyzická nebo právnická osoba), který získal licenci, stává registrovaným účastníkem trhu.

V souvislosti s vysokoúčinnou kombinovanou výrobou elektrické a tepelné energie zmiňovanou výše je také důležité zmínit zákon č. 165/2012 Sb [16]. Jedná se o zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, který mimo jiné zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje:

- podmínky pro vydání osvědčení o původu elektřiny vyrobené z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla nebo druhotných zdrojů,
- financování podpory elektřiny z podporovaných zdrojů, tepla a biometanu z obnovitelných zdrojů a poskytnutí dotace OTE na úhradu těchto nákladů.

---

<sup>16</sup> Výjimkou jsou výroby elektřiny s instalovaným výkonem do 10 kW včetně, na které není požadována licence.



Obecně lze říci, že tento zákon udává ustanovení v zájmu ochrany klimatu a životního prostředí. Do podporovaných zdrojů patří, jak je výše zmíněno, vysokoúčinná kombinovaná výroba elektřiny a tepla. Jedná se o kombinovanou výrobu elektřiny a tepla v zařízení, na které MPO vydalo osvědčení. Toto osvědčení je uděleno v případě, kdy se při výrobě dosahuje úspory primární energie ve výši nejméně 10 % oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla. Forma podpory pro kogeneraci splňující kritéria udávaných tímto zákonem je pomocí ročního zeleného bonusu na elektřinu. Zelený bonus je stanoven v Kč/MWh a jeho výše je dána Cenovým rozhodnutím ERÚ pro příslušný rok, které je zveřejňováno v Energetickém regulačním věstníku. Ve věstníku jsou sepsány veškeré podporované zdroje a forma jejich podpory. V této kapitole je dále věnována pozornost pouze zeleným bonusům na elektřinu z KVET vyrobenou spalováním zemního plynu, a to vzhledem k praktické části této práce. Zelené bonusy pro rok 2022 jsou zobrazeny v tabulce 2.2 a vycházejí z Cenového rozhodnutí ERÚ č. 6/2021. Jedná se o zelené bonusy pro KVET s instalovaným výkonem do 5 MW<sub>e</sub>.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení do provozu		Instalovaný výkon výrobní [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do	od	do (včetně)		
Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující samostatně zemní plyn nebo LPG nebo důlní plyn	-	31.12.2021	0	200	3 000	1 177
	-	31.12.2021	0	200	4 400	758
	-	31.12.2021	200	1 000	3 000	808
	-	31.12.2021	200	1 000	4 400	441
	-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	518
	-	31.12.2021	1 000	5 000	4 400	210

Tab. 2.2 - Zelené bonusy pro KVET s instalovaným výkonem do 5 MW<sub>e</sub> (převzato z [17])

Z tabulky 2.2 výše je patrné, že výše podpory je ovlivněna počtem motohodin kogenerační jednotky za rok, kde mezní motohodiny jsou 3 000 a 4 400. Celková výše zeleného bonusu se určuje pomocí vzorce:

$$C_{zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.I}) \quad [\text{Kč; MWh, Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}, \text{Kč}\cdot\text{MWh}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde  $C_{zb}$  je celková výše podpory na elektřinu z KVET,  $E_{kvet}$  je množství elektřiny z KVET,  $ZB_{zakl.sazba}$  je základní sazba zeleného bonusu a  $ZB_{dopl.I}$  je doplňková sazba I k základní sazbě zeleného bonusu. Ovšem doplňková sazba se v roce 2022 už

nevztahovala na samostatné spalování zemního plynu, takže celková výše podpory byla tvořena pouze základní sazbou. Pro rok 2023 je Cenovým rozhodnutím ERÚ č. 11/2022 [18] předchozí cenové rozhodnutí č. 6/2021 pro rok 2022 zrušeno. Aktuální cenové rozhodnutí ovšem nuluje základní sazbu společně s doplňkovou, což znamená, že pro KVET spalující samostatně zemní plyn v roce 2023 nejsou poskytnuty žádné zelené bonusy, a tedy celkově žádná podpora. Tento fakt následně ovlivňuje ekonomické hodnocení navržených variant vytápění pomocí KVET, jelikož zelené bonusy byly neopomenutelnou částí příjmů v daném roce. Posledním rokem, kdy byly kompletní zelené bonusy se základní a doplňkovou sazbou, byl rok 2021. Zelené bonusy pro rok 2021 udávalo Cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2020 [19], kde jsou jednotlivé sazby pro KVET spalující zemní plyn zobrazeny v tabulkách 2.3 a 2.4 níže.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do	od	do (včetně)		
Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující zemní plyn	-	31.12.2021	0	200	3 000	1 022
	-	31.12.2021	0	200	4 400	602
	-	31.12.2021	200	1 000	3 000	656
	-	31.12.2021	200	1 000	4 400	289
	-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	367
	-	31.12.2021	1 000	5 000	4 400	58

Tab. 2.3 - Základní sazba zelených bonusů na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem do 5 MW<sub>e</sub> v roce 2021 (dle [19])

Podporovaný druh energie	Datum uvedení do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do	od	do (včetně)		
Výrobní elektřiny spalující (samostatně) plyné palivo s výjimkou OZE a DZ	-	31.12.2021	0	5000	-	455

Tab. 2.4 - Doplňková sazba zelených bonusů na elektřinu z KVET v roce 2021 (dle [19])

## 3 HODNOCENÍ KVET

V této kapitole budou popsána nejdůležitější hodnoticí kritéria a ukazatele z pohledu technického i ekonomického. Popis technických hodnoticích kritérií vychází z literatury [1] a [10]. Ekonomická kritéria byla popsána s využitím znalostí načerpaných během ekonomického předmětu „*Ekonomika elektroenergetiky*”<sup>17</sup>.

### 3.1 TECHNICKÁ HODNOTICÍ KRITÉRIA

Technická hodnoticí kritéria představují důležité parametry KS, kterými je lze hodnotit. Hodnocení může být ve smyslu porovnávání jednotlivých KS mezi sebou, ale v praxi se zejména využívá k hodnocení KVET oproti oddělené výrobě elektrické a tepelné energie. V tomto ohledu by jednotlivá hodnoticí kritéria měla prokázat:

- zvýšení využití primární energie,
- omezení vlivu znečištění,
- snížení ztrát při energetické dopravě.

Z pohledu hodnocení KS mezi sebou se jedná zejména o parametry typu účinnost výroby elektrické energie, účinnost výroby tepla, celková účinnost KS, teplotní modul, celková roční doba provozu KS, doba využití maximálního výkonu KS, výkonový teplotní součinitel a roční teplotní součinitel. Obecně lze popsat KS i prostřednictvím základních energetických parametrů jako je elektrický výkon  $P_E(t)$  a tepelný výkon  $P_T(t)$  za určitý čas  $T$ , což je možné nazvat dynamickými parametry KS (provozní charakteristiky). Z popsáných parametrů a hodnoticích kritérií budou níže v jednotlivých podkapitolách více popsány jen vybrané parametry.

#### 3.1.1 ENERGETICKÉ PARAMETRY

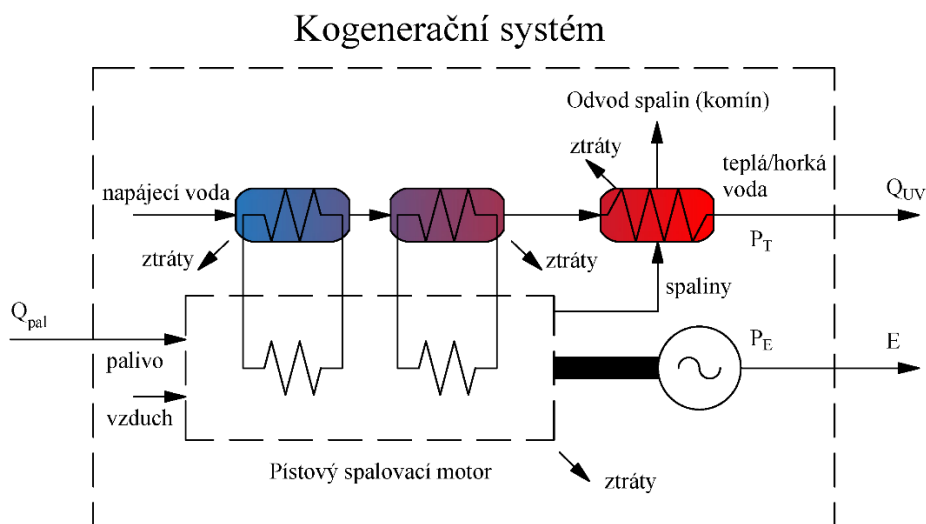
Jedním z nejzákladnějších parametrů KS je teplotní modul (také nazýván jako modul teplotní výroby, poměr vyráběné elektřiny a tepla v procesu KVET apod.). Teplotní modul je definován jako podíl výroby elektřiny k výrobě užitečného tepla KS za určité časové období. Určit ho lze pomocí jednoduchého vztahu:

---

<sup>17</sup> Garant předmětu: *Tomáš Králík, Oldřich Starý*; Přednášející: *Jiří Vašíček, Tomáš Králík*; Předmět zajišťuje: *katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd*; Kód: *BD1M16EKE1*

$$\sigma = \frac{E}{Q_{UV}} = \frac{P_E}{P_T} \quad [--; \text{ kWh, kWh; kW, kW}] \quad (3.1)$$

kde  $\sigma$  je teplotní modul,  $E$  je vyrobená elektrická energie,  $Q_{UV}$  je vyrobené užitečné teplo,  $P_E$  je elektrický výkon a  $P_T$  je tepelný výkon. Hodnoty teplotního modulu jsou dány konstrukcí, typem KS a způsobem provozu. Způsobem provozu je myšlen průběh zatížení, jelikož se změnou zatížení může docházet ke změnám teplotního modulu. Dalším důležitým parametrem je účinnost transformace primárního paliva. Obecně je účinnost transformace definována podle zákona zachování energie, a to jako poměr výstupní formy energie vůči vstupní formě energie. Při aplikaci na KS (zavedením bilanční hranice u KS s PSM zobrazené na obrázku 3.1 níže) lze vyjádřit elektrickou účinnost, tepelnou účinnost a celkovou účinnost.



Obr. 3.1 - Zavedení bilanční hranice u KS s PSM (vytvořeno autorem)

Elektrická účinnost vyjadřuje účinnost transformace energie přivedené v palivu na energii elektrickou a lze ji popsat vztahem:

$$\eta_E = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{V_{pal} \cdot Q_i} \quad [--; \text{ kWh, J; kWh, m}^3, \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3.2)$$

kde  $\eta_E$  je elektrická účinnost,  $E$  je vyrobená elektrická energie,  $Q_{pal}$  je primární energie obsažená v palivu,  $V_{pal}$  je objem paliva (místo objemu zde může být hmotnost paliva) a  $Q_i$  je výhřevnost paliva. Hodnota elektrické účinnosti je závislá na hodnotě elektrického výkonu KS, který se v čase mění, takže se v čase mění i elektrická účinnost. Tepelnou účinnost lze vyjádřit jako:

$$\eta_T = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} \quad [-; J, J; J, m^3, J \cdot m^{-3}] \quad (3.3)$$

kde  $\eta_T$  je tepelná účinnost a zbylé členy rovnice jsou již popsány výše. Celková účinnost transformace energie přivedené v palivu již není fyzikální účinnost, ale jedná se jen o vyjádření míry využití energie. Lze ji vyjádřit vztahem:

$$\eta_C = \eta_E + \eta_T = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E + Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} \quad [-; -, -; kWh, J, J; kWh, J, m^3, J \cdot m^{-3}] \quad (3.4)$$

kde  $\eta_C$  je celková účinnost a zbylé členy rovnice jsou již popsány výše. Vyjádření celkové účinnosti tímto způsobem není přesné, jelikož kvalita tepelné energie je menší než energie elektrické, a není tedy správné tyto dva druhy energie slučovat. Z termodynamického hlediska by bylo přesnější definovat exergetické<sup>18</sup> účinnosti, což není pro účel porovnávání KS s ohledem na využití primární energie v palivu potřebné a využití výše definované celkové účinnosti je oprávněné. Dále je možné si pro úplnost určit celkovou účinnost oddělené výroby elektrické a tepelné energie, která se liší od celkové účinnosti KS tím, že jsou do systému přiváděny dva vstupy, které jsou transformovány s příslušnou účinností:

$$\eta_C^{ODV} = \frac{E + Q_{UV}}{\frac{P_E}{\eta_E^{ODV}} + \frac{P_T}{\eta_T^{ODV}}} \quad [-; kWh, J, kW, -, kW, -] \quad (3.5)$$

kde  $\eta_C^{ODV}$  je celková účinnost oddělené výroby elektrické a tepelné energie,  $P_E$  je elektrický výkon,  $P_T$  je tepelný výkon,  $\eta_E^{ODV}$  je účinnost oddělené výroby elektrické energie,  $\eta_T^{ODV}$  je účinnost oddělené výroby tepelné energie. Zbylé členy jsou již popsány výše.

Jedním z nejdůležitějších hodnotících kritérií a parametrů je úspora primární energie (dále jen „UPE“). Tento parametr byl již zmíněn výše v kapitole 2.5. Jedná se o parametr, který určuje vysokoúčinnou kogeneraci při UPE větší než 10 %. Výpočet je dán vyhláškou č. 37/2016 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřiny z druhotných zdrojů [20] vztahem:

---

<sup>18</sup> Popisuje dokonalost energetické přeměny a je vždy menší nebo rovna účinnosti definované jako energetický výstup vůči vstupu. Exergie je energie, kterou lze libovolně transformovat na jiný typ energie. Dále máme anergii, což je energie, kterou nelze v dané soustavě přeměnit na jiný typ energie a představuje ztrátu. U nevratných dějů se exergie postupně maří na anergii, ale anergii nelze přeměnit na exergii. Exergie se na rozdíl od energie nezachovává.

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}\right)}\right) \cdot 100 \quad [\%; -, -, -, -] \quad (3.6)$$

kde  $\eta_q^T$  je účinnost tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla,  $\eta_e^T$  je elektrická účinnost kombinované výroby elektřiny a tepla,  $\eta_r^V$  je harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla a  $\eta_r^E$  je harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny. Harmonizované referenční účinnosti jsou určeny nařízením komise v přenesené pravomoci (EU) 2015/2402 [21]. Například pro zemní plyn jsou harmonizované referenční účinnosti vyčísleny jako:

$$\eta_r^E = 53 \%; \eta_r^T = 92 \% \quad (3.7)$$

Účinnosti označené ve vyhlášce jako  $\eta_q^T$  a  $\eta_e^T$  odpovídají výše nadefinovaným účinnostem  $\eta_T$  a  $\eta_E$ . Platí tedy rovnosti:

$$\eta_T = \eta_q^T; \eta_E = \eta_e^T \quad [-; -]; [-; -] \quad (3.8)$$

### 3.1.2 ENVIRONMENTÁLNÍ PARAMETRY

Jedná se o parametry popisující KS ve smyslu vlivu na životní prostředí. Jak již bylo výše popsáno, KS dělíme podle používaného paliva. Palivo se následně zpracovává a je z něj získávána energie. Způsobem zpracování paliva v KS je většinou proces spalování, se kterým je spojena produkce škodlivých látek, které jsou součástí daného paliva. Tyto škodlivé látky (dále jen „ŠL“) dělíme na ŠL v plynných látkách (spalinách) a v tuhých odpadních látkách.

**ŠL v plynných látkách** jsou látky, které mohou přímo poškozovat živé organismy nebo vyvolávat nežádoucí změny genetického kódu pro reprodukci buněk. Nelze je přímo odstranit z používaných paliv, ale je možné je omezit úpravou paliva, a to volbou vhodných parametrů při zpracování paliva a eliminací ŠL po výstupu z KJ. ŠL ve spalinách mohou být ve formě plynných látek a emisních částic:

- **Plynné ŠL** vznikají reakcí hořlavých prvků paliva s kyslíkem. Jedná se zejména o oxid uhelnatý –  $CO$  (bezbarvá nezapáchající látka, která je životu přímo nebezpečná), oxid uhličitý –  $CO_2$  (je skleníkovým plynem a zapříčiňuje

skleníkový efekt<sup>19</sup>), oxidy dusíku –  $NO_x$  (jsou buď přímo životu nebezpečné, nebo mohou při reakci s vodou zapříčiňovat vznik vysoce korozivních kyselin, jedná se zejména o oxid dusnatý  $NO$ , oxid dusičitý  $NO_2$  a oxid dusný  $N_2O$ ), oxid siřičitý –  $SO_2$  (při reakci s vodou zapříčiňuje vznik kyselin  $H_2SO_3$  a  $H_2SO_4$ ) a o těkavé organické sloučeniny – VOC (označení plyne z anglického názvu: „Volatile Organic Compounds“). VOC je chemicky různorodá skupina látek obsahující uhlík. Z hlediska spalování paliv se často tato skupina vykazuje jako obsah nespálených uhlovodíků ( $C_xH_y$ ) ve spalinách vyjádřených jako celkový organický uhlík – TOC (označení plyne z anglického názvu: “Total Organic Carbon“).

- **Emisní částice** jsou nazývány jako tuhé znečišťující látky – TZL. Jedná se o anorganické látky jako saze a popel. Saze vznikají nedokonalým spálením tuhých látek a neodpařených kapek kapalných paliv v prostředí s vysokou teplotou a při extrémně nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu.

Zmíněné ŠL lze objektivně porovnávat pomocí parametru představujícího poměrné množství obsahu ŠL ve spalinách vztahované na jednotku produkce [ $kg_{\text{ŠL}}/MWh$ ] nebo pomocí koncentrace v jednotce objemu paliva. S produkcí ŠL jsou spojeny povinnosti, které udává zákon o ochraně ovzduší [22]. Podstata zákona je založena na definici ŠL, stanovení emisních limitů apod. Emisní limity představují maximální povolené koncentrace ŠL, které vystupují ze zdroje znečišťování. Zákon tedy udává maximální možné emise výše popsaných ŠL pro určité typy zdrojů těchto látek. Při porušení těchto limitů jsou zákonem stanoveny finanční pokuty.

**ŠL v tuhých odpadních látkách** se vyskytují u KJ, které spalují pevná paliva. Po spálení pevného paliva je odváděna nehořlavá část jako je škvára a popel. K těmto ŠL mohou být dále přidány výše popsané TZL po očištění spalin. Na rozdíl od zákona o ochraně ovzduší, který platil pro ŠL ve spalinách, je u ŠL v tuhých odpadních látkách platný zákon, který neurčuje emisní limity, ale udává povinnosti s nakládáním a ukládáním vzniklých odpadních látek. Jedná se o zákon o odpadech [23].

---

<sup>19</sup> „Je proces, při kterém atmosféra způsobuje ohřívání planety tím, že absorbuje dopadající sluneční záření a zároveň brání jeho zpětnému odrazu do prostoru.“ (citace z [29])

Do kategorie environmentálních parametrů je dále možné řadit parametry jako je hluk, vibrace a produkce tepelné energie ve formě odpadního tepla a skleníkových plynů.

- **Hluk** je mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu vnímaném lidským uchem. Projevuje se akustickým tlakem  $p$  a vyjadřuje se v hladinách  $L_p$ :

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_r} \quad [\text{dB}; \text{Pa}, \text{Pa}] \quad (3.9)$$

kde  $L_p$  je hladina akustického tlaku,  $p$  je akustický tlak zvuku a  $p_r$  je referenční hodnota akustického tlaku ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pa). Pro vyjádření účinků hluku na člověka je potřebné danou hladinu hluku korigovat pomocí pásmového váhového filtru. Váhový filtr bere v úvahu vjem lidského ucha a váhuje dané kmitočty. Pro vyhodnocení hluku za určitý časový interval  $T$  se využívá parametr ekvivalentní hladiny hluku  $L_{Aeq}$ :

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L(t)} dt \quad [\text{dB}; \text{s}, \text{dB}] \quad (3.10)$$

kde  $L_{Aeq}$  je ekvivalentní hladina hluku,  $T$  je časový interval, za který vyhodnocujeme hluk a  $L(t)$  je okamžitá hladina akustického tlaku. Emisní hodnoty ekvivalentního akustického tlaku, kterých je potřebné pro dané zařízení dosáhnout, určuje zákon o technických požadavcích na výrobky [24] a také nařízení vlády [25].

- **Vibracemi** je myšleno mechanické kmitání a chvění pevných těles. Velikost vibrací se vyjadřuje výchylkou, rychlostí nebo zrychlením. Podobně jako u hluku definujeme vibrace pomocí hladin:

$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_r} \quad [\text{dB}; \text{m} \cdot \text{s}^{-2}, \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (3.11)$$

kde  $L_a$  je hladina zrychlení vibrací,  $a$  je okamžité zrychlení vibrací a  $a_r$  je okamžitá hladina zrychlení vibrací ( $10^{-6}$ ).

- **Odpadní teplo** je tepelná energie, která vzniká při transformaci energie v palivu na elektrickou energii a nelze ji využít pro tepelnou spotřebu. Toto teplo je potřebné odvádět do okolí tak, aby nedocházelo například k negativnímu ovlivnění podmínek pro práci zaměstnanců v blízkosti KS.
- **Skleníkové plyny**, jak už bylo výše zmíněné, zapříčiňují skleníkový efekt. Mimo  $\text{CO}_2$  patří do skleníkových plynů také  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ . Aby



nedocházelo k nadbytečnému vypouštění těchto plynů do atmosféry, jsou v případě vypouštění  $CO_2$  zavedeny emisní povolenky. Emisní povolenky udávají množství  $CO_2$ , které je možné vypustit do atmosféry, ovšem v oblasti výroby energií toto dopadá na elektrárny s tepelným příkonem nad 20 MW. Takto vysokých hodnot není při klasickém využití KJ v průmyslových podnicích dosahováno.

## 3.2 EKONOMICKÁ HODNOTICÍ KRITÉRIA

V této kapitole jsou popsána ekonomická hodnoticí kritéria, která jsou následně využita v části návrhu KJ této práce za účelem posouzení výhodnosti nasazení KJ. Nejedná se tedy o obecný soupis ekonomických hodnoticích kritérií. Před specifikací jednotlivých ekonomických kritérií je potřebné popsat základní ekonomické parametry (vstupy hodnoticích kritérií), které v kritériích dále vystupují. Jedná se obecně o finanční prostředky, které jsou vynakládány nebo přijímány v souvislosti s realizací a provozem KJ.

- Vynakládané finanční prostředky dělíme na provozní náklady a investiční výdaje. Náklady představují finanční prostředky spojené s instalací a provozem KJ. Výdaje představují například úroky z půjček, odvody apod.
- Příjmové finanční prostředky vznikají obecně prodejem produktů KJ, ovšem ne vždy dochází k prodeji produktů KJ, a do příjmů jsou započítávány i úspory, které vznikají provozem KJ v podobě vyrobené elektřiny. Dále například v podobě finančních podpor jako je zelený bonus zmiňovaný v kapitole 2.5.

### 3.2.1 TOK HOTOVOSTI

Tok hotovosti představuje rozdíl příjmů a výdajů za určité období (obvykle jeden rok). Značí se  $CF$ , což vychází z anglického názvu „cash flow“, a lze ho obecně určit jako:

$$CF_T = V - N_p - N_{ZS} - N_i \quad [\text{Kč; Kč, Kč, Kč, Kč}] \quad (3.12)$$

kde  $CF_T$  je tok hotovosti v daném roce  $T$ ,  $V$  jsou výnosy (příjmy),  $N_p$  jsou provozní výdaje (materiál, palivo, energie, apod.),  $N_{ZS}$  jsou celkové jednorázové výdaje (náhradní díly, zásoby paliva) a  $N_i$  jsou investiční výdaje (samotná KJ například). Tento obecný výpočet je potřebné upravit pro následné použití k hodnocení jednotlivých variant návrhu KJ. První úprava spočívá ve výpočtu  $CF_0$  pro nultý rok:

$$CF_0 = N_i \quad [\text{Kč}; \text{Kč}] \quad (3.13)$$

kde  $CF_0$  je tok hotovosti v nultém roce hodnoceného období a  $N_i$  jsou celkové investiční výdaje spojené se změnou vytápění pomocí KJ. Výpočet  $CF$  pro zbylé roky v hodnoceném období je dán vztahem:

$$CF_T = Us + Po - N_{pal} - N_{ús} - N_{rinv} \quad [\text{Kč}; \text{Kč}, \text{Kč}, \text{Kč}, \text{Kč}, \text{Kč}] \quad (3.14)$$

kde  $Us$  jsou úspory vzniklé vyrobenou elektrickou energií,  $Po$  je hodnota finanční podpory (zelené bonusy),  $N_{pal}$  jsou provozní palivové náklady,  $N_{ús}$  jsou provozní servisní a údržbové náklady a  $N_{rinv}$  jsou provozní reinvestiční náklady (výměna určitých komponent vlivem jejich dožití). Rovnice 3.14 představuje rozepsanou rovnici 3.12 přímo pro případ hodnocení návrhu KJ.  $CF$  je počítána v každém roce v hodnoceném období. Po výpočtu  $CF$  v nultém roce můžeme v každém následujícím roce jednotlivé  $CF$  sčítat. Tato hodnota se následně nazývá kumulovaný tok hotovosti a lze ji popsat vztahem:

$$CCF_T = \sum_{T=0}^{T_H} CF_T \quad [\text{Kč}; \text{rok}, \text{rok}, \text{Kč}] \quad (3.15)$$

kde  $CCF_T$  je kumulovaný tok hotovosti v roce  $T$ ,  $T_H$  je hodnocené období a zbylé členy rovnice jsou již popsány výše.

### 3.2.2 DISKONTOVANÝ TOK HOTOVOSTI

Je tok hotovosti, který nezanedbává časovou hodnotu peněz a je charakterizován diskontem. Diskont dále charakterizuje cenu ušlé příležitosti, riziko dané investice, požadavky investora na danou investici, roční míru inflace a v případě zřízení půjčky by měl zohledňovat i úrok této půjčky. Hodnota diskontu následně výrazně ovlivňuje ekonomická hodnocení kritéria, a proto se nesmí zanedbat jeho určení. Pro účely této práce je stanoven diskont na hodnotu 6 % (ve výpočtech se využívá procentní vyčíslení vydělené 100). Diskontovaný tok hotovosti v daném roce hodnoceného období lze vyjádřit jako:

$$DCF_T = CF_T \cdot (1 + r)^{-T} \quad [\text{Kč}; \text{Kč}, -, \text{rok}] \quad (3.16)$$

kde  $DCF_T$  je diskontovaný tok hotovosti v roce  $T$ ,  $r$  je diskont a zbylé členy rovnice jsou již popsány výše.  $DCF_T$  si lze pomocí diskontu představit jako přepočítaný  $CF$  k aktuálnímu časovému okamžiku (z pohledu hodnoceného období se jedná o přepočet na první rok tohoto období). Podobně jako u  $CCF_T$  si lze určit i kumulovaný  $DCF_T$  jako:

$$CDCF_T = \sum_{T=0}^{T_H} CF_T \cdot (1 + r)^{-T} \quad [\text{Kč; rok, rok, Kč, -, rok}] \quad (3.17)$$

kde  $CDCF_T$  je kumulovaný diskontovaný tok hotovosti v roce  $T$  hodnoceného období  $T_H$  a zbylé členy rovnice jsou popsány výše.

### 3.2.3 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA

Čistá současná hodnota je součet diskontovaných toků hotovosti. Značí se  $NPV$ , což vychází z anglického názvu „net present value“. Jedná se o hodnotící kritérium, které je vhodné pro určování ekonomické efektivnosti investice a k porovnávání investic mezi sebou.  $NPV$  vyjadřuje příspěvek investice danému investorovi a lze ho vyjádřit jako:

$$NPV = \sum_{T=0}^{T_H} CF_T \cdot (1 + r)^{-T} \quad [\text{Kč; rok, rok, Kč, -, rok}] \quad (3.18)$$

kde  $NPV$  je čistá současná hodnota. Zbylé členy rovnice jsou popsány výše. Obecně chceme  $NPV$  maximalizovat a vyhodnocení vypočtené hodnoty závisí na charakteru investice. Charakterem investice je myšleno, zda je prováděna za účelem peněžního výnosu, nebo jiného než peněžního výnosu. U investic s účelem peněžního výnosu může být  $NPV$  kladné, rovné nule, nebo záporné. Kladných  $NPV$  je dosahováno u investic, které splnily svůj účel a mají za hodnocené období převážně kladné  $CF$  vzhledem k požadavkům investora charakterizovaných diskontem. Pokud porovnáváme vícero investic s kladným  $NPV$ , tak nejvhodnější je vybrat investici s nejvyšším  $NPV$ . Při  $NPV = 0$  investice přesně naplnila očekávání investora vzhledem ke zvolenému diskontu a jedná se obecně také o investici s výnosovým charakterem. U investic se záporným  $NPV$  nedochází k naplnění požadavků investora vzhledem k diskontu, a investice by neměla být doporučena. U zbylých investic, kde není účelem peněžní výnos, nabývá  $NPV$  pouze záporných hodnot. Nejvhodnější investice tohoto typu je investice s nejméně záporným  $NPV$ .

### 3.2.4 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO

Určuje hodnotu diskontu  $r$  tak, že za určené hodnocené období  $T_H$  je hodnota  $NPV$  rovna nule. Pro tento případ se  $r$  označuje jako  $IRR$ . Vyjádřit to lze vztahem:

$$\sum_{T=1}^{T_H} CF_T \cdot (1 + IRR)^{-T} - N_i = 0 \quad [\text{rok, rok, Kč, -, rok, Kč; Kč}] \quad (3.19)$$

kde  $IRR$  je vnitřní výnosové procento a  $N_i$  jsou investiční výdaje. Zbylé parametry jsou popsány výše.  $IRR$ , které z výpočtu vyjde, následně porovnááme s určeným diskontem a požadujeme, aby  $IRR \geq r$ . Stejně jako u  $NPV$  chceme  $IRR$  maximalizovat a při porovnávání investic vybíráme investici s nejvyšším  $IRR$ . Mezi nevýhody tohoto kritéria patří, že nemusí vždy existovat (všechny peněžní toky kladné nebo záporné) a může existovat více hodnot  $IRR$ .

### 3.2.5 PROSTÁ DOBA SPLÁCENÍ

Dává informaci o tom, za jak dlouho si investice vydělá sama na sebe. Při použití tohoto kritéria jako porovnávacího je potřebné, aby dané investice byly ze stejného odvětví a jejich výdělky byly přibližně konstantní. Lepší varianta je využít toto kritérium pouze jako ukazatel doby splácení investice sebou samotnou. Doba prostého splácení se označuje  $PP$  a její určení vychází ze vztahu:

$$\sum_{T=1}^{PP} CF_T - N_i = 0 \quad [\text{rok, rok, Kč, Kč; Kč}] \quad (3.20)$$

Kde  $PP$  je prostá doba splácení. Zbylé členy rovnice jsou již popsány výše. Narozdíl od  $NPV$  a  $IRR$  chceme  $PP$  minimalizovat. Nevýhodou tohoto kritéria je zanedbání časové ceny peněz a peněžních toků po prosté době návratnosti.

### 3.2.6 DISKONTOVANÁ DOBA SPLÁCENÍ

Diskontovaná doba splácení odpovídá prosté době splácení, která respektuje časovou hodnotu peněz prostřednictvím diskontu. Diskontovaná doba splácení je pro účely této práce označována  $DPP$  a její určení vychází ze vztahu:

$$\sum_{T=1}^{DPP} CF_T \cdot (1 + r)^{-T} - N_i = 0 \quad [\text{rok, rok, Kč, -, rok, Kč; Kč}] \quad (3.21)$$

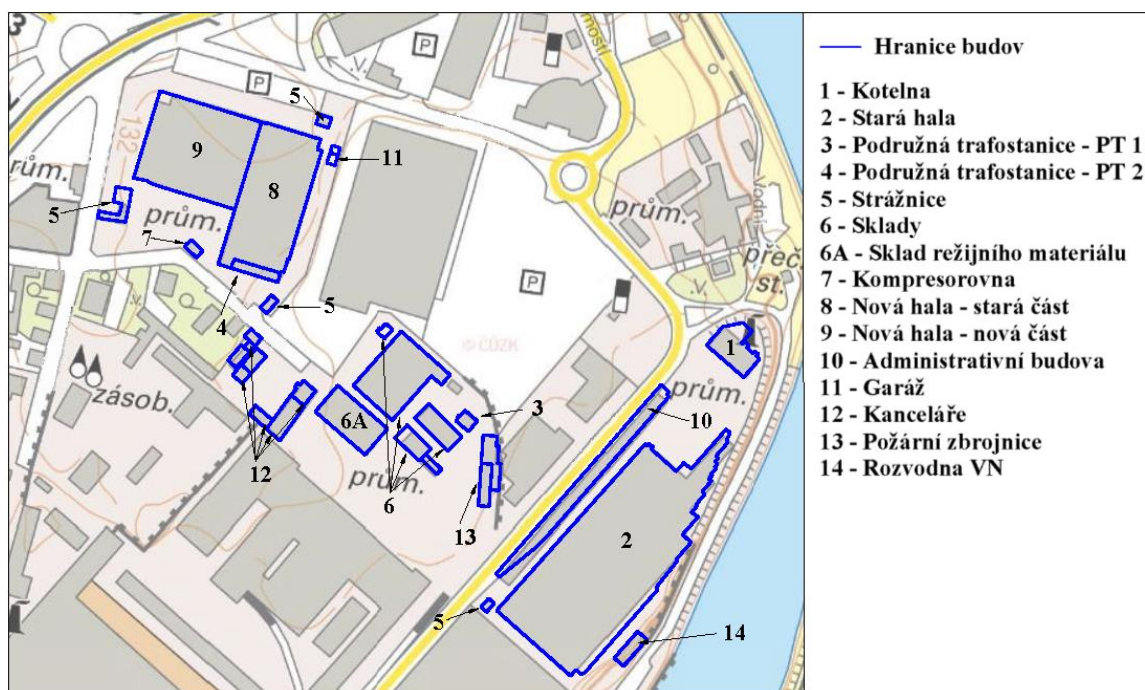
kde  $DPP$  je diskontovaná doba splácení. Zbylé členy rovnice jsou popsány výše. Výhodou oproti prosté době splácení je již zmiňované uvažování časové hodnoty peněz. Nevýhoda tohoto kritéria je stejně jako u  $PP$  zanedbávání peněžních toků po době splácení. Stejně jako u  $PP$  chceme  $DPP$  minimalizovat.

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této diplomové práce se věnuje návrhu zásobování teplem nejmenovaného průmyslového podniku (dále také jen „podniku“), který se zaměřuje na výrobu optických a metalických kabelů. Stávající systém vytápění byl původně navržen a zhotoven pro větší budoucí tepelné zásobování, které se nenaplnilo, a jedná se tedy o předimenzovaný systém, který není plně využíván.

### 4.1 ZÁKLADNÍ POPIS PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

Podnik je situován v zastavěné části města, kde veškeré pozemky, které podnik ke své činnosti využívá, nejsou situovány v jednom uzavřeném areálu. Areál lze strukturovat do dvou oblastí, které jsou odděleny komunikací druhé třídy. Celková rozloha budov ve správě podniku činí 35 561 m<sup>2</sup>. Na Obr. 4.1 níže je zobrazen pohled na průmyslový podnik se základním mapovým podkladem.



Obr. 4.1 - Rozloha průmyslového podniku na základním mapovém podkladu

Ze zobrazeného pohledu je patrné, že se jedná o podnik o velké rozloze, a podrobnější popis všech objektů by byl rozsáhlý. Z toho důvodu jsou dále popsány pouze objekty s významnou spotřebou energie za rok:

- Objekt číslo 2 – Stará hala

Jedná se o jednopodlažní, částečně podsklepenou halu o obestavěném prostoru 133 446 m<sup>3</sup>. V hale probíhá z většiny výroba, ale nachází se zde i kanceláře, sklady, zkušebny, dílny, brusírna a sociální zařízení. Svislou nosnou konstrukci tvoří železobetonové sloupy a vodorovnou konstrukci tvoří ocelové nosníky. Po obvodu objektu jsou v určitých místech dostavěny zděné objekty a jeden třípodlažní nepodsklepený objekt. Obvodový plášť haly i ostatních objektů tvoří cihelné zdivo. Střecha je plochá s živičnou krytinou bez zateplení. Okna v objektu jsou částečně plastová, ocelová s izolačním dvojsklem a s obyčejným sklem. Světlíky jsou z polykarbonátu bez zateplení. Dveře v objektu jsou plastové, ocelové zateplené, ocelové jednoduché, vrata jsou lamelová. Výstavba této haly započala v roce 1907.

- Objekt číslo 10 – Administrativní budova

Objekt je v části třípodlažní a je částečně podsklepený s nosnou konstrukcí ze železobetonového skeletu o obestavěném prostoru 13 591 m<sup>3</sup>. Nachází se zde sklady, jídelna, kanceláře, sušárna, šatny, sprchy, sociální zařízení, denní místnost a prádelna. Obvodové stěny jsou z cihel. Střecha je s živičnou krytinou a mírným sklonem. Okna v objektu jsou ocelová jednoduchá s izolačním dvojsklem a s obyčejným sklem. Dveře jsou ocelové jednoduché s obyčejným sklem a vrata jsou ocelová jednoduchá nebo zateplená.

- Objekt číslo 13 – Požární zbrojnice

Zbrojnice je dvoupodlažní, nepodsklepený objekt o obestavěném prostoru 4 001 m<sup>3</sup>. Součástí požární zbrojnice jsou také garáže, sklady, dílny, kanceláře, sociální zařízení a kuchyňka. Svislá nosná konstrukce je tvořena systémem cihelného zdiva. Vodorovnou konstrukci tvoří železobetonové panely a dřevěné trámy. Střecha je plochá s mírným spádem a živičnou krytinou. Okna v objektu jsou plastová, ocelová jednoduchá s obyčejným sklem nebo izolačním dvojsklem. Dveře jsou ocelové jednoduché s obyčejným sklem a vrata ocelová zateplená nebo jednoduchá.

- Objekt číslo 6A – Sklad režijního materiálu

Jedná se o jednopodlažní, nepodsklepený objekt, jehož součástí jsou i garáže. Obestavěný prostor je 1 364 m<sup>3</sup>. Nosnou konstrukci tvoří podélný systém cihelného zdiva. Střecha je šikmá s eternitovou krytinou. V části garáží je plochá střecha

s živičnou krytinou. Okna jsou ocelová jednoduchá s obyčejným sklem nebo s izolačním dvojsklem. Dále se zde nacházejí jednoduchá nebo zateplená vrata.

- Objekty číslo 8 a 9 – Nová hala

Nová hala je rozsáhlý objekt, ve kterém se nacházejí další různé objekty. Součástí je administrativní část (kanceláře, zasedací místnosti, kuchyňky a sociální zařízení) se třemi podlažími, která je podsklepená a má obestavěný prostor 13 748 m<sup>3</sup>. Nosnou konstrukci tvoří železobetonový skelet a obvodový plášť je z cihelného zdiva. Dále nová hala obsahuje výpočetní středisko a výrobní haly o obestavěném prostoru 97 612 m<sup>3</sup>. Výrobní haly jsou jednopodlažní a částečně podsklepené. Nosnou konstrukci tvoří železobetonové sloupy a železobetonové příhradové vazníky. Obvodový plášť je tvořen cihelným zdivem. Celkově je střecha nad starou i novou částí nové haly z živičné krytiny. Okna jsou plastová, ocelová jednoduchá s izolačním dvojsklem, s drátosklem a obyčejným sklem. Dveře jsou ocelové jednoduché s obyčejným sklem a dřevěné. Výstavba haly započala v roce 1985.

- Objekty 12 – Kanceláře

Kromě kanceláří se zde nachází také výrobní, sociální zařízení, šatny. Celkový obestavěný prostor v této oblasti je 10 318 m<sup>3</sup>. Jsou zde stavby jednopodlažní až třípodlažní, kde jediné jednopodlažní stavby nejsou podsklepené. Obvodový plášť tvoří cihelné zdivo. Střechy jsou zde jak šikmé, tak ploché s živičnou krytinou. Aktuálně se jedná o pronajímané prostory a veškerá spotřeba energií v této oblasti není vlivem fungování průmyslového podniku.

#### **4.1.1 SYSTÉM ZÁSBOVÁNÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ**

V této podkapitole je popsáno zásobování objektu elektrickou energií se zobrazením průběhů spotřeby a jejich analýzou. Ke konci podkapitoly jsou popsány i ekonomické aspekty odběru elektrické energie z posledních let.

##### Popis systému zásobování elektrickou energií

Celý areál průmyslového podniku je napájen z hlavní rozvodny VN (objekt 14) neboli centrální transformační stanice (dále jen „CTS“). Do této rozvodny je přivedeno kabelové vedení 10 kV z distribuční sítě. Hlavní rozvodna je osazena čtyřmi transformátory, kde tři transformátory transformují napětíovou hladinu na NN 380 V a jeden z transformátorů transformuje hladinu na NN 500 V. Je zde i kobka pro

rezervní transformátor, která není obsazena. Dále je hladina 10 kV z hlavní rozvodny vyvedena do podružných transformačních stanic PT1 (objekt 3) a PT2 (objekt 4).

V PT1 jsou opět čtyři transformátory, kde tři z nich transformují na hladinu NN 380 V (T1, T3, T4) a jeden na hladinu NN 500 V (T2). Provozován je vždy pouze jeden z transformátorů transformující na hladinu NN 380 V. Čtyři transformátory jsou také v PT2, ovšem narozdíl od PT1 všechny transformují na hladinu NN 380 V. Dále je do PT2 vyvedena přípojka 500 V z CTS. Pro zajištění bezpečnosti a kontinuity napájení pro různé případy poruchy a odstávky jsou PT1, PT2 i CTS navzájem propojeny. Výkony jednotlivých transformátorů jsou zobrazeny v tabulce 4.1 níže. Dále je také v příloze A této práce zobrazeno celkové jednopólové schéma podniku.

Objekt	Transformátor	$S_n$ [MVA]	$P_o$ [kW]	$P_k$ [kW]
CTS	T1	1,00	3,50	14,2
	T2	1,60	4,50	16,8
	T3	1,00	3,50	14,2
	T4	1,00	3,50	14,2
PT1	T1	0,63	2,45	10,0
	T2	0,40	1,80	7,30
	T3	0,16	0,50	3,80
	T4	0,63	2,45	10,0
PT2	T1	1,00	3,50	14,2
	T2	0,63	2,45	10,0
	T3	0,63	2,45	10,0
	T4	0,63	2,45	10,0

Tab. 4.1 - Výkonový popis transformátorů v průmyslovém podniku

Z pohledu spotřeby elektrické energie má podnik daný maximální odebíraný výkon 2 400 kW, na který se podnik v reálném provozu nedostává, a při dosažení 1 900 kW začíná regulace k postupnému snížení. K regulaci  $\frac{1}{4}$  hodinového maxima je využíván hrubotah S.A.M.P., který má nejvyšší skutečný výkon (viz tabulka 4.2 níže). Vypnutí tohoto hrubotahu má minimální technologické návaznosti a zároveň jeho vypnutím nastane dostatečné “odlehčení“ spotřeby elektrické energie. Mezi významné spotřebiče elektrické energie podniku patří zejména kompresory, čerpadla, ventilátory, osvětlení a zařízení na výrobu kabelů. Zařízení na výrobu kabelů obsahují stroje s nejvyšším instalovaným, a i skutečným výkonem v celém podniku. Jedná se o tažící stroje pro výrobu kabelů a stroje potřebné k výrobě optických kabelů (viz tabulka 4.2 níže). Početně je v podniku instalováno velké množství motorů pro pohon pracovních strojů a svítidel pro osvětlení pracovních prostor. Svítidla ve výrobních halách jsou kompletně



vyměněna za stmívatelné LED a v dalších prostorách je využíváno zejména zářivkového osvětlení.

Spotřebič	Instalovaný výkon [kW]	Skutečný výkon [kW]
Hrubotah S.A.M.P	615	350
Hrubotah Henrich	578	240
Izol. linka N-M	3 x 302	3 x 132
Opl. linka SKET 160/2	505	64
Izol. linka SKET	430	64
Izol. linka Dixi	133,5	66
Opl. linka ITAL 120	260	49
Opl. linka ITAL 100/1	208	39
Opl. linka ITAL 100/2	208	39

Tab. 4.2 - Soupis zařízení pro kabelovou výrobu

Kompensace účinníku je provedena skupinovou kompenzací v PT1 i PT2. Centrální kompenzace je řešena v CTS.

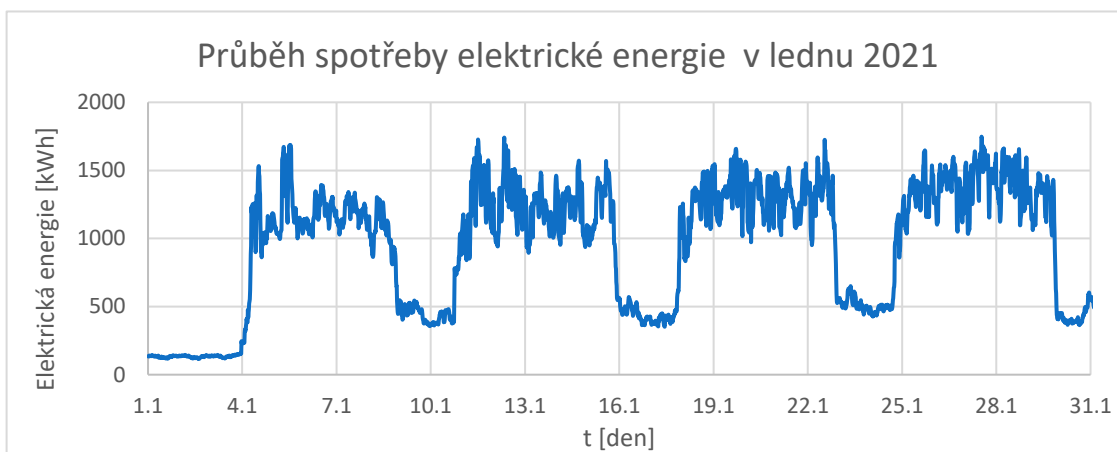
#### Analýza dat spotřeby elektrické energie

Celková spotřebovaná elektrická energie podniku za modelový rok, který bude použit i dále v části návrhu této práce, je zobrazena v tabulce 4.3 níže. Průmyslovým podnikem byly poskytnuty data o odběru elektrické energie od roku 2014 do roku 2021. Modelový rok je tvořen pro každý měsíc průměrnou hodnotou za zmíněné období 7 let. Dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty pro rok 2021 a minimální spotřeby elektrické energie v jednotlivých měsících od roku 2014.

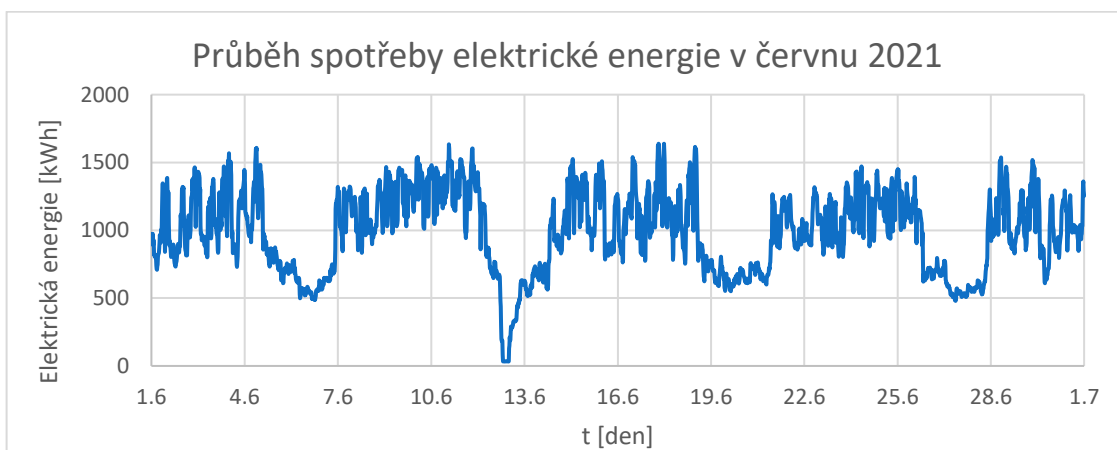
Měsíc	Spotřeba elektrické energie z roku 2021 [MWh]	Spotřeba elektrické energie modelového roku [MWh]	Minimální spotřeba elektrické energie od roku 2014 [MWh]
Leden	706,712	787,482	657,773
Únor	691,268	749,256	637,123
Březen	731,801	797,465	636,890
Duben	594,948	745,494	534,308
Květen	593,005	743,288	560,190
Červen	712,571	763,634	635,018
Červenec	621,959	774,231	621,959
Srpen	685,550	765,602	593,058
Září	670,064	718,546	599,135
Říjen	719,853	709,210	558,325
Listopad	700,153	685,436	599,970
Prosinec	426,129	438,798	371,440
<b>Celkem</b>	<b>7 854,013</b>	<b>8 678,441</b>	<b>7 005,189</b>

Tab. 4.3 - Spotřeba elektrické energie průmyslového podniku

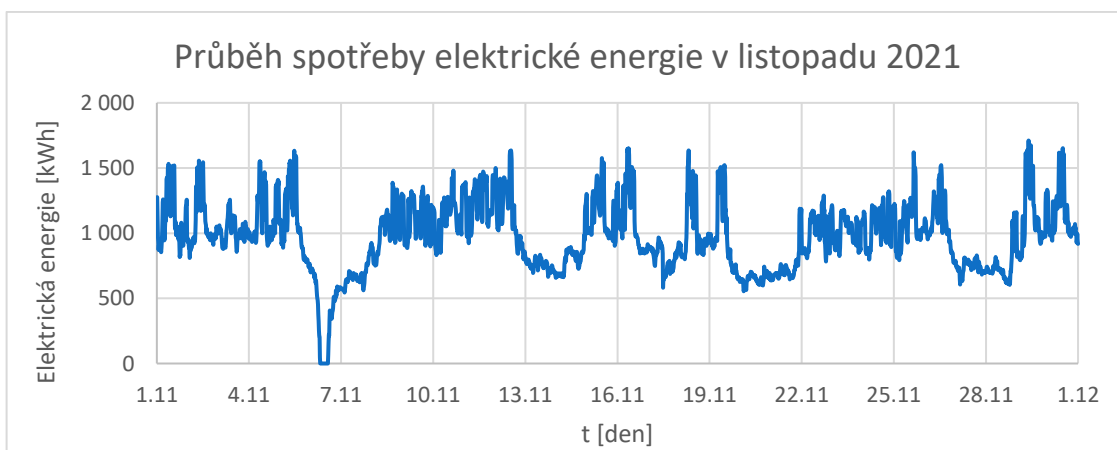
V příloze B této práce jsou zobrazeny odběry elektrické energie v jednotlivých letech s křivkou zobrazující průměrné hodnoty. Dále byly průmyslovým podnikem poskytnuty hodnoty spotřeby elektrické energie po patnácti minutových intervalech v roce 2021. Níže jsou zobrazeny tyto průběhy ve vybraných měsících.



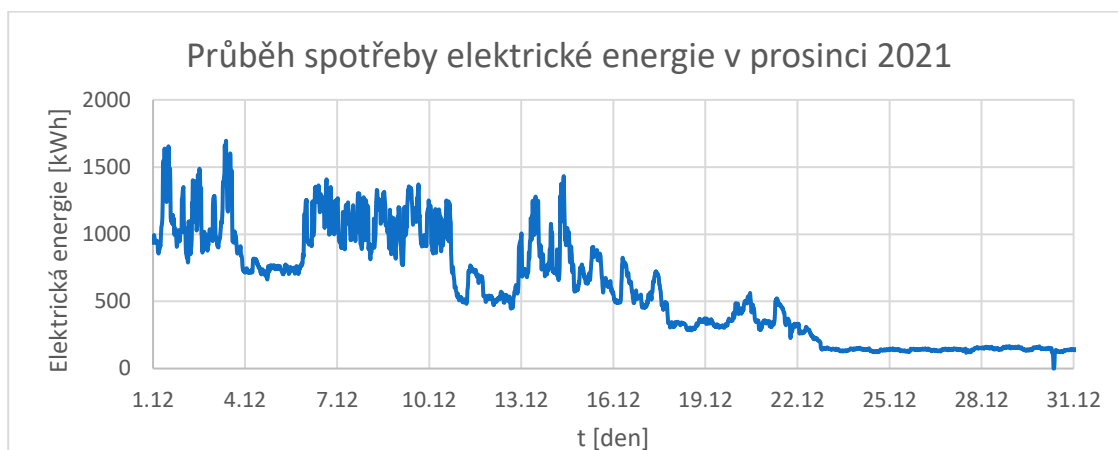
Obr. 4.2 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - leden 2021



Obr. 4.3 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - červen 2021

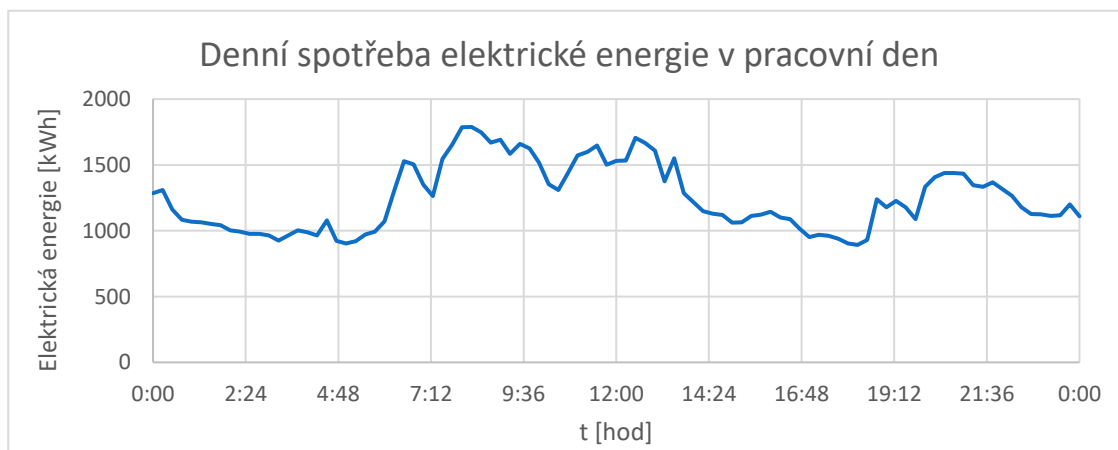


Obr. 4.4 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - listopad 2021



Obr. 4.5 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie - prosinec 2021

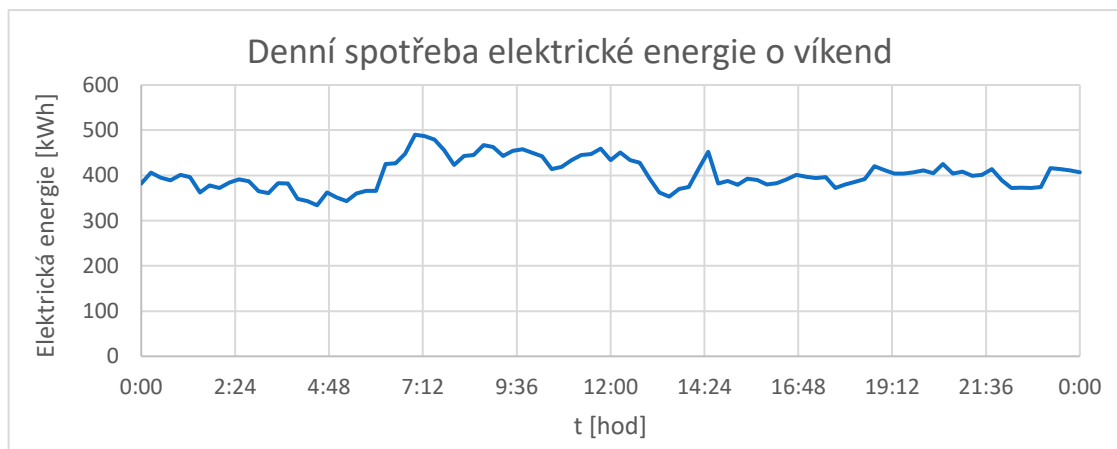
Ze zobrazených průběhů si lze vyhodnotit charakter provozu průmyslového podniku. Z průběhu spotřeby v lednu 2021 je patrné, že dochází ke střídání spotřeb elektrické energie v pracovní dny a o víkendy, kdy v pracovní den se spotřeba elektrické energie pohybuje od 1000 kWh až po 1800 kWh a o víkend se spotřeba pohybuje kolem 500 kWh. Zbylé průběhy ukazují, že dochází v roce i k úplným odstávkám, kdy odběr elektrické energie poklesne k nule. Dále se také charakter spotřeby elektrické energie mění v nepracovní dny, čehož je možné si všimnout koncem prosince a také začátkem ledna. Pro úplnou představu chodu průmyslového podniku jsou níže zobrazeny průběhy spotřeby elektrické energie v běžný pracovní den, o víkend a v nepracovní den.



Obr. 4.6 - Grafické zobrazení spotřeby elektrické energie v pracovní den

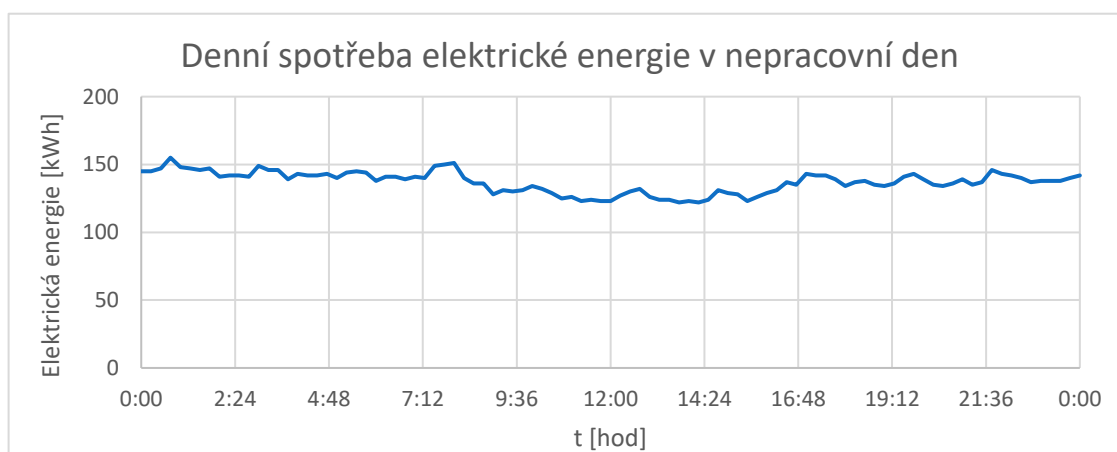
Výše zobrazený průběh spotřeby elektrické energie odpovídá pracovnímu dni v měsíci lednu. Spotřeba v měsíci lednu je pro tuto práci vzata jako hlavní vzhledem k jejímu charakteru, kde jednotlivá maxima spotřeby odpovídají maximálním spotřebám i v dalších měsících, ale minima o víkendy jsou zde opakovaně dosahována jako nejnižší

ze všech měsíců v roce. Tento fakt je zásadní pro návrh zásobování teplem pomocí KJ v další části této práce.



Obr. 4.7 - Grafické zobrazení spotřeby elektrické energie o víkend

Výše zobrazená spotřeba elektrické energie o víkend na obrázku 4.7 odpovídá vybranému dni v měsíci lednu.



Obr. 4.8 - Grafické znázornění spotřeby elektrické energie v nepracovní den

Spotřeba elektrické energie v nepracovní den výše na obrázku 4.8 odpovídá dni v měsíci prosinec.

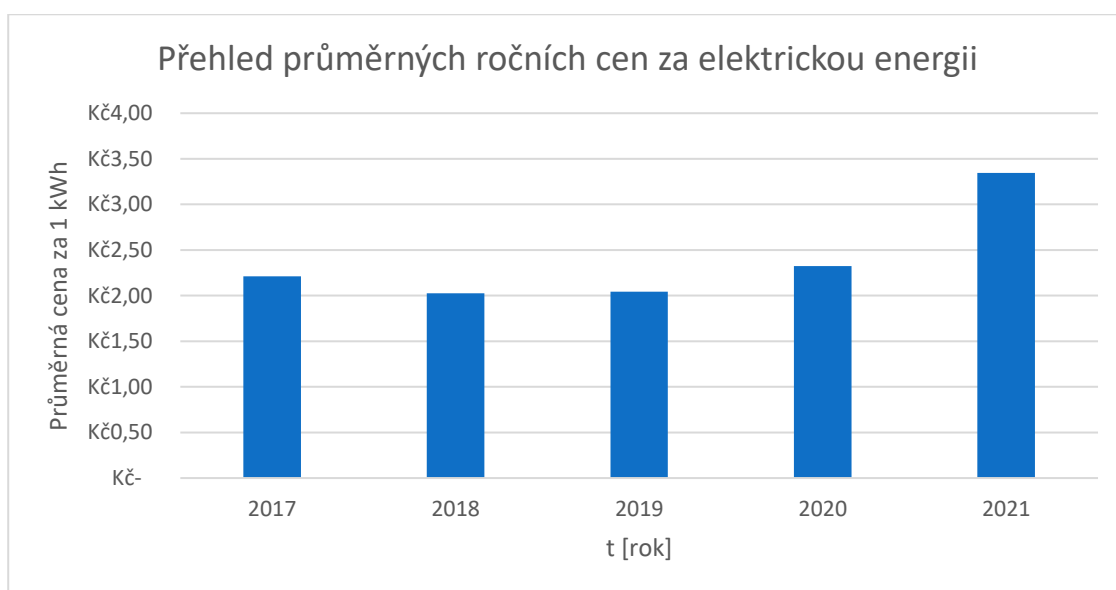
#### Ekonomické aspekty odběru elektrické energie

Průmyslovým podnikem byly poskytnuty ceny za odběr elektrické energie od roku 2017, kdy je elektrická energie odebírána do současnosti od stejného dodavatele. Cena elektrické energie je pro průmyslový podnik tvořena dle smlouvy cenou na denním trhu, k níž je přičítáno 2,45 €/MWh a dále daň 1,05 €/MWh. V tabulce 4.4 níže jsou zobrazeny ceny za 1 kWh odebrané elektrické energie v roce 2021 a průměrné ceny každého měsíce

z let 2017 až 2020. Průměrné ceny jsou vytvořeny pro názorné zobrazení vývoje cen z let do 2020 a roku 2021, jelikož do roku 2020 byly ceny velice podobné. Dále jsou na obrázku 4.9 graficky zobrazeny průměrné ceny za 1 kWh v jednotlivých letech. Z těchto dat je patrné, že v roce 2021 došlo k výraznému nárůstu. Tento nárůst je zapříčiněn zejména počátkem energetické krize, která se promítla i do let 2022 a 2023. Pro výpočet úspor v ekonomickém modelu bude použita roční průměrná cena 2,15 Kč/kWh z průměrných cen v letech 2017 až 2020 zobrazená v tabulce níže. Důvodem zvolení této ceny je využití dat z období před energetickou krizí, jelikož během krize jsou ceny výrazně vyšší a průběh změn této ceny je nepredikovatelný.

Měsíc	Cena za 1 kWh v roce 2021 [Kč]	Průměr cen za 1 kWh v 2017 - 2020 [Kč]
Leden	2,46	2,24
Únor	2,37	2,14
Březen	2,36	1,98
Duben	2,69	2,03
Květen	2,63	2,06
Červen	2,78	2,01
Červenec	3,06	2,03
Srpen	2,99	2,09
Září	3,89	2,18
Říjen	4,21	2,09
Listopad	4,99	2,17
Prosinec	5,71	2,79
<b>Průměr</b>	<b>3,35</b>	<b>2,15</b>

Tab. 4.4 - Přehled cen za 1 kWh odebrané elektrické energie



Obr. 4.9 - Přehled průměrných ročních cen za 1 kWh odebrané elektrické energie

## 4.1.2 SYSTÉM ZÁSBOVÁNÍ ZEMNÍM PLYNEM

V této podkapitole je popsán systém zásobování zemním plynem s uvedením dat a průběhů spotřeby zemního plynu. Konec podkapitoly je věnován ekonomickým aspektům spojených s odběrem zemního plynu.

### Popis zásobování zemním plynem

V areálu průmyslového podniku jsou celkově 4 odběrná místa zemního plynu. Jedná se o jeden velkoodběr (dále jen „VO“) a tři maloodběry (dále jen „MO“). VO je rozdělen na dvě samostatná měření, kde první měření odběru probíhá u horkovodních kotlů v kotelně (objekt 1) a u teplovodní kotle pro ohřev teplé vody (dále jen „TV“), který se také nachází v kotelně. Druhé měření probíhá u teplovodní kotle pro technologický ohřev plnicí hmoty ve staré hale (objekt 2). První MO zásobuje plynový kotel pro vytápění a přípravu TV nové haly (objekty 8 a 9). Dále je také možné z prvního MO odebírat zemní plyn pro technologické účely ve výrobní hale. Z druhého MO je zásobována část jednoho ze skladů (objekty 6), ve kterém je laboratoř a jedna z budov kanceláří (objekty 12). Zemní plyn je v případě laboratoře odebírán pro možné technologické využití a v případě kanceláří je veden do plynových kotlů za účelem vytápění a ohřevu TV. Dále je zde zemní plyn veden do zásobníkového ohříváče TV. Poslední MO se nachází ve strážnici vlevo pod novou halou, kde probíhá odběr pro plynový kotel za účelem ohřevu TV a vytápění. Tento objekt je ovšem pronajímán jiné společnosti a výdaje za tento objekt jsou tedy hrazeny.

Technologicky se ve všech případech jedná o napojení na středotlaký (STL) plynovod. Za kotelnou je zděný zastřešený přístavek, ve kterém je hlavní uzavěr plynu (dále jen „HUP“) pro kotelnu a starou halu. Přípojka na distribuční síť je zde pomocí potrubí DN 100, na kterém probíhá měření odběru pro horkovodní kotle. Následně přechází DN 100 na DN 150 a plyn je veden k jednotlivým horkovodním kotlům. HUP pro laboratoř a odběr v oblasti kanceláří je v jedné z budov kanceláří. HUP pro novou halu se nachází ve strážnici pod novou halou.

### Data a průběhy spotřeby zemního plynu

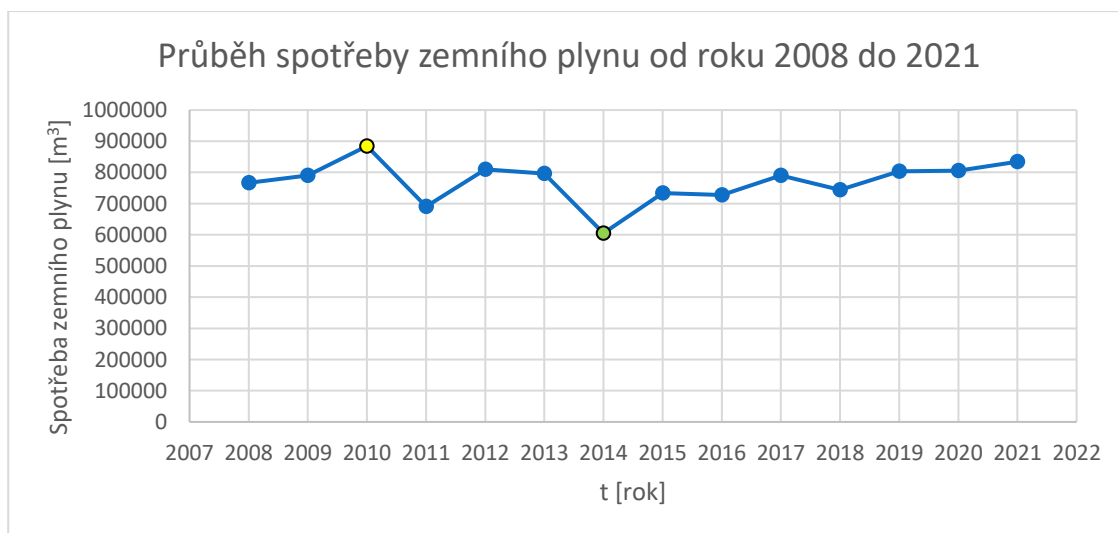
Spotřeba zemního plynu, jak již bylo popsáno výše, probíhá na vícero místech celého areálu průmyslového podniku. Průmyslový podnik poskytl data o spotřebě zemního

plynu od roku 2008. Celkové spotřeby zemního plynu od roku 2008 až do roku 2021 jsou zobrazeny v tabulce níže.

Rok	Historie spotřeby zemního plynu	
	[m <sup>3</sup> ]	[MWh] <sup>20</sup>
2008	766128,44	8075,026
2009	790118,25	8314,761
2010	884484,84	9330,418
2011	690140,00	7865,467
2012	809904,60	8546,742
2013	796272,00	8425,328
2014	605071,00	6409,255
2015	733671,00	7799,191
2016	727373,09	7740,273
2017	790167,78	8416,746
2018	744181,00	7926,578
2019	804047,00	8562,644
2020	805928,30	8595,262
2021	834368,00	8903,980

Tab. 4.5 - Historie spotřeby zemního plynu průmyslovým podnikem

Grafické zpracování těchto dat je provedeno níže na obrázku 4.10. Žlutě označený řádek zvýrazňuje nejvyšší spotřebu zemního plynu a zelený řádek zvýrazňuje nejnižší spotřebu zemního plynu za sledované období. Vyjma těchto hodnot nenastávají velké změny mezi jednotlivými roky, zejména od roku 2015 do roku 2021 jsou data velice podobná.



Obr. 4.10 - Grafické znázornění spotřeby zemního plynu průmyslovým podnikem

<sup>20</sup> Přepočítání z m<sup>3</sup> na MWh je provedeno pomocí hodnot spalného tepla poskytnutých dodavatelem.

Z uvedených celkových spotřeb zemního plynu je potřebné se spíše orientovat na odběr plynu kotelnou vzhledem k návrhu vytápění, které je předmětem této práce. Jednotlivé spotřeby zemního plynu kotelnou v daných měsících v roce jsou zobrazeny v příloze C této práce. Z těchto dat jsou vytaženy do tabulky 4.6 níže spotřeby zemního plynu v jednotlivých měsících roku 2021, modelového roku a roku zobrazující v jednotlivých měsících nejvyšší spotřeby od roku 2008. Modelový rok je tvořen pro každý měsíc průměrnou hodnotou za zmíněné období od roku 2008. Tato data jsou dále využita v části návrhu vytápění pomocí kogenerační jednotky.

Měsíc	$V_{ZP-k}$ v roce z maximálních spotřeb v jednotlivých měsících [m <sup>3</sup> ]	$V_{ZP-k}$ v modelovém roce [m <sup>3</sup> ]	$V_{ZP-k}$ v roce 2021 [m <sup>3</sup> ]
Leden	204 432	155 270	153 948
Únor	176 115	131 452	146 773
Březen	148 361	104 484	115 944
Duben	82 989	53 661	82 989
Květen	40 580	10 741	24 626
Červen	133	10	0
Červenec	0	0	0
Srpen	11	2	0
Září	18 654	3 489	0
Říjen	72 643	52 863	66 391
Listopad	110 238	94 036	103 056
Prosinec	189 894	132 720	128 372
<b>Celkem</b>	<b>1 044 050</b>	<b>738 724</b>	<b>822 099</b>

Tab. 4.6 - Spotřeba zemního plynu kotelnou průmyslového podniku v m<sup>3</sup>

$V_{ZP-k}$  použité v tabulce 4.6 výše značí objem spotřebovaného zemního plynu stávajícími kotli. Po porovnání dat spotřeby zemního plynu kotelnou a celkovým odběrem průmyslového podniku je zřejmé, že kotelnou tvoří většinu celkové spotřeby. Z dat od roku 2016 tvoří procentuálně 97,0 % z celkové spotřeby zemního plynu samotná kotelnou, následně je 1 % spotřebováno ve staré hale, 1,7 % v nové hale a 0,3 % odběrem v oblasti kanceláří. Z dat spotřeby zemního plynu kotelnou lze dopočítat vyrobené teplo kotelnou v jednotlivých měsících pomocí vzorce:

$$Q_{V,X} = V_{ZP-k,X} \cdot Q_i \cdot \eta_k \quad [\text{GJ}; \text{m}^3, \text{GJ} \cdot \text{m}^{-3}, -] \quad (4.1)$$

kde  $Q_{V,X}$  je vyrobené teplo zdroji v kotelně v měsíci  $X$  modelového roku,  $V_{ZP-k,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu stávajícími kotli v měsíci  $X$  modelového roku,  $Q_i$  je hodnota výhřevnosti zemního plynu (hodnotově vychází z dat od dodavatele zemního plynu) a  $\eta_k$  je účinnost kotlů v kotelně. Účinnost je pro výpočty uvažována v hodnotě



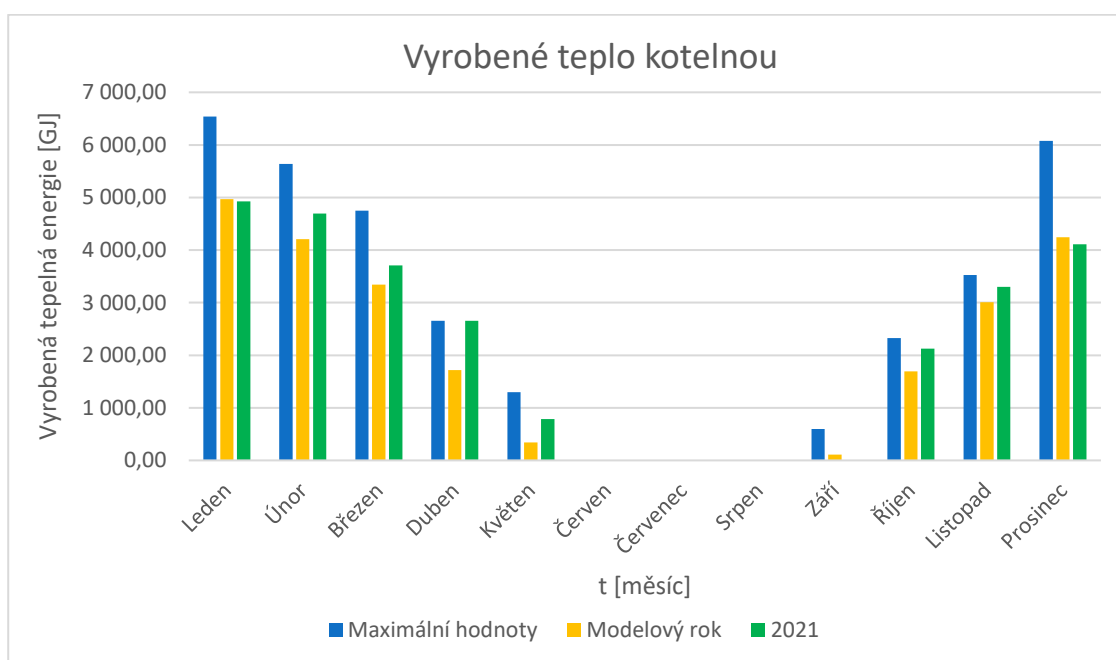
93,6 %. Tato hodnota vychází z aktuálních měření účinnosti kotlů a odpovídá kotli K1, který se v topné sezóně podílí na výrobě tepla nejvíce. Doplněn je výrobou z K2, který má dosaženou účinnost 93,9 %. Názorné dosazení do rovnice 4.1 pro měsíc leden je provedeno níže.

$$Q_{V,leden} = V_{ZP-k,leden} \cdot Q_i \cdot \eta_k = 155\,269,5 \cdot 0,034185 \cdot 0,936 = 4968,18 \text{ GJ} \quad (4.2)$$

Zbylé hodnoty vyrobeného tepla vypočtené pomocí rovnice 4.1 jsou uvedeny v tabulce 4.7 níže a jejich grafické znázornění je na obrázku 4.11 níže:

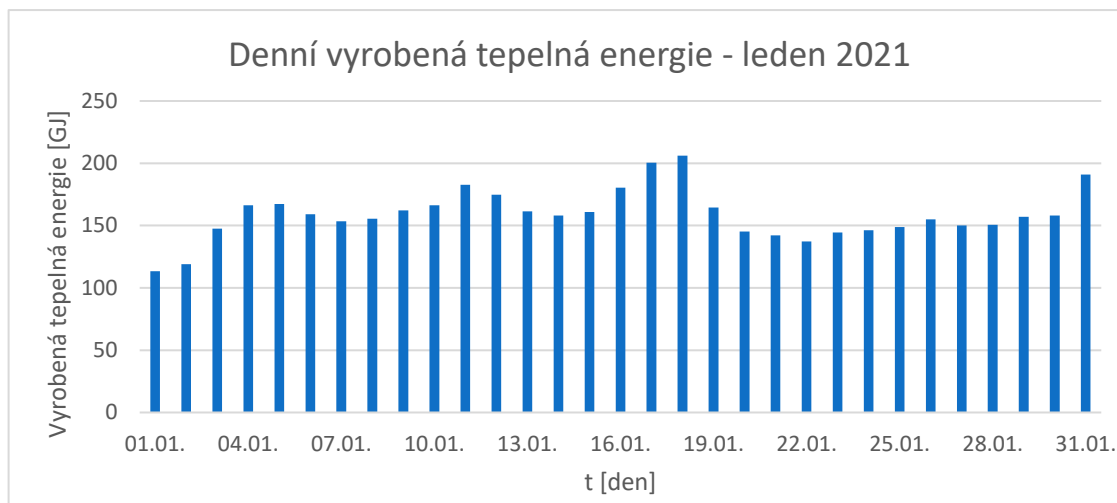
Měsíc	$Q_i$ [GJ·m <sup>-3</sup> ]	$Q_V$ v modelovém roce [GJ]	$Q_V$ z maximálních hodnot od roku 2008 [GJ]	$Q_V$ v roce 2021 [GJ]
Leden	0,034185	4 968,18	6 541,24	4 925,90
Únor		4 206,08	5 635,18	4 696,32
Březen		3 343,18	4 747,13	3 709,88
Duben		1 717,00	2 655,41	2 655,41
Květen		343,66	1 298,44	788,96
Červen		0,31	4,26	0,00
Červenec		0,00	0,00	0,00
Srpen		0,04	0,35	0,00
Září		111,62	596,88	0,00
Říjen		1 691,46	2 324,37	2 124,32
Listopad		3 008,87	3 527,30	3 297,50
Prosinec		4 246,65	6 076,07	4 107,54
<b>Celkem</b>		-	<b>23 637,06</b>	<b>33 406,64</b>

Tab. 4.7 - Vyrobené teplo kotelnou v jednotlivých měsících pro daný rok

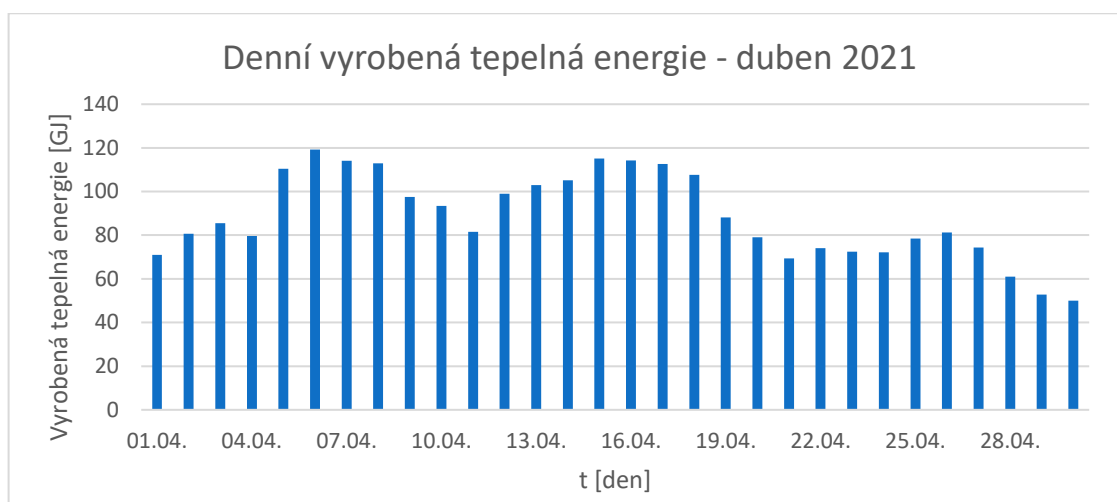


Obr. 4.11 - Grafické znázornění vyrobeného tepla kotelnou v jednotlivých měsících daného roku

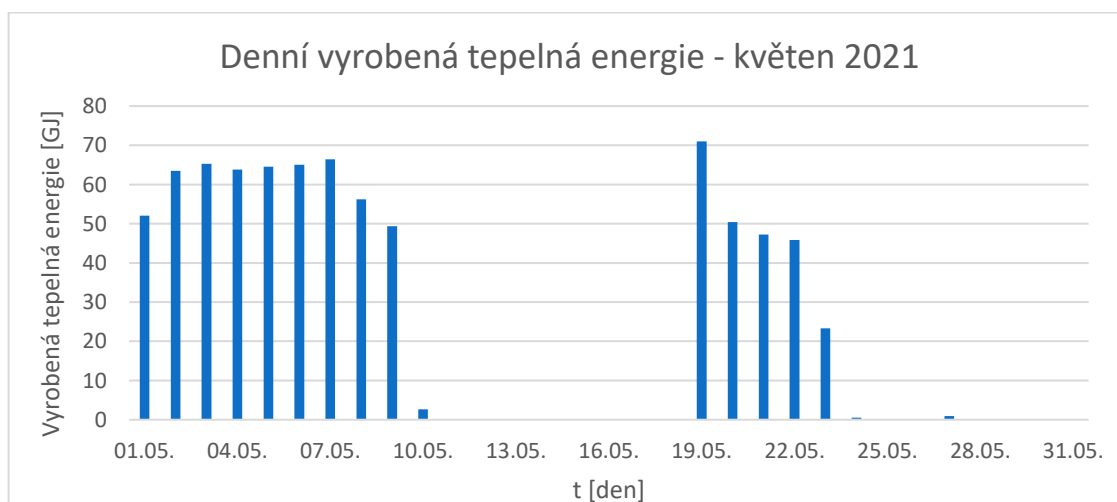
Pro bližší představu charakteru spotřeby zemního plynu, a tedy i výroby tepelné energie, jsou níže zpracovány denní hodnoty spotřeby zemního plynu topné sezóny v roce 2021.



Obr. 4.12 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v lednu 2021



Obr. 4.13 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v dubnu 2021



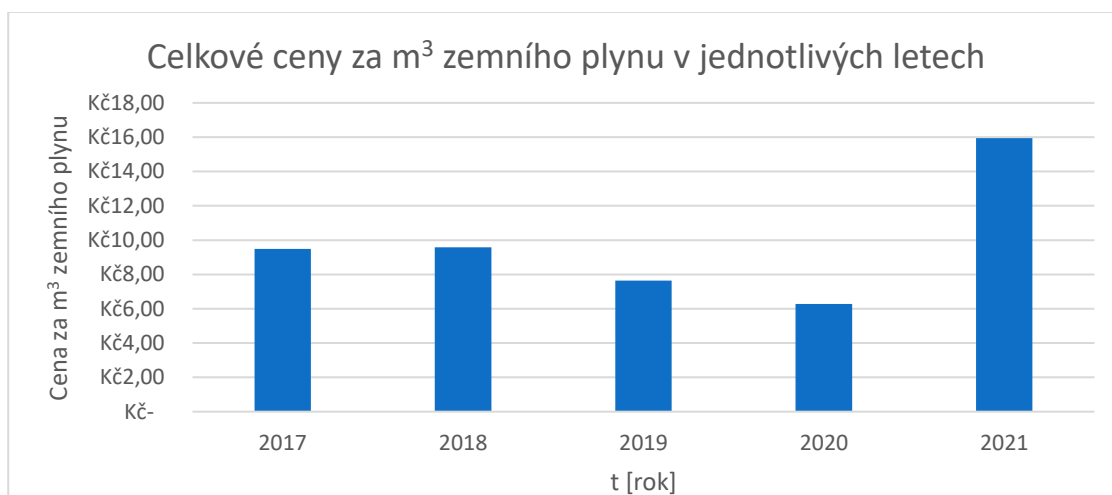
Obr. 4.14 - Denní vyrobená tepelná energie kotelnou v květnu 2021

## Ekonomické aspekty odběru zemního plynu<sup>21</sup>

Celková cena za odběr zemního plynu je tvořena regulovanou a neregulovanou složkou. Neregulovaná složka zemního plynu je tvořena cenou za odebraný plyn v Kč/MWh a stálou měsíční platbou za rezervovanou kapacitu v Kč/m<sup>3</sup>. Obecně tomu tak nemusí být a cena za rezervovanou kapacitu může být v Kč pro dané odběrné místo za měsíc, jelikož tato část neregulované složky zemního plynu je spojena právě s administrativní činností, která je potřebná k obsluze odběrných míst. Regulovaná složka zemního plynu je určována ERÚ vždy pro příslušný rok prostřednictvím Cenového rozhodnutí a skládá se z ceny za přepravu a distribuci plynu v Kč/MWh a z ceny za služby<sup>22</sup> operátora trhu v Kč pro dané odběrné místo. Dále je vzhledem k účelu spotřeby zemního plynu na vytápění do celkové ceny započtena i daň ze zemního plynu. Jedná se o ekologickou daň, která vešla v platnost od 1. ledna 2008 z evropské legislativy. Samotná výše daňové sazby je stanovena zákonem č. 261/2007 Sb., o stabilizaci veřejných rozpočtů na 30,6 Kč/MWh. Průmyslovým podnikem byly poskytnuty celkové ceny za odebraný zemní plyn kotelnou od roku 2017, které jsou zobrazeny v tabulce 4.8 a na obrázku 4.15.

Rok	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Celková cena za odebraný zemní plyn [Kč/m<sup>3</sup>]</b>	9,49	9,58	7,64	6,28	15,95

Tab. 4.8 – Celková průměrná cena za odebraný zemní plyn kotelnou za rok



Obr. 4.15 - Grafické zobrazení celkových průměrných cen zemního plynu v daném roce

<sup>21</sup> Úvodní popis ceny za odběr zemního plynu vychází z webu tzbinfo.cz [30] a webu ERÚ [31].

<sup>22</sup> Jedná se o činnosti, které vykonává OTE za účelem správného fungování přepravní soustavy a dalších činností nezbytných pro fungování trhu s plynem.

### 4.1.3 SYSTÉM ZÁSOBOVÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM

Stlačený vzduch je jednou z nezbytných energií pro provoz výrobních technologií v podniku. Nejvíce je využíván k ofuku a sušení kabelů (cca z 90 %), dále pak jako ovládací vzduch strojů (cca z 8 %) a nejméně je využíván pro ruční nářadí (cca z 2 %). V celém areálu jsou celkem tři oddělené systémy tlakového vzduchu, které se liší instalovaným výkonem kompresorů, požadovanou kvalitou tlakového vzduchu, ročními provozními hodinami systémů a z hlediska typu použitých kompresorů. Jedná se o systémy tlakového vzduchu pro novou a starou halu.

Starý zdroj tlakového vzduchu nové haly se nachází v samostatném objektu s názvem kompresorovna (objekt 7). V aktuální době se jedná spíše o záložní systém stlačeného vzduchu, jelikož byla vystavěna nová kompresorovna přímo v nové hale. Jsou zde umístěné tři šroubové kompresory se vstřikem oleje do kompresního prostoru. Jeden z kompresorů má název HAFI V4 – 55L08 S a jedná se o kompresor z roku 1996 s jmenovitým výkonem  $546 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , jmenovitým příkonem 55 kW a výstupním přetlakem 8 bar. Zbylé dva kompresory jsou typu EKOAIR D 50 ECO-MATIC z roku 1992 s jmenovitým výkonem  $345 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , jmenovitým příkonem 37 kW a výstupním přetlakem 8 bar. Všechny kompresory jsou chlazeny vzduchem, který je do objektu vháněn zvláštním vzduchotechnickým potrubím vybaveným ventilátory. Oteplený chladicí vzduch je odváděn do vnějšího prostoru bez využití odpadního tepla. Vyrobený tlakový vzduch je z kompresorů veden do vzdušníku, který je umístěn také v kompresorové stanici, a dále je tlakový vzduch upravován filtrem Hiross HFN120 a sušen ve vymrazovacím sušiči Hiross DXB 110. Vzdušník má vnitřní objem 4 000 l o tlaku 10 bar. Skutečný provozní přetlak na kompresorové stanici je v rozmezí 6,0 – 7,5 bar. Kompresorovna není vybavena přístroji pro měření vyrobeného tlakového vzduchu a není tedy možné určit skutečnou roční bilanci výroby ani případné úniky tlakového vzduchu. Do nové haly je tlakový vzduch veden ocelovým svařovaným potrubím JS 50 o celkové délce 270 m, po které se mění dimenze na JS 100. V Nové hale je obecně rozvod veden po stěnách, nebo sloupech s následným svedením k výrobní technologii. Tlaková ztráta v tomto rozvodu je 0,75 bar. Určena byla z měření na nejvzdálenějším místě rozvodu, kde bylo naměřeno 5,25 bar (minimální možný tlak v rozvodu je 5 bar vzhledem ke spotřebičům) a následné znalosti minimálního udržovaného přetlaku ve vzdušníku o hodnotě 6 bar.

Aktuálně využívaný systém stlačeného vzduchu je umístěn přímo v nové hale. Veškeré zařízení v této kompresorovně je popsáno v tabulce 4.9 níže. Odpadní teplo nové kompresorovny je neřízeně využíváno k vytápění nové haly.

Zařízení	Elektrický příkon [kW]	Tepelný výkon (Odpadní teplo) [kW]
Kompresor BOGE S125	94,0	70
Kompresor HAFIMATIC V4-55	55,0	41
Vymrazovačka VDX 240	6,3	-

Tab. 4.9 - Vybavení v nové kompresorovně nové haly

Stará hala je zásobována tlakovým vzduchem z kompresorů umístěných v suterénu. Kompresorovna v suterénu je vybavena dvěma novějšími kompresory, kde jeden je od společnosti BOGE typu S 150-3 o elektrickém příkonu 110 kW a druhý od společnosti ALUP Kompressoren o elektrickém příkonu 110 kW. Dále jsou v kompresorovně čtyři starší kompresory. Jedná se o jeden kompresor typu ČKD Praha, 4 DVK 280 z roku 1978 s jmenovitým výkonem  $900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , jmenovitým příkonem 110 kW a výstupním přetlakem 10 bar. Dále se jedná o tři kompresory typu ČKD Praha, 4 DVK 280 z roku 1984 s jmenovitým výkonem  $900 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , jmenovitým příkonem 110 kW a výstupním přetlakem 10 bar. Tyto 4 kompresory z podniku ČKD Praha jsou chlazeny dvěma okruhy chladicí vody, ve kterých je použito čerpadlo o výkonu 15 kW. Vyroběný tlakový vzduch je veden do čtyř vzdušníků o objemu 2 500 l. Tyto vzdušníky jsou umístěny s plechovým přístavku staré haly. Tlakový vzduch je dále veden do vodního chladiče, chemistru a následně do jednotlivých provozů. Pro prostory zkušebny je tlakový vzduch dále upravován v absorpčním sušiči na rosný bod kolem  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Skutečný provozní přetlak na vzdušníku je v rozmezí 5,4 – 7,4 bar. U starých kompresorů není nijak využíváno odpadní teplo a u nových dvou kompresorů je odpadní teplo neřízeně využíváno k vytápění staré haly. Podobně jako v nové hale ani v kompresorovně staré haly neprobíhá měření výroby tlakového vzduchu a není tedy možné určit skutečnou roční bilanci výroby ani případné úniky tlakového vzduchu. Rozvod tlakového vzduchu ve staré hale je proveden ocelovým svařovaným potrubím dimenze DN 80, které je vedeno jen v interiéru staré haly. Nároky na kvalitu tlakového vzduchu z hlediska rosného bodu tedy nejsou velké. Po hale je obecně rozvod veden po stěnách a sloupech. Tlaková ztráta v tomto rozvodu je maximálně 0,3 bar (dle měření).

## 4.2 CHARAKTERISTIKA STÁVAJÍCÍHO STAVU VYTÁPĚNÍ PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

V této podkapitole je popsán stávající způsob vytápění průmyslového podniku společně s ohřevem TV. Obsahem jsou také tabulky popisující stávající zdroje pro vytápění a ohřev TV.

### 4.2.1 TEPELNÉ ZDROJE

Hlavní zdroje tepla jsou umístěné v kotelně (objekt 1). Jedná se o čtyři plynové horkovodní kotle vyrobené v roce 1992. Instalované výkony těchto kotlů jsou zobrazeny v tabulce 4.10 níže:

Označení kotle	Instalovaný výkon [MW]	Parametry vyráběného média [°C]	Stav
K1	4,5 (3,8) <sup>23</sup>	130/110	Provozu schopný
K2	1,8	130/110	Provozu schopný
K3	4,0	130/100	Neschopný provozu
K4	7,0	130/100	Neschopný provozu
<b>Celkem</b>	<b>17,3</b>	-	-

Tab. 4.10 - Soupis kotlů v kotelně s důležitými parametry

V tabulce 4.10 je zobrazen celkový instalovaný tepelný výkon horkovodních kotlů 17,3 MW, ale z tabulky také plyne, že kotel K4 o největším výkonu je aktuálně demontován a není již používán k vytápění podniku. K3 není aktuálně v demontáži, ale již s ním není počítáno pro vytápění a je odstaven z provozu. V přechodném období před začátkem a koncem topné sezóny je provozován kotel K2 s nejmenším výkonem. V topném období je provozován převážně kotel K1, popřípadě v kombinaci s K2. V kotelně se také nachází teplovodní kotel MK4 s instalovaným výkonem 46,5 kW, který je využíván k přípravě TV v letním období při odstávce horkovodních kotlů s parametry vyráběného média 90/70 °C. Pro přípravu TV jsou v objektu kotelny instalovány dva stojaté zásobníkové ohřivače TV, oba jsou o objemu 6,3 m<sup>3</sup>. V provozu je vždy jeden ohřivač a druhý je v záloze. Mimo kotelnu jsou v areálu průmyslového podniku další tepelné zdroje. Ve staré hale se nachází plynovodní teplovodní kotel MK3

---

<sup>23</sup> Původně instalovaný výkon byl 4,5 MW. Nyní má kotel K1 omezený maximální dosažitelný tepelný výkon na 3,8 MW vlivem použitého hořáku Weishaupt typu WM – G30/2-A, který byl vyroben v roce 2020.

s tepelným výkonem 44,7 kW, který je využíván k technologickým účelům, provoz kotle je nepravidelný podle potřeby. V jedné z budov kanceláří (objekty pod číslem 12) je instalován elektrický kotel o výkonu 24 kW, který vytápí a zajišťuje ohřev TV pouze třetího nadzemní podlaží. Přípravu TV pro první a druhé nadzemní podlaží zabezpečuje plynový zásobníkový ohřivač o výkonu 8,9 kW. Výpočetní středisko, které je součástí nové haly, je vytápěno pomocí plynového teplovodního kotle MK6 o výkonu 24 kW. S vytápěním tohoto prostoru zajišťuje také ohřev TV pro tento prostor. Ovládání kotle MK6 je zajištěno programovatelným termostatem. Dále jsou v objektu využívány i elektrické tepelné zdroje. Jedná se o elektrické akumulární vytápění, které je umístěné v hlavní rozvodně VN (objekt 14) a v PT1 (objekt 3) a slouží k vytápění těchto prostor. Celkový instalovaný elektrický příkon akumulárních kamen je 58,5 kW. Následně jsou v celém areálu pro vytápění několika drobných prostor využívány elektrické přímotopy o celkovém instalovaném elektrickém příkonu 123,6 kW.

#### 4.2.2 DISTRIBUČNÍ SYSTÉM A PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

##### Distribuční systém

Jmenovité parametry horkovodního systému jsou 130/70 °C, ale zdroj je provozován spíše jako teplovodní, jelikož topná voda v celé topné sezóně nepřekročila 110 °C. Na obrázku 4.17 je zobrazen hlavní rozvod topné vody. Topná voda je vedena z kotelny skrz stěnu a následně do země směrem ke staré hale. Využito je k tomu předizolované potrubí 2 x DN 200. V zemi je uloženo bezkanálově až k odbočce 2 x DN 125, která vede do rozvaděče a sběrače v předávacím místě číslo 2 v prvním podzemním podlaží staré haly (Obr. 4.6). Z rozdělovače a sběrače v objektu 2 je vyvedeno celkem 7 větví:

- okruh 1 – zásobuje teplem severní část staré haly potrubím DN 80,
- okruh 2 – veden do výměníku potrubím DN 100,
- okruh 3 – zásobuje teplem zkušebnu v severní části staré haly,
- okruh 4 – zásobuje teplem jižní část staré haly potrubím DN 50,
- okruh 5 – zásobuje teplem jižní část staré haly potrubím DN 80,
- okruh 6 – zásobuje teplem administrativní budovu (objekt 10), ve které se nachází výměníková stanice, sklady (objekty 6 a 6A), což je sklad hořlavých kapalin, sklad výrobního materiálu, sklad režijního materiálu a sklad – PE. Vše potrubím typu DN 80.
- okruh 7 – zásobuje teplem střední část staré haly potrubím DN 80.



Obr. 4.16 - Rozdělovač a sběrač topné vody ve staré hale

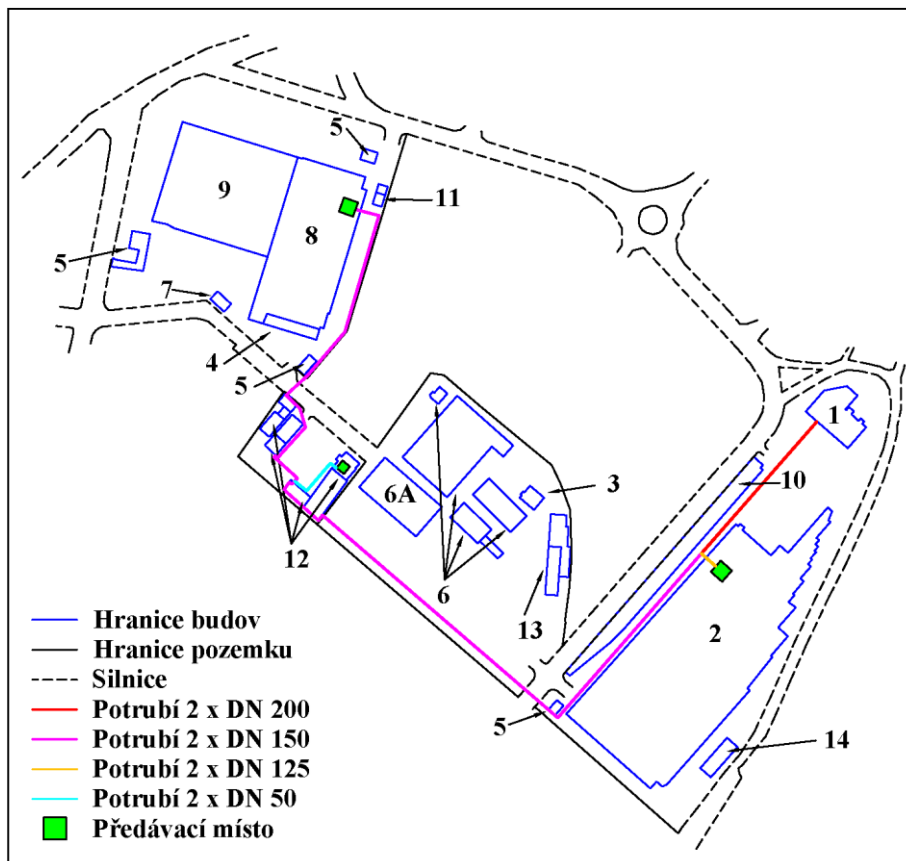
Od odbočky 2 x DN 125 vede hlavní trasa v potrubí 2 x DN 150 na potrubním mostě po stěně staré haly. Na potrubním mostě pokračuje rozvod až ke konci objektu staré haly, kde se otočí k silnici druhé třídy, přes kterou posléze přejde po potrubním mostě. Následně je z hlavní trasy vyvedena odbočka do objektu požární zbrojnice potrubím 2 x DN 50. Hlavní vedení je dále vedeno až ke kancelářím (objekty pod číslem 12), kde je rozvod veden po zadní stěně. Mezi dvěma zástavami jsou z hlavního rozvodu vyvedeny dvě odbočení, obě jsou vedeny potrubím 2 x DN 50. Jedna odbočka směřuje do levé zastavěné části k předávacímu místu číslo 3 (výměňíková stanice) a druhá do pravé zastavěné části. Hlavní trasa potrubí je vedena středem pozemku, než dojde ke komunikaci třetí třídy, kterou podchází v potrubním kanále. Dále je potrubí vedeno na nízkých sloupcích podél oplocení areálu až téměř ke garážím (objekt 11), kde se otáčí k nové hale, a následně podchází místní komunikaci a vstupuje do nové haly, kde je vedeno do předávacího místa číslo 4. V předávacím místě č. 4 je potrubí 2 x DN 150 zaústěno do rozvaděče a sběrače na prvním nadzemním podlaží. Z rozvaděče a sběrače jsou vyvedeny celkem 4 větve:

- okruh 1 – veden do dílen nové haly potrubím DN 65,
- okruh 2 – veden do výrobní haly potrubím DN 80,
- okruh 3 – veden do výrobní haly potrubím DN 80,



- okruh 4 – veden od výpočetního střediska potrubím DN 80, kde se napojuje na výměňkovou stanici.

Rozvody TV jsou plastové, použita je návlečná pěnová izolace o tloušťce do 15 mm. Venkovní část rozvodu TV je až na krátký nadzemní úsek uložena v potrubních kanálech. Izolace ostatních rozvodů topné vody je provedena minerální vlnou s hliníkovou fólií s pletivem na povrchu.



Obr. 4.17 - Distribuční síť topné vody

### Příprava TV

Pro část objektů je TV připravována centrálně v kotelně (objekt 1) a pro část objektů decentralizovaně. V zásobníkových ohřívácích v kotelně je připravována TV pro kotelnu, starou halu a administrativní budovu pomocí topné vody z kotlů K1, K2 a MK4. Topnou vodu z kotelny využívají také tři zásobníkové ohříváče TV v administrativní části nové haly. V provozu je vždy jeden ohříváč, kde je mimo topné období využíván zásobníkový ohříváč s možností elektrického ohřevu. TV v objektu požární zbrojnice zajišťují dva elektrické zásobníkové ohříváče. Příprava TV v oblasti kanceláří (objekty 12) probíhá z elektrického kotle a zásobníkového ohříváče TV. TV pro výpočetní středisko, které je součástí nové haly, je upravována teplovodním kotlem v tomto

objektu. V areálu se dále nachází několik průtokových a zásobníkových elektrických ohřívačů TV (ve staré hale, rozvodně VN, skladech, požární zbrojnici a v nové hale). Instalovány jsou převážně pákové baterie, bezdotykové baterie a baterie s kohoutky.

### 4.2.3 VYTÁPĚNÍ OBJEKTŮ

V celém areálu je vytápění provedeno horkovodně (teploty topné vody jsou spíše teplovodní), teplovodně nebo elektricky. V případě horkovodních systémů jsou objekty vytápěny nástěnnými teplovzdušnými soupravami, registry z hladkých a žebrových trubek a článkovými tělesy. Regulace je na většině míst provedena pomocí ručně ovládaných ventilů. Horkovodní vytápění je použito ve staré hale, kotelně, skladech, požární zbrojnici a nové hale (vyjma administrativní části a výpočetního střediska).

Teplovodní systémy využívají k vytápění litinová článková topná tělesa, desková topná tělesa a registry žebrových trubek s převážně ručními regulačními ventily (termostatické ventily jsou použity pouze v ojedinělých případech). Teplovodní systém je použit v administrativní budově, strážnici u staré haly, strážnicích u nové haly (strážnice vlevo pod novou halou je v pronájmu jinou společností a spotřeba energií v tomto objektu tedy nespadá pod řešený průmyslový podnik), administrativní části nové haly, výpočetním střediskem v nové hale a v kancelářích (objekty pod číslem 12). Kanceláře, jak již bylo výše zmíněno, také vzhledem k aktuálnímu pronájmu nespadají s odběrem energií pod průmyslový podnik. Budovy označené jako kanceláře jsou jediné objekty s regulací teploty pomocí termostatických ventilů v celém objektu.

Elektrické vytápění je využito v rozvodně VN (akumulační kamna), části požární zbrojnice (přímotopy), části skladů (přímotopy), strážnice nad novou halou (přímotopy), strážnice nad kancelářemi (akumulační kamna). Ostatní nezmíněné objekty nejsou vytápěny.

V určitých objektech, kde je využito horkovodního a teplovodního systému vytápění, se také nacházejí výměňkové stanice. V celém areálu se nachází celkem 5 výměňkových stanic voda – voda, a to v:

- jižní části staré haly,
- administrativní budově, která je napojena z rozvaděče na prvním podzemních poschodí staré haly (viz obrázek 4.17),

- administrativní části nové haly, která je napojena z rozvaděče a sběrače v nové hale,
- dvakrát v oblasti kanceláří (jedná se o předávací místo číslo 3).

### 4.3 NÁVRH ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM POMOCÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

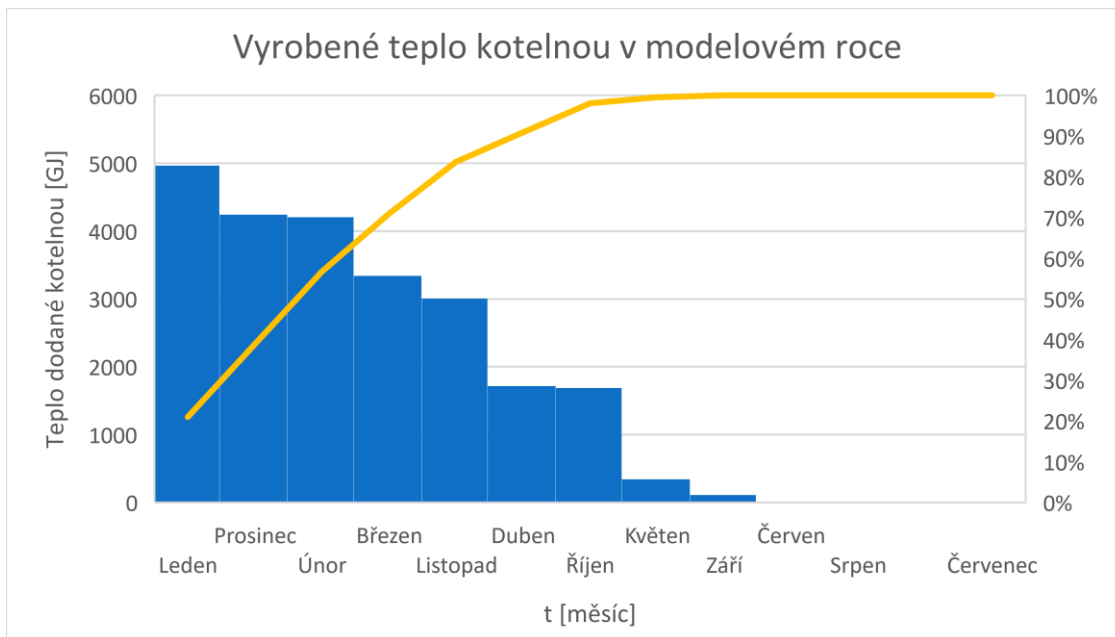
Návrh vyplývá z pokrytí tepelných potřeb průmyslového podniku s limitem nepřekročení spotřeby elektrické energie výrobou elektrické energie KJ. Jedná se o limit v návrhu, který je požadován průmyslovým podnikem, jelikož KJ má přinášet výhody v podobě úspor za vyrobenou elektrickou energii a nebýt výrobnou elektrické energie, která by musela být paralelně provozována se sítí. Zároveň je tento návrh orientován na provoz KJ nepřerušovaně ideálně po celou topnou sezónu<sup>24</sup>. Důvodem je snížení potřeb tepla, které musí naplnit stávající kotle v kotelně, a zároveň výroba elektrické energie pomocí KJ v co nejdelším období pro zvýšení úspor. Z tohoto popisu vyplývá, že pro celkové naplnění tepelných potřeb je zapotřebí dalšího zdroje tepla, který bude dodávat teplo paralelně s KJ a také samostatně. Zmíněným dalším zdrojem budou brány v potaz stávající kotle K1 a K2 v kotelně.

#### 4.3.1 POPIS NÁVRHU KJ A TECHNICKÁ ANALÝZA

Vstupní parametry a informace pro návrh jsou čerpány z již popsaných kapitol výše. V této podkapitole budou vybrány jen ty nejpotřebnější parametry a informace s jejich různou variací zpracování. Pro zvolení KJ je prvotně nutné určit, kdy je vhodné KJ provozovat. K určení vhodného intervalu provozu KJ je využito Paretova grafu modelového roku zobrazeného níže (obrázek 4.18). Popis zvolení modelového roku návrhu z pohledu tepelných potřeb průmyslového podniku je popsán v kapitole 4.1.2 výše. Paretův graf zobrazuje sestupně seřazené tepelné potřeby průmyslového podniku v jednotlivých měsících modelového roku společně s kumulativní křivkou.

---

<sup>24</sup> Pro účely této práce je topná sezóna uvažována v délce od 1. září do 31. května.



Obr. 4.18 - Paretův graf modelového roku

Z vynesené kumulativní křivky plyne, že celková tepelná potřeba modelového roku je z 98 % naplněna bez potřeb tepla v měsících květnu a září. Teplo, které je potřebné vyrobit v květnu a září, je totiž od zbývajících měsíců velice nízké, a vzhledem k optimálnímu výkonu KJ je vhodnější tyto dva měsíce neuvažovat. Období, na které bude KJ navrhována, je tedy v rozmezí měsíců října až dubna. Výkonově je nutné volit KJ tak, aby v říjnu pokryla celou tepelnou potřebu průmyslového podniku, kterou pokrývá stávající kotelna. Jedná se tedy o požadavek pokrytí 1691,46 GJ (viz tabulka 4.7) pomocí KJ. Teplo, které vyrobí KJ za daný měsíc vychází ze vztahu:

$$Q_{UV,X} = P_T \cdot Mh_X \cdot k_{GJ} \quad [\text{GJ}; \text{kW}, \text{h}, \text{GJ} \cdot \text{kWh}^{-1}] \quad (4.3)$$

kde  $Q_{UV,X}$  je vyrobené teplo KJ v daném měsíci  $X$ ,  $P_T$  je tepelný výkon KJ,  $Mh_X$  jsou motohodiny KJ v daném měsíci  $X$  a  $k_{GJ}$  je konstanta pro přepočtení na GJ. Pro vyčíslení vyrobeného tepla v každém měsíci v roce potřebujeme znát počet motohodin KJ v daném měsíci. Motohodiny v daném měsíci jsou dány počtem topných dní v měsíci a počtem hodin provozu za den (vzhledem k zadání uvažujeme nepřerušovaný provoz, čili 24 hodin za den). Pro určení topných dní v měsíci je nutné vycházet z charakteru provozu průmyslového podniku, který vychází ze zobrazených průběhů spotřeby elektrické energie na obrázcích 4.2 až 4.8. Orientace topných dní KJ podle spotřeby elektrické energie je dána podmínkou, která určuje, aby nedocházelo k přetokům elektrické energie mimo průmyslový podnik. V tabulce 4.11 níže je zobrazen přehled počtu dní v měsíci, topných dnů a maximálního počtu motohodin pro KJ.

Měsíc	Počet dní	Počet topných dnů	Mh [h]
Leden	31	27	648
Únor	28	27	648
Březen	31	30	720
Duben	30	29	696
Květen	31	0	0
Červen	30	0	0
Červenec	31	0	0
Srpen	31	0	0
Září	30	0	0
Říjen	31	30	720
Listopad	30	29	696
Prosinec	31	23	552
<b>Celkem</b>	-	-	<b>4680</b>

Tab. 4.11 – Maximální možný počet motohodin v roce

Z celkového počtu dní v daném měsíci došlo k odečtu dní, kdy průmyslový podnik není v plném výrobním provozu a spotřeba elektrické energie je příliš nízká, což by výrazně ovlivňovalo výběr KJ. K odečtu tří topných dnů došlo v lednu a následně až v prosinci k odečtu 7 topných dnů, kdy průmyslový podnik není v cyklu plné výroby. Následně v každém měsíci byl odečten 1 den pro odstávky KJ a opravy. Nyní lze dopočítat maximální možnou výrobu tepla pomocí KJ v daných měsících, ovšem pro optimální výběr je vhodné uvažovat i o výše zmíněném cyklu výroby průmyslového podniku. Pro návrh bude uvažováno o cyklu zobrazeném na obrázku 4.2. Jedná se o spotřebu elektrické energie v lednu roku 2021, kdy je patrné, že průmyslový podnik má výrazně jinou spotřebu elektrické energie o víkendech než v pracovních dnech. Bližší pohled na tyto dny je proveden na obrázcích 4.6 a 4.7. Návrh KJ by se teoreticky měl odvíjet od snížených víkendových hodnot, což by ale nevyužívalo potenciálu pracovních dní. Z tohoto důvodu se pro návrh uvažuje s tím, že KJ bude o víkendy v provozu na 75 %<sup>25</sup> výkonu a o pracovní dny na 100 % výkonu. Touto úpravou nedochází k změně počtu motohodin zobrazených v tabulce 4.11 výše, ale pouze k rozdělení tohoto počtu na motohodiny v provozu na 100 % a 75 % výkonu. Přehledný soupis jednotlivých motohodin na 75 % a 100 % výkonu KJ je zobrazen v tabulce 4.12 níže.

<sup>25</sup> Regulační rozsah KJ je 50 % až 100 %. Volba 75 % pro návrh je z důvodu možného snížení v budoucích letech a zaručení, že i o víkend nebude docházet k přetokům elektrické energie.

Měsíc	Počet topných dnů na 100 % $P_T$	Počet topných dnů na 75 % $P_T$	$Mh_{100}$ [h]	$Mh_{75}$ [h]
Leden	19	8	456	192
Únor	18	9	432	216
Březen	21	9	504	216
Duben	20	9	480	216
Květen	0	0	0	0
Červen	0	0	0	0
Červenec	0	0	0	0
Srpen	0	0	0	0
Září	0	0	0	0
Říjen	21	9	504	216
Listopad	20	9	480	216
Prosinec	16	7	384	168
<b>Celkem</b>	-	-	<b>3240</b>	<b>1440</b>

Tab. 4.12 – Maximální možný počet motohodin v roce pro daný procentní výkon KJ

Nyní lze rovnici 4.3 upravit na tvar:

$$Q_{UV,X} = (P_{T100} \cdot Mh_{100,X} + P_{T75} \cdot Mh_{75,X}) \cdot k_{GJ} \quad [\text{GJ}; \text{kW}, \text{h}, \text{kW}, \text{h}, \text{GJ} \cdot \text{kWh}^{-1}] \quad (4.4)$$

kde  $Q_{UV,X}$  je vyrobené teplo KJ v daném měsíci  $X$ ,  $P_{T100}$  je 100% tepelný výkon KJ,  $Mh_{100,X}$  jsou motohodiny KJ na 100 % výkonu v daném měsíci  $X$ ,  $P_{T75}$  je 75% tepelný výkon KJ,  $Mh_{75,X}$  jsou motohodiny KJ na 75 % výkonu v daném měsíci  $X$ , a  $k_{GJ}$  je konstanta pro přepočítání na GJ. Vybraná KJ musí tedy mít hodnotu vyrobeného tepla v měsíci říjnu maximálně 1691,46 GJ s pomocí rovnice 4.3. KJ, která ideálně splňuje tento požadavek, je od společnosti TEDOM a.s. typu Quanto 600. Základní technické a ekonomické parametry KJ jsou zobrazeny v tabulce 4.13 a 4.14 níže.

TEDOM Quanto 600	
Parametr	Hodnota
Palivo	Zemní plyn
Spotřeba plynu na 100 % výkonu – $V_{ZP100}$	151 m <sup>3</sup> /h
Spotřeba plynu na 75 % výkonu – $V_{ZP75}$	116 m <sup>3</sup> /h
100 % elektrického výkonu – $P_{E100}$	600 kW
75 % elektrického výkonu – $P_{E75}$	450 kW
100 % tepelného výkonu – $P_{T100}$	690 kW
75 % tepelného výkonu – $P_{T75}$	540 kW
Jmenovitá tepelná účinnost – $\eta_{T,KJ}$	48,4 %
Celková jmenovitá účinnost	90,4 %
Napětí	400 V
Frekvence	50 Hz
Rozměry (délka x šířka x výška)	(6100 x 2550 x 3200) mm

Tab. 4.13 – Technické parametry KJ Quanto 600

TEDOM Quanto 600	
Parametr	Hodnota
Ceníková cena	10 500 000 Kč
Servisní náklady vztažené na 1 motohodinu	146 Kč
Doba do generální opravy (dále jen GO) <sup>26</sup>	20 let
Cena GO	4 250 000 Kč
Cena za instalaci	10 500 000 Kč

Tab. 4.14 – Ekonomické parametry KJ Quanto 600 (ceny jsou bez DPH)<sup>27</sup>

Kompletní technická dokumentace a podklady ke KJ Quanto 600 jsou zobrazeny v příloze D této práce. Před provedením všech výpočtů spojených s touto KJ a ověření správné volby je nutné ověřit, zda je možné tuto KJ umístit do stávající kotelny. Místo pro tuto KJ vznikne demontáží kotle K3 a K4. Z výkresů kotelny přiložených v příloze E této práce je patrné splnění prostorových požadavků KJ Quanto 600 zobrazených v příloze D, a je tedy možné tuto KJ použít. Ověření správného výkonového zvolení této KJ je provedeno pomocí výpočtu vyrobeného tepla KJ v měsíci říjnu, na který je KJ navrhována v rovnici 4.5 níže:

$$Q_{UV,říjen} = (P_{T100} \cdot Mh_{100,říjen} + P_{T75} \cdot Mh_{75,říjen}) \cdot k_{GJ} \quad (4.5)$$

Do této rovnice je nyní možné dosadit z tabulek 4.12 a 4.13:

$$Q_{UV,říjen} = (690 \cdot 504 + 540 \cdot 216) \cdot 0,0036 = 1671,84 \text{ GJ} \quad (4.6)$$

Z výsledné hodnoty je patrné, že byla splněna podmínka nepřekročení 1691,46 GJ a z pohledu výroby tepelné energie je KJ zvolena vhodně. Hodnoty vyrobeného tepla KJ ve zbylých topných měsících jsou zobrazeny v tabulce 4.15. Z pohledu výroby elektrické energie KJ je nyní potřebné ověřit, že nebude docházet při navrženém provozu k přetokům elektrické energie. Hodnoty spotřebované elektrické energie, vůči kterým bude vyrobená elektrická energie KJ porovnávána, odpovídají nejnižším spotřebám elektrické energie v jednotlivých měsících od roku 2014 (viz tabulka 4.3). Důvodem zvolení právě těchto dat k porovnání je bezpečnější zaručení spotřeby elektrické energie pouze v areálu průmyslového podniku. Elektrickou energii, kterou vyrobí KJ Quanto 600 v jednotlivých měsících lze určit ze vztahu:

<sup>26</sup> Je zvolena na základě charakteru provozu zvolené KJ zobrazeného v tabulce 4.12.

<sup>27</sup> Veškeré ekonomické parametry jsou aktuálním odhadem po konzultaci se společností TEDOM a.s. Cena za instalaci se mění podle podmínek v daném místě připojení KJ. Pro případ této práce je zvolena cena ve 100% výši ceníkové ceny KJ.

$$E_X = P_{E100} \cdot Mh_{100,X} + P_{E75} \cdot Mh_{75,X} \quad [\text{MWh}; \text{kW}, \text{h}, \text{kW}, \text{h}] \quad (4.7)$$

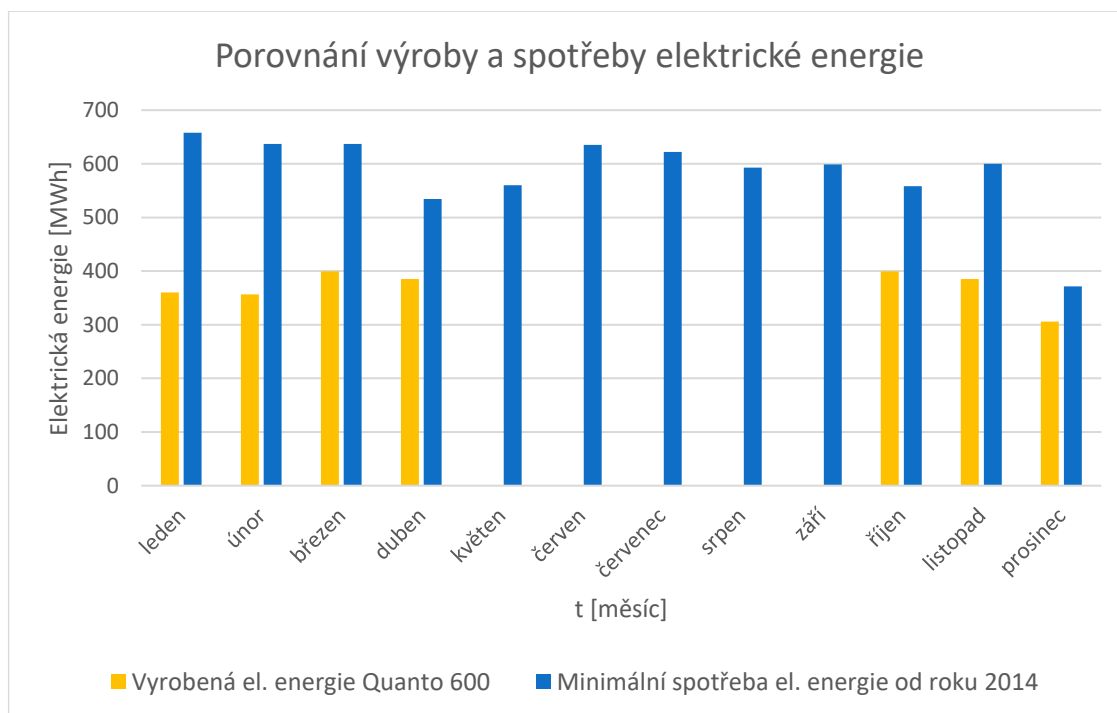
kde  $E_X$  je vyrobená elektrická energie KJ v daném měsíci  $X$ ,  $P_{E100}$  je 100% elektrický výkon KJ,  $P_{E75}$  je 75% elektrický výkon KJ a zbylé parametry jsou již popsány výše. Ověření vyrobené elektrické energie s minimální spotřebou je provedeno pomocí rovnice 4.7 pro měsíc prosinec:

$$E_{\text{prosinec}} = P_{E100} \cdot Mh_{100,\text{prosinec}} + P_{E75} \cdot Mh_{75,\text{prosinec}} \quad (4.8)$$

Do této rovnice je nyní možné dosadit z tabulek 4.12 a 4.13:

$$E_{\text{prosinec}} = 600 \cdot 384 + 450 \cdot 168 = 306\,000 \text{ kWh} = 306 \text{ MWh} \quad (4.9)$$

Měsíc prosinec je zde vybrán z důvodu nejnižší měsíční spotřeby elektrické energie průmyslovým podnikem s hodnotou 371,44 MWh (viz tabulka 4.3). Z porovnání výsledné hodnoty v rovnici 4.9 a již zmíněných 371,44 MWh je patrné, že nedochází k vyšší výrobě elektrické energie KJ. Porovnání výroby a spotřeby elektrické energie ve zbylých měsících je zobrazeno pomocí sloupcového grafu na obrázku 4.19 níže.



Obr. 4.19 - Sloupcový graf výroby a spotřeby elektrické energie

Ze sloupcového grafu je patrné, že v žádném z topných měsíců nedojde k přetokům elektrické energie. Hodnotové zobrazení vyrobené elektrické energie pomocí KJ Quanto 600 v jednotlivých měsících zvoleného topného roku je zobrazeno v tabulce 4.15 níže.



Měsíc	$Q_{UV}$ [GJ]	$E$ [MWh]
Leden	1 505,95	360,0
Únor	1 492,99	356,4
Březen	1 671,84	399,6
Duben	1 612,22	385,2
Květen	0,00	0,0
Červen	0,00	0,0
Červenec	0,00	0,0
Srpen	0,00	0,0
Září	0,00	0,0
Říjen	1 671,84	399,6
Listopad	1 612,22	385,2
Prosinec	1 280,45	306,0
<b>Celkem</b>	<b>10 847,52</b>	<b>2 592,0</b>

Tab. 4.15 - Vyrobené teplo a elektrická energie KJ Quanto 600 v modelovém roce

### 4.3.2 VÝPOČET PARAMETRŮ PLYNOUCÍCH Z NÁVRHU

Předešlá podkapitola byla věnována popisu návrhu KJ pro vytápění průmyslového podniku. Tato podkapitola navazuje na předešlou s dopočítáním parametrů plynoucích z návrhu. Dopočtené parametry budou dále využity v kapitole ekonomické analýzy.

Z dat motohodin KJ v tabulce 4.12 lze vypočítat spotřebu zemního plynu. Objem spotřebovaného zemního plynu KJ v daném měsíci  $X$  lze vypočítat podle vztahu:

$$V_{ZP-KJ,X} = V_{ZP100} \cdot Mh_{100,X} + V_{ZP75} \cdot Mh_{75,X} \quad [\text{m}^3; \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \text{h}, \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \text{h}] \quad (4.10)$$

kde  $V_{ZP-KJ,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu KJ v měsíci  $X$ ,  $V_{ZP100}$  je spotřeba zemního plynu za hodinu na 100 % výkonu KJ,  $V_{ZP75}$  je spotřeba zemního plynu za hodinu na 75 % výkonu KJ, zbylé členy rovnice jsou popsány výše. Pro názornou ukázkou je rovnice 4.10 upravena pro měsíc leden modelového roku v rovnici níže:

$$V_{ZP-KJ,leden} = V_{ZP100} \cdot Mh_{100,leden} + V_{ZP75} \cdot Mh_{75,leden} \quad (4.11)$$

Do této rovnice je nyní možné dosadit z tabulek 4.12 a 4.13:

$$V_{ZP-KJ,leden} = 151 \cdot 456 + 116 \cdot 192 = 91\,128 \text{ m}^3 \quad (4.12)$$

Spotřebovaný objem plynu ve zbylých měsících modelového roku je zobrazen v tabulce 4.16 níže.

Měsíc	$V_{ZP-KJ}$ [m <sup>3</sup> ]
Leden	91 128
Únor	65 232
Březen	76 104
Duben	72 480
Květen	0
Červen	0
Červenec	0
Srpen	0
Září	0
Říjen	76 104
Listopad	72 480
Prosinec	57 984
<b>Celkem</b>	<b>511 512</b>

Tab. 4.16 - Spotřebovaný objem plynu KJ Quanto 600 v modelovém roce

Zbylé teplo, které nedodá KJ, bude dodáno stávajícími kotli, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 4.3. Ovšem styl využívání stávajících kotlů K1 a K2 se oproti dosavadnímu používání změnil. Doposud byl využíván kotel K1 k pokrytí spotřeby v rozmezí měsíců ledna až března (v určitých případech se ke K1 přidával i K2) a kotel K2 v dubnu a květnu. V měsících od září do prosince byl z většiny v provozu zejména K2. Po zařazení KJ by byl k pokrytí tepelných potřeb průmyslového podniku dostačující K2 a K1 by mohl fungovat jako aktivní záloha. Ovšem pro účely této práce není zásadní, který kotel by doplňoval KJ, ale pouze fakt, že tepelné potřeby budou pokryty stávajícími kotli. Teplo, které bude dodáno v modelovém roce stávajícími kotli, je zobrazeno v tabulce 4.17 níže, a stejně tak je zobrazen objem spotřebovaného plynu.

Měsíc	$Q_v$ [GJ]	$V_{ZP-k}$ [m <sup>3</sup> ]
Leden	3 462,23	108 205
Únor	2 713,09	84 792
Březen	1 671,34	52 234
Duben	104,78	3 275
Květen	343,66	10 741
Červen	0,31	10
Červenec	0,00	0
Srpen	0,04	2
Září	111,62	3 489
Říjen	19,62	614
Listopad	1 396,65	43 650
Prosinec	2 966,20	92 702
<b>Celkem</b>	<b>12 789,54</b>	<b>399 713</b>

Tab. 4.17 – Teplo vyrobené stávajícími kotli s odpovídajícím odběrem zemního plynu

Hodnoty  $Q_V$  v tabulce 4.17 vzešly po odečtení potřebného tepla v modelovém roce v tabulce 4.7 a vyrobeného tepla KJ Quanto 600 v tabulce 4.15. Výpočet  $V_{ZP-k}$  v tabulce 4.17 vyplývá z rovnice 4.1, kde je vytknuto  $V_{ZP-k}$ . Rovnice je následně tvaru:

$$V_{ZP-k,X} = \frac{Q_{V,X}}{Q_i \cdot \eta_k} \quad [\text{m}^3; \text{GJ}, \text{GJ} \cdot \text{m}^{-3}, -] \quad (4.13)$$

kde  $V_{ZP-k,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu stávajícími kotli v daném měsíci  $X$ ,  $Q_{V,X}$  je vyrobené teplo stávajícími kotli v měsíci  $X$ ,  $Q_i$  je výhřevnost zemního plynu a  $\eta_k$  je tepelná účinnost stávajících kotlů. Názorné dosazení pro měsíc leden je provedeno v rovnici níže.

$$V_{ZP-k,leden} = \frac{Q_{V,leden}}{Q_i \cdot \eta_k} = \frac{3\,462,23}{0,034185 \cdot 0,936} \doteq 108\,205 \text{ m}^3 \quad (4.14)$$

Hodnotově je celkový odebraný objem plynu zaokrouhlen na celá čísla vždy nahoru. Pro následné dopočítání celkových nákladů za odběr zemního plynu je potřebné stanovit celkový odebraný objem zemního plynu v daném měsíci  $X$  pro vytápění průmyslového podniku. Stanovení je provedeno vztahem:

$$V_{ZP-C,X} = V_{ZP-KJ,X} + V_{ZP-k,X} \quad [\text{m}^3; \text{m}^3, \text{m}^3] \quad (4.15)$$

kde  $V_{ZP-C,X}$  je celkový odebraný objem zemního plynu v daném měsíci  $X$ . Zbylé parametry jsou již popsány výše. Názorné dosazení pro měsíc leden je provedeno v rovnici níže.

$$V_{ZP-C,únor} = V_{ZP-KJ,únor} + V_{ZP-k,únor} = 65\,232 + 84\,792 = 150\,024 \text{ m}^3 \quad (4.16)$$

Zbylé hodnoty odebraného objemu zemního plynu v jednotlivých měsících modelového roku jsou zobrazeny v tabulce 4.18 níže.

<b>Měsíc</b>	<b><math>V_{ZP-C}</math> [m<sup>3</sup>]</b>
Leden	199 333
Únor	150 024
Březen	128 338
Duben	75 755
Květen	10 741
Červen	10
Červenec	0
Srpen	2
Září	3 489
Říjen	76 718
Listopad	116 130
Prosinec	150 686
<b>Celkem</b>	<b>911 226</b>

Tab. 4.18 - Celkový objem spotřebovaného zemního plynu v měsících modelového roku

### 4.3.3 SOUHRN VÝSLEDKŮ NÁVRHU

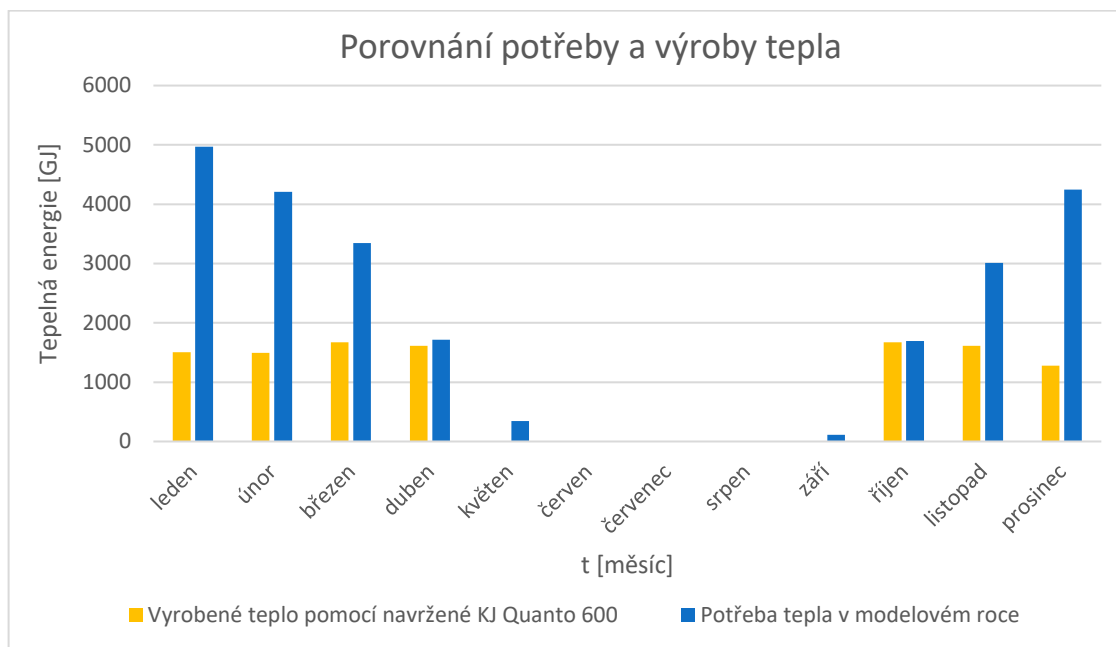
V této podkapitole jsou shromážděny výsledky vzešlé z návrhu zásobování teplem průmyslového podniku pomocí KJ, který je popsán v podkapitolách 4.3.1 a 4.3.2. Výsledné parametry jsou zobrazeny v tabulce 4.19 níže.

Parametr	Hodnota
Celkový spotřebovaný objem zemního plynu	911 226 m <sup>3</sup>
Celková vyrobená elektrická energie	2 592 MWh
Tepelná energie vyrobená KJ	10 847,52 GJ
Tepelná energie vyrobená stávajícími kotli	12 789,54 GJ
Motohodiny KJ	4680 h

Tab. 4.19 - Přehled výsledných ročních parametrů návrhu zásobování teplem pomocí KJ

### 4.4 OPTIMALIZACE NÁVRHU

Návrh zásobování teplem v kapitole 4.3 vycházel z ideálního provozu KJ v rozmezí měsíců října až dubna s pokrytím tepelných potřeb modelového roku v měsíci říjnu. Zobrazení výsledných hodnot vyrobeného tepla KJ a potřebného tepla modelového roku je provedeno sloupcových grafem na obrázku 4.20 níže.



Obr. 4.20 - Výsledné hodnoty vyrobeného tepla pomocí KJ a tepelných potřeb průmyslového podniku v modelovém roce

Z obrázku 4.20 je zřejmé, že návrhem bylo splněno to, co bylo požadováno. Dále z obrázku 4.20 plyne, že v měsících listopadu až března je stále velká část tepelných

potřeb průmyslového podniku pomocí KJ nenaplněna. Předmětem optimalizace návrhu je návrh dodatečné KJ, která bude v provozu právě od listopadu do března k vyššímu pokrytí tepelných potřeb průmyslového podniku pomocí kogenerační technologie.

#### 4.4.1 POPIS NÁVRHU OPTIMALIZACE A TECHNICKÁ ANALÝZA

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o návrh dodatečné KJ k pokrytí tepelných potřeb průmyslového podniku v rozmezí měsíců listopadu až března. Pro vhodné zvolení druhé KJ, která bude doplňovat KJ Quanto 600, je nutné určit maximální možné motohodiny, kdy bude dodatečná KJ v provozu.

Motohodiny dodatečné KJ vycházejí z úpravy motohodin KJ Quanto 600. V tabulce 4.12 je zobrazen počet motohodin KJ Quanto 600 na plný výkon a na snížených 75 % výkonu. Motohodiny dodatečné KJ (značené jako  $Mh_D$ ) odpovídají motohodinám na 100 % Quanto 600, ale s určitou úpravou. Dodatečná KJ nemůže být v provozu o víkendy, aby nedocházelo k přetokům elektrické energie. Ze stejného důvodu ji nelze provozovat ani v prosinci. Celkově se tedy jedná o provoz ve čtyřech topných měsících, a to na 100% výkon. Přehledný soupis motohodin dodatečné KJ je zobrazen v tabulce 4.20 níže.

Měsíc	Počet topných dnů dodatečné KJ	$Mh_D$ [h]
Leden	19	456
Únor	18	432
Březen	21	504
Duben	0	0
Květen	0	0
Červen	0	0
Červenec	0	0
Srpen	0	0
Září	0	0
Říjen	0	0
Listopad	20	480
Prosinec	0	0
<b>Celkem</b>	-	<b>1872</b>

Tab. 4.20 – Počet motohodin dodatečné KJ

Po určení motohodin dodatečné KJ lze vybrat vhodný výkon KJ. Z pohledu tepelných potřeb je vhodné navrhnout KJ na pokrytí tepelných potřeb v měsíci listopadu (viz Paretův graf na obrázku 4.18). Teplo, které je v tomto měsíci potřebné vyrobit pro doplnění KJ Quanto 600, je vyčísleno na 1396,65 GJ (viz tabulka 4.17). Ovšem při

návrhu dodatečné KJ je nutné vycházet spíše z nepřekročení spotřeby elektrické energie v měsíci listopadu. V tomto měsíci bude vyrobeno 385,2 MWh pomocí KJ Quanto 600. Maximální možná výroba elektrické energie plyne z dat minimální spotřeby elektrické energie od roku 2014 (viz tabulka 4.3). V měsíci listopadu se jedná o maximální výrobu elektrické energie 599,97 MWh. Po odečtení těchto hodnot elektrické energie vyplývá, že dodatečná KJ může vyrobit maximálně 214,77 MWh elektrické energie. Výpočet vyrobené elektrické energie dodatečné KJ vychází z rovnice níže.

$$E_{D,X} = P_{E,D} \cdot Mh_{D,X} \quad [\text{MWh}; \text{MW}, \text{h}] \quad (4.17)$$

kde  $E_{D,X}$  je vyrobená elektrická energie dodatečnou KJ v daném měsíci  $X$ ,  $P_{E,D}$  je elektrický výkon dodatečné KJ a  $Mh_{D,X}$  je počet motohodin dodatečné KJ v daném měsíci (viz tabulka 4.20). Z této rovnice lze vytknout potřebný elektrický výkon dodatečné KJ pro měsíc listopad, tato úprava je zobrazena v rovnici níže.

$$P_{E,D} = \frac{E_{Dmax,listopad}}{Mh_{D,listopad}} \quad [\text{MW}; \text{MWh}, \text{h}] \quad (4.18)$$

kde  $P_{Emax,D}$  je maximální elektrický výkon dodatečné KJ,  $E_{Dmax,listopad}$  je již zjištěná maximální možná vyrobená elektrická energie pomocí dodatečné KJ v měsíci listopad a  $Mh_{D,listopad}$  je počet motohodin dodatečné KJ v měsíci listopad. Nyní lze do rovnice 4.18 dosadit a zjistit maximální možný elektrický výkon dodatečné KJ:

$$P_{E,D} = \frac{E_{Dmax,listopad}}{Mh_{D,listopad}} = \frac{214,77}{480} = 0,447 \text{ MW} = 447 \text{ kW} \quad (4.19)$$

Maximální možný elektrický výkon KJ je tedy 447 kW. Z nabídky KJ společnosti TEDOM a.s. tomu odpovídá KJ typu Flexi 430. Technické a ekonomické parametry této KJ jsou zobrazeny v tabulkách 4.21 a 4.22 níže.

<b>TEDOM Flexi 430</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Palivo	Zemní plyn
Spotřeba plynu – $V_{ZP,D}$	123 m <sup>3</sup> /h
Elektrický výkon – $P_{E,D}$	430 kW
Tepelný výkon – $P_{T,D}$	610 kW
Jmenovitá tepelná účinnost – $\eta_{T,KJ-D}$	52,5 %
Celková jmenovitá účinnost	89,5 %
Napětí	400 V
Frekvence	50 Hz
Rozměry (délka x šířka x výška)	(4870 x 2205 x 2694) mm

Tab. 4.21 - Technické parametry KJ Flexi 430

TEDOM Flexi 430	
Parametr	Hodnota
Ceníková cena	8 100 000 Kč
Servisní náklady vztažené na 1 motohodinu	125 Kč
Doba do GO <sup>28</sup>	20 let
Cena GO	4 100 000 Kč
Cena za instalaci	8 100 000 Kč

Tab. 4.22 – Ekonomické parametry KJ Flexi 430 (ceny jsou bez DPH)<sup>29</sup>

Kompletní technická dokumentace a podklady ke KJ Flexi 430 jsou zobrazeny v příloze F této práce. Stejně jako v kapitole návrhu jsou s výběrem KJ Flexi 430 překontrolovány prostorové podmínky ve stávající kotelně (příloha E této práce) a KJ Flexi 430 je možné umístit do kotelně i s již navrhnutou KJ Quanto 600. Nyní lze dopočítat vyrobenou elektrickou energii KJ Flexi 430 podle rovnice 4.17 s dosazením hodnot z tabulky 4.21. Přímé dosazení pro měsíc listopad je provedeno v rovnici níže:

$$E_{D,listopad} = P_{E,D} \cdot Mh_{D,listopad} = 430 \cdot 480 = 206\,400 \text{ kWh} = 206,4 \text{ MWh} \quad (4.20)$$

Z výsledné hodnoty je patrné, že je splněna podmínka nepřevýšení 214,77 MWh. Hodnoty vyrobené elektrické energie pomocí dodatečné KJ ve zbylých měsících jsou zobrazeny v tabulce 4.23 níže. Dále lze dopočítat hodnoty vyrobené tepelné energie dodatečnou KJ podle rovnice 4.21 níže:

$$Q_{UV-D,X} = P_{T,D} \cdot Mh_X \cdot k_{GJ} \quad [\text{GJ}; \text{kW}, \text{h}, \text{GJ} \cdot \text{kWh}^{-1}] \quad (4.21)$$

kde  $Q_{UV-D,X}$  je vyrobené teplo dodatečnou KJ v daném měsíci  $X$ ,  $P_{T,D}$  je tepelný výkon dodatečné KJ,  $Mh_{D,X}$  jsou motohodiny dodatečné KJ v daném měsíci  $X$  a  $k_{GJ}$  je konstanta pro přepočítání na GJ. Tuto rovnici lze upravit pro měsíc listopad jako:

$$Q_{UV-D,listopad} = P_{T,D} \cdot Mh_{listopad} \cdot k_{GJ} \quad [\text{GJ}; \text{kW}, \text{h}, \text{GJ} \cdot \text{kWh}^{-1}] \quad (4.22)$$

Do této rovnice je nyní možné dosadit z tabulek 4.20 a 4.21:

$$Q_{UV-D,listopad} = 610 \cdot 480 \cdot 0,0036 = 1\,054,08 \text{ GJ} \quad (4.23)$$

<sup>28</sup> Je zvolena na základě charakteru provozu zvolené KJ zobrazeného v tabulce 4.20.

<sup>29</sup> Veškeré ekonomické parametry jsou aktuálním odhadem po konzultaci se společností TEDOM a.s. Cena za instalaci se mění dle podmínek v daném místě připojení KJ. Pro případ této práce je zvolena cena ve 100% výši ceníkové ceny KJ.

Z výsledné hodnoty vyrobené tepelné energie pomocí KJ Flexi 430 je zřejmé, že je splněna podmínka nepřevýšení 1396,65 GJ, která byla zmíněna v úvodu této podkapitoly. Hodnoty vyrobené tepelné energie pomocí dodatečné KJ Flexi 430 ve zbylých měsících jsou zobrazeny v tabulce 4.23 níže.

Měsíc	$Q_{UV-D}$ [GJ]	$E_D$ [MWh]
Leden	1 001,38	196,08
Únor	948,67	185,76
Březen	1 106,78	216,72
Duben	0,00	0,00
Květen	0,00	0,00
Červen	0,00	0,00
Červenec	0,00	0,00
Srpen	0,00	0,00
Září	0,00	0,00
Říjen	0,00	0,00
Listopad	1 054,08	206,40
Prosinec	0,00	0,00
<b>Celkem</b>	<b>4 110,91</b>	<b>804,96</b>

Tab. 4.23 - Vyrobené teplo a elektrická energie KJ Flexi 430 v modelovém roce

S vyčíslenými hodnotami jednotlivé vyrobené energie dodatečné KJ lze sečíst tyto hodnoty s hodnotami jednotlivé energie vyrobené pomocí KJ Quanto 600 a získat celkovou vyrobenou elektrickou a tepelnou energii pomocí kogeneračních jednotek po optimalizaci návrhu. Celková elektrická energie vyrobená pomocí KJ se vypočte ze vztahu:

$$E_{C,X} = E_X + E_{D,X} \quad [\text{MWh}; \text{MWh}, \text{MWh}] \quad (4.24)$$

kde  $E_{C,X}$  je celková vyrobená elektrická energie pomocí obou KJ v daném měsíci  $X$  modelového roku,  $E_X$  je elektrická energie vyrobená pomocí KJ Quanto 600 v měsíci  $X$  a  $E_{D,X}$  je vyrobená elektrická energie pomocí dodatečné KJ Flexi 430 v měsíci  $X$ . Názorné dosazení pro měsíc listopad (viz tabulky 4.15 a 4.23) je provedeno níže:

$$E_{C,\text{listopad}} = E_{\text{listopad}} + E_{D,\text{listopad}} = 385,2 + 206,4 = 591,6 \text{ MWh} \quad (4.25)$$

Hodnoty celkové vyrobené elektrické energie pomocí obou KJ ve zbylých měsících jsou zobrazeny v tabulce 4.24 níže. Celková tepelná energie vyrobená pomocí KJ se vypočte ze vztahu:

$$Q_{UV-C,X} = Q_{UV,X} + Q_{UV-D,X} \quad [\text{GJ}; \text{GJ}, \text{GJ}] \quad (4.26)$$



kde  $Q_{UV-C,X}$  je celková vyrobená tepelná energie pomocí obou KJ v daném měsíci  $X$  modelového roku,  $Q_{UV,X}$  je tepelná energie vyrobená pomocí KJ Quanto 600 v měsíci  $X$  a  $Q_{UV-D,X}$  je vyrobená tepelná energie pomocí dodatečné KJ Flexi 430 v měsíci  $X$ . Názorné dosazení pro měsíc listopad (viz tabulky 4.15 a 4.23) je provedeno níže:

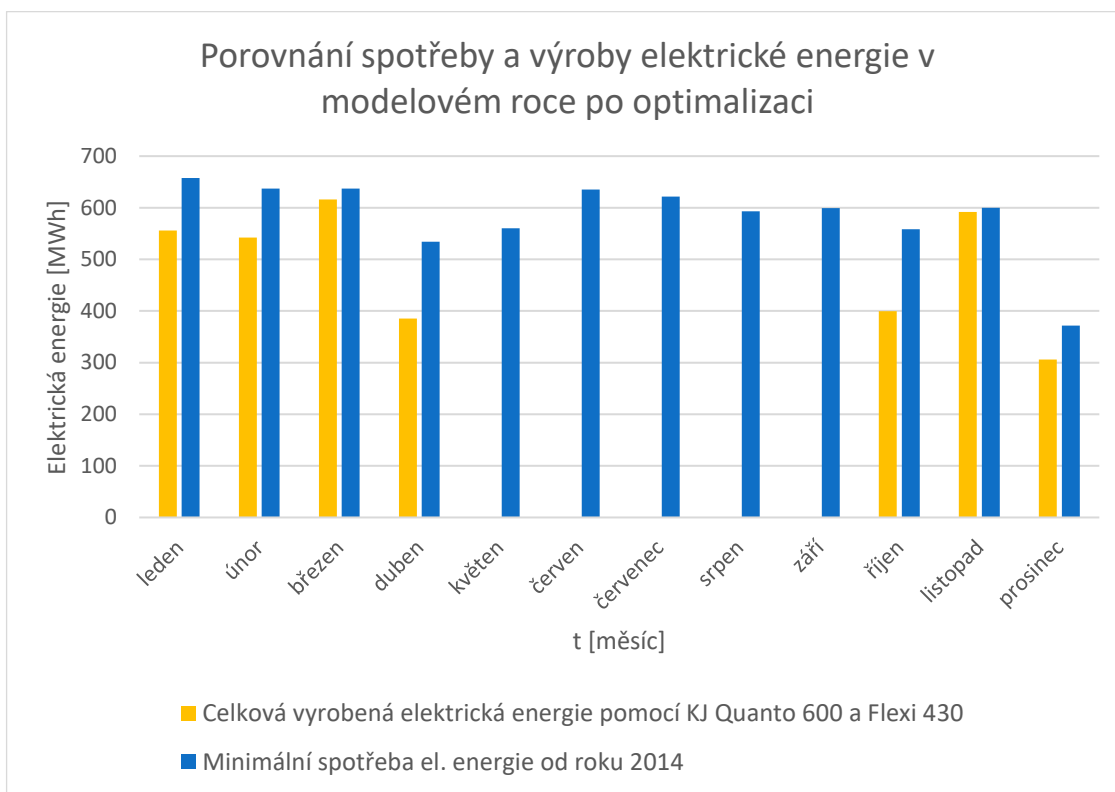
$$Q_{UV-C,listopad} = Q_{UV,listopad} + Q_{UV-D,listopad} = 1612,22 + 1054,08 = 2666,3 \text{ GJ} \quad (4.27)$$

Hodnoty celkové vyrobené tepelné energie pomocí obou KJ ve zbylých měsících jsou zobrazeny v tabulce 4.24 níže.

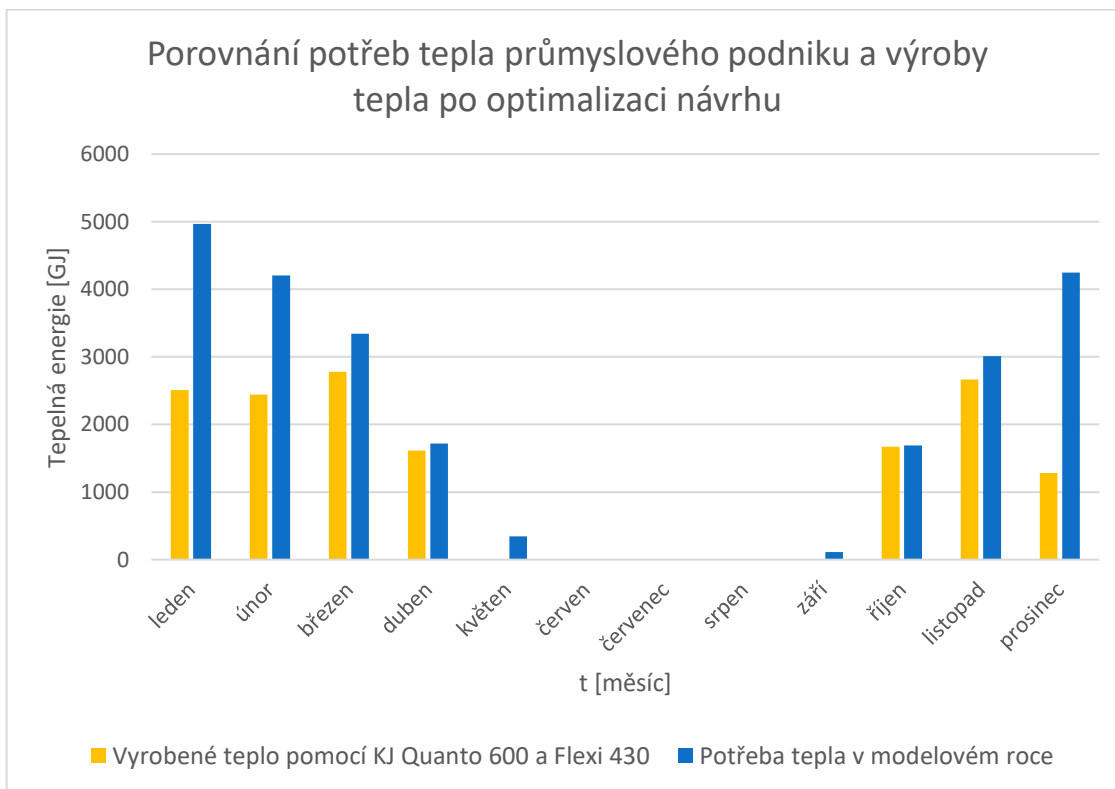
Měsíc	$Q_{UV-C}$ [GJ]	$E_C$ [MWh]
Leden	2 507,33	556,08
Únor	2 441,66	542,16
Březen	2 778,62	616,32
Duben	1 612,22	385,20
Květen	0,00	0,00
Červen	0,00	0,00
Červenec	0,00	0,00
Srpen	0,00	0,00
Září	0,00	0,00
Říjen	1 671,84	399,60
Listopad	2 666,30	591,60
Prosinec	1 280,45	306,00
<b>Celkem</b>	<b>14 958,43</b>	<b>3 396,96</b>

Tab. 4.24 – Celkové vyrobené teplo a elektrická energie pomocí KJ Quanto 600 a Flexi 430 v modelovém roce

Výsledné porovnání celkové vyrobené elektrické energie pomocí obou KJ s minimální spotřebou elektrické energie od roku 2014 (viz tabulka 4.3) je zobrazeno na obrázku 4.21 níže. Grafické znázornění původních tepelných potřeb průmyslového podniku modelového roku a tepla vyrobeného pomocí obou KJ po optimalizaci je zobrazeno na obrázku 4.22 také níže.



Obr. 4.21 - Srovnání minimální spotřeby elektrické energie průmyslového podniku a celkové vyrobené elektrické energie po optimalizaci



Obr. 4.22 - Srovnání tepelných potřeb průmyslového podniku v modelovém roce a celkové vyrobené tepelné energie po optimalizaci

#### 4.4.2 VÝPOČET PARAMETRŮ PLYNOUCÍCH Z OPTIMALIZACE

Z vypočtených hodnot vyrobeného tepla dodatečné KJ Flexi 430 je potřebné dopočítat objem spotřebovaného zemního plynu. Výpočet vychází z rovnice níže.

$$V_{ZP-D,X} = V_{ZP,D} \cdot Mh_{D,X} \quad [\text{m}^3; \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \text{h}] \quad (4.28)$$

kde  $V_{ZP-D,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu dodatečnou KJ v měsíci  $X$ ,  $V_{ZP,D}$  je spotřeba zemního plynu za hodinu dodatečnou KJ a  $Mh_{D,X}$  je počet motohodin dodatečné KJ v daném měsíci  $X$  (viz tabulka 4.20). Dosazení do rovnice 4.28 pro měsíc leden je provedeno v rovnici níže.

$$V_{ZP-D,leden} = V_{ZP,D} \cdot Mh_{D,leden} = 123 \cdot 456 = 56\,088 \text{ m}^3 \quad (4.29)$$

Spotřebovaný objem zemního plynu ve zbylých měsících modelového roku dodatečnou KJ je zobrazen v tabulce 4.25 níže.

Měsíc	$V_{ZP-D}$ [m <sup>3</sup> ]
Leden	56 088
Únor	53 136
Březen	61 992
Duben	0
Květen	0
Červen	0
Červenec	0
Srpen	0
Září	0
Říjen	0
Listopad	59 040
Prosinec	0
<b>Celkem</b>	<b>230 256</b>

Tab. 4.25 - Spotřebovaný objem plynu KJ Flexi 430 v modelovém roce

K jednotlivým hodnotám  $V_{ZP-D}$  lze nyní přičíst hodnoty  $V_{ZP-KJ}$  z tabulky 4.16 k určení celkového odebraného objemu zemního plynu kogeneračními jednotkami po optimalizaci:

$$V_{ZP-KJ,opt,X} = V_{ZP-D,X} + V_{ZP-KJ,X} \quad [\text{m}^3; \text{m}^3, \text{m}^3] \quad (4.30)$$

kde  $V_{ZP-KJ,opt,X}$  je celkový odebraný objem zemního plynu kogeneračními jednotkami po optimalizaci v měsíci  $X$ ,  $V_{ZP-D,X}$  je odebraný zemní plyn dodatečnou KJ Flexi 430 v měsíci  $X$  modelového roku a  $V_{ZP-KJ,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu KJ Quanto 600 v měsíci  $X$ . Úprava rovnice 4.30 pro měsíc leden je provedena v rovnici 4.30 níže.

$$V_{ZP-KJ,opt,leden} = V_{ZP-D,leden} + V_{ZP-KJ,leden} \quad [m^3; m^3, m^3] \quad (4.31)$$

Do této rovnice je nyní možné dosadit z tabulek 4.16 a 4.25:

$$V_{ZP-KJ,opt,leden} = 56\,088 + 91\,128 = 147\,216 \text{ m}^3 \quad (4.32)$$

Spotřebovaný objem zemního plynu kogeneračními jednotkami po optimalizaci ve zbylých měsících modelového roku je zobrazen v tabulce 4.26 níže.

Měsíc	$V_{ZP-KJ,opt} [m^3]$
Leden	147 216
Únor	118 368
Březen	138 096
Duben	72 480
Květen	0
Červen	0
Červenec	0
Srpen	0
Září	0
Říjen	76 104
Listopad	131 520
Prosinec	57 984
<b>Celkem</b>	<b>741 768</b>

Tab. 4.26 - Spotřebovaný objem zemního plynu kogeneračními jednotkami po optimalizaci

Stejně jako u prvotního návrhu KJ bude zbylé teplo dodáno stávajícími kotli K1 a K2. Nové hodnoty vyrobeného tepla stávajícími kotli po optimalizaci s patřičným odebraným objemem zemního plynu jsou zobrazeny v tabulce 4.27 níže.

Měsíc	$Q_{v,opt} [GJ]$	$V_{ZP-k,opt} [m^3]$
Leden	2 460,85	76 909
Únor	1 764,42	55 144
Březen	564,56	17 644
Duben	104,78	3 275
Květen	343,66	10 741
Červen	0,31	10
Červenec	0,00	0
Srpen	0,04	2
Září	111,62	3 489
Říjen	19,62	614
Listopad	342,57	10 706
Prosinec	2 966,20	92 703
<b>Celkem</b>	<b>8 678,63</b>	<b>271 237</b>

Tab. 4.27 – Teplo vyrobené stávajícími kotli s odpovídajícím odběrem zemního plynu po optimalizaci

Hodnoty  $Q_{V,opt}$  v tabulce 4.27 vzešly po odečtení potřebného tepla v modelovém roce v tabulce 4.7 a  $Q_{UV-C}$  v tabulce 4.24. Výpočet  $V_{ZP-k,opt}$  v tabulce 4.27 vyplývá z rovnice 4.1, kde je vytknuto  $V_{ZP-k}$ . Rovnice je následně tvaru:

$$V_{ZP-k,opt,X} = \frac{Q_{V,opt,X}}{Q_i \cdot \eta_k} \quad [\text{m}^3; \text{GJ}, \text{GJ} \cdot \text{m}^{-3}, -] \quad (4.33)$$

kde  $V_{ZP-k,opt,X}$  je objem spotřebovaného zemního plynu stávajícími kotli v daném měsíci  $X$  po optimalizaci,  $Q_{V,opt,X}$  je vyrobené teplo stávajícími kotli po optimalizaci v měsíci  $X$ ,  $Q_i$  je výhřevnost zemního plynu a  $\eta_k$  je tepelná účinnost stávajících kotlů. Názorné dosazení pro měsíc leden je provedeno v rovnici níže.

$$V_{ZP-k,opt,leden} = \frac{Q_{V,opt,leden}}{Q_i \cdot \eta_k} = \frac{2\,460,86}{0,034185 \cdot 0,936} \doteq 76\,909 \text{ m}^3 \quad (4.34)$$

Hodnotově je celkový odebraný objem plynu zaokrouhlen vždy na celá čísla nahoru. Pro následné dopočítání celkových nákladů za odběr zemního plynu je potřebné stanovit celkový odebraný objem zemního plynu v daném měsíci  $X$  pro vytápění průmyslového podniku. Stanovení je provedeno vztahem:

$$V_{ZP-C,opt,X} = V_{ZP-KJ,opt,X} + V_{ZP-k,opt,X} \quad [\text{m}^3; \text{m}^3, \text{m}^3] \quad (4.35)$$

kde  $V_{ZP-C,opt,X}$  je celkový odebraný objem zemního plynu v daném měsíci  $X$  po optimalizaci a zbylé parametry jsou již popsány výše. Názorné dosazení pro měsíc leden je zobrazeno v rovnici níže.

$$\begin{aligned} V_{ZP-C,opt,\text{únor}} &= V_{ZP-KJ,opt,\text{únor}} + V_{ZP-k,opt,\text{únor}} = 118\,368 + 55\,144 = \\ &= 173\,512 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4.36)$$

Zbylé hodnoty odebraného objemu zemního plynu v jednotlivých měsících modelového roku po optimalizaci jsou zobrazeny v tabulce 4.28 níže.

Měsíc	$V_{ZP-C,opt} [\text{m}^3]$
Leden	224 125
Únor	173 512
Březen	155 740
Duben	75 755
Květen	10 741
Červen	10
Červenec	0
Srpen	2
Září	3 489
Říjen	76 718
Listopad	142 226
Prosinec	150 687
<b>Celkem</b>	<b>1 013 005</b>

Tab. 4.28 - Celkový objem spotřebovaného zemního plynu v měsících modelového roku

### 4.4.3 SOUHRN VÝSLEDKŮ OPTIMALIZACE

V této podkapitole jsou shromážděny výsledky z optimalizovaného návrhu zásobování teplem průmyslového podniku pomocí KJ, který je popsán v podkapitolách 4.4.1 a 4.4.2. Výsledné parametry jsou zobrazeny v tabulce 4.29 níže.

Parametr	Hodnota
Celkový spotřebovaný objem zemního plynu	1 013 005 m <sup>3</sup>
Celková vyrobená elektrická energie	3 396,96 MWh
Tepelná energie vyrobená KJ	14 958,43 GJ
Tepelná energie vyrobená stávajícími kotli	8 678,63 GJ
Motohodiny KJ Quanto 600	4 680 h
Motohodiny KJ Flexi 430	1 872 h

Tab. 4.29 - Přehled výsledných ročních parametrů optimalizovaného návrhu zásobování teplem pomocí KJ

## 4.5 EKONOMICKÁ ANALÝZA

V této podkapitole jsou popsány jednotlivé výpočty příjmů a výdajů vstupujících do ekonomického modelu. Dále jsou zde prezentovány výsledky ekonomického hodnocení efektivnosti navrženého zásobování teplem pomocí KJ.

### 4.5.1 VÝPOČET EKONOMICKÝCH PŘÍJMŮ

Úspory jsou v této práci jedinou příjmovou položkou, vstupující do ekonomického modelu, který je použit k hodnocení ekonomické efektivnosti návrhu. Finanční úspory jsou dány vyrobenou elektrickou energií KJ, kterou průmyslový podnik nemusí následně odebírat ze sítě a platit za ni. Výpočet úspor v daném roce hodnoceného období je uveden níže:

$$US_T = E_T \cdot C_{el} \quad [\text{Kč}; \text{kWh}, \text{Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}] \quad (4.37)$$

kde  $US_T$  je peněžní úspora z vyrobené elektrické energie KJ v roce  $T$ ,  $E_T$  je vyrobená elektrická energie KJ v roce  $T$  a  $C_{el}$  je průměrná cena elektrické energie za hodnocené období. Hodnotu  $E_T$  je nutné si určit pro prvotní návrh, a i pro návrh po následné optimalizaci.  $E_T$  pro návrh bez optimalizace vychází ze vztahu:

$$E_T = \sum_{X=\text{leden}}^{\text{prosinec}} E_X \quad [\text{kWh}; -, \text{kWh}] \quad (4.38)$$

Jedná se tedy o součet vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících modelového roku z tabulky 4.15.  $E_T$  pro návrh po optimalizaci vychází ze vztahu:

$$E_T = \sum_{x=leden}^{prosinec} E_{C,x} \quad [\text{kWh}; -, \text{kWh}] \quad (4.39)$$

Podobně jako u návrhu bez optimalizace se jedná o součet vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících modelového roku, ale nyní z tabulky 4.24. Pro následné vyčíslení  $U_{ST}$  je nutné znát hodnotu  $C_{el}$ , která byla již určena v kapitole 4.1.1. Pro ekonomický model bude tedy uvažováno s  $C_{el}$  dle rovnice níže.

$$C_{el} = 2,15 \text{ Kč/kWh} \quad (4.40)$$

Dalšími potenciálními příjmovými položkami ekonomického modelu jsou finanční podpora ve formě zeleného bonusu a příjmy za přetoky elektrické energie do sítě. V této práci nebude se zelenými bonusy počítáno vzhledem k jejich vynulování pro aktuální rok 2023 a stejně tak v této práci nefigurují přetoky elektrické energie do sítě vzhledem k zamýšlenému charakteru provozu KJ. Provoz KJ je orientován na pokrytí tepelných potřeb průmyslového podniku, a ne na výrobu elektrické energie, se kterou by byly spjaty i požadavky pro paralelní provoz zdroje se sítí.

#### 4.5.2 VÝPOČET EKONOMICKÝCH VÝDAJŮ

Výdaje uvažované v ekonomickém modelu lze rozdělit na 4 druhy:

- investiční výdaje –  $N_i$ ,
- palivové provozní náklady –  $N_{pal}$ ,
- provozní servisní a údržbové náklady –  $N_{ús}$ ,
- provozní reinvestiční náklady –  $N_{rinv}$ .

Investiční výdaje v této práci jsou dány cenou KJ a částkou za instalaci KJ na dané místo. Palivové provozní náklady v roce  $T$  je možné určit, pokud známe energii spotřebovaného paliva a cenu za tuto energii podle vztahu:

$$N_{pal,T} = V_T \cdot C_{ZP} \quad [\text{Kč}; \text{m}^3, \text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4.41)$$

kde  $N_{pal,T}$  jsou palivové provozní náklady v roce  $T$ ,  $C_{ZP}$  je cena za odebraný objem zemního plynu a  $V_T$  je uvažovaný objem spotřebovaného zemního plynu v roce  $T$ . Vzhledem k charakteru návrhu je vhodné uvažovat  $V_T$  ve srovnání s modelovým rokem,

kdy je zásobování teplem provedeno pomocí stávajících plynových kotlů. Pro výpočet palivových výdajů prvotního návrhu před optimalizací se  $V_T$  určí pomocí vztahu:

$$V_T = \sum_{X=leden}^{prosinec} V_{ZP-C,X} - \sum_{X=leden}^{prosinec} V_{ZP-k,X} \quad [m^3; -, m^3, -, m^3] \quad (4.42)$$

kde  $V_{ZP-k,X}$  je spotřebovaný objem zemního plynu v měsíci  $X$  modelového roku stávajícími plynovými kotli (viz tabulka 4.6) a  $V_{ZP-C,X}$  je celkový spotřebovaný objem zemního plynu v modelovém roce po prvotním návrhu zásobování teplem pomocí KJ Quanto 600 a stávajících kotlů (viz tabulka 4.18). Dosazení do rovnice 4.42 je provedeno níže:

$$V_T = 911\,226 - 738\,724 = 172\,502 \text{ m}^3 \quad (4.43)$$

Pro následné vyčíslení  $N_{pal,T}$  je nutné znát hodnotu  $C_{ZP}$ , která byla již určena v kapitole 4.1.2. Jedná se hodnotu zobrazenou v rovnici níže.

$$C_{ZP} = 8,25 \text{ Kč/m}^3 \quad (4.44)$$

Ovšem z dat spotřebovaného objemu zemního plynu v tabulkách 4.18 a 4.28 je patrné, že dochází k nárůstu spotřebovaného objemu zemního plynu a do ceny je vhodné toto zvýšení promítnout (vlivem vyšší rezervované kapacity) pro správnou metodiku výpočtu. Pro ekonomický model návrhu před optimalizací je tedy uvažováno s  $C_{ZP}$  dle rovnice níže.

$$C_{ZP} \doteq 8,663 \text{ Kč/m}^3 \quad (4.45)$$

Navýšení původně zvolené ceny za  $m^3$  bylo zvoleno 5%. Nyní lze z rovnice 4.43 a 4.45 dosadit do 4.41 a vypočítat provozní palivové náklady pro návrh před optimalizací v roce 0:

$$N_{pal,0} = 172\,502 \cdot 8,663 \doteq 1\,494\,385 \text{ Kč} \quad (4.46)$$

Stejným způsobem je potřebné určit  $N_{pal,T}$  pro návrh po optimalizaci. Jako první je zapotřebí opět získat hodnotu  $V_T$  pro návrh po optimalizaci. Výpočet vychází z rovnice:

$$V_T = \sum_{X=leden}^{prosinec} V_{ZP-C,opt,X} - \sum_{X=leden}^{prosinec} V_{ZP-k,X} \quad [m^3; -, m^3, -, m^3] \quad (4.47)$$

kde  $V_{ZP-k,X}$  je spotřebovaný objem zemního plynu v měsíci  $X$  modelového roku stávajícími plynovými kotli (viz tabulka 4.6) a  $V_{ZP-C,opt,X}$  je celkový spotřebovaný objem zemního plynu v modelovém roce již optimalizovaného návrhu zásobování teplem



pomocí KJ Quanto 600, KJ Flexi 430 a stávajících kotlů (viz tabulka 4.28). Dosazení do rovnice 4.42 je provedeno níže:

$$V_T = 1\,013\,005 - 738\,724 = 274\,281 \text{ m}^3 \quad (4.48)$$

Pro následné vyčíslení  $N_{pal,T}$  návrhu po optimalizaci je opět nutné znát hodnotu  $C_{ZP}$ , u které je vhodné znovu zohlednit vyšší odběr zemního plynu. Pro návrh po optimalizaci je uvažováno s cenou dle rovnice níže:

$$C_{ZP} = 9,075 \text{ Kč/m}^3 \quad (4.49)$$

Navýšení původně zvolené ceny za  $\text{m}^3$  bylo zvoleno 10%. Následně je možné vypočítat  $N_{pal,T}$  v roce 0 pro návrh po optimalizaci dosazením potřebných hodnot z rovnic 4.49 a 4.48 do rovnice 4.41:

$$N_{pal,0} = 274\,281 \cdot 9,075 \doteq 2\,489\,100 \text{ Kč} \quad (4.50)$$

Provozní servisní a údržbové náklady jsou pro potřeby práce dány cenou za provozní motohodinu pro daný typ KJ. Tato cena je rozpočítána do daného roku  $T$  a tvoří celkové provozní servisní a údržbové náklady za rok  $T$ . Jednotlivé ceny pro dané KJ byly poskytnuty společností TEDOM a.s. Provozní reinvestiční náklady představují náklady spojené s generálními opravami (dále jen „GO“) KJ. GO zahrnují opravy větších charakterů než opravy v rámci pravidelného servisu, který je zahrnut do  $N_{is}$ . Spadají sem také výměny určitých komponent vlivem jejich technického dožití. Cena GO se liší podle typu KJ a její přibližný odhad je znovu poskytnut společností TEDOM a.s. pro danou KJ.

### 4.5.3 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NÁVRHU PŘED OPTIMALIZACÍ

V této podkapitole jsou prezentovány výsledky ekonomického hodnocení efektivnosti návrhu před optimalizací, které vychází z výpočtu v softwaru MS Excel. Soubor s výpočtem je v příloze G této práce (pouze v elektronické podobě: „*Ekonomicke\_hodnoceni.xlsx*“). V ekonomickém modelu je uvažováno s výstavbou KJ a provedení veškerých investic v roce 0. K roku 0 jsou zároveň uvažovány veškeré uvedené ceny (z nich plynoucí příjmy a výdaje). Od roku 1 a výše je uvažováno s eskalací dílčích nákladů a výnosů o 2 % oproti předešlému roku. V tabulce 4.30 níže je zobrazen přehled vstupních informací s jednotlivými příjmovými a výdajovými položkami ve zmíněném roce 0.

Parametr	Hodnota
Hodnocené období	25 let
Diskont	6 %
Celkové roční příjmy	5 572 800 Kč
Celkové roční palivové provozní náklady	1 494 385 Kč
Celkové investiční výdaje	21 000 000 Kč
Celkové roční provozní servisní a údržbové náklady	683 280 Kč
Reinvestiční náklady	4 250 000 Kč
Reinvestice nastane v roce	20
Roční eskalace cen	2 %

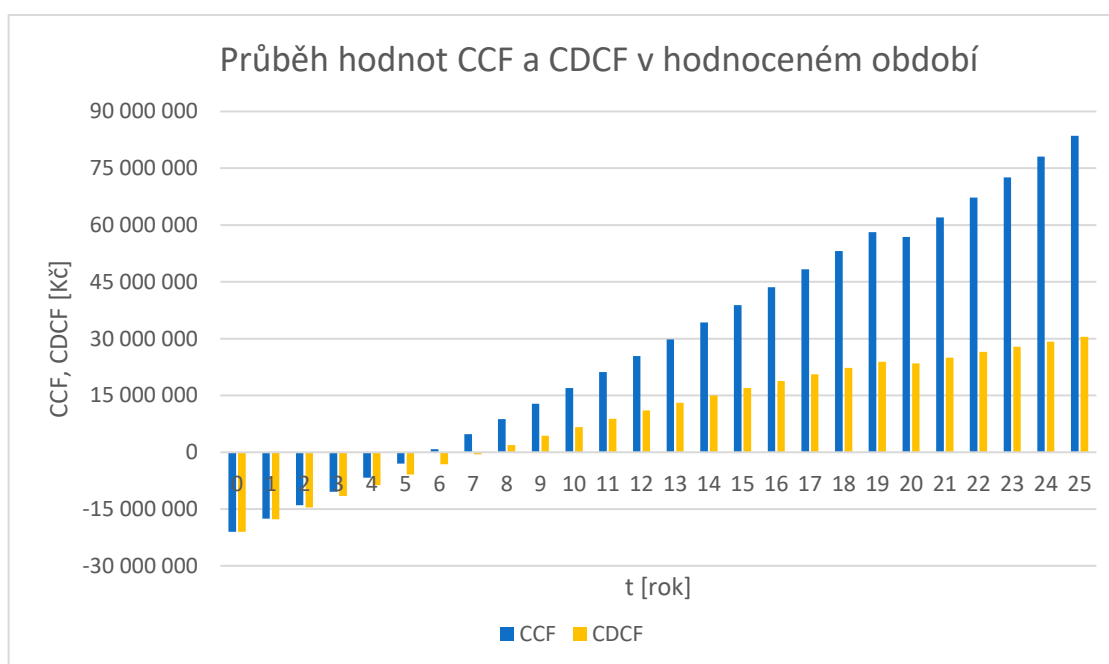
Tab. 4.30 – Vstupní parametry do ekonomického modelu pro návrh před optimalizací

Vzhledem k metodice výpočtu výdajů za palivo v roce 0 zobrazeném v rovnici 4.42 se v ekonomickém modelu jedná o výpočet srovnávacího NPV, kde se srovnání uvažuje ve vztahu k vytápění v modelovém roce s využitím pouze stávajících kotlů. Odběr zemního plynu pouze plynovými kotli v modelovém roce je zobrazen v tabulce 4.6. Výsledné hodnoty NPV, IRR, PP a DPP jsou zobrazeny v tabulce 4.31 níže.

Parametr	Hodnota
NPV	30 513 742 Kč
IRR	17,87 %
PP	6 let
DPP	8 let

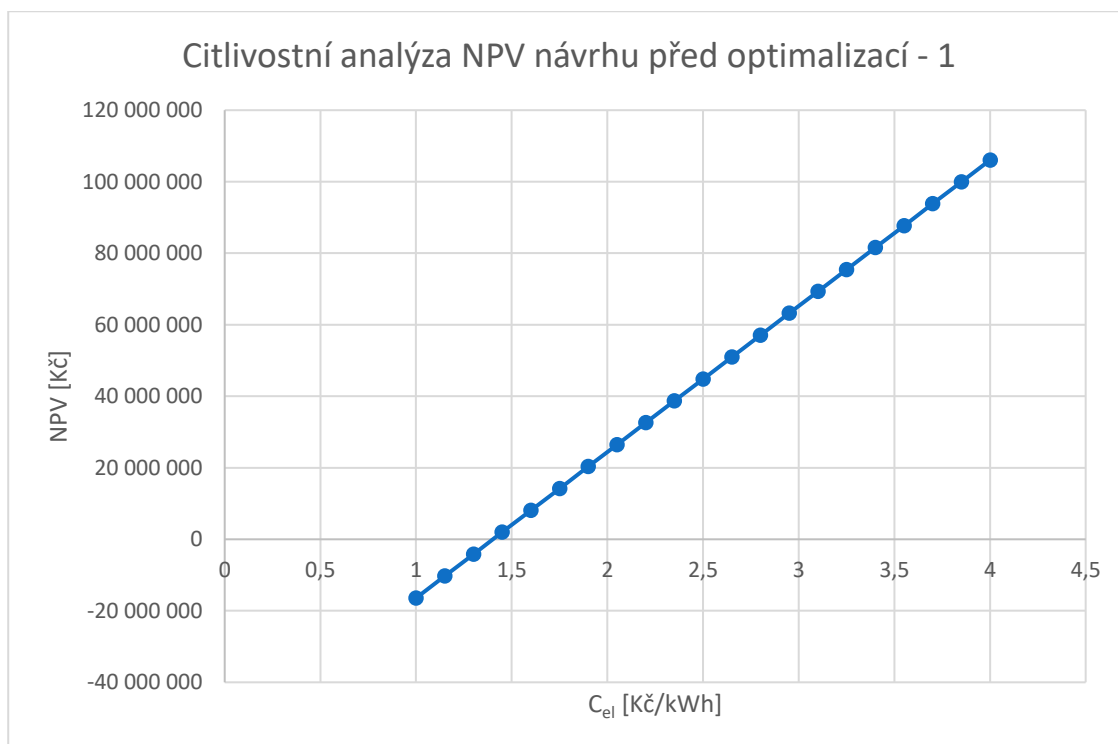
Tab. 4.31 – Výsledné parametry plynoucí z ekonomického modelu návrhu před optimalizací

Grafické znázornění CCF a CDCF je zobrazeno na obrázku níže.

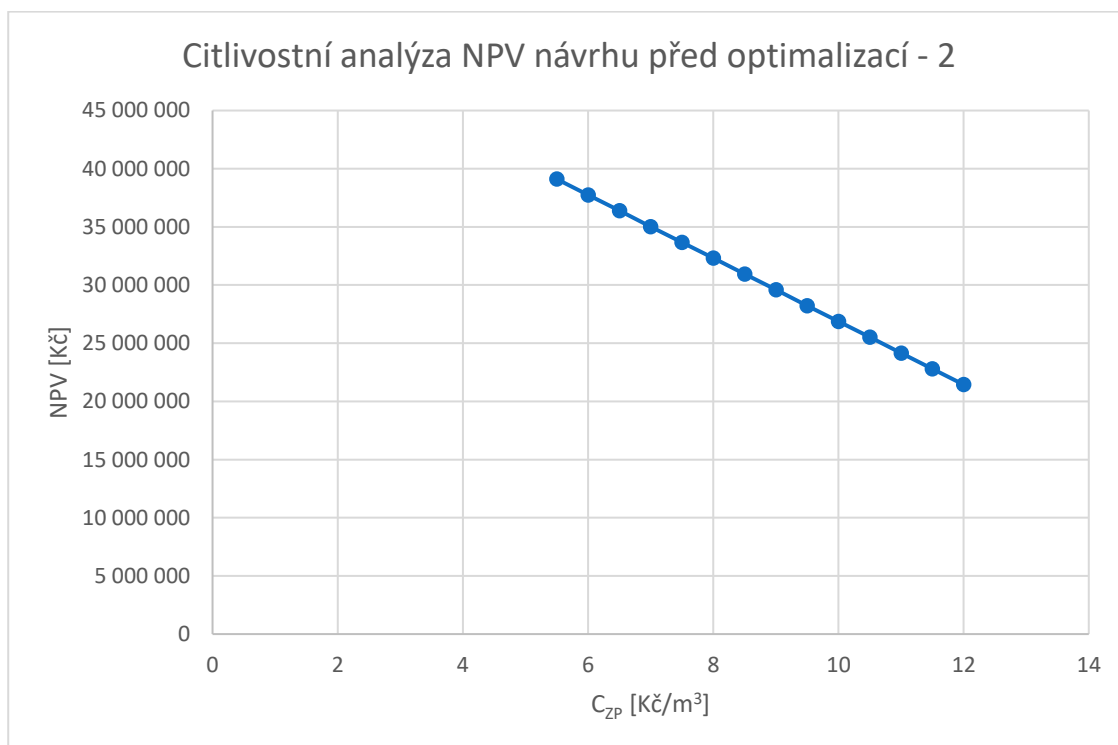


Obr. 4.23 - Sloupcový graf hodnot CCF a CDCF návrhu před optimalizací

Vzhledem k výsledné hodnotě NPV je vhodné provést citlivostní analýzy, které zobrazí vliv na výslednou hodnotu NPV. Na obrázcích 4.24 a 4.25 je zobrazen vliv změny ceny elektrické energie a zemního plynu na výsledné hodnotě NPV po 25 letech.

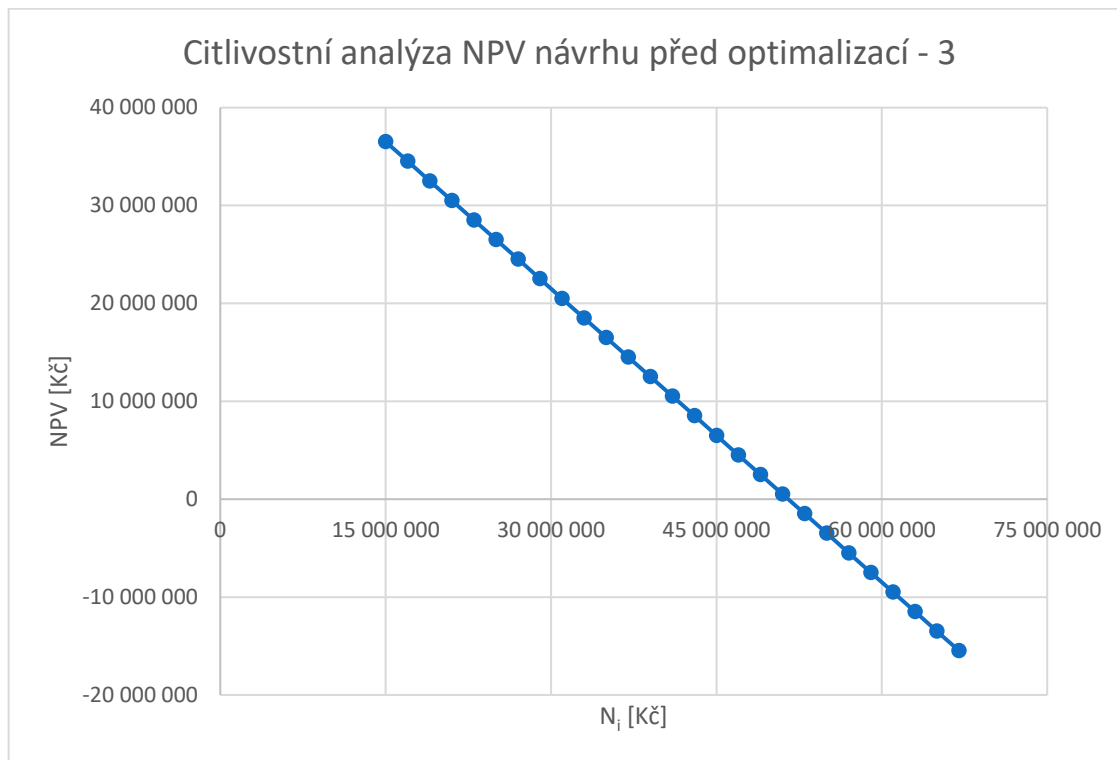


Obr. 4.24 - Graf citlivostní analýzy NPV na  $C_{el}$  návrhu před optimalizací



Obr. 4.25 - Graf citlivostní analýzy NPV na  $C_{ZP}$  návrhu před optimalizací

Dále je také vhodné zobrazit vliv změny investičních výdajů na výsledné hodnotě NPV, jelikož určení investičních výdajů byl pouze odhad. Zejména u hodnoty za instalaci se může reálná částka výrazně lišit, podle různých výdajů, které budou spojeny s instalací KJ na určené místo. Citlivostní analýza NPV na investičních výdajích je zobrazena na obrázku 4.26 níže.



Obr. 4.26 - Graf citlivostní analýzy NPV na  $N_i$  návrhu před optimalizací

Z obrázku 4.26 je patrné, že při určité hodnotě investičních výdajů se hodnota NPV rovná nule. Znamená to, že v takovém to případě by investice přesně splnila požadavky vzhledem ke zvolenému diskontu. Ale při porovnání se stávajícím stavem by bylo diskutabilní návrh realizovat. Přesné vyčíslení investičních nákladů, při kterých je NPV rovno 0, je 51 513 742 Kč.

#### 4.5.4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NÁVRHU PO OPTIMALIZACI

V této podkapitole jsou prezentovány výsledky ekonomického hodnocení efektivnosti návrhu po optimalizaci, které vychází z výpočtu v softwaru MS Excel. Soubor s výpočtem je v elektronické příloze G této práce (pouze v elektronické podobě: „*Ekonomicke\_hodnoceni.xlsx*“). Stejně jako u návrhu před optimalizací je v modelu uvažováno s výstavbou KJ a provedení veškerých investic v roce 0, k němuž jsou vztaženy i veškeré uvedené ceny. V následujících letech je uvažováno s 2% eskalací

dílčích nákladů a výnosů oproti předešlému roku. Přehled vstupních parametrů v roce 0 je zobrazen v tabulce 4.32 níže.

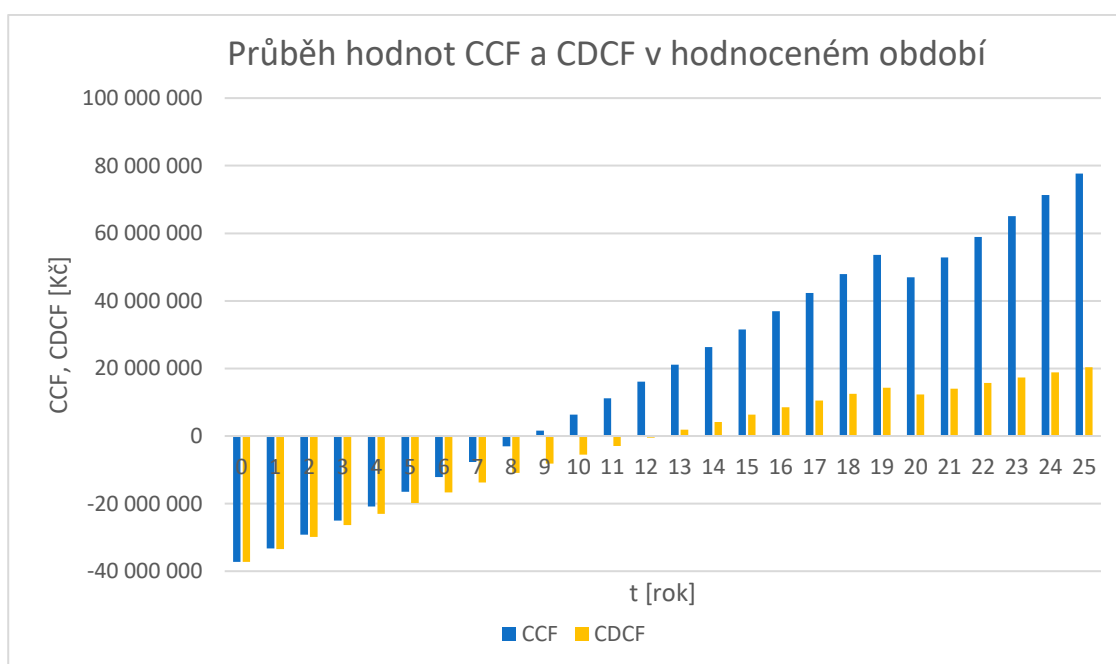
Parametr	Hodnota
Hodnocené období	25 let
Diskont	6 %
Celkové roční příjmy	7 303 464 Kč
Celkové roční palivové provozní náklady	2 489 100 Kč
Celkové investiční výdaje	37 200 000 Kč
Celkové roční provozní servisní a údržbové náklady	917 280 Kč
Reinvestiční náklady	8 350 000 Kč
Reinvestice nastane v roce	20
Roční eskalace cen	2 %

Tab. 4.32 – Vstupní parametry do ekonomického modelu pro návrh po optimalizaci

Stejně jako u návrhu před optimalizací se v ekonomickém modelu jedná o výpočet srovnávacího NPV, kde se srovnání uvažuje vzhledem k vytápění v modelovém roce s využitím pouze stávajících kotlů (viz tabulka 4.6). Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 4.33 níže. Grafické zobrazení CCF a CDCF je na obrázku 4.27 níže.

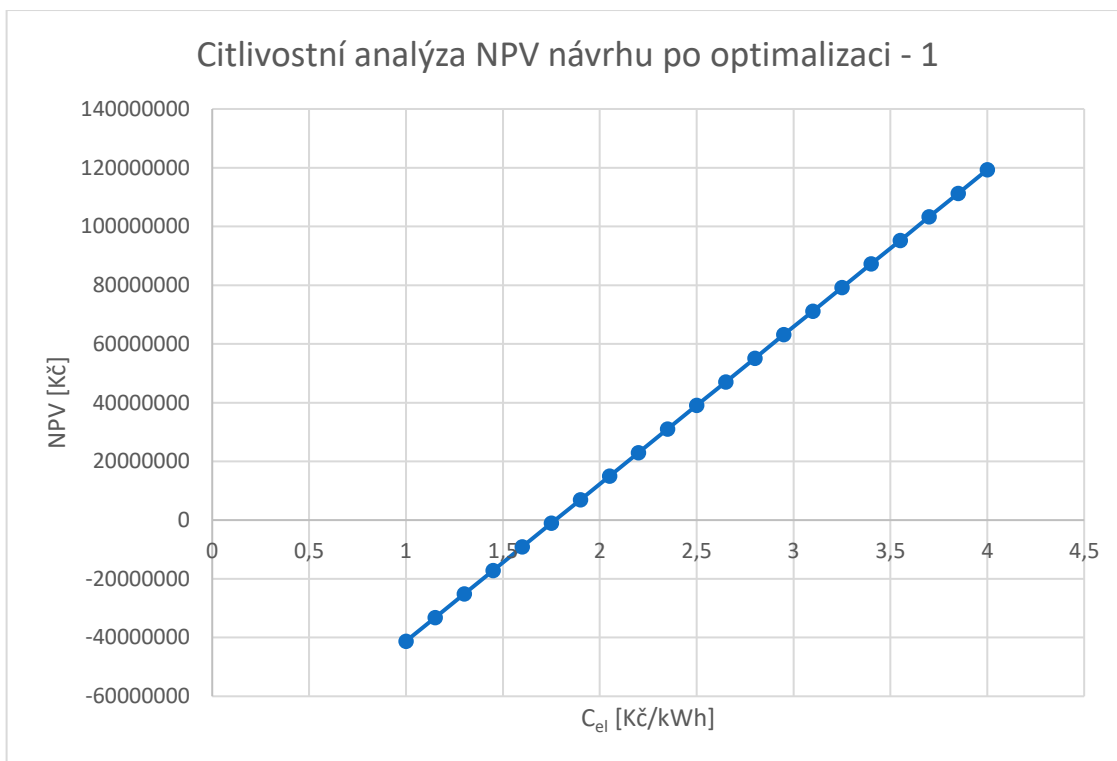
Parametr	Hodnota
NPV	20 319 645 Kč
IRR	11,03 %
PP	9 let
DPP	13 let

Tab. 4.33 – Výsledné parametry plynoucí z ekonomického modelu návrhu po optimalizaci

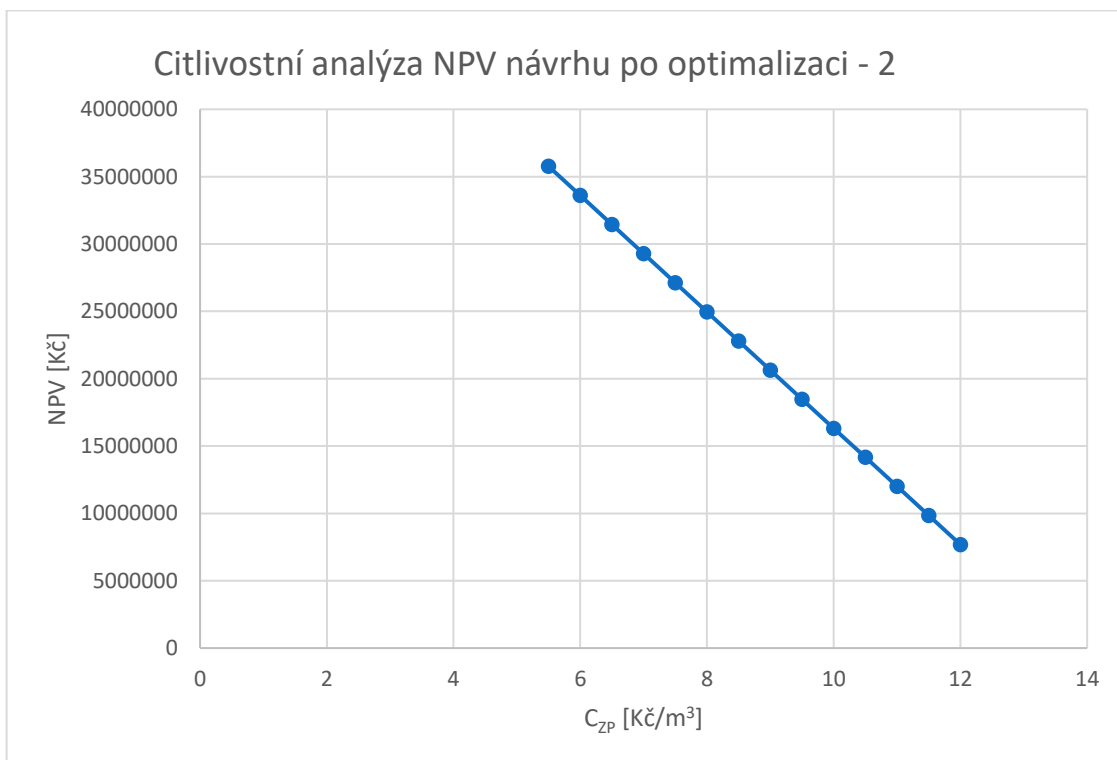


Obr. 4.27 - Sloupcový graf hodnot CCF a CDCF návrhu po optimalizaci

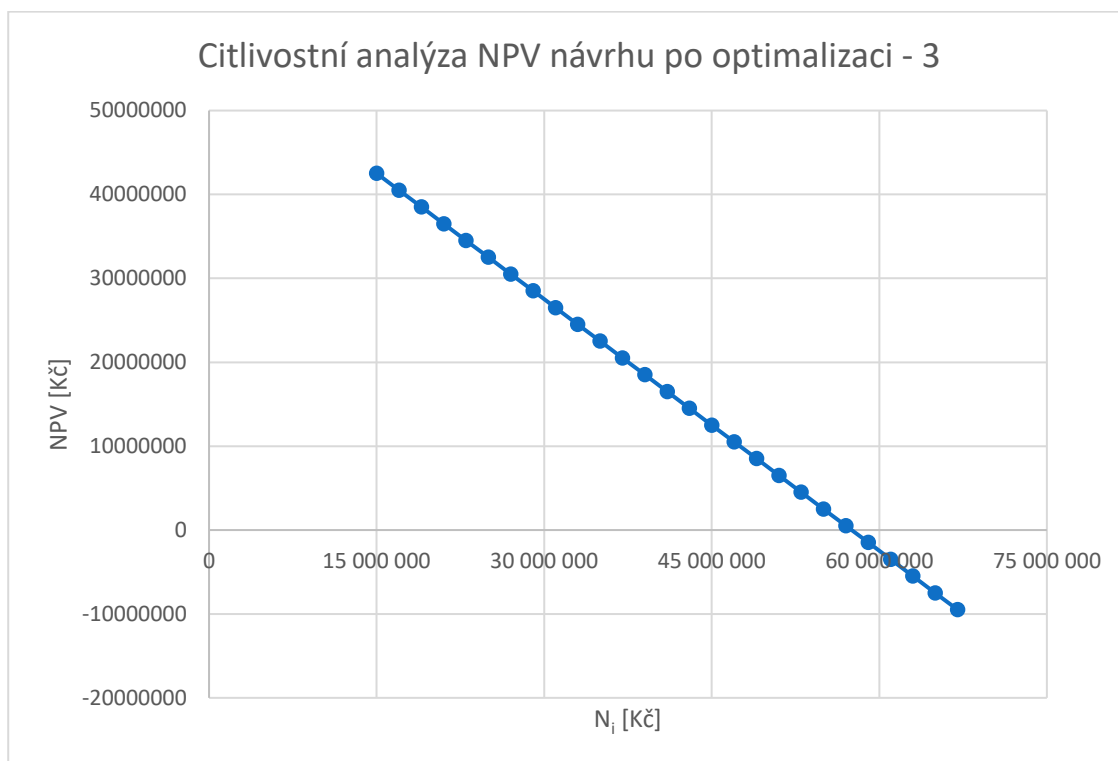
Dále jsou níže zobrazené citlivostní analýzy NPV na ceně za 1 kWh elektrické energie, ceně za 1 m<sup>3</sup> zemního plynu a na investičních výdajích.



Obr. 4.28 - Graf citlivostní analýzy NPV na C<sub>el</sub> návrhu po optimalizaci



Obr. 4.29 - Graf citlivostní analýzy NPV na C<sub>ZP</sub> návrhu po optimalizaci



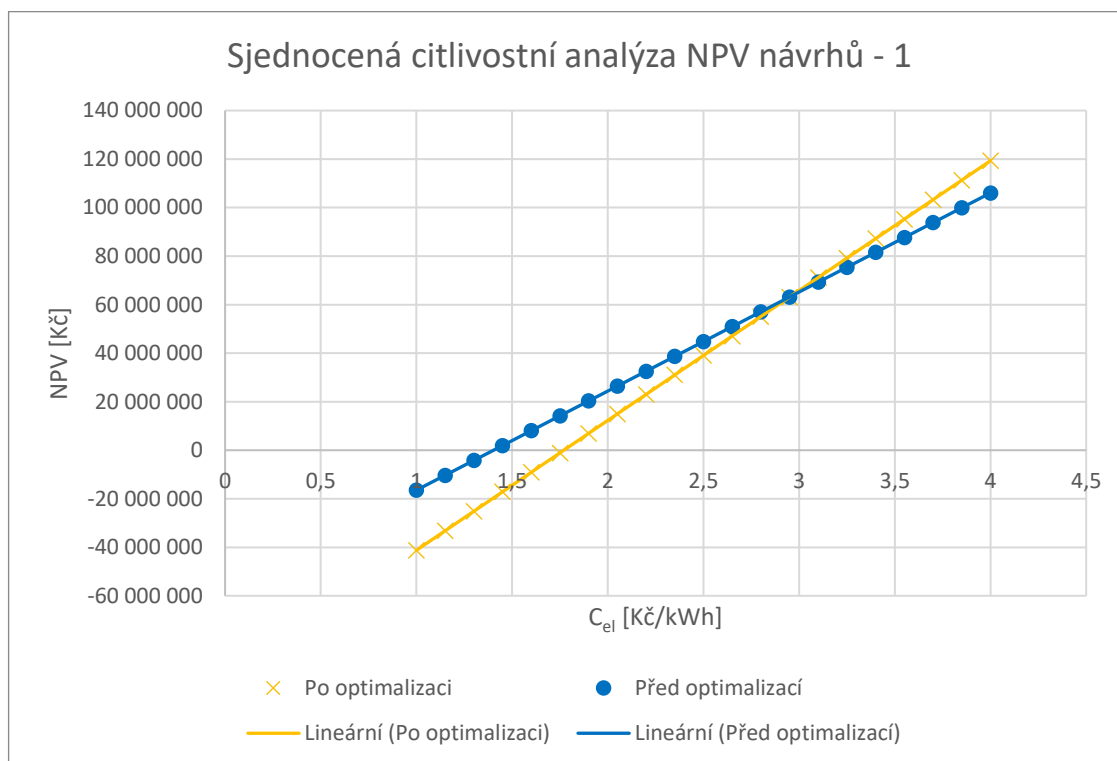
Obr. 4.30 - Graf citlivostní analýzy NPV na  $N_i$  návrhu po optimalizaci

Z obrázku 4.30 je zřejmé, že při hodnotě investičních výdajů 57 519 645 Kč dojde k vynulování hodnoty NPV. Pokud by došlo k nárůstu investičních výdajů na zmíněnou hodnotu, tak je diskutabilní realizovat návrh po optimalizaci vzhledem k možnému vytápění pomocí stávajících kotlů.

#### 4.5.5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ

V této podkapitole jsou provedena porovnání výsledků ekonomického modelu návrhu před a po optimalizaci. Porovnání je provedeno za účelem výběru vhodné varianty vytápění průmyslového podniku v závěrečném doporučení této práce.

Z ekonomických hodnoticích kritérií v tabulkách 4.31 a 4.33 jasně plyne, že varianta před optimalizací je pro průmyslový podnik vhodnější volbou. Pro bližší porovnání návrhu před optimalizací a po optimalizaci je vhodné porovnat zobrazené citlivostní analýzy. Pro citlivostní analýzy NPV na ceně elektrické energie a zemního plynu jsou níže zobrazeny sjednocené grafy z předešlých kapitol 4.5.3 a 4.5.4. Z těchto grafů lze vyhodnotit rozdíl vlivu změny parametrů na NPV návrhu před optimalizací a po optimalizaci. Vlivy lze dále analyzovat a vyhodnotit následky možných změn předpokládaných parametrů na návrhy.



Obr. 4.31 - Sjednocení grafů citlivostní analýzy 1

Na obrázku 4.31 je zobrazen graf citlivostní analýzy NPV na ceně za 1 kWh elektrické energie. Jednotlivé body odpovídají bodům grafů z obrázků 4.24 a 4.28. Následně byly tyto body lineárně proloženy ke zjištění jejich průsečíku. Zjištěný průsečík nastane při hodnotě  $C_{el} = 2,95$  Kč/kWh<sup>30</sup>. Pokud by byla uvažována cena za 1 kWh elektrické energie 2,95 Kč, tak by bylo NPV návrhu před optimalizací a po optimalizaci srovnatelné. S následným nárůstem  $C_{el}$  by NPV bylo vyšší pro návrh po optimalizaci. Tuto skutečnost lze reflektovat vzhledem k aktuálnímu dění v energetice, kde se ceny pohybují mnohem výš, než bylo uvažováno v práci, a vhodnější volbou dle NPV by byl návrh po optimalizaci. Zbylé hodnotící parametry při rovných NPV návrhu před optimalizací a po optimalizaci jsou zobrazeny v tabulce 4.34 níže.

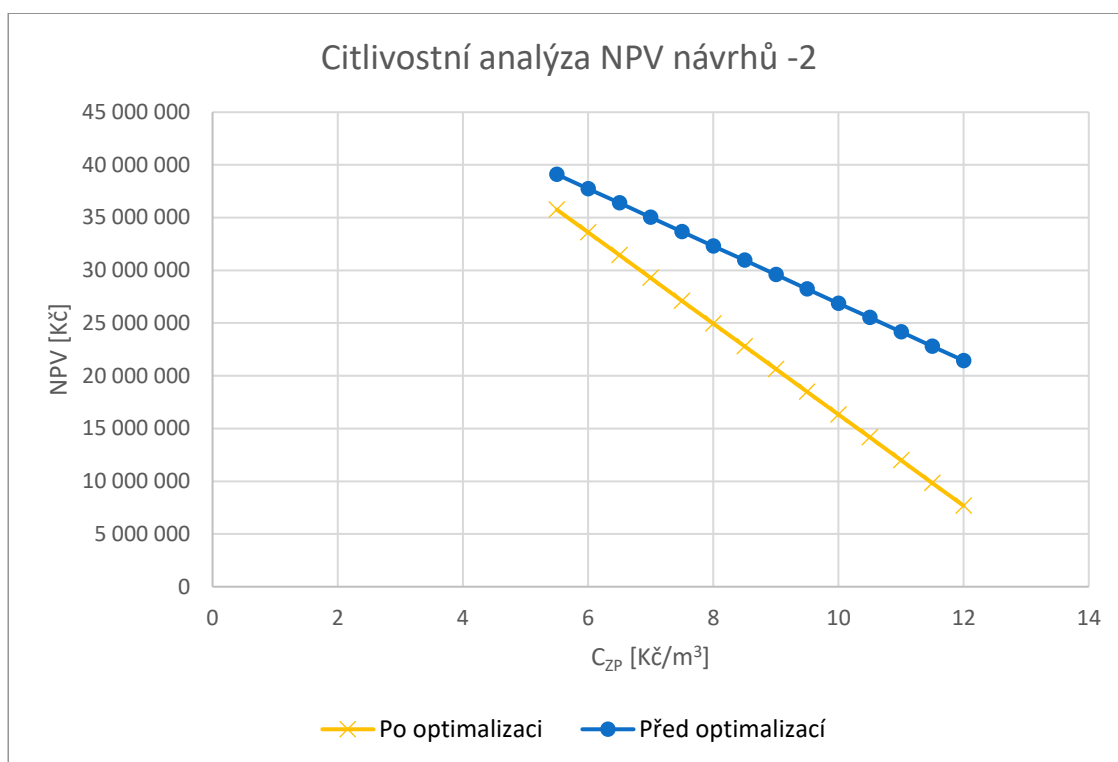
Parametr	Návrh před optimalizací	Návrh po optimalizaci
IRR	28,48 %	19,68 %
PP	4 roky	6 let
DPP	5 let	7 let

Tab. 4.34 – Hodnotící parametry při identických NPV návrhu před a po optimalizaci

<sup>30</sup> Jedná se o zaokrouhlenou cenu vzhledem k přesnému výsledku  $C_{el} = 2,953947741$  Kč, při kterém nastává rovnost NPV.



Z hodnot zbylých ekonomických hodnoticích kritérií v tabulce 4.34 plyne, že i při rovnosti NPV je stále vhodnější volba návrhu před optimalizací a cena za 1 kWh by musela být pro zvolení návrhu po optimalizaci ještě vyšší.



Obr. 4.32 - Sjednocení grafů citlivostní analýzy 2

Na obrázku 4.32 je zobrazen graf citlivostní analýzy NPV na ceně za 1 m<sup>3</sup> zemního plynu návrhu před a po optimalizaci. Po lineárním proložení jednotlivých bodů lze určit cenu m<sup>3</sup> zemního plynu, při které dochází k rovnosti NPV návrhu před i po optimalizaci. Jedná se zaokrouhleně o cenu za m<sup>3</sup> rovnou 3,42 Kč<sup>31</sup>. Když tuto cenu promítneme do aktuálního dění v energetice, jedná se o cenu nepředstavitelně nízkou. Není tedy třeba dopočítávat zbylá hodnoticí kritéria pro případné porovnání návrhů před a po optimalizaci. Vzhledem ke kontextu vysokých cen lze určit spíše cenu m<sup>3</sup> zemního plynu, při které dojde k vynulování hodnoty NPV. Pro návrh před optimalizací se jedná o cenu<sup>32</sup>  $C_{ZP} = 19,89 \text{ Kč/m}^3$  a pro návrh po optimalizaci o cenu<sup>33</sup>  $C_{ZP} = 13,78 \text{ Kč/m}^3$ .

<sup>31</sup> Jedná se o zaokrouhlenou cenu vzhledem k přesnému výsledku  $C_{ZP} = 3,415790354 \text{ Kč/m}^3$ , při kterém nastává rovnost NPV.

<sup>32</sup> Jedná se o zaokrouhlenou cenu vzhledem k přesnému výsledku  $C_{ZP} = 19,89185191 \text{ Kč/m}^3$ , při kterém nastává  $NPV = 0$ .

<sup>33</sup> Jedná se o zaokrouhlenou cenu vzhledem k přesnému výsledku  $C_{ZP} = 13,77798669 \text{ Kč/m}^3$ , při kterém nastává  $NPV = 0$ .

Provedená analýza výše platí při změně jednoho z parametrů zvolených z počátku pouze při původně zvolených zbylých parametrech. Při změně obou cen zároveň je potřebné změnit vstupy ekonomického modelu a následně znovu porovnat ekonomická hodnotící kritéria. Poslední analýzu, kterou je možno provést, je uvažování zelených bonusů pro vyrovnání NPV návrhu před optimalizací a po optimalizaci. Neboli, v jaké výši by musely být zelené bonusy za vyrobenou elektrickou energii pomocí KJ Flexi 430, aby došlo k vyrovnání hodnot NPV jednotlivých návrhů. Zelené bonusy by vstupovaly do příjmových ročních položek k úsporám z celkové vyrobené elektřiny v daném roce. V příloze „*Ekonomicke\_hodnoceni.xlsx*“ je tato úprava provedena a z modelu vychází minimální zelený bonus za vyrobenou MWh pomocí KJ Flexi 430 v zaokrouhlené výši 804 Kč. Pokud by byly udělovány zelené bonusy ve zmíněné hodnotě a vyšší, tak lze návrh po optimalizaci vyhodnotit z pohledu NPV pro průmyslový podnik jako výhodnější. Ovšem toto by platilo pouze s uvažováním zelených bonusů po celou hodnotící dobu 25 let ve stejné výši, což nelze vzhledem k jejich změnám v posledních letech předpokládat.

## 5 ZÁVĚREČNÁ DOPORUČENÍ

Pro účel přehledné orientace v závěrečném doporučení diplomové práce je tato kapitola rozdělena na shrnutí obsahu práce, shrnutí výsledků návrhu a optimalizace, shrnutí výsledků ekonomické analýzy s výsledným doporučením autora a přínos práce pro průmyslový podnik.

### 5.1 SHRUTÍ OBSAHU PRÁCE

Diplomová práce je rozdělena na dvě základní části. První část se zabývá teoretickým popisem problematiky kogenerace a v druhé části je prezentován anonymní průmyslový podnik. Pro průmyslový podnik je v druhé části práce proveden návrh zásobování teplem pomocí kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem. Kogenerační jednotka je navržena za účelem podílení se na vytápění se stávajícími plynovými kotli při současné výrobě elektrické energie, která představuje ekonomické úspory. Po návrhu kogenerační jednotky je dále zhodnocen nevyužitý potenciál z pohledu tepelných potřeb podniku, na který navazuje návrh dodatečné kogenerační jednotky s úmyslem optimalizovat prvotní návrh. Pro návrh před a po optimalizaci je vytvořen ekonomický model, ze kterého plyne ekonomická analýza návrhů.

Tímto krátkým shrnutím obsahu práce je zároveň potvrzeno vyčerpání veškerých bodů zadání této diplomové práce.

### 5.2 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ NÁVRHU A OPTIMALIZACE

Vzhledem k zadaným parametrům návrhu vzešla jako nejlepší varianta vytápění průmyslového podniku pomocí KJ Quanto 600. Jedná se o kogenerační jednotku o jmenovitém elektrickém výkonu 600 kW a jmenovitém tepelném výkonu 690 kW. Z návrhu plyne provozování KJ v topné sezóně od října do dubna. Pro toto období byl podle modelového roku tepelné potřeby průmyslového podniku namodelován optimální provoz KJ, který určuje roční počet motohodin na 4680. Provoz KJ byl uvažován proměnný podle charakteru daného dne v týdnu, jelikož spotřeba elektrické energie byla v týdnu proměnná a jeden z požadavků návrhu určoval, aby nedocházelo k přetokům elektrické energie do sítě. Uvažovaný charakter provozu byl v pracovních dnech topné sezóny na 100 % jmenovitého výkonu, o víkend na 75 % jmenovitého výkonu.

Z charakteru provozu vzešla celková vyrobená tepelná energie za rok 10 847,52 GJ, s tím že zbylé potřebné teplo vyrobily stávající kotle. Z pohledu elektrické energie dojde pomocí KJ Quanto 600k výrobě 2 592 MWh za rok.

Po prvotním návrhu a zobrazení pokrytí tepelných potřeb pomocí KJ Quanto 600 vyplynulo, že v období od listopadu do března je stále velká část tepelné potřeby průmyslového podniku v modelovém roce kryta pouze stávajícími kotli. Z výpočtu se ukázalo, že pro zmíněné období lze využívat KJ Flexi 430, pro kterou byl namodelován provoz pouze v pracovních dnech od listopadu do března kromě prosince, a to vzhledem ke zmíněné podmínce přetoků elektrické energie do sítě. Tento styl provozu vedl k celkovým ročním motohodinám v počtu 1872. U KJ Flexi 430 byl na rozdíl od Quanto 600 uvažován provoz na jmenovité parametry po celou dobu modelovaného provozu, což odpovídá 430 kW elektrického výkonu a 610 kW tepelného výkonu. Hodnota vyrobeného tepla pomocí obou KJ za celý modelový rok po optimalizaci stoupla na hodnotu 14 958,43 KJ, což znamená navýšení o 4 110,91 GJ, které dodá Flexi 430. Z pohledu vyrobené elektrické energie pomocí KJ na roční bázi dojde k navýšení na 3 396,96 MWh, tedy o 804,96 MWh, které vyrobí KJ Flexi 430. Zbylé teplo je opět zprostředkováno stávajícími kotli. Po zobrazení výsledných dat pro porovnání s danými potřebami energií bylo v modelovém roce potvrzeno zužitkování původně nevyužitého potenciálu tepelné potřeby průmyslového podniku prvotního návrhu do maxima. Zmíněné maximum určovala spotřeba elektrické energie, vzhledem k zamezení přetoků elektrické energie, kvůli níž není možné vybrat druhou KJ o vyšším výkonu.

### **5.3 SHRnutí VÝsledku EKONOMICKÉ ANALÝZY A VÝsledné DOPORUČENÍ AUTORA**

K ekonomické analýze návrhu před a po optimalizaci bylo využito ekonomického modelu vytvořeného autorem (příloha G této práce). Z modelu vzešly hodnoty ekonomických hodnoticích kritérií, které jsou ve prospěch návrhu před optimalizací. Hodnota NPV návrhu před optimalizací je vyšší o 10 194 097 Kč, IRR je vyšší o 6,84 %, hodnota prosté doby splácení je kratší o 3 roky a doba diskontované doby splácení je kratší o 5 let. Jedná se o výsledky, které vzešly na základě vstupních dat, která se snažila spíše respektovat celkovou dobu hodnocení 25 let, což znamená, že jednotlivé ceny za energie byly zvoleny do doby před energetickou krizí, která aktuálně panuje. Z následné

teoretické ekonomické analýzy plyne, že návrh po optimalizaci se dle hodnoticích kritérií přiblíží hodnotám návrhu před optimalizací v případě, kdy by se do ekonomického modelu uvažovali příjmy v podobě zelených bonusů. Hodnota těchto bonusů by musela být minimálně 804 Kč za vyrobenou MWh pomocí KJ Flexi 430, což není vzhledem k sumám za vyrobenou MWh v minulosti nemožné. Ovšem vzhledem ke změnám, které v oblasti zelených bonusů pro KVET za poslední roky nastaly, je nemožné aktuálně uvažovat se zelenými bonusy v takové výši, a obzvláště ne konstantně po dobu 25 let.

Vzhledem k výsledkům ekonomické analýzy je autorem doporučeno realizovat návrh před optimalizací, což znamená částečné vytápění průmyslového podniku pomocí KJ Quanto 600. Dále autor doporučuje využít v budoucnu vytvořený ekonomický model, který obsahuje i list MS Excel, kde jsou uvažovány zmíněné zelené bonusy, které by plynuly z vyrobené elektrické energie pomocí KJ Flexi 430 a znovu vyhodnotit ekonomická hodnoticí kritéria. Budoucnem je myšlena doba, kdy by došlo k obnovení zelených bonusů pro KVET, a také doba po uklidnění aktuálního dění ve světě energetiky a vysokých cen energií. Je možné, že za těchto předpokladů by se optimalizovaný návrh prokázal jako vhodnější a KJ Flexi 430 lze k Quanto 600 i později připojit.

## 5.4 PŘÍNOS PRÁCE PRO PRŮMYSLVÝ PODNIK

Vzhledem k navrženému vytápění pomocí kogenerační jednotky Quanto 600 vzniknou průmyslovému podniku každý rok peněžní úspory oproti vytápění pomocí původních plynových kotlů. Úspory plynou z vyrobené elektrické energie pomocí KJ, kterou podnik ve svém areálu přímo spotřebuje a sníží si tím celkovou spotřebu elektrické energie od svého dodavatele. Z ekonomického modelu plyne, že se jedná ročně o sumu 5 572 800 Kč (při uvažování 2,15 Kč za 1 kWh)<sup>34</sup>. Vyčíslená částka je platná v ekonomickém modelu pro rok 0, jelikož v následujících letech je uvažováno s 2% eskalací.

---

<sup>34</sup> Jedná se o cenu za elektrickou energii, která v polovině roku 2023 neodpovídá aktuálním cenám a byla zvolena spíše za účelem vhodného porovnání řešených variant návrhu. Pokud by se měla vyčíslit úspora pro aktuální cenu za 1 kWh elektrické energie, tak by celková úspora byla téměř dvojnásobkem.



## 6 SEZNAM LITERATURY

- [1] EMIL DVORSKÝ a PAVLA HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. české vydání. Praha: BEN - technická literatura, ISBN 80-7300-118-7, 2005.
- [2] HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Cogeneration is more efficient than conventional coal power plants. *Flickr* [online]. 13. listopad 2017 [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/boellstiftung/38359636032>
- [3] CENTROPOL ENERGY, a.s. *Dodavatel vs. distributor elektřiny a plynu: V čem je rozdíl?* [online]. [vid. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.centropol.cz/clanky/dodavatel-vs-distributor-energi/>
- [4] CLARKE ENERGY. *CHP efficiency for biogas* [online]. [vid. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.clarke-energy.com/2013/chp-cogen-efficiency-biogas/>
- [5] TZB-INFO, překlad: Petra Šrubařová a BATTERY UNIVERSITY. *Jak fungují palivové články?* [online]. 22. únor 2018 [vid. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [6] JEFF SHEPARD. Fuel-cell-powered robot platforms. *Battery power tips* [online]. 2. červen 2021 [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.batterypowertips.com/fuel-cell-powered-robot-platforms-faq/>
- [7] TEDOM A.S. *Kogenerační jednotky* [online]. [vid. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/>
- [8] ZBYNĚK IBLER A KOL. *Technický průvodce energetika*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, ISBN 80-7300-026-1, 2002.

- [9] ING. JAN NOVÁK. Výhřevnosti paliv. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-04-20].  
Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [10] ING. JOSEF KARAFIÁT, CSc. a kolektiv. *SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA* [online]. 2006 [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [11] ING. PETR KOČÁRNÍK, Ph.D. *Strojní struktury elektráren, BD1M14SSE, Oběhy plynových a parních turbín*. 2021.
- [12] POWER. *Microturbine Technology Matures* [online]. 1. listopad 2010 [vid. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.powermag.com/microturbine-technology-matures/>
- [13] TURBODEN. *ORC System* [online]. [vid. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.turboden.com/products/2463/orc-system>
- [14] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)* [online]. B.m.: Sbírka zákonů částka 131, Ministerstvo vnitra ČR, Praha. 2000 [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [15] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě* [online]. B.m.: Sbírka zákonů částka 7, Ministerstvo vnitra ČR, Praha. 2016 [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16/zneni-20220101>
- [16] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů* [online]. B.m.: Sbírka zákonů částka 59, Ministerstvo vnitra ČR, Praha. 2012 [vid. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>



- [17] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník, částka 8/2021 - Cenové rozhodnutí č. 6/2021* [online]. 2021 [vid. 2023-04-20].  
Dostupné z: <https://www.eru.cz/cenova-rozhodnuti>
- [18] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník, částka 13/2022 - Cenové rozhodnutí č. 11/2022* [online]. 2022 [vid. 2023-04-20].  
Dostupné z: <https://www.eru.cz/cenova-rozhodnuti>
- [19] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický regulační věstník č. 7/2020 - Cenové rozhodnutí* [online]. 2020 [vid. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cenova-rozhodnuti>
- [20] ČESKÁ REPUBLIKA. *Výhláška č. 37/2016 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřiny z druhotných zdrojů* [online]. 2016 [vid. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-37>
- [21] EVROPSKÁ UNIE. *Narizení komise v přenesené pravomoci (EU) 2015/2402* [online]. 19. prosinec 2015 [vid. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32015R2402>
- [22] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší* [online]. 2012 [vid. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [23] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech* [online]. 2020 [vid. 2023-04-16]. Dostupné z: [https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541/zneni-20210101#p158\\_p158-1](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541/zneni-20210101#p158_p158-1)
- [24] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů* [online]. 1997 [vid. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>

- [25] ČESKÁ REPUBLIKA. *Nářizení vlády č. 342/2003 Sb., kterým se stanovují technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku* [online]. 2003 [vid. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-342>
- [26] WIKIPEDIA. *Molten carbonate fuel cells* [online]. 3. listopad 2022 [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Molten\\_carbonate\\_fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Molten_carbonate_fuel_cell)
- [27] FUELCELLWORKS. *Phosphoric acid fuel cells* [online]. [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://fuelcellworks.com/knowledge/technologies/pafc/>
- [28] WIKIPEDIA. *Phosphoric acid fuel cell* [online]. 29. srpen 2022 [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric\\_acid\\_fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric_acid_fuel_cell)
- [29] ATLASO. Skleníkový efekt. *Atlaso.cz* [online]. 26. srpen 2020 [vid. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.atlaso.cz/sklenikovy-efekt/>
- [30] TZBINFO. *Jaké jsou složky celkové ceny za dodávku zemního plynu* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/204-jake-jsou-slozky-celkove-ceny-za-dodavku-zemniho-plynu>
- [31] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Co je to daň z plynu?* [online]. [vid. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/co-je-dan-z-plynu>

## 7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Jednopolové schéma elektrického rozvodu v průmyslovém podniku

Příloha B: Historie spotřeby elektrické energie průmyslovým podnikem

Příloha C: Historie spotřeby zemního plynu kotelnou průmyslového podniku

Příloha D: Podklady ke kogenerační jednotce Quanto 600

Příloha E: Výkresy kotelny

Příloha F: Podklady ke kogenerační jednotce Flexi 430

Příloha G: Ekonomické hodnocení

