

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ENERGETIKY**



**OPTIMALIZACE PROVOZU STÁVAJÍCÍCH
KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK V
PENZIONU VE SPOJENÍ S
FOTOVOLTAICKOU ELEKTRÁRNOU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

VYPRACOVAL: BC. TOMÁŠ SKLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. MARTIN NEUŽIL, PH.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sklář** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **475058**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**
Specializace: **Energetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace provozu stávajících kogeneračních jednotek v penzionu ve spojení s fotovoltaickou elektrárnou

Název diplomové práce anglicky:

Existing cogeneration units in the hostel and their operation optimisation for the parallel photovoltaik panels operation

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerše na provoz a instalaci stávajících kogeneračních jednotek TEDOM,
- 2) Provedte monitoring a energetickou bilanci současného provozu daných kogeneračních jednotek,
- 3) Stanovte optimální provoz daných kogeneračních jednotek v zimním období a dále ve spolupráci s plánovanou fotovoltaickou elektrárnou v daném období,
- 4) Stanovte optimální provoz daných kogeneračních jednotek v přechodném období a dále ve spolupráci s plánovanou fotovoltaickou elektrárnou v daném období,
- 5) Stanovte optimální provoz daných kogeneračních jednotek v letním období a dále ve spolupráci s plánovanou fotovoltaickou elektrárnou v daném období.

Seznam doporučené literatury:

Firemní literatura Tedom

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Neužil, Ph.D. ústav energetiky FS

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

Datum zadání diplomové práce: **23.10.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **30.06.2025**


Ing. Martin Neužil, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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.

27.10.2023

Datum převzetí zadání

Grafi

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne 8. 1. 2024

Tomáš Sklář

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Tomáš Sklář
Název BP:	Optimalizace provozu stávajících kogeneračních jednotek v penzionu ve spojení s fotovoltaickou elektrárnou
Anglický název:	Existing cogeneration units in the hostel and their operation optimisation for the parallel photovoltaic panels operation
Akademický rok:	2023/2024
Ústav:	Ústav energetiky 12115
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
Bibliografické údaje	
Počet stran:	93
Počet obrázků:	24
Počet tabulek:	42
Počet grafů:	18
Počet příloh:	5
Klíčová slova:	kogenerační jednotka, kogenerace, KVET, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, model, FVE, fotovoltaika, penzion, ekonomika, zemní plyn, LNG,
Keywords:	cogeneration unit, cogeneration, KVET, combined production of electricity and heat, model, FVE, photovoltaic, pension, economy, natural gas, LNG,

Abstrakt:

V této diplomové práci se zabýváme tématem kogeneračních jednotek a ekonomice jejich provozu. V první části shrneme základní informace o kogeneračních jednotkách a podíváme se blíže na kogenerační jednotky TEDOM. Posuzujeme nasazení těchto kogeneračních jednotek v pražském penzionu a zhodnocujeme jejich provoz v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou. V druhé části navrhujeme model provozu kogeneračních jednotek, který má za cíl optimalizovat provoz a tím dosáhnout úspory energie a nákladů oproti současnému stavu.

Abstract:

We are dealing with the topic of cogeneration units and their economy in this diploma thesis. We sum up the basic information about cogeneration units and we look closely on TEDOM cogeneration units in the first part. We review operation of these cogeneration units in a pension in Prague and evaluate their operation in combination with photovoltaic panels. We propose a model of cogeneration units usage with the goal to optimize the operation and achieve energy and cost savings compared to the current operation in the second part.

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Martinu Neužilovi Ph.D. za skvělé rady a pomoc při vedení této diplomové práce. Dále pak chci poděkovat rodině a přítelkyni za trpělivost během dlouhých měsíců psaní této práce. V neposlední řadě také patří poděkování firmám TEDOM a OnSite za poskytnutí jejich materiálů.

Seznam symbolů, indexů a zkratek

Symboly

ε	Teplárenský modul	[-]
\dot{Q}	Výkon	[W]
W_s	Wobbeho číslo	[-]
H_s	Spalné teplo	[kW/m ³]
d	Relativní hustota zemního plynu	[-]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
V	Objem	[m ³]
p	Tlak	[Pa]
T	Teplota	[K]
Q	Teplo	[J]
c	Měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
η	Účinnost	[-]
C_k	Jednotková cena za rezervovanou kapacitu	[Kč/tis. m ³]
N	Náklady	[Kč]
z	Diskontní sazba	[-]
r	životnost	[rok]

Indexy

e	elektrický
t	tepelný
zp	Zemní plyn
vz	vzduch
n	Normovaný stav
$nú$	Nájezdová účinnost
st	start
$dis.$	diskontovaná
$S-j.c$	Jednotková cena za servis

Zkratky

KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
TUV	Teplá užitková voda
KJ	Kogenerační jednotka
RF	Ruská federace
USA	United States of America (Spojené státy americké)
LNG	Liquid natural gas (zkapalněný zemní plyn)
ERU	Energetický regulační úřad
LPG	Liquid petroleum gas (zkapalněný ropný plyn)
ÚT	Ústřední topení
ČR	Česká republika
PPD	Pražská plynárenská Distribuce
PO	Primární okruh
SO	Sekundární okruh
TO	Terciální okruh
EG	Ethylenglykon
CNG	Compressed natural gas (stlačený zemní plyn)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
mth	motohodina
Rk	Rezervovaná kapacita
OTE	Operátor trhu
ČEPS	Česká elektroenergetická přenosová soustava
POZE	Podporované Zdroje Energie

Obsah

1.	Úvod.....	15
1.1.	Cíl práce.....	15
2.	Penzion.....	16
3.	Kogenerace.....	17
3.1.1.	Trigenerace.....	18
3.2.	Teplárenský modul.....	19
4.	Rostoucí ceny plynu	19
5.	Topná sezona	20
6.	Podpora KVET.....	20
7.	Plynové kogenerační jednotky	22
7.1.	Konstrukční uspořádání	23
7.2.	Paliva	23
7.2.1.	Metanové číslo	23
7.2.2.	Zemní plyn.....	23
7.2.3.	Bioplyn, skládkový plyn, důlní plyn	23
7.3.	Zkapalněná paliva.....	24
7.3.1.	Propan	24
7.4.	Servis a poruchy	24
7.4.1.	Dálkový monitoring	25
7.4.2.	Detonační spalování.....	25
8.	Nahrazení ruského zemního plynu.....	25
8.1.	Wobbeho číslo.....	26
8.2.	Výpočet metanového čísla	27
8.2.1.	Výpočet pomocí softwaru	27
8.2.2.	Výpočet na základě poměru H/C.....	28
9.	Kogenerace TEDOM	29
9.1.	Kogenerační jednotka MICRO T33/MICRO 30	29
10.	Sestava Kogenerační jednotky	31
10.1.	Plynová trasa	32
10.2.	Zapalování	32
10.3.	Olej	33
10.4.	Motory kogeneračních jednotek.....	33
10.5.	Chladicí systémy.....	34
10.5.1.	Spalinová trasa.....	34
10.5.2.	Primární okruh.....	35

10.5.3.	Sekundární okruh	35
10.6.	Palivový systém	36
10.6.1.	Chlazení chladem	36
10.6.2.	Filtr s aktivním uhlím.....	36
10.6.3.	Směšovač	36
10.6.4.	Plynová řada a její součásti	37
10.6.5.	Dvojpaliivový provoz.....	37
10.7.	Generátor	38
10.8.	Provedení kogeneračních jednotek.....	38
10.8.1.	Základní modul.....	38
10.8.2.	Protihlukový kryt.....	39
10.8.3.	Kontejnervé provedení	39
11.	Ventilace strojovny.....	40
11.1.	Přetlakový systém	40
11.2.	Podtlakový (extrakční) systém	40
11.3.	Kombinovaný systémy.....	40
11.4.	Řízení teploty cirkulujícího vzduchu	40
12.	Legionella.....	41
13.	Propojení s FVE.....	41
14.	Odečty v penzionu.....	41
14.1.	Manuální odečty.....	42
14.2.	Dálkové odečty	42
15.	Naměřená data.....	43
15.1.	Teplá užitková voda.....	43
15.2.	Plyn	44
15.3.	Teplo.....	47
15.4.	Výroba elektřiny a tepla v kogenerační jednotce.....	49
15.5.	Provoz kogeneračních jednotek	53
16.	Roční spotřeby.....	54
17.	Prokázání zhoršení účinnosti.....	55
17.1.	Metoda 1	55
17.2.	Metoda 2	55
17.3.	Metoda 3	56
18.	Model ročních potřeb energií.....	57
19.	Model výroby FVE.....	60
20.	Návrh optimalizace výroby elektřiny a tepla.....	60

20.1.	Princip modelu provozu KJ.....	61
21.	Varianty optimalizace.....	64
21.1.	Model A: Model optimalizace provozu 2 KJ v kombinaci s FVE	64
21.1.1.	Podmínky pro primární KJ.....	64
21.1.2.	Podmínky pro sekundární KJ.....	64
21.1.3.	Podmínky provozu kotle	65
21.1.4.	Výsledky modelu A.....	66
21.2.	Model B: Model optimalizace provozu pouze 1 KJ v kombinaci s FVE	67
21.2.1.	Podmínky pro provoz KJ1	67
21.2.2.	Podmínky pro provoz kotle.....	68
21.2.3.	Výsledky modelu B.....	68
21.3.	Model C	69
21.3.1.	Optimalizace velikosti bateriového uložení	69
21.3.2.	Podmínky pro provoz KJ a kotle.....	70
21.3.3.	Výsledky modelu C.....	70
21.4.	Model D.....	70
21.4.1.	Podmínky pro provoz KJ a kotle.....	70
21.4.2.	Výsledky modelu D	71
21.5.	Model E	71
21.5.1.	Podmínky pro provoz KJ a kotle.....	71
21.5.2.	Výsledky modelu E.....	71
21.6.	Současný stav	72
22.	Ekonomika.....	72
22.1.	Náklady na nákup energií – jednotkové ceny	73
22.1.1.	Jednotkové ceny plynu	73
22.1.2.	Jednotkové ceny elektřiny	74
22.2.	Náklady na servis.....	75
22.3.	Cena bateriových uložení	75
23.	Ekonomické vyhodnocení variant	76
23.1.	Ekonomika modelu A	76
23.2.	Ekonomika modelu B	78
23.3.	Ekonomika modelu C	79
23.4.	Ekonomika modelu D	79
23.5.	Ekonomika modelu E.....	80
24.	Porovnání variant.....	82
24.1.	Porovnání modelu se současným stavem	82

24.2.	Porovnání modelů A–D.....	83
24.3.	Vliv kapacity bateriového uložení na návratnost investice	85
25.	Závěr	86
26.	Zdroje.....	87
27.	Seznam obrázků	90
28.	Seznam tabulek	91
29.	Seznam grafů	92
30.	Seznam Příloh (CD)	93

1. ÚVOD

Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektřiny (zkráceně KVET) je jedním z významných způsobů snížení spotřeby fosilních paliv, který na rozdíl od obnovitelných zdrojů nevsází na hledání jiných zdrojů, ale na co nejlepší využití již používaných zdrojů, nejčastěji fosilních paliv, jako je zemní plyn. Na principu kogenerace funguje více zařízení jako například plynové turbíny nebo kogenerační jednotky. Kogenerační jednotky fungují na principu spalovacích plynových motorů. Jsou vyráběny různými výrobci a v různých velikostech od desítek kW_e (kilowatt elektrické energie) až po jednotky MW_e.

1.1. Cíl práce

V této práci si ukážeme reálný případ použití malých kogeneračních jednotek pro výrobu elektřiny a tepla v penzionu v Praze. Podíváme se, jak jsou kogenerační jednotky provozovány v současnosti, a pokusíme se zjistit, jak by bylo možné provoz optimalizovat. Zaměříme se také na jejich provoz v kombinaci s plánovanou instalací FVE.

Hlavním cílem bude vytvořit model optimálního provozu kogeneračních jednotek, který minimalizuje ztráty opakovaným vypínáním. Zároveň bude tento model modifikován pro výpočet více možností použití. Všechny varianty se pokusíme zhodnotit nejen z pohledu účinnosti, ale také z pohledu ekonomiky, a porovnáme, který model je nejvýhodnější.

2. PENZION

Penzion, který zkoumáme, se nachází na pražské Chmelnici. Penzion se dělí na 2 části, penzion, který nabízí jednopokojové apartmány, a ubytovnu, která nabízí dvoulůžkové, trojlůžkové, čtyřlůžkové pokoje. Všechny pokoje a apartmány obsahují vlastní koupelnu, toaletu a kuchyň. Průměrná obsazenost tohoto penzionu je 187 lidí. Část nájemníků pracuje v nedaleké nemocnici. Vzhledem ke směnám zdravotnického personálu můžeme čekat promítnutí do spotřeb. V kotelně penzionu se nacházejí 2 kogenerační jednotky řady MICRO 30 od firmy TEDOM, které doplňuje plynový kotel s tepelným výkonem 750 kW. Pro ukládání energií se v penzionu nachází 2 akumulční nádrže o velikosti 5 000 litrů (5 m³) a 2 nádrže o velikosti 500 l a 400 l pro ukládání vody na TUV. Plyn na vstupu, který měří fakturační plynoměr, přichází na přetlaku 100 kPa, před vstupem do kogeneračních jednotek a plynového kotle se tlak plynu snižuje na nízký tlak o přetlaku 5 kPa. Na parkovišti po boku budovy se nachází čerpací stanice na zemní plyn.



Obrázek 1: Budova penzionu

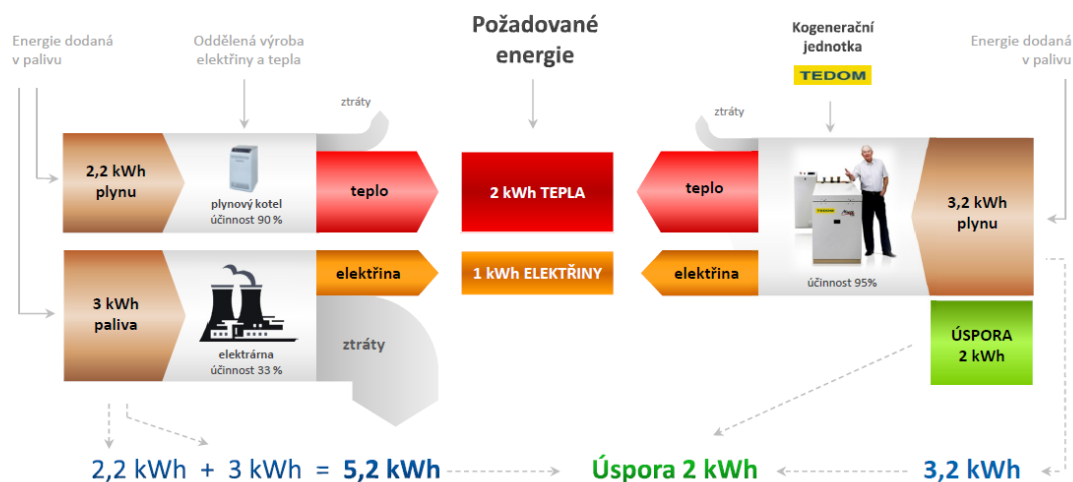


Obrázek 2: Kotelna: 2 kogenerační jednotky TEDOM MICRO 30 a plynový kotel (vpravo)

3. KOGENERACE

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) neboli kogenerace je způsob výroby elektrické energie, při kterém se užitečným způsobem využije teplo, jež se při procesu výroby elektřiny uvolňuje. Tím se dosahuje velmi vysoké účinnosti a využití energie v palivu, ta v mnoha případech přesahuje hodnoty 90 %, v některých dokonce 95 %. [1] [2]

Tím se minimalizují ztráty, které při tradiční výrobě elektrické energie vznikají. Zatímco výroba tepla má v obvyklých případech (například ve vytopnách) vysokou účinnost přes 90 %, v elektrárnách obvyklá účinnost nepřesahuje 55 % (obvykle ani 45 %) a zbylých 45 % je ztraceno. [3] Tyto nedostatky jsou v centralizované energetice eliminovány v teplárnách, které využívají právě kogeneraci, kde vyrábějí teplo i elektřinu. Díky vysokému využití energie v palivu se nejen dosahuje vysoké účinnosti, ale ve spojení s tím také snížení emisí CO₂. [4] [2] [5]



Obrázek 3: Princip úspory paliva použitím KJ [2]

3.1.1. Trigenerace

Kogenerace není jediným způsobem výroby více energií najednou. Vylepšenou formou kogenerace je trigenerace. Název trigenerace je odvozen od výroby tří energií najednou, kromě elektřiny a tepla vyrábí ještě chlad. Tento způsob výroby energií je založen na kombinaci kogenerační jednotky, která vyrábí elektřinu a teplo, a absorpční chladicí jednotky, která z tepla KJ vyrábí chlad. [6] [2]

Výhodou trigenerace je možnost většího využití tepla i během letních měsíců, kdy lze chlad následně využít například pro klimatizování nebo ho lze také použít jako technologický chlad. V porovnání s klasickými typy výroby chladu poskytuje trigenerace také úsporu nákladů na provoz kompresorů. Absorpční chlazení je zároveň tiché a má dlouhou životnost s nízkou potřebou častých servisů. [6] [2]

Trigeneraci lze využít více způsoby. V případě kombinace s KJ existují 2 typy. První z nich zahrnuje teplovodní absorpční chladicí jednotku, kdy je spalínový výměník součástí KJ. Třícestný ventil umožňuje regulaci výstupu tepla z KJ, a lze tak část tepla využít k vytápění/ohřevu TUV a část pro výrobu chladu. Tento způsob je vhodný v případech, kdy je potřeba teplo v zimních měsících a chlad v letních měsících. [2]



Obrázek 4: Schéma trigenerace s teplovodní absorpční chladicí jednotkou [2]

Druhým způsobem je využití spalínové absorpční chladicí jednotky, kde je spalínový výměník součástí chladicí jednotky. Na vytápění/ohřev TUV je tak využíváno pouze teplo získané chlazením motoru a teplo ze spalín se využívá celé na výrobu chladu. Tato metoda je vhodná pro provozy, kde je celoroční potřeba chladu. [2]



Obrázek 5: Schéma trigenerace se spalínovou absorpční chladicí jednotkou [2]

3.2. Teplárenský modul

Teplárenský modul nebo také modul teplárenské výroby je veličina, která je důležitá pro KVET. Rovnice pro výpočet teplárenského modulu je [7]:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_t} \quad (1)$$

kde

$$\dot{Q}_e = \text{elektrický výkon}$$

$$\dot{Q}_t = \text{tepelný výkon}$$

To znamená, že čím vyšší teplárenský modul, tím větší je množství vyrobené elektřiny vůči vyrobenému teplu. Větší teplárenský modul je vhodný převážně v letních měsících, kdy je spotřeba tepla nízká (pouze na TUV). Pro kogenerační jednotky TEDOM, které zvažujeme v našem případě, je častý teplárenský modul $\varepsilon = 0,5$, to znamená, že KJ vyrobí zhruba 2x více tepelné energie než elektrické energie.

4. ROSTOUCÍ CENY PLYNU

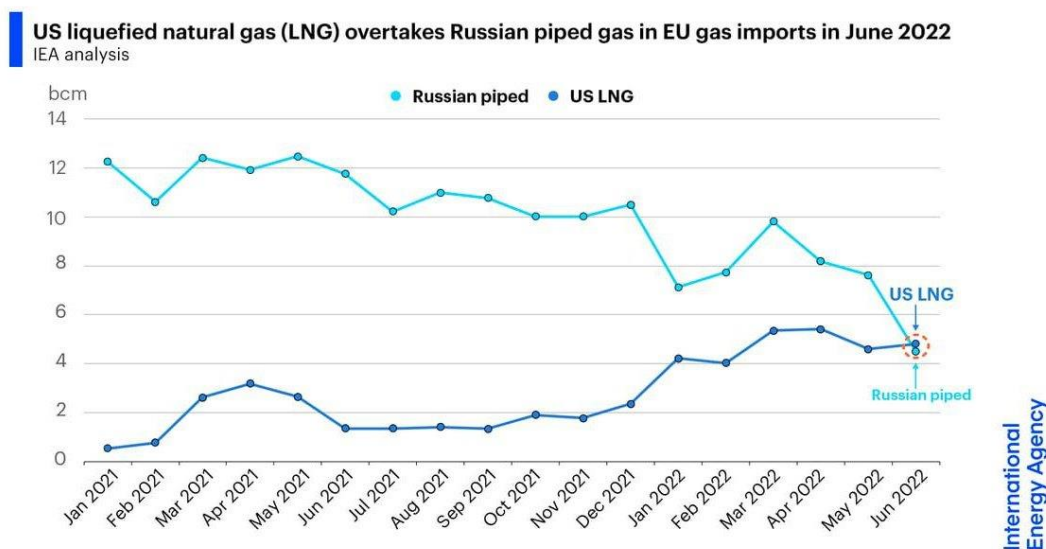
Jelikož většina kogeneračních jednotek běží na plynová paliva, především zemní plyn, je důležitou otázkou cena těchto paliv, a to zejména kvůli vývoji cen plynu od první poloviny roku 2021. Nejprve se cena začala zvyšovat společně s cenami emisních povolenek, ale od února roku 2022 se přidal ještě další faktor, válka na Ukrajině. [8] [9]

Dne 24. 2. 2022 zaútočila Ruská federace na Ukrajinu, čímž začala dosud neukončená válka. Jelikož je Rusko hlavním dodavatelem zemního plynu pro velkou část Evropy, finanční zdroje RF plynou výrazně z prodeje fosilních paliv. V důsledku evropských sankcí vůči Rusku se cena plynu dostala do astronomických výšin (maxima dosáhla během roku 2022, kdy cena za MWh přesáhla 7 800 Kč, oproti ceně pohybující se okolo 400–500 Kč/MWh v roce 2020). [10] [9]

V důsledku těchto rapidních navýšení cen se začíná počítat se scénáři, v rámci nichž bude odběr plynu z Ruska ukončen a budou se muset hledat alternativy. Hlavní alternativou je zkvalitněný plyn. Jeho dodávky se dojednávají ze zemí jako Ázerbájdžán, Norsko, Izrael nebo

Egypt. Dále se pak rapidně zvětšily dodávky z USA (ve formě LNG), během léta 2022 poprvé v historii překonaly dodávky plynu z Ruska. [11]

V době dokončování této práce se cena plynu relativně ustálila, dodávky plynu jsou mnohem stabilnější než při začátku války. Současná cena ke konci roku 2023 se pohybuje okolo 1 500 Kč/MWh. [10] Spotová cena je ovšem závislá také na období roku. Zatímco v letních měsících, kdy je spotřeba tepla mnohem nižší než zimních měsících, je cena plynu nižší (v roce 2023 se pohybovala okolo 1 300 Kč/MWh), v zimních měsících cena plynu roste a v prosinci 2023 dosahuje nebo i přesahuje dříve zmíněných 1 500 Kč/MWh. Díky portálu Pražské plynárenské Distribuce lze zjistit celkové toky plynu do domácí sítě a lze vidět, že spotřeba plynu v zimních měsících dosahuje 7x–10x vyšších hodnot než v letních měsících. [12]



Obrázek 6: Graf nákupu plynu z USA (v podobě LNG) a plynu z Ruska [11]

5. TOPNÁ SEZONA

Kdykoliv řešíme návrh jakéhokoliv zdroje tepla, ať už se jedná o kotel nebo kogeneraci, zajímá nás nejen, kolik ročně spotřebujeme paliva, ale také kdy vlastně začínáme topit.

Období, kdy probíhá provoz vytápěcí soustavy, se nazývá topná sezona. Topná sezona má svá pravidla, kdy začíná a končí, tato pravidla určuje vyhláška č. 194/2007 Sb. Topná sezona může začít v září a končit v květnu, nicméně musí být splněna ještě jedna podmínka. Tou je, že průměrná denní teplota venkovního vzduchu klesne 2 dny po sobě pod hodnotu 13 °C, zároveň musí být zřejmé, že teplota následující den nestoupne nad tuto hranici. Zahájení vytápění se může lišit budovu od budovy o několik dní. [13]

6. PODPORA KVET

Kogenerace je podobně jako obnovitelné zdroje energie podporovaná ve formě dotací. Hlavním zdrojem dotací jsou takzvané zelené bonusy. Jednotkové ceny zelených bonusů jsou vypočítávány na základě výkonu a provozních hodin kogenerační jednotky. Jednotková cena pak určuje podporu na vyrobenou 1 MWh energie. [14]

Zelené bonusy pro KVET se ovšem v posledních letech snižovaly. V tabulkách 1 a 2 je porovnání zelených bonusů pro KVET za rok 2022 a pak současná tabulka podle cenového rozhodnutí ERU ze září 2023.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od	do	od	do (včetně)		
a		b	c	f	g	k	m
730	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny využívající neobnovitelný zdroj nebo druhotný zdroj	-	31.12.2021	0	200	3 000	722
731		-	31.12.2021	200	1 000	3 000	353
732		-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	63
733	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (5) a/nebo (6.1) cenového rozhodnutí nebo spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45
734	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující samostatně zemní plyn nebo LPG nebo důlní plyn nepodporovaný podle bodu (6.1) cenového rozhodnutí nebo obnovitelný zdroj nepodporovaný podle bodu (5) cenového rozhodnutí	-	31.12.2021	0	200	3 000	1 177
735		-	31.12.2021	0	200	4 400	758
736		-	31.12.2021	200	1 000	3 000	808
737		-	31.12.2021	200	1 000	4 400	441
738		-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	518
739		-	31.12.2021	1 000	5 000	4 400	210

Tabulka 1: Přehled zelených bonusů pro rok 2022 [14]

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW _e]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od	do	od	do (včetně)		
a		b	c	d	e	f	g
730	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny využívající neobnovitelný zdroj nebo druhotný zdroj	-	31.12.2021	0	200	3 000	0
731		-	31.12.2021	200	1 000	3 000	0
732		-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	0
733	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1) cenového rozhodnutí nebo spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	0
734	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující samostatně zemní plyn nebo LPG nebo důlní plyn nepodporovaný podle bodu (2.1) cenového rozhodnutí nebo obnovitelný zdroj energie nepodporovaný podle bodu (1) cenového rozhodnutí	-	31.12.2021	0	200	3 000	0
735		-	31.12.2021	0	200	4 400	0
736		-	31.12.2021	200	1 000	3 000	0
737		-	31.12.2021	200	1 000	4 400	0
738		-	31.12.2021	1 000	5 000	3 000	0
739		-	31.12.2021	1 000	5 000	4 400	0

Tabulka 2: Přehled zelených bonusů pro rok 2024 [15]

Jak můžeme vidět, ceny za vyrobenou elektřinu se v roce 2022 pohybovaly v řádu stovek Kč/MWh, pro rok 2024 ovšem klesly ceny za zelené bonusy na nulu. Toto rozhodnutí do určité míry souvisí s odpuštěním poplatku za obnovitelné zdroje od podzimu roku 2022.

7. PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Stejně jako u kotlů, tak i u kogeneračních jednotek může být využíván jak plynový, tak parní tepelný oběh. V námi řešeném penzionu se nacházejí kogenerační jednotky firmy TEDOM, která vyrábí kogenerační jednotky se spalovacími motory, jedná se o plynové kogenerační jednotky.

U plynových spalovacích motorů se jako palivo používají především zemní plyn a bioplyn, ale může se použít také skládkový/důlní plyn, LPG nebo propan. Výkonově se kogenerační jednotky pohybují od cca 20 kW až do 5 MW. Kogenerační jednotky najdeme na místech jako nemocnice, hotely, malé průmyslové provozy nebo bioplynové stanice.

Kritické faktory při provozu plynového spalovacího motoru jsou:

- teplota
- tlak
- výkyvy tlaku
- vlhkost
- spád potrubí

Teplota plynu před vstupem do kogenerační jednotky by neměla být vyšší jak 40 °C. Je-li teplota vyšší, dochází k nadměrnému teplotnímu namáhání armatur a řídicích jednotek. To vede nejčastěji k poškození membrán a tím k jejich netěsnostem. Tlak plynu se pohybuje v hodnotách nízkého přetlaku (jednotky kPa).

Pokud relativní vlhkost plynu dosahuje více jak 80 %, dochází k tvorbě vodních zátek. S tím souvisí i spád potrubí, který se musí s ohledem na kondenzaci plynu volit co nejmenší, aby se zamezilo vodním zátkám, které se tvoří v prohlubních.

Je nutné ale podotknout, že hodnoty kritických faktorů se liší podle použitých materiálů a konstrukčního uspořádání, a proto každý výrobce kogeneračních jednotek tyto kritické hodnoty uvádí trochu jiné. [16]

Směs paliva a vzduchu při stlačení detonují a pomocí generátoru vyrábí elektřinu. Vyrobená elektřina tvoří obvykle 30–40 % energie obsažené v palivu. Spaliny vycházející z motoru pak dále procházejí přes tepelný výměník, kde předávají značnou část své energie vodě, která se pak využívá pro ÚT nebo jako TUV. Tím se využije dalších 45–65 % energie paliva a celková účinnost kogeneračních jednotek tak dosahuje hodnot přesahujících hranici 85 % a dosahujících až 95 %. V případě využití kondenzačních výměníků lze u menších jednotek dokonce teoreticky přesáhnout i hodnoty 100 % (ve vztahu k výhřevnosti).

Tepelná energie se dá dále využít pro vytápění budov nebo procesních zařízení. Základní výměník u kogeneračních jednotek na bázi spalovacích motorů je především výměník motorového okruhu a spalínový výměník. Jako výměník motorového okruhu se může použít například deskový výměník. V případě spalínového výměníku můžeme použít výměník trubkový, přičemž spaliny proudí uvnitř trubek, a předávají tak svou tepelnou energii otopné vodě. [17] [18] [19]

7.1. Konstrukční uspořádání

Existují 2 formy, v jakých se zákazníkovi dodává kogenerační jednotka: Modulové, kdy se dodá plně funkční sestava s přípojnými body, nebo takzvané stavebnicové. Stavebnicové uspořádání se skládá z určitých dílů, které jsou dodány zákazníkovi, a je už na něm, aby si kogenerační jednotku složil. Skládá se z:

- motoru s generátorem
- výměníků
- čerpadel
- tlumičů

Modulové uspořádání je většinou pro menší výkony, zatímco stavebnicové je určeno pro větší výkony, jelikož celá kogenerační jednotka by byla u velkých výkonů (a tedy velkých rozměrů) složitá na transport. [20] [17] [18]

7.2. Paliva

7.2.1. Metanové číslo

Metanové číslo je důležitou vlastností paliv pro kogenerační jednotky se spalovacím motorem. Označuje odolnost proti detonačnímu spalování. Na rozdíl od kapalných paliv, které mají daný způsob měření paliva, existuje několik způsobů měření metanového čísla zemního plynu. Hlavní 2 prvky zemního plynu mají určenou hodnotu metanového čísla, metan má hodnotu 100 a vodík hodnotu 0. Pokud bychom uvažovali pouze tyto 2 prvky, pak by procentuální obsah metanu určoval metanové číslo (například 90 % metanu, 10 % vodíku znamená, že metanové číslo = 90). Jelikož však zemní plyn obsahuje i jiné prvky, pak je určování složitější. Inertní plyny jako N_2 a CO_2 metanové číslo zvyšují, jiné uhlovodíky než metan naopak metanové číslo snižují z důvodu vyššího podílu vodíku k uhlíku. [21] [22]

7.2.2. Zemní plyn

Na území České republiky i v mnoha jiných státech Evropy se před rokem 2022 používal primárně ruský zemní plyn s obsahem 96 % metanu. Od začátku války na Ukrajině se začaly dodávky plynu z Ruska nahrazovat dodávkami z Norska ve spojení s LNG. Tomuto nahrazení se budeme věnovat v pozdější části diplomové práce. Mimo metan obsahuje zemní plyn ještě vyšší uhlovodíky, CO_2 a N_2 . Jedná se o nejpoužívanější palivo kogeneračních jednotek. [20] [17] [21]

7.2.3. Bioplyn, skládkový plyn, důlní plyn

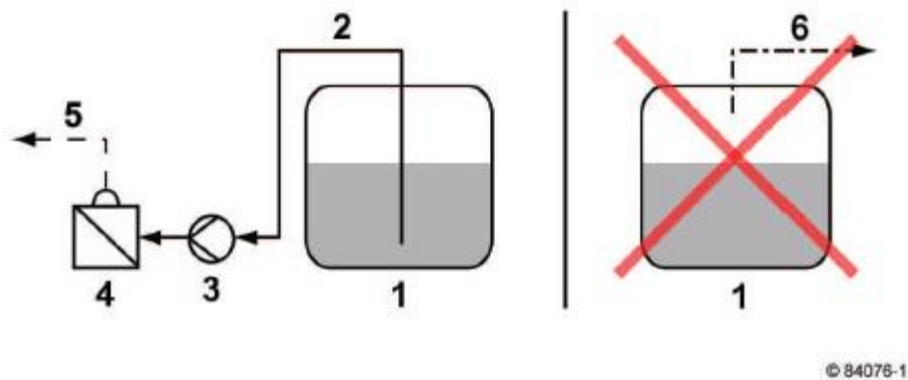
Obsah metanu v bioplynu se pohybuje obvykle v intervalu 60–70 %, další složky jsou převážně CO_2 , H_2 , H_2S a N_2 . Obsah metanu CH_4 v důlním plynu se pohybuje v rozmezí od 30 % do 70 % (mezi ostatní složky patří CO_2 , N_2 , případně O_2 u činných dolů). Přičemž hranice únosnosti pro spalování bioplynu je obvykle 40 % podíl CH_4 a 60 % podíl CO_2 . Při spalování důlního plynu hranice podílu metanu nesmí potom klesnout pod 25 %. Důvodem je, že při snižování obsahu metanu ve směsi se snižuje rychlost laminárního plamene a nastávají problémy se zhášením motoru během provozu, což je nežádoucí jev, protože se tím snižuje i účinnost a životnost spalovacího motoru. [20] [21]

7.3. Zkapalňená paliva

Pokud nejsou k dispozici paliva plynná, lze použít ještě některá zkapalňená paliva. Tato paliva jsou většinou používána pouze dočasně, například při spuštění zařízení v bioplynových stanicích, kdy ještě není bioplyn, který by se mohl využít k pohonu. Mezi tato paliva patří:

- LNG (zkapalněný zemní plyn)
- propan s podílem propanu minimálně 95 % [23]

Kapalná paliva se nepoužívají v kapalném stavu, ale nejprve se nechají odpařit. Palivo se musí z nádrže odebírat v kapalně fázi a nechat kompletně odpařit mimo motor, než vstoupí do motoru. Důvodem je to, že ne všechny složky plynu mají stejnou teplotu odpařování, takže pokud bychom odebírali palivo nad hladinou, dostáváme jinou koncentraci. [23]



- | | |
|---|--|
| 1 | Nádrž |
| 2 | Odběr topného plynu z kapalně fáze |
| 3 | Čerpadlo |
| 4 | Výparník |
| 5 | Suchý plyn k plynovému motoru |
| 6 | Odběr topného plynu z plynně fáze, nepřipustný |

Obrázek 7: Princip spalování kapalných paliv [23]

7.3.1. Propan

Jedno z možných alternativních paliv pro pohon kogeneračních jednotek je propan. Nevýhoda propanu oproti zemnímu plynu je nižší metanové číslo v důsledku vyššího množství vodíku ve sloučenině propanu. Toto nižší metanové číslo má za následek vyšší nápor na motor při spalování, proto je potřeba jednotky, které běží na propan, stavět s ohledem na vyšší tlaky. Chceme-li kogenerační jednotku pracující na zemní plyn přestavět na jednotku na propan, pak je třeba nejen upravit směšování, ale zároveň snížit výkon na zhruba 60 % původního výkonu. Tím zamezíme přetížení motoru, a zachováme tak jeho životnost. [21] [20] [17] [23]

7.4. Servis a poruchy

Jelikož plynové KJ používají k výrobě elektřiny a tepla spalovací motory, je potřeba, podobně jako u automobilů, pravidelně KJ kontrolovat a provádět servis. Na rozdíl od automobilových motorů, motory kogeneračních jednotek nejsou používány pouze v krátkodobých intervalech, ale běží někdy i 24 hodin, 7 dní v týdnu (převážně v zimním období).

Musí proto být za prvé dobře konstruované na vysokou a dlouhodobou spolehlivost a za druhé často servisované.

Servis kogeneračních jednotek zahrnuje:

- výměnu oleje – po 600–1 200 hod., u velkých KJ až 5 000 hod.
- výměnu svíček – po 1 000–4 000 hod.
- seřízení kontaktů svíček – po 500–2 000 hod.
- seřízení ventilů – po 800–2 000 hod.
- čištění spalínového výměníku – 1x ročně nebo po 5 000–10 000 hod.
- výměnu hlavy – po 6 000–12 000 hod.
- střední opravu – po 10 000–25 000 hod.
- generální opravu – po 20 000–50 000 hod. [24]

Tento servis pravidelně zařizuje poskytovatel kogenerační jednotky.

7.4.1. Dálkový monitoring

Vzhledem k pokroku informačních technologií v posledních letech je dnes možné kogenerační jednotky měřit i dálkově, jediné, co zákazník potřebuje, je možnost připojit kogenerační jednotku k internetu. Lze tak z centrály kontrolovat správný provoz kogenerační jednotky a v případě odchylky od správné funkce, například výkyvem teplot nebo tlaku, okamžitě začít problém řešit, aby nedošlo k rozsáhlejšímu poškození KJ. [25] Dalšími důležitými parametry, které lze dálkově měřit a které budeme využívat v pozdějších částech práce, je počet provozních hodin neboli motohodin a počet startů.

7.4.2. Detonační spalování

Detonační spalování je nebezpečný jev u spalovacích automobilových motorů, ale funguje na obdobném principu i u spalovacích plynových motorů kogeneračních jednotek. Při spalování zapalují svíčky motoru směs paliva s oxidem uhličitým. Fronta plamene tvoří tlakovou vlnu, která vyvolává kritické reakce v nespálené části paliva. V určitých místech směsi dojde ke samovznícení. Z míst, kde se směs samovznítila, se šíří fronta plamene rychleji, čímž roste tlak nad kritickou mez, což způsobuje tlakové pulzy. Krátkodobé pulzy jsou pro motor přijatelné, ale dlouhotrvající mohou mít za následek poškození součástí dříve, než je naplánovaný pravidelný servis. [26] [27]

Příčinami detonačního spalování jsou:

- nevhodné metanové číslo paliva
- nevhodný kompresní poměr
- nesprávné seřízení motoru
- vysoké zatížení motoru
- nevhodná konstrukce motoru (ostré hrany ve spalovacím prostoru, špatný odvod tepla ze spalovacího prostoru, nevhodný tvar spalovacího prostoru...)
- vysoká teplota směsi (závada v chlazení směsi) [27]

8. NAHRAZENÍ RUSKÉHO ZEMNÍHO PLYNU

Zemní plyn byl dopravován do Československa z Ruska, resp. Sovětského svazu, již od 60. let 20. století, kdy se přešlo na zemní plyn z dříve používaného svítiplynu. Téměř veškerý zemní plyn dopravovaný do ČR až do začátku roku 2022 pocházel z Ruska. Většina zařízení včetně KJ

byla tedy uzpůsobena na složení ruského plynu. V rámci sankcí vůči Ruské federaci byly omezeny dodávky ruského plynu do Evropy a nahrazovány částečně plynem z Norska a částečně zkvalitněným zemním plynem, který je do Evropy dopravován tankery. [28]

Problémem nahrazení dodávek z Ruska zemním plynem z Norska a zkvalitněným zemním plynem je rozdíl ve složení. Jak jsme uvedli v dřívějších kapitolách, důležitým parametrem KJ je metanové číslo, které závisí na složení zemního plynu.

Na obrázku 8 jsou data dostupná z portálu Pražské plynárenské Distribuce (PPD). Zobrazují složení plynu dodávaného v lednu 2022, to znamená před ruskou invazí, a tedy složení ruského plynu v porovnání s plynem, který je dodáván v listopadu 2023. Tento plyn je s největší pravděpodobností mix norského plynu a LNG. Jak si lze všimnout, současný zemní plyn má sice vyšší hodnotu výhřevnosti, a tedy i spalného tepla, což znamená vyšší množství energie v 1 m³ plynu, ale nižší procento metanu, které je nahrazeno dalšími alkany a alkeny jako etan, propán, butan atd. To znamená potenciální problémy s provozem různých zařízení včetně KJ. Jak jsme uvedli v kapitole o metanovém čísle, ostatní alkany mají nižší hodnotu metanového čísla. [28]

PROTOKOL průměrných hodnot jakostních znaků zemního plynu na předávacích stanicích mezi NET4GAS, s. r. o. a PPD, a. s. dle předávacího protokolu			PROTOKOL průměrných hodnot jakostních znaků zemního plynu na předávacích stanicích mezi NET4GAS, s. r. o. a PPD, a. s. dle předávacího protokolu		
za měsíc:	leden		za měsíc:	listopad	
rok:	2022		rok:	2023	
podmínky měření t ₁ /t ₂ [°C]: 15/15			podmínky měření t ₁ /t ₂ [°C]: 15/15		
metan	[mol%]	96,065	metan	[mol%]	91,722
etan	[mol%]	2,889	etan	[mol%]	4,928
propan	[mol%]	0,150	propan	[mol%]	0,972
iso-butan	[mol%]	0,045	iso-butan	[mol%]	0,161
n-butan	[mol%]	0,023	n-butan	[mol%]	0,152
iso-pentan	[mol%]	0,006	iso-pentan	[mol%]	0,032
n-pentan	[mol%]	0,004	n-pentan	[mol%]	0,021
C ₆ ⁺	[mol%]	0,023	C ₆ ⁺	[mol%]	0,052
N ₂	[mol%]	0,354	N ₂	[mol%]	0,929
CO ₂	[mol%]	0,438	CO ₂	[mol%]	1,032
celk. síra	[mg/m ³]	<5 (po odorizaci zemního plynu)	celk. síra	[mg/m ³]	<5 (po odorizaci zemního plynu)
spalné teplo	[kWh/m ³]	10,694 (podle měsíčního předávacího protokolu)	spalné teplo	[kWh/m ³]	10,939 (podle měsíčního předávacího protokolu)
hustota	[kg/m ³]	0,708	hustota	[kg/m ³]	0,746
hutnota	[-]	0,578	hutnota	[-]	0,609
výhřevnost	[kWh/m ³]	9,637	výhřevnost	[kWh/m ³]	9,874
Wobbeho index	[kWh/m ³]	14,068	Wobbeho index	[kWh/m ³]	14,024
rosný bod H ₂ O (4 MPa)	[°C]	-26,638	rosný bod H ₂ O (4 MPa)	[°C]	-32,130

Obrázek 8: Porovnání složení plynu z ledna 2022 (vlevo) [29] a listopadu 2023 (vpravo) [30]

8.1. Wobbeho číslo

Když se řeší záměna dvou druhů zemního plynu, je potřeba řešit veličinu zvanou Wobbeho číslo. Tato veličina označuje poměr spalného tepla a druhé odmocniny z relativní hustoty zemního plynu. Relativní hustota zemního plynu vyjadřuje poměr hustoty zemního plynu vůči hustotě vzduchu. [28] Výpočet Wobbeho čísla je vyznačen v rovnici 2.

$$W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}} = \frac{H_s}{\sqrt{\frac{\rho_{zp}}{\rho_{vz}}}} \quad (2)$$

Wobbeho číslo vyjadřuje podmínku zachování tepelného příkonu spotřebiče při záměně plynu a uvádí se jako základní kritérium při změně složení plynu. Aby bylo možné zemní plyn

nahradit, je potřeba, aby byla Wobbeho čísla obou plynů co nejbližší. [28] Porovnáme-li hodnoty Wobbeho čísla pro plyn z počátku roku 2022 s plynem z konce roku 2023, dostaneme rozdíl méně než 1 %.

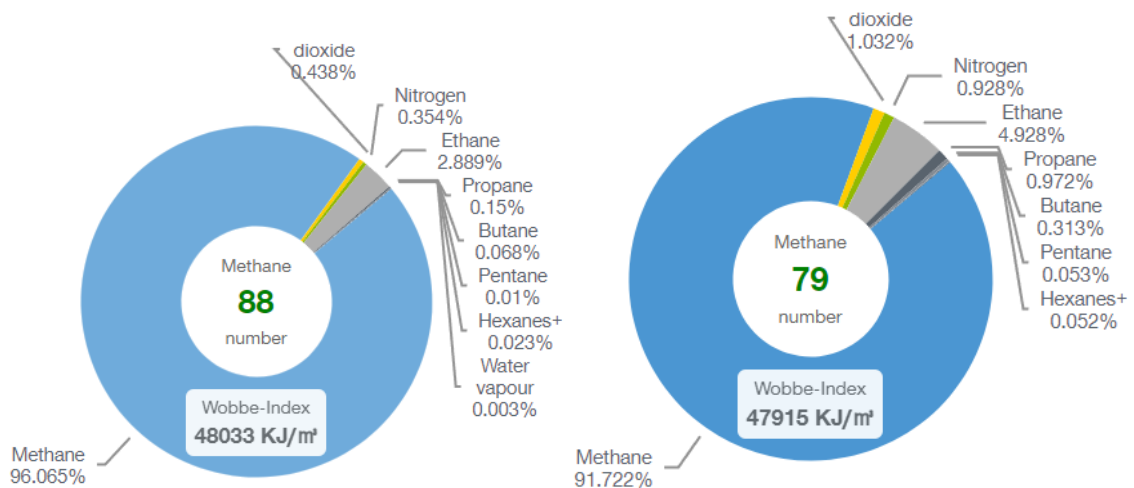
8.2. Výpočet metanového čísla

V kapitole 7.2.1. jsme zmiňovali metanové číslo a jeho důležitost pro KJ. Každý prvek má svou hodnotu metanového čísla a jejich podíly mají vliv na výsledné metanové číslo zemního plynu, jednoduchými příklady jsou metan, který má hodnotu 100, a vodík, který má hodnotu 0. Jednoduše se dá říct, že uhlík metanové číslo zvyšuje a vodík naopak snižuje. Existuje více metod pro výpočet metanového čísla zemního plynu, v této práci ukážeme jeden výpočet pomocí softwaru a jeden manuální za pomoci vzorce a poměru H/C.

8.2.1. Výpočet pomocí softwaru

Na internetu je více dostupných programů pro výpočet metanového čísla. Pro ukázkou vyzkoušíme programy 2 známých výrobců motorů: Caterpillar a MAN. KJ TEDOM využívají v různých modelech jak motory MAN, tak motory MWM, které spadají do koncernu Caterpillar, tudíž použití softwarů těchto společností je ideální. V obou případech vyzkoušíme porovnání výpočtu pro plyn z ledna 2022 a listopadu 2023.

V případě softwaru společnosti MAN není rozlišován iso-butan a iso-pentan od n-butanu a n-pentanu, proto do výpočtu vložíme jejich součet, v případě aplikace CAT toto rozlišit lze. Složení zároveň neodpovídá přesně 100 %, pravděpodobně vlivem zaokrouhlení chybí ve složení lednového plynu 0.003 % a v případě listopadového plynu přebývá 0.001 %. Jelikož aplikace MAN potřebuje součet rovný přesně 100 %, doplnili jsme v prvním případě chybějící 3 tisícinou vodní parou a v druhém případě jsme jednu tisícinu ubrali na dusíku, který nemá vliv na změnu metanového čísla. Výsledky z obou aplikací jsou na obrázcích 9 a 10.



Obrázek 9: Porovnání metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023 podle softwaru MAN

Gas Analysis		Gas Analysis	
English <input type="checkbox"/> Metric <input checked="" type="checkbox"/>		English <input type="checkbox"/> Metric <input checked="" type="checkbox"/>	
Calculated Fuel Properties		Calculated Fuel Properties	
Caterpillar Methane Number	90,1	Caterpillar Methane Number	79,7
Lower Heating Value (MJ/Nm ³):	36,58	Lower Heating Value (MJ/Nm ³):	37,50
Higher Heating Value (MJ/Nm ³):	40,60	Higher Heating Value (MJ/Nm ³):	41,56
WOBBE Index (MJ/Nm ³):	48,17	WOBBE Index (MJ/Nm ³):	48,10
THC Free Inert Ratio:	125,26	THC Free Inert Ratio:	50,02
Total % Inerts (N ₂ , CO ₂ , He):	0,79%	Total % Inerts (N ₂ , CO ₂ , He):	1,96%
RPC (%) (To 35.64 MJ/Nm ³ Fuel):	100%	RPC (%) (To 35.64 MJ/Nm ³ Fuel):	100%
Compressibility Factor:	0,998	Compressibility Factor:	0,998
Stoich A/F Ratio (Vol/Vol):	9,71	Stoich A/F Ratio (Vol/Vol):	9,93
Stoich A/F Ratio (Mass/Mass):	16,83	Stoich A/F Ratio (Mass/Mass):	16,34
Specific Gravity (Relative to Air):	0,577	Specific Gravity (Relative to Air):	0,608
Fuel Specific Heat Ratio (K):	1,311	Fuel Specific Heat Ratio (K):	1,306

Obrázek 10: Porovnání metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023 podle softwaru CAT

Jak si lze všimnout, výsledky nejsou stoprocentně stejné, ale z obou dostáváme stejný trend, metanové číslo současného plynu je nižší než plynu ruského, který byl používán do začátku roku 2022. Jelikož aplikace CAT dovoluje rozlišovat více typů plynů, budeme ji brát jako přesnější a vycházet z jejího výsledku. Na základě studie z roku 2017 by metanové číslo v motorovém palivu nemělo klesnout pod 80 (pro použití plynu jako paliva kotlů stačí metanové číslo 65). To znamená, že současný zemní plyn je těsně pod touto hranicí, a může tak potenciálně komplikovat provoz KJ, zároveň je ovšem tak blízko této hranici, že je spekulativní, zda opravdu má vliv na provoz. [22]

8.2.2. Výpočet na základě poměru H/C

Ve studii z roku 2017 mimo doporučené hranice metanového čísla najdeme také vzorce, které lze použít pro výpočet metanového čísla z čísla oktanového. K tomuto výpočtu potřebujeme znát poměr H/C v zemním plynu. K tomuto účelu jsme si vytvořili tabulku, do které vyplníme procentuální složení obou zemních plynů a vypočítáme z nich poměr H/C. Výpočtem dostáváme, že poměr H/C pro zemní plyn z ledna 2022 je H/C = 3,194, pro zemní plyn z listopadu 2023 je H/C = 3,807. [22] Dané poměry je následně třeba dosadit do následujících vzorců:

$$\text{Oktanové číslo} = -406.14 + 508.04 \cdot \left(\frac{H}{C}\right) - 173.55 \cdot \left(\frac{H}{C}\right)^2 + 20.17 \cdot \left(\frac{H}{C}\right)^3 \quad (3)$$

$$\text{Metanové číslo} = 1.624 \cdot \text{Oktanové číslo} - 119.11 \quad (4)$$

Výsledné hodnoty oktanového a metanového čísla jsme zavedli do tabulky 3.

	ZP – leden 2022	ZP – listopad 2023
Poměr H/C	3.914	3.807
Oktanové číslo	133.056	125.577
Metanové číslo	96.984	84.837

Tabulka 3: Porovnání oktanového a metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023

Jak vidíme, výsledky této metody se značně liší od výpočtu ze softwarů. Sám autor článku, ze kterého jsme vzorec čerpali, ovšem uznává, že přesnost této metody není známá, proto musíme brát dané hodnoty s rezervou.

9. KOGENERACE TEDOM

Třebíčská firma TEDOM funguje na českém trhu už přes 30 let. Jednalo se o jednu z prvních českých firem vyvíjejících kogenerační jednotky. Vůbec první model byla jednotka o výkonu 22 kW, využívala upravený motor z automobilu Škoda Favorit. Prototyp tohoto modelu byl sestrojen, jak tvrdí zakladatel společnosti Ing. Josef Jeleček, „na koleni“ v dílně. I přesto nalákal první zákazníky, když byl předveden na Mezinárodním strojírenském veletrhu. [31]

Za dobu svojí existence se firma rozrostla na mezinárodní úroveň a nyní již nejen spolupracuje se společností ČEZ jakožto člen ČEZ Energo, ale více jak polovina produkce je poskytována do zahraničí. Hlavními odběrateli jsou většinou evropské země jako Německo, Francie, Polsko, ale hodně jednotek najdeme také ve Velké Británii nebo Turecku. Některé KJ se dostaly až do zemí, jako je USA, Čína, Vietnam, Kazachstán, Mexiko nebo Filipíny. [31]

V průběhu let se firma rozšířila a v současnosti se nezabývá pouze vývojem KJ. Zabývá se také například vývojem tepelných čerpadel nebo výrobou motorů pro použití ve vlastních KJ. Firma se také začala angažovat na trhu s energiemi, kdy jejich sekce TEDOM Energie nabízí dodávky elektřiny a plynu. Firma sídlí v Třebíči, ale má střediska také například v Hořovicích nebo Jablonci nad Nisou. [31]

9.1. Kogenerační jednotka MICRO T33/MICRO 30

V námi řešeném penzionu se nachází 2 kogenerační jednotky od firmy TEDOM, jedná se o modely MICRO T33. Model MICRO T33 je modifikace modelu MICRO 30, která dává místo původních 30 kW elektrického výkonu výkon 33 kW. Dle informací se ovšem později výkon této kogenerační jednotky opět snížil na 30 kW.

Parametry této kogenerační jednotky jsou:

Jmenovitý elektrický výkon	E	33	kW
Zdánlivý výkon	$E_{zdánlivý}$	40,7	kVA
Jmenovitý tepelný výkon	Q	63,7	kW
Jmenovité napětí	U	400	V
Jmenovitý proud	I	50	A
Jmenovitý účinník	$\cos \phi$	0,81	
Kmitočet	f	50	Hz
Jmenovité otáčky	n	1 500	min^{-1}
Max. teplota okolí	$T_{ok \text{ max.}}$	35	$^{\circ}\text{C}$
Nadmořská výška	H	500	m
Rok výroby		2016	
Max. teplota spalin	$T_{spal. \text{ max.}}$	140	$^{\circ}\text{C}$
Max. protitlak spalin	$p_{spal. \text{ max.}}$	1	kPa
Hmotnost přepravní	$m_{přep.}$	1100	kg
Hmotnost provozní	m_{prov}	1190	kg
Max. teplota vratné vody	$T_{vody \text{ max.}}$	70	$^{\circ}\text{C}$
Max. tlak	p_{max}	600	kPa

Tabulka 4: Technické parametry KJ MICRO T33 [32]



Obrázek 11: Štítek KJ v pensionu Na Chmelnici

Dle interních informací se ovšem později výkon této kogenerační jednotky opět snížil na 30 kW. Model s 33 kWh byl experimentální pro spolupracující společnost OnSite Power, která požadovala mírně zvýšený výkon (bez potřeby použít vyšší řadu KJ). Tento test se ovšem neprojevil jako výhodný, protože 10% navýšení elektrického výkonu mělo za následek snížení spolehlivosti součástek a potřebu častějšího servisu (například výměna svíček se z obvyklých 3 000 hod. posunula na 2 000 hodin). Z tohoto důvodu se rozhodlo, že opětovné snížení výkonu na 30 kW_e je výhodnější.

Z tohoto důvodu budeme uvažovat klasické zapojení jednotky MICRO 30 s následujícími upravenými parametry dle technické specifikace:

Elektrický výkon	E	30	kW
Jmenovitý tepelný výkon	Q	58,1	kW
Účinnost elektrická	η_e	32,4	%
Účinnost tepelná	η_t	62,8	%
Příkon v palivu	P	92,5	kW
Spotřeba plynu	V	9,8	m ³ /hod
Jmenovité napětí	U	400	V
Jmenovitý proud	I	54	A
Jmenovitý účinník	cos ϕ	0,8	

Tabulka 5: Technické parametry KJ MICRO 30 [32]

V této technické specifikaci se dále můžeme dozvědět množství emisí ve spalínách. Všechny údaje jsou uváděné při 5 % O₂ ve spalínách.

Emise NO _x	95/50	mg/Nm ³
Emise CO	250/150	mg/Nm ³
Emise HCHO	60/20	mg/Nm ³

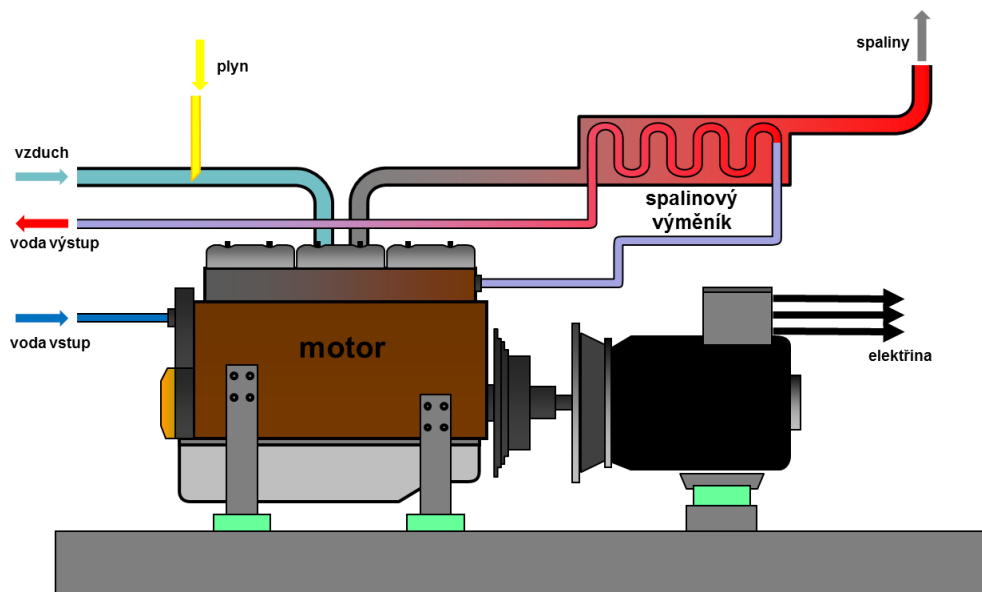
Tabulka 6: Přehled emisí pro KJ MICRO 30 [32]

10. SESTAVA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

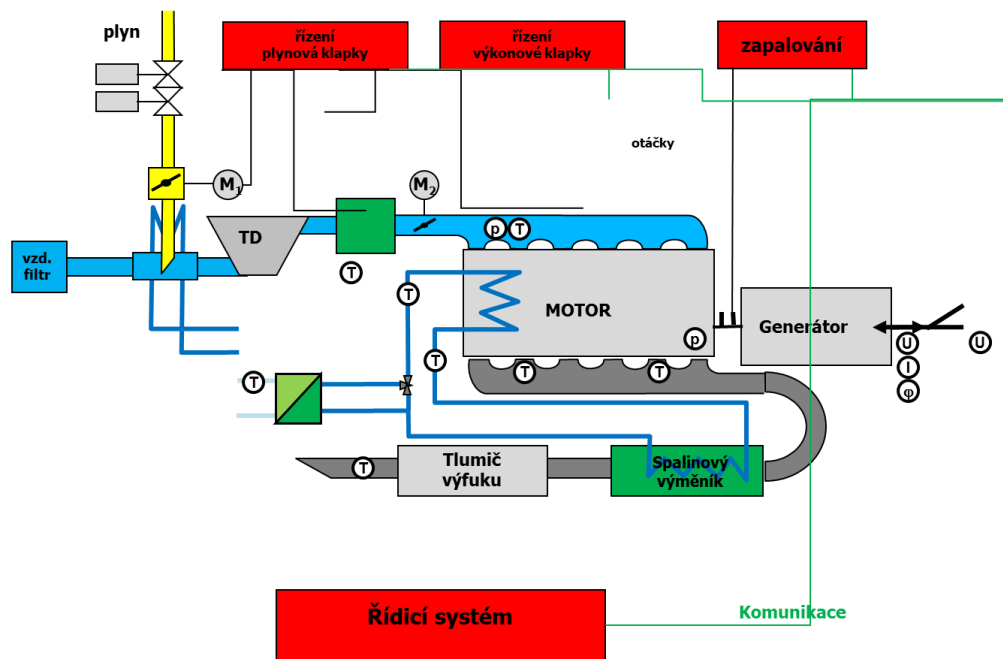
Kogenerační jednotka není jen samostatný motor. Kromě motoru se sestava KJ skládá z mnoha dalšího příslušenství, tepelných okruhů, přívodů, odvodů a dalších detailů, které zajišťují, že KJ funguje a funguje správně, spolehlivě a účinně.

Kogenerační jednotka se skládá z [33]:

- motor + příslušenství
- generátor
- okruhy (PO, SO, TO)
- plynová trasa
- odvod spalin
- přívod spalovacího vzduchu, ventilace
- protihlukový kryt, kontejner
- rozváděč + elektroinstalace



Obrázek 12: Schéma KJ [33]



Obrázek 13: Podrobnější schéma KJ [33]

10.1. Plynová trasa

Plyn vstupuje do KJ přes připojovací příruby s filtrem (zachycuje nečistoty). Při spuštění motoru dochází k otevření dvojice elektromagnetických ventilů. Plyn dále postupuje potrubím do nulového regulátoru tlaku plynu, kde se snižuje tlak plynu na hodnotu blízkou atmosférickému tlaku, vhodnou pro směšování. Z nulového regulátoru je plyn veden přes akční člen regulace bohatosti směsi, seřizovací šroub bohatosti směsi a dále kovovou hadicí do směšovače.

Spalovací vzduch vstupuje do KJ společně s ventilačním vzduchem. Je nasáván přes filtr vzduchu a proudí hadicí do směšovače spalovacího motoru. Ve směšovači dochází ke smísení s použitým palivem a tím k vytvoření spalovací směsi. Odtud jde směs přes škrticí klapku spalovacího motoru.

Spalovací směs plynu a vzduchu je připravována ve směšovači. Podtlak ve směšovači vyvozený sáním motoru způsobuje nasátí spalovacího vzduchu a patřičného množství plynu. Množství plynu vstupujícího do směšovače je nastaveno pomocí regulačního šroubu bohatosti směsi plynové trasy. Toto nastavení (seřízení bohatosti směsi) se provádí společně se seřizováním nulového regulátoru s ohledem na množství škodlivých látek ve výfukových plynech. [17]

10.2. Zapalování

Zapalování je uloženo ve „studeném“ prostoru. Je bezkontaktní, vysokonapěťové, řízené elektronicky s integrovanou vysokonapěťovou indukční cívkou pro každý válec motoru. Řídicí signály pro zapalování jsou získávány ze dvou snímačů (snímají zuby a značky setrvačnicku). Nulovací snímač snímá otáčení příslušné značky, která se otáčí polovičními otáčkami spalovacího motoru (otáčení je odvozeno od vačkového hřídele spalovacího motoru). Tento snímač dává vždy jeden puls za jeden pracovní cyklus motoru, kterým se vstupní data elektroniky zapalování vynulují. [17]

10.3. Olej

Olejová nádrž je připojena k mazací soustavě motoru pomocí vstupní hadice a potrubních dílů. Příkladná olejová nádrž je umístěna nad úrovní olejové vany motoru, doplňování oleje proto probíhá samospádem. Nádrž je vybavena spínačem minimální hladiny. [17]

10.4. Motory kogeneračních jednotek

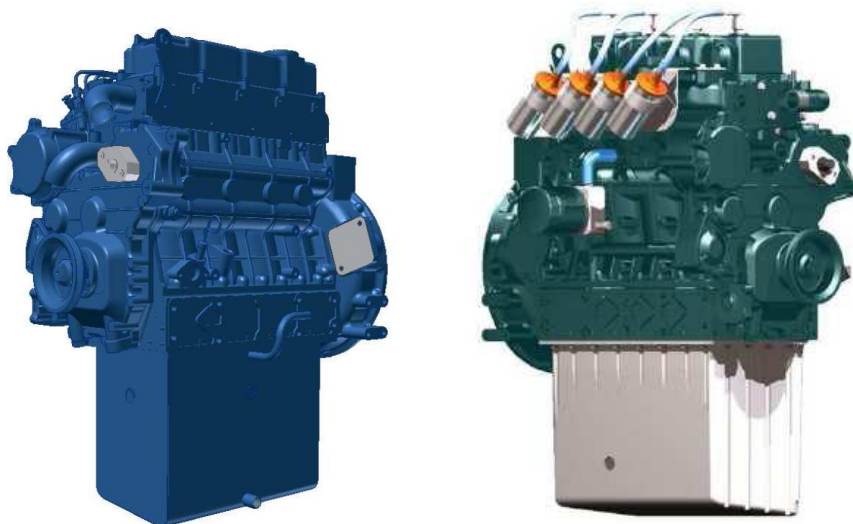
Jak bylo již naznačeno v předchozích částech této práce, plynové KJ využívají spalovací motory. Motory KJ TEDOM mohou být buď vlastní, nebo přestavěné motory od jiných dodavatelů.

Motory TEDOM se pohybují na výkonech 80–200 kW. Oddělení TEDOM Engines je nástupcem známé automobilové firmy LIAZ, od které před jejím krachem v roce 2002 nakupovala motory pro své KJ. V roce 2006 odkoupil TEDOM motorárnu JAMOT v Jablonci, včetně technické dokumentace motorů LIAZ a know-how. [34] [35]

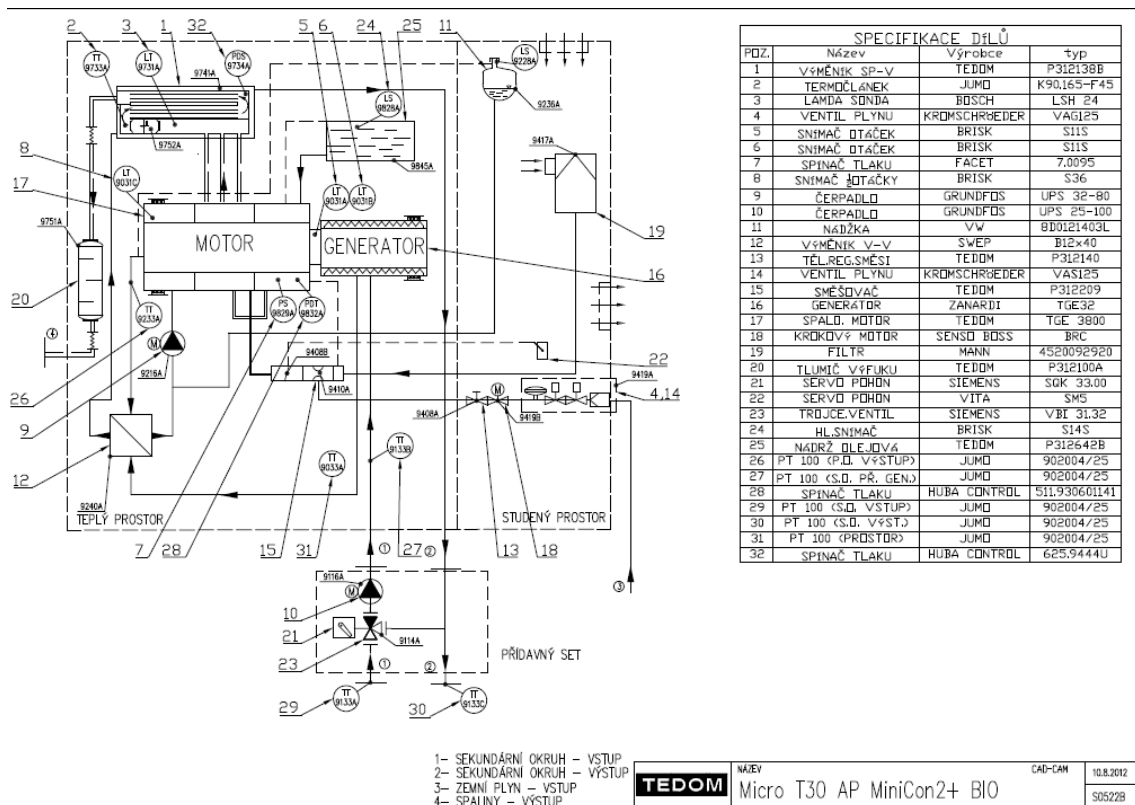
Pro KJ menších nebo větších výkonů než motory TEDOM se využívají motory od jiných dodavatelů, které se upravují na použití v KJ, většinou se jedná o automobilové motory, které se přestavují z pohonu na kapalná paliva na plynové motory. Mezi tyto dodavatele patří například Kabuta (pro menší výkony), Scania, MAN, Liebherr nebo MWM (součást koncernu Caterpillar Inc., motory MWM jsou používány do nejvýkonnějších modelů KJ TEDOM Quanto). [36]

Používanými typy motorů v KJ jsou:

- zážehové (i vznětové)
- čtyřdobé
- vodou chlazené
- atmosférické i přeplňované [33]



Obrázek 14: Motory používané v KJ TEDOM. KUBOTA (vlevo), TGE (vpravo) [17] [33]



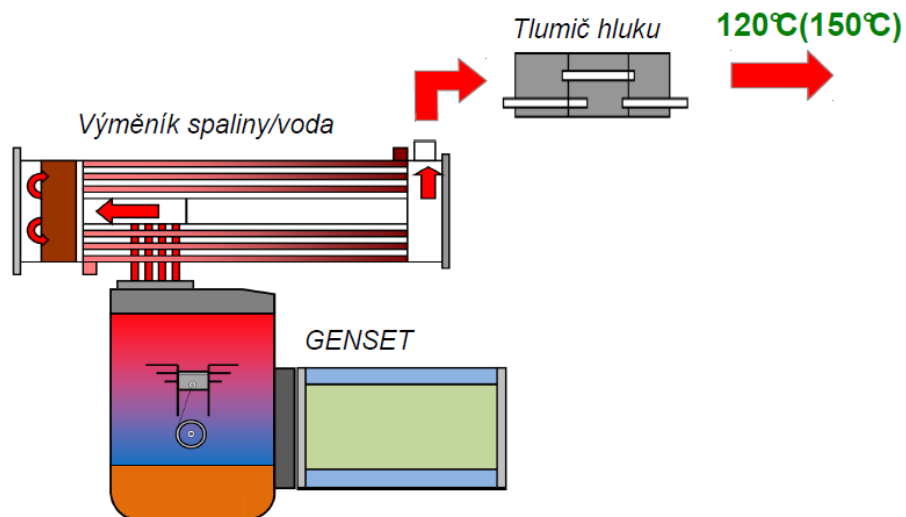
Obrázek 15: Technický výkres KJ TEDOM MICRO 30 [18]

10.5. Chladicí systémy

Zatímco motor KJ pohání generátor, který vyrábí elektrickou energii, zdrojem vyrobeného tepla jsou právě chladicí systémy KJ. Obdobně jako kotle získávají KJ teplo chlazením spalín, ale kromě toho získávají ještě dodatečné teplo chlazením různých částí systému.

10.5.1. Spalinová trasa

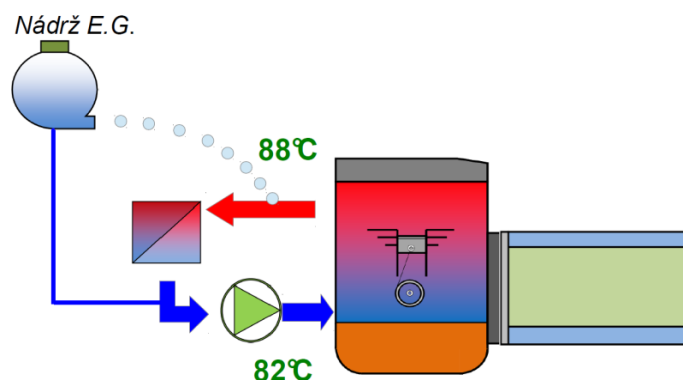
Spaliny vznikají hořením směsi plynů a vzduchu. Pro chlazení spalín se jako chladicí médium používá voda. Spaliny, které mají teplotu okolo 600 °C, procházejí spalinovým výměníkem, který je řešen jako trubkový výměník a ochlazují se cca na 120 °C. Zde je umístěn katalyzátor, který snižuje emise škodlivých látek. Za výměník se instaluje tlumič, který snižuje hlučnost výfuku. Teplo obsažené ve spalínách je předáno do SO [17]



Obrázek 16: Schéma spalínové trasy [20]

10.5.2. Primární okruh

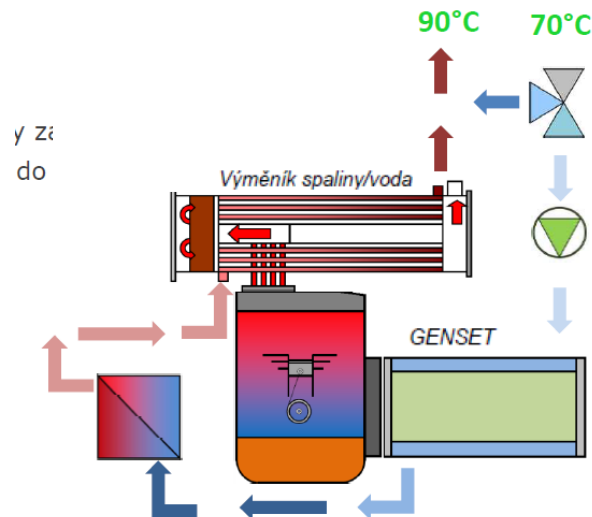
Primární okruh je vnitřní, uzavřený, samostatný okruh (s olejovým chladičem). Odebírá tepelný výkon motoru a předává jej do sekundárního okruhu. Chladičí kapalina (35 % EG) je čerpadlem dopravována do bloku spalovacího motoru, kde odebírá teplo chlazením spalovacího motoru. Výstup z motoru (v oblasti hlav válců) je veden do výměníku voda/voda, kde předá tepelný výkon do okruhu sekundárního. Vyrovnávání teplotních dilatací umožňuje vyrovnávací nádržka s přetlakovo-podtlakovou zátkou („studený prostor“). [17]



Obrázek 17: Schéma primárního okruhu [20]

10.5.3. Sekundární okruh

Sekundární okruh je přímé hydraulické zapojení do topné soustavy zákazníka. Odebírá tepelný výkon motoru a předává jej do sekundárního oběhu (SO). Vratná sekundární voda vstupuje do jednotky z topné soustavy zákazníka přes přídavný SET do pláště generátoru, kde odebírá teplo z vinutí. Voda následně vstupuje do sekundární části výměníku, odkud přebírá teplo z primárního oběhu. Odtud je vedena do spalínového výměníku, kde přebírá tepelnou energii z vychlazených spalín, a dále opouští KJ. [17]



Obrázek 18: Schéma sekundárního okruhu [20]

10.6. Palivový systém

10.6.1. Chlazení chladem

Všechny složky palivového plynu pro použití v kogeneračních jednotkách musí splňovat maximální úroveň vlhkosti, proto je potřeba plyn sušit. Tento problém se většinou týká hlavně použití alternativních paliv jako bioplynu nebo skládkového plynu, které obsahují velké množství vody. Při sušení se plyn ochlazuje, čímž teplota klesá pod rosný bod a voda v palivu kondenzuje a kondenzát se následně odvádí, aby se kapičky vody nevypařily zpět do plynu. Jako vedlejší efekt tohoto sušení se z paliva odvádí i některé nečistoty, které se na vodu vážou, například amoniak. Plyn je následně opět ohříván, a to buď výměníkem voda-plyn, nebo plynem na vstupu do chlazení, nebo kompresorem. [37]

10.6.2. Filtr s aktivním uhlím

Přestože biologické procesy dokážou odstranit značné množství síry (resp. sulfanu), není to dostatečné pro bezpečné použití. Proto se využívají filtry s aktivním uhlím, které jsou pro odsířování velice efektivní. Tyto filtry jsou napuštěné různými látkami (například jodid draselný). [37]

Filtry rozpouštějí sulfan na povrchu uhlí na elementární síru, ovšem při nesprávně zpracovaném plynu (například při vysoké vlhkosti, viz 10.1.1) se může síra vracet do původního plynu. Dobré filtry dokážou pohltit i 50 % své vlastní hmotnosti (1 kg aktivního uhlí dokáže pohltit 500 g síry). Díky tomu tyto filtry mohou vydržet i tisíce provozních hodin. [37]

10.6.3. Směšovač

Směšovač kogeneračních jednotek pracuje na principu Venturiho dýzy, kdy vzduch teče skrz trysku a následně do expandujícího difuzéru. Plyn vstupuje do dýzy, kde se jeho proudění urychluje. Tím vzniká podtlak a dochází k přísávání vzduchu. Směs pak pokračuje do difuzoru, kde se její tlak zvýší. Probíhá tak směšování s minimální tlakovou ztrátou. [37]

Směšovač na více paliv (multi-gas mixer) musí obsahovat nastavitelný vstup plynu.

10.6.4. Plynová řada a její součásti

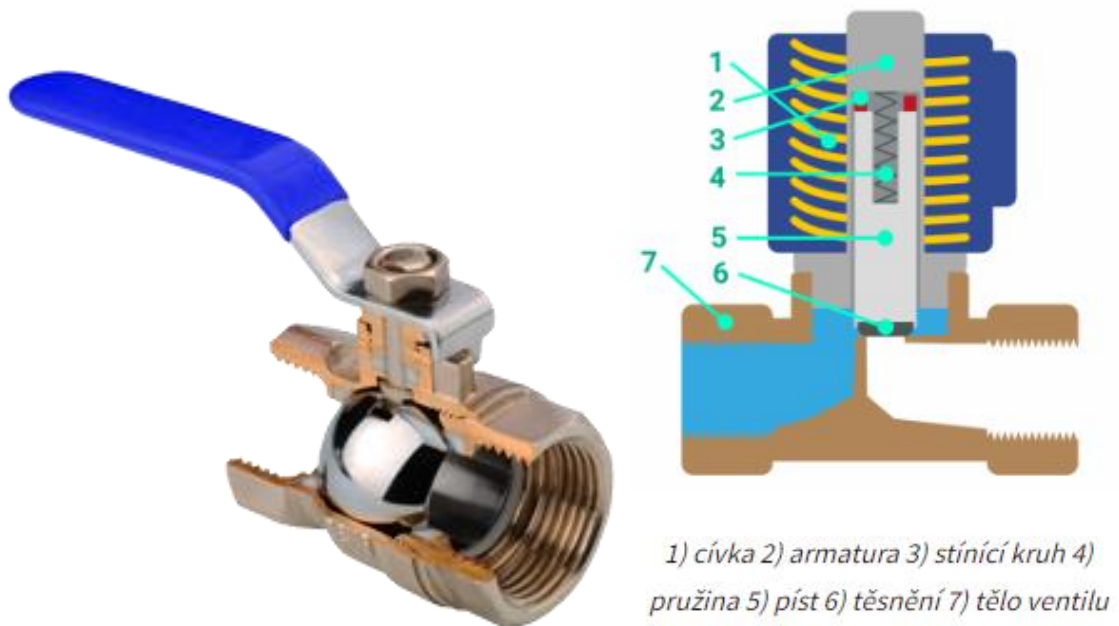
Plynová řada je označení pro skupinu armatur, které musí soustava obsahovat pro správné fungování. Zahrnuje barometry, kulový ventil, filtry, solenoidový ventil, bezpečnostní ventily, ovladač tlaku, teploměr ... [37]

Úkolem plynové řady je například udržení konstantních veličin:

- objemový průtok paliva
- vlhkost paliva
- hustota paliva

Kulový ventil, také známý jako kulový kohout, je zařízení, které se využívá pro uzavírání průtoku média. Principem je otáčecí koule s průchozím otvorem v těle kohoutu. Pohybem páky otáčíme kouli uvnitř, čím měníme úhel mezi osou těla kohoutu a osou díry koule od 0° do 90°. Dělají se v provedení plnoprůtokovém, kde se průměr díry v kouli rovná průměru potrubí, a poloprůtokovém, kdy je průměr díry v kouli menší. Druhá z variant je levnější, ale má za následek tlakovou ztrátu. [38] [39] [40]

Solenoidový ventil se řídí elektromagnetickým proudem (proto se mu také říká elektromagnetický). Solenoid (cívka) je měděný drát navinutý okolo trubky s pístem. Procházející elektrický proud pak pohybuje pístem, který ventil uzavírá/otevívá.



Obrázek 19: Kulový ventil [39] a solenoidový ventil [41]

10.6.5. Dvojpaliivový provoz

Dvojpaliivový provoz KJ, kdy v případě nedostatku jednoho paliva lze využít jiné, je častý v bioplynových stanicích, kdy při nedostatku bioplynu nebo skládkového plynu lze použít zemní plyn.

Jelikož se 2 různá paliva liší složením, liší se zákonitě i jejich vlastnosti. To znamená, že každý plyn musí být zpracován jinak a tím pádem musí mít každý plyn vlastní plynovou řadu, nejlépe i vlastní potrubí po celé cestě až do KJ (je možné se na konci trasy napojit na jedno potrubí, ale musí být správně dimenzováno). [23]

10.7. Generátor

Pro výrobu elektřiny v KJ se využívá většinou synchronní generátor. Generátory dosahují účinností okolo 90–98 % při ideálních podmínkách, podle typu generátoru a výkonu KJ. Za ideální podmínky je považován provoz na plný výkon, za určité teploty a v doporučené nadmořské výšce (dáno výrobcem). [17]

Kogenerační jednotky TEDOM využívají generátory od značky ZANARDI. Stator je spojen SAE přírubou k motoru, rotor je připojen pomocí pružné lamelové spojky se setrvačником.

Chlazení	Voda	
Napětí	400	V
Frekvence	50	Hz
Účinnost	93	%
Otáčky	1500	min ⁻¹

Tabulka 7: Vlastnosti generátoru KJ [17]

10.8. Provedení kogeneračních jednotek

Sestava KJ zahrnuje kromě samotného motoru spoustu dalších součástí, které jsou nedílnou součástí sestavy. Tyto součásti jsou vždy poskládány do určitého provedení. Obecně KJ TEDOM používají 3 typy provedení [42] [33]:

- základní/otevřený modul
- protihlukový kryt
- kontejner

Každý typ provedení má své výhody/nevýhody a ne všechna provedení jsou dostupná ve všech výkonových řadách. Například pro řadu MICRO, kterou se v této práci nejvíce zabýváme, je typické provedení s protihlukovým krytem.

10.8.1. Základní modul

Provedení v tzv. základním modulu je KJ s jednoduchou konstrukcí a vlastním rozvaděčem a nepotřebuje žádnou speciální ventilaci. Toto provedení je otevřené, a dovoluje tak snadný přístup ke všem součástem KJ. Toto provedení je levnější než ostatní typy, ale postrádá výhody ostatních provedení. Vhodné je pro použití v odhlučněných strojovnách. [42]



Obrázek 20: Základní modul pro KJ CENTO [42]

10.8.2. Protihlukový kryt

Důležitou částí KJ je její protihlukový kryt. Přestože je v literatuře nazýván jako protihlukový, není tlumení hluku jeho jedinou funkcí. Slouží zároveň jako mechanický kryt, který chrání strojní součásti KJ před poškozením a nečistotami z okolí. Současně chrání i uživatele před horkými součástmi zařízení a společně s tím dovoluje udržovat vyšší teplotu uvnitř (teploty až 120 °C) a snižovat ztráty únikem tepla do okolí (sáláním). Toto uzpůsobení se používá primárně pro použití KJ ve vnitřních prostorech. Použití tohoto krytu zároveň dovoluje snadný přístup k motorové části KJ a tím snadný servis. [17] [42]



Obrázek 21: Provedení s protihlukovým krytem KJ CENTO [42]

10.8.3. Kontejnerové provedení

Obdoba protihlukového krytu pro venkovní použití je takzvaný kontejner. Toto provedení na první pohled připomíná kontejner lodní, používaný k přepravě zboží na nákladních lodích. Kontejnerové provedení nabízí několik výhod. Vzhledem k jeho velikosti lze do jednoho kontejneru umístit několik kogeneračních modulů (až 3) a zároveň chrání strojní součásti před nepříznivými povětrnostními podmínkami. [42]



Obrázek 22: Kontejnerové provedení obsahující 2 moduly KJ CENTO [42]

11. VENTILACE STROJOVNY

Stejně jako všechny spalovací motory, i motory KJ se s používáním zahřívají, převážně konvekcí. Aby se předešlo překročení bezpečných teplot jednotlivých součástí KJ, musí se strojovna chladit. Toto chlazení se zařizuje pomocí správné ventilace. Existuje několik typů ventilačních systémů. [37] [18]

11.1. Přetlakový systém

Vzduch je nasáván pomocí ventilátoru, tlačěn skrz strojovnu a vrácen do okolí výfukovými ventilátory, čímž ve strojovně vzniká přetlak. Tento systém se hodí pro použití v prostorech s vyšším obsahem prachu (přetlak zabraňuje nasávání prachu netěsnostmi). Je ovšem potřeba využít filtraci ve ventilátorech, například pomocí cyklonů. [37]

11.2. Podtlakový (extrakční) systém

Vzduch do strojovny vtéká a na výstupu je vyfukován ventilátorem, tím vzniká ve strojovně podtlak. Tento podtlak musí být minimální (v řádech jednotek až desítek Pa). Příliš vysoký podtlak může způsobit problémy s motorem, stejně tak s přístupem do a ze strojovny, jelikož podtlak způsobí ztížení otevření dveří, což může být nebezpečné v nouzové situaci. Tento způsob zároveň nasává sekundární vzduch (s potenciálními nečistotami) do strojovny. Tento systém se nedoporučuje používat samostatně. [37]

11.3. Kombinovaný systémy

Kombinovaný systém je podobný přetlakovému systému, ale výkony ventilátorů na vstupu i výstupu se nastaví tak, aby tlak ve strojovně zůstal zhruba na úrovni atmosférického tlaku. Používá se pro strojovny, kde ve ventilaci dochází k větším tlakovým ztrátám (převážně vlivem dlouhé trasy mezi začátkem a koncem ventilace na vstupu). [37]

11.4. Řízení teploty cirkulujícího vzduchu

Pokud by teplota nasávaného vzduchu byla příliš nízká (problém například v severní Evropě), může se pro ohřátí přimíchat část již cirkulovaného vzduchu. Cirkulovaný vzduch musí projít celou strojovnou, aby docházelo k chlazení všech strojních součástí. [37]

Další možností je řízení pomocí frekvence, kdy je potřeba udržovat teplotu nasávaného vzduchu na konkrétních teplotách. Toto se například používá, pokud motory nasávají vzduch z prostředí strojovny a potřebují pracovat na konstantní úrovni teploty.

12. LEGIONELLA

Legionella je celý rod patogenních bakterií, které způsobují tzv. nemoc legionářů nebo tzv. pontiackou horečku. Nemoc legionářů napadá plíce a způsobuje akutní zápal plic, který trvá i několik týdnů, druhá z nemocí není tolik závažná, ale je doprovázena bolestmi hlavy a svalů. Legionella se vyskytuje ve vodě nebo v teplých a vlhkých prostředích. Ideální teplota pro Legionellu je v rozmezí 20–45 °C, při těchto teplotách se Legionella množí. Závislost chování Legionelly na teplotě vody je popsána v tabulce [43]:

Teplota [°C]	Chování
< 20	Nemnoží se, ale zůstává ve „spánku“.
20–45	Ideální teplota pro množení Legionelly.
55	Legionella umírá po 5–6 hodinách.
60	Legionella umírá během 32 minut.
66	Legionella umírá během 2 minut.
70–80	Legionella umírá téměř ihned (termická dezinfekce).

Tabulka 8: Chování bakterií Legionelly v závislosti na teplotě vody [43]

Přestože je studium Legionelly otázkou biologie, nikoliv energetiky, je její výskyt důležitým tématem pro topné systémy, konkrétně pro její výskyt v teplé užitkové vodě. Vzhledem k nebezpečí spojené s jejím rozmnožením ve vodě jsou opatření k její eliminaci uvedeny ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. [44]

Pro nás je důležitá hlavně příloha 2, bod 11, který tvrdí, že teplota TUV by neměla klesnout pod 50 °C, ideálně ani pod 55 °C. Z toho vyplývá, že při návrhu nesmí teplota klesnout pod tuto hranici.

13. PROPOJENÍ S FVE

Majitelé penzionu také plánují instalaci fotovoltaických panelů na střechu budovy. Fotovoltaika je dobrý energetický zdroj pro kooperaci s kogenerační jednotkou. Kogenerace je nejvýhodnější v zimním období, kdy se vyrobené teplo využije nejen na ohřev TUV, ale také na vytápění, takže využijeme veškerou vyrobenou energii. V letním období je ovšem potřeba tepla mnohem nižší, to znamená, že kogenerace běží pouze v krátkých intervalech na dohřátí nádrže s TUV a tím pádem i vyrobí malé množství elektřiny. Fotovoltaika je naopak nejúčinnější v létě, kdy svítí slunce po nejdelší část dne a intenzita záření je také vyšší než v zimě.

14. ODEČTY V PENZIONU

Pro analýzu provozu KJ je důležité znát nejen samotnou výrobu KJ, ale také spotřeby energií v místě výroby. Z tohoto důvodu jsme provedli manuální odečty přímo na místě a k tomu získali některé podklady z dálkových měření, některé od výrobce KJ TEDOM a některé od provozovatele kotelny OnSite Power.

14.1. Manuální odečty

Hlavním zdrojem denních profilů pro zjištění potřeb tepla a elektřiny v průběhu dne budou manuální odečty měřidel v penzionu. To zahrnuje všechna měřidla v rámci kotelny plus hlavní elektroměr. Manuální odečty byly prováděny po dobu 24 hodin v 15minutových intervalech s případnými korelacemi v případě zpoždění (způsobenými převážně z důvodů přecházení mezi kotelnou a rozvodnou). Toto měření bylo provedeno 3x, v březnu, dubnu a říjnu.

Manuálně se odečítaly:

- hlavní elektroměr
- hlavní provozní plynoměr
- přepočítávač hlavního plynoměru
- plynoměr CNG (tankování aut)
- plynoměr KJ
- vodoměr TUV

Manuální odečty se ovšem pojily s potížemi. Hlavní elektroměr totiž měří pouze elektřinu, která přichází ze sítě a do sítě. Neměří tak elektřinu, kterou KJ vyrobí, ani část elektřiny z KJ spotřebovanou přímo v penzionu, měří pouze elektřinu, která se nespotřebuje a přetéká do sítě, což je hodnota, kterou jsme měřili.

Pro měření a analýzu spotřeby plynu je důležité pracovat s objemy plynu za stejného stavu, pro tento účel se používají přepočítávače, které přepočítávají objem plynu z provozního stavu na stav normovaný. Normovaný stav odpovídá atmosférickému tlaku (101 325 Pa) a teplotě 0 °C. Přepočítávač je ale v penzionu instalovaný pouze u hlavního plynoměru, to znamená, že plynoměr pro KJ musíme přepočítávat na normovaný stav. Tlak plynu na vstupu do KJ je měřený, ale teplota nikoliv, musí se tedy odhadnout. U hlavního plynoměru, kde měříme jak provozní, tak normovaný stav, také známe tlak, můžeme tak teplotu plynu na průchodu plynoměrem dopočítat. Tato teplota ovšem neseděla k plynoměru KJ (při přepočtu vycházela často spotřeba plynu na KJ vyšší než celková spotřeba, což je nesmysl). Uvažujeme tedy, že se plyn po cestě mezi hlavním plynoměrem a plynoměrem KJ lehce ohřívá.

14.2. Dálkové odečty

V současnosti je možné měřit spoustu různých dat dálkově, může k nim mít přístup provozovatel zařízení nebo v některých případech i zákazník. Může se jednat například o měření teplot, tlaku, vlhkosti nebo o měření spotřeb elektřiny/plynu. Právě tento poslední bod je pro nás podstatný a byl by velice užitečný pro naše měření.

Podařilo se nám získat 2 druhy dálkových měření, která nám dávají jiná data a v jiných rozsazích.

Prvním jsou data od OnSite, provozovatelů kotelny. Ti mají k dispozici minutové odečty spotřeby plynu KJ a výroby energií z KJ. Toto by bylo velice užitečné, bohužel máme dané odečty jen ke 2 konkrétním dnům a zároveň je tento krátký interval trochu problematický z důvodů, které uvedeme později.

Druhým typem odečtů jsou odečty TEDOM. Tyto odečty nám dávají data pouze denní, ale zároveň nám dávají data po celý rok. Z odečtů TEDOM dostáváme několik důležitých údajů pro obě KJ separovaně. Tyto údaje zahrnují: množství elektřiny vyrobené z KJ, počet motohodin, počet startů, procentuální využití KJ v průběhu dne a průměrný výkon.

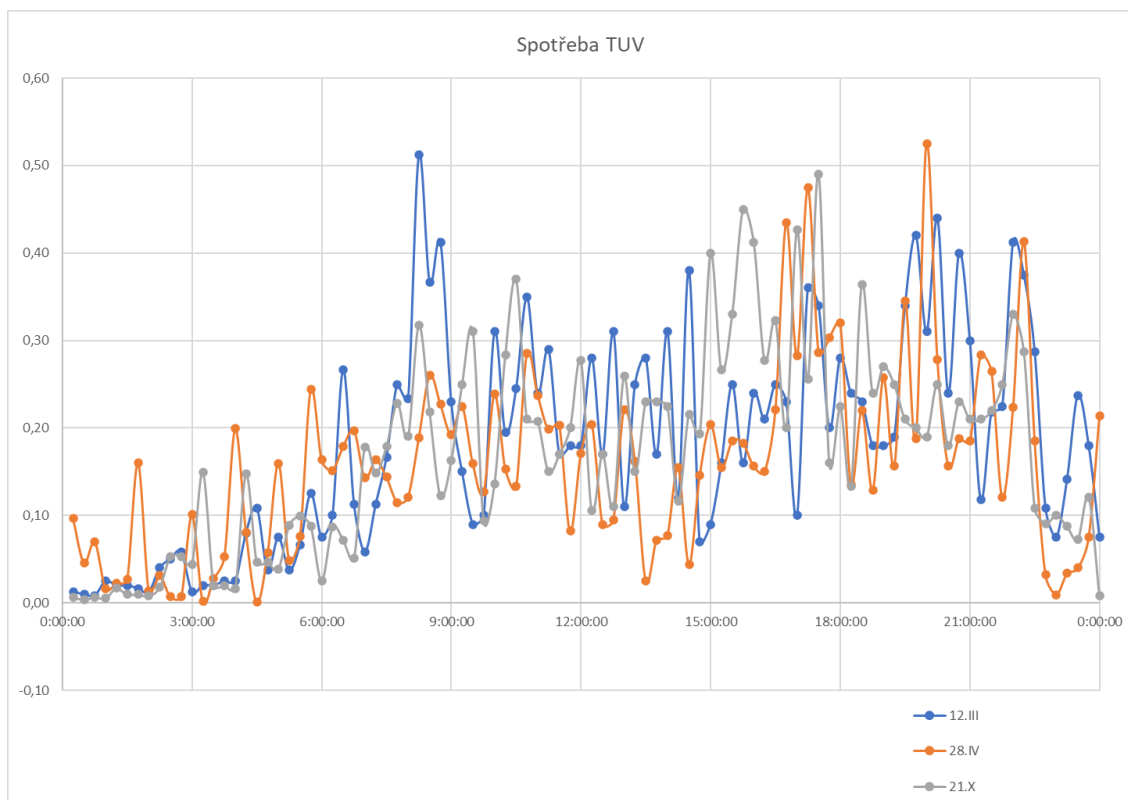
15. NAMĚŘENÁ DATA

Poté, co jsme naměřili odečty a upravili je, aby rozdíly odpovídaly 15minutovým intervalům, dostali jsme stále ještě surová data. Při zobrazení grafů jsou vidět skoky ve spotřebách v jednotlivých intervalech. Jelikož chceme některé z odečtů, hlavně odečty elektroměru a hlavního plynoměru, použít jako výchozí pro roční model spotřeb energií, je potřeba aspoň pro tato měřidla data vyhladit, aby dávaly kontinuálnější a reálnější průběhy. Aby nedošlo ke změně celkové spotřeby, upravujeme pouze data v tabulce odečtů, nikoliv spotřeb, a vždy ponecháváme hodnotu v určitém intervalu. Pro jasnější představu uvedeme příklad: Spotřeba mezi 13:00 a 16:00 skáče v 15minutových intervalech mezi hodnotami 40 a 50 kWh. Dá se předpokládat, že spotřeba byla zhruba stejná okolo 45 kWh a tento trend vznikl pouze nepřesností v čase měření a nedokonalostí přepočtu. Abychom nezměnili celkovou spotřebu v tomto intervalu, necháme hodnotu odečtu v celé hodiny stejnou a pouze upravíme hodnoty spotřeb v intervalech mezi, docílíme tím hladšího průběhu spotřeby.

V následujících podkapitolách si ukážeme grafy pro všechny měřené energie a jejich porovnání mezi jednotlivými měřenými dny.

15.1. Teplá užitková voda

Jako první se podíváme na změřené spotřeby TUV. Tyto odečty na rozdíl od odečtů elektřiny a plynu ponecháme v původní neupravené formě, protože na rozdíl od odběru elektřiny a plynu na vytápění nejde uvažovat spotřebu TUV úplně lineární. V případě spotřeby vody na praní/umývání nádobí v myčce apod. sice můžeme uvažovat odběr vody pro několik po sobě následujících intervalů, ale v případě spotřeby vody na mytí rukou, sprchování, ruční umývání nádobí se pravděpodobně tento zdroj spotřeby promítne pouze do jednoho intervalu (bereme-li v potaz jeden byt). 15minutové odečty pro spotřebu TUV navíc nebudeme využívat v následujících výpočtech a místo toho nás budou zajímat hlavně maxima a potom denní a roční sumy.



Graf 1: Porovnání průběhu spotřeby TUV o víkendu a ve všední den

Spotřeby TUV se tedy pohybují od zhruba nulové spotřeby po téměř $0,6 \text{ m}^3$ za 15 minut. Porovnáme-li grafy měřených dnů, uvidíme, že maximálních hodnot se dosahuje o víkendu ráno a během noci dosahují spotřeby naopak nižších hodnot než ve všední dny.

Celkové spotřeby činí $17,55 \text{ m}^3$ v sobotu 12. 3. 2022, $15,31 \text{ m}^3$ ve čtvrtek 28. 4. 2022 a $16,47 \text{ m}^3$ v sobotu 21. 10. 2022.

15.2. Plyn

Dalším a pro nás nejdůležitějším měřením je měření plynu. Většina plynoměrů s výjimkou fakturačních plynoměrů, které mají v případě větších odběrů plynu připojený přepočítávač, měří pouze provozní stav, což znamená, že objem plynu, který proteče plynoměrem, je přímo závislý na teplotě a tlaku plynu.

V kotelně řešeného penzionu se nacházejí 3 plynoměry + přepočítávač fakturačního plynoměru. Tyto plynoměry měří:

- hlavní/fakturační plynoměr přetlak: 100 kPa
- přepočítávač fakt. plynoměru přetlak: 0 kPa
- plyn pro KJ přetlak: 5 kPa
- plnicí stanice pro automobily přetlak: 0 kPa

Aby bylo možné spotřeby na jednotlivých plynoměrech relevantně porovnávat, je potřeba spotřeby převádět na normovaný stav. Přepočítávač hlavního plynoměru tuto funkci plní, a jelikož je tlak plynu známý, dává nám přepočítávač informaci o teplotě plynu.

Přepočet plynu na normovaný stav se provádí podle upravené stavové rovnice plynu, tedy podle vzorce:

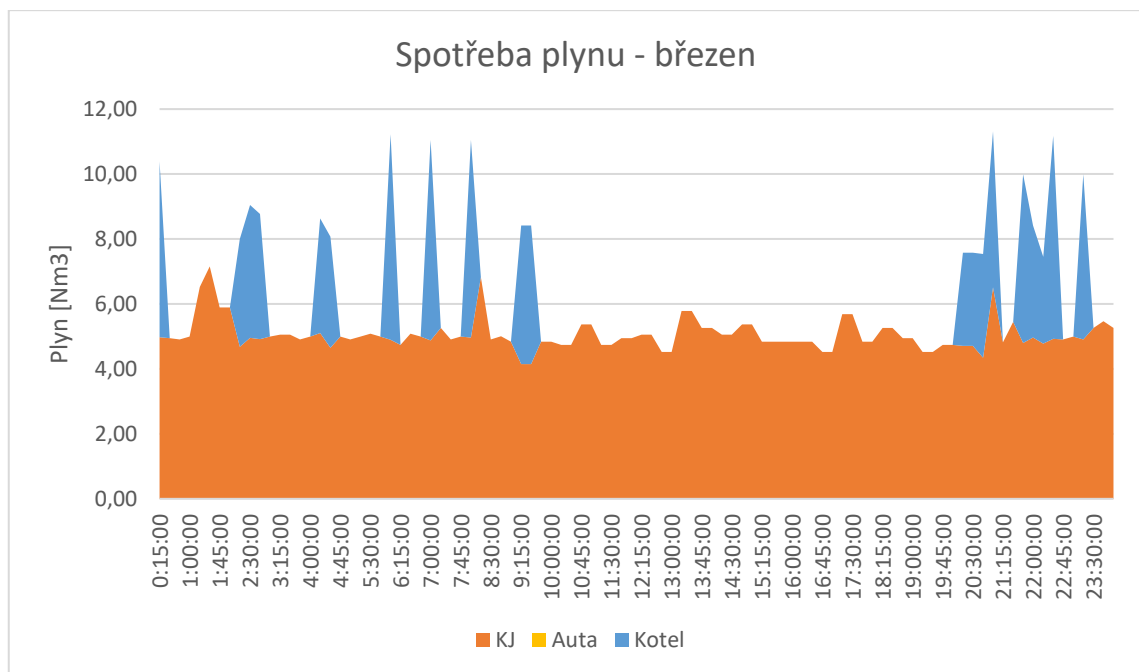
$$V_n = V \cdot \frac{p}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T} \quad (5)$$

Normovaný stav znamená stav při atmosférickém tlaku a teplotě 0 °C. Lze tedy tento vzorec upravit na:

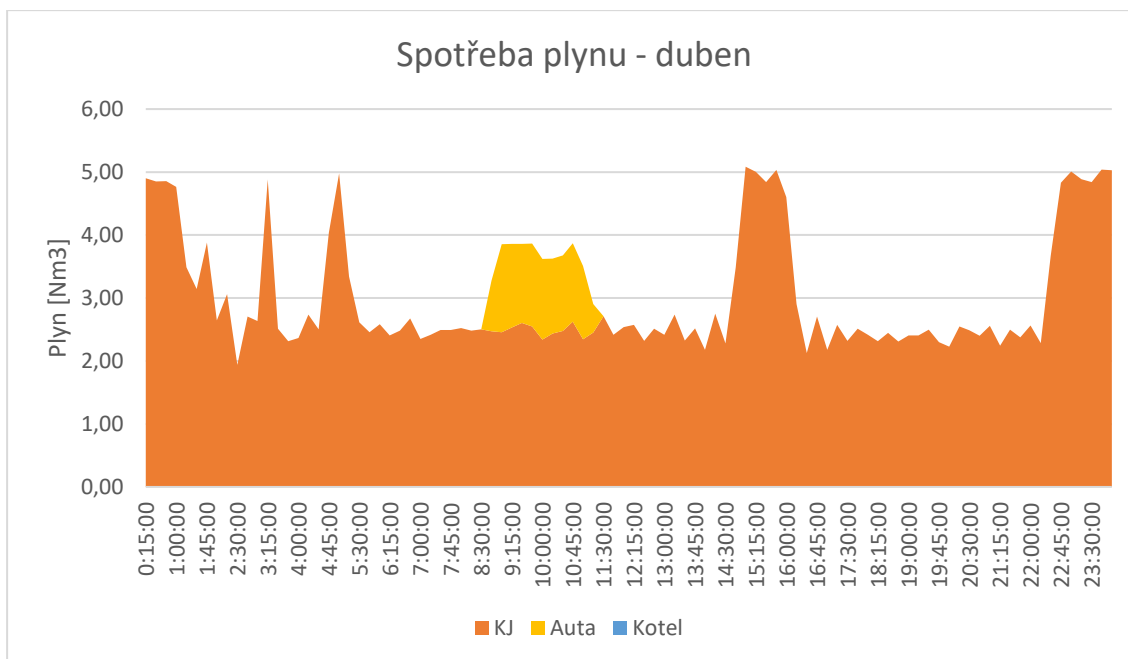
$$V_n = V \cdot \frac{101\,325 + p_p}{101\,325} \cdot \frac{273,15}{T} \quad (6)$$

Kde p_p značí přetlak a T značí teplotu plynu v kelvinech.

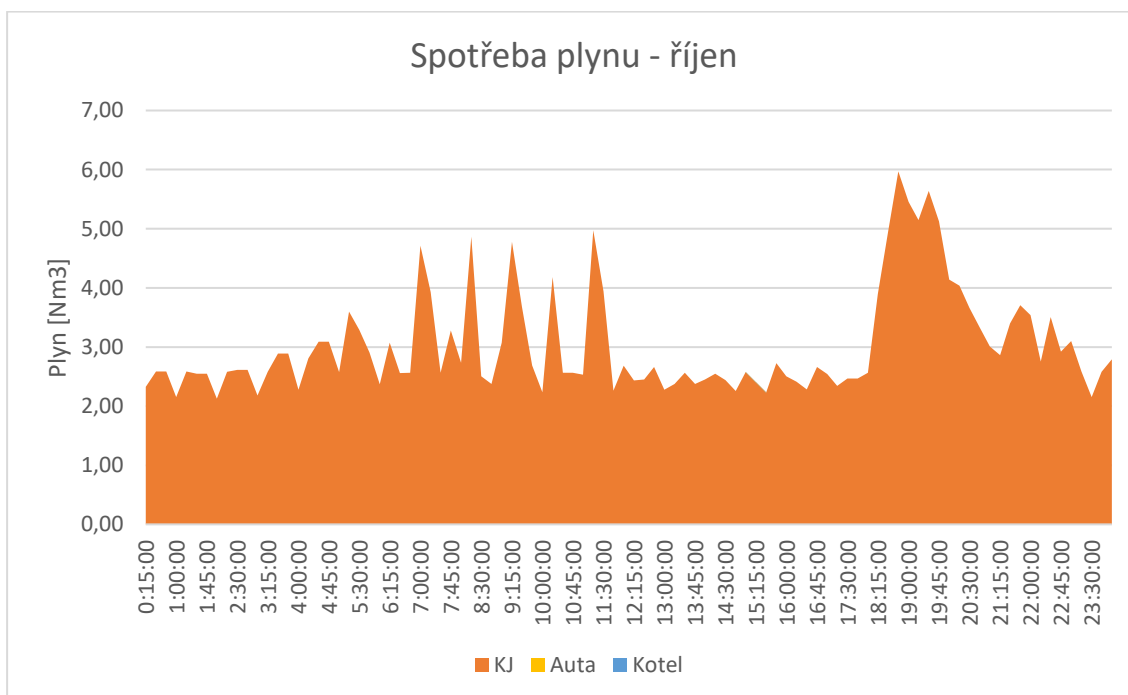
Grafy 2–4 zobrazují průběh spotřeby plynu v jednotlivých dnech a rozdělení spotřeby mezi KJ, kotel a plnicí stanici. Graf 5 zobrazuje porovnání celkové spotřeby plynu mezi jednotlivými měřnými dny.



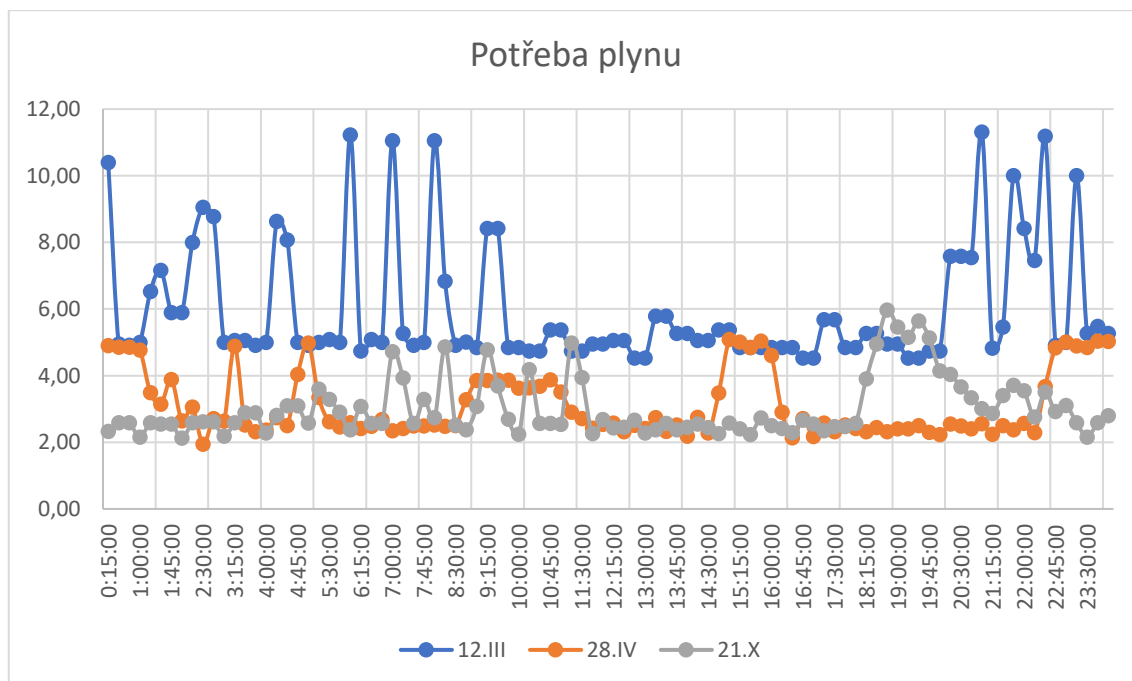
Graf 2: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném březnovém dni



Graf 3: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném dubnovém dni



Graf 4: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném říjnovém dni



Graf 5. Porovnání celkové potřeby tepla v měřených dnech

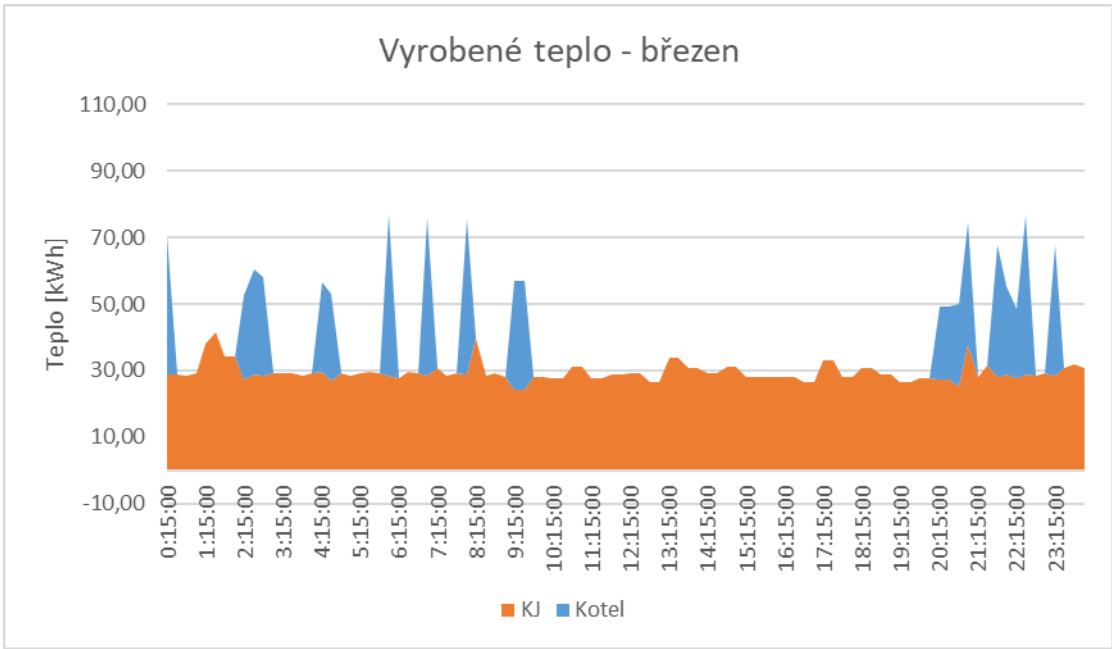
Z grafů spotřeb plynu můžeme vyčíst několik věcí. Kromě jasné převahy spotřeby plynu při březnovém měření je také důležité podívat se na průběh hodnot v ostatních měřeních. Podíváme-li se na spotřebu plynu v dubnovém nebo říjnovém měření, všimneme si, že se spotřeba pohybovala obvykle na 2 úrovních. Jednou úrovní je spotřeba cca 2,5 m³ během 15 minut a druhou 5 m³ během 15 minut. Toto odpovídá provozu jedné a obou KJ. V kapitole 9.1 jsme uváděli štítek KJ, kde udávaná spotřeba plynu KJ MICRO 30 je 9,8 m³/hod. Zaokrouhlíme-li tu hodnotu na 10 m³/hod, dostáváme spotřebu 2,5 m³ za 15 minut, což odpovídá námi naměřeným hodnotám. Můžeme tedy předpokládat, že přepočtení provozního stavu na normovaný stav byl správný a naše upravená data odpovídají realitě.

15.3. Teplo

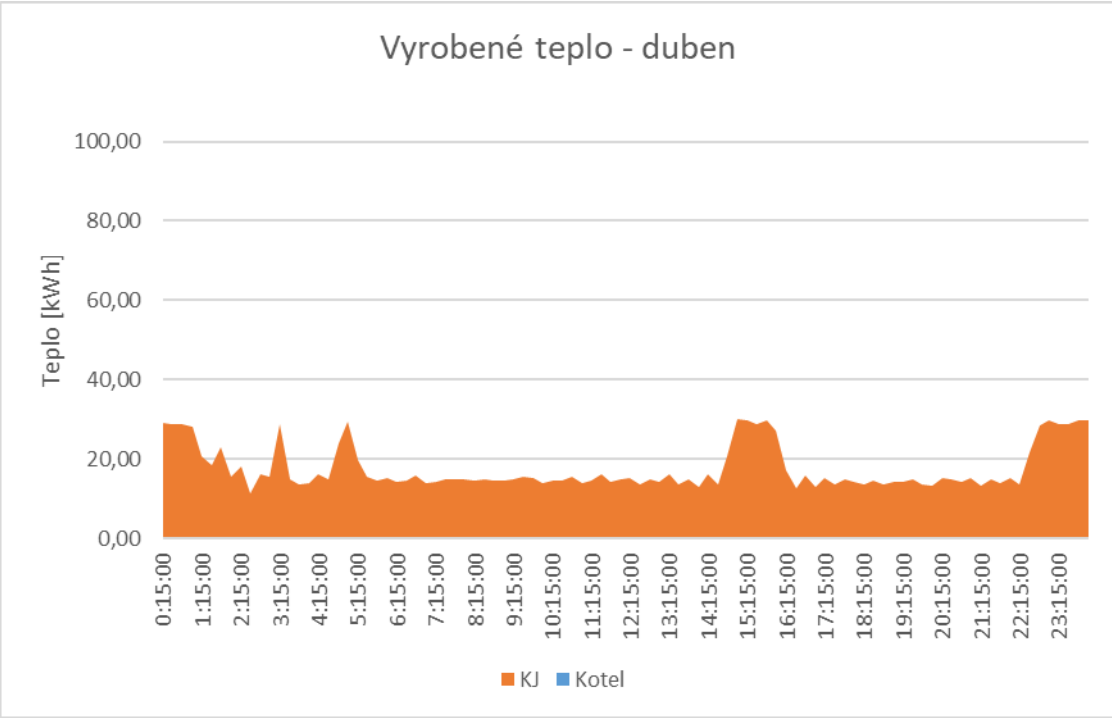
Abychom vypočetli teplo z plynu, je potřeba znát několik veličin. První jsou účinnosti výroby tepla kotle a KJ. Účinnost výroby tepla z KJ je podle štítku 62,8 % příkonu, ovšem tato účinnost nebude konstantní. Účinnost kotle neznáme, ale uvažujeme průměrnou účinnost 80 %, jelikož je kotel provozován pouze jako špičkový zdroj, a tedy nepojede na nominální výkon ani nominální účinnost. Dále potřebujeme znát výhřevnost plynu. Dodavatel plynu ovšem vždy udává hodnotu spalného tepla, které se obvykle pohybuje mezi 10,5–11 kWh/m³. Přibližnou hodnotu výhřevnosti ZP můžeme určit jako 90 % hodnoty spalného tepla. Hodnota spalného tepla se bude lišit v každém měsíci, v našem výpočtu využijeme fakturační hodnotu spalného tepla (více v kapitole 17).

Jak jsme uvedli, účinnost KJ nebude konstantní, ale k jejímu určení využijeme dálkové odečty TEDOM. Z těchto odečtů známe výrobu elektřiny za konkrétní den. Budeme uvažovat konstantní poměr výroby elektřiny a výroby tepla, a jelikož známe spotřebu plynu na provoz KJ a celkovou vyrobenou elektřinu, vypočítáme tak účinnost výroby elektřiny a na základě toho i účinnost výroby tepla.

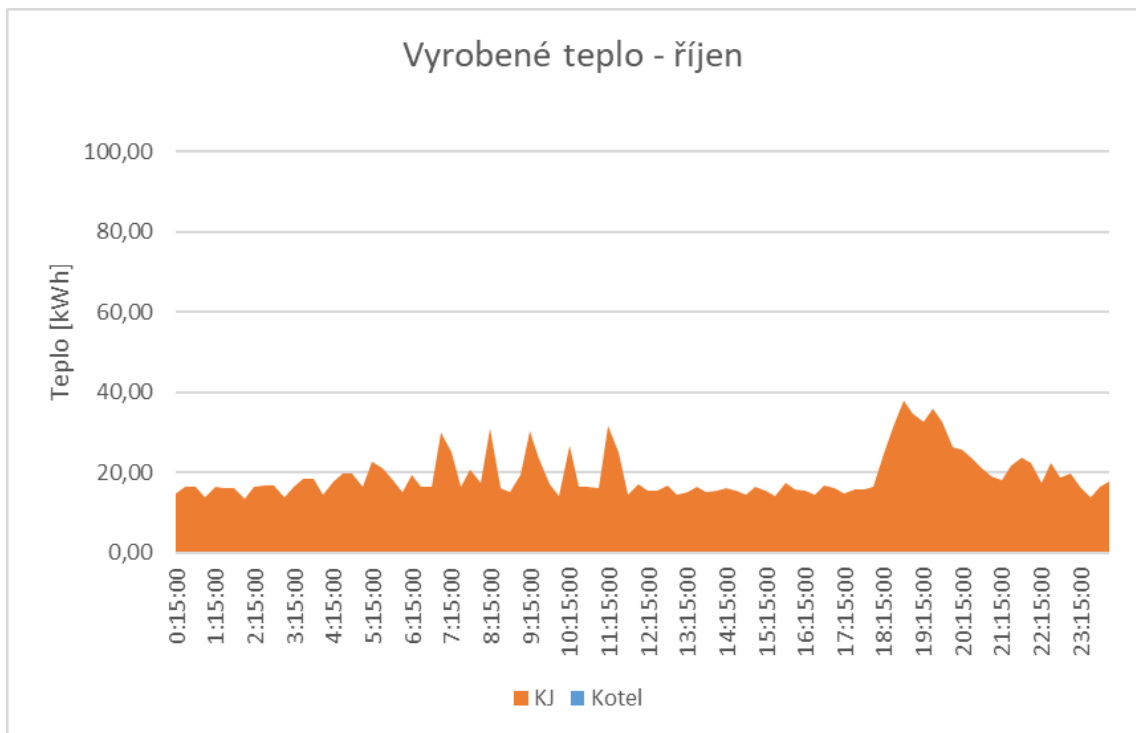
Následující grafy zobrazují celkovou vyrobenou teplo v jednotlivých dnech a jeho zdroj.



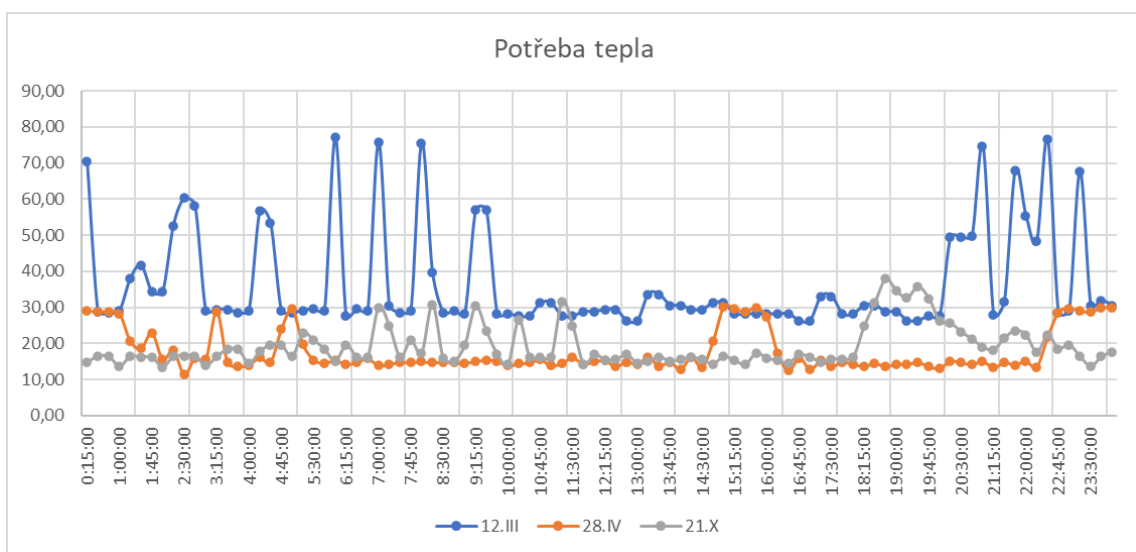
Graf 6: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném březnovém dni



Graf 7: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném dubnovém dni



Graf 8: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném říjnovém dni

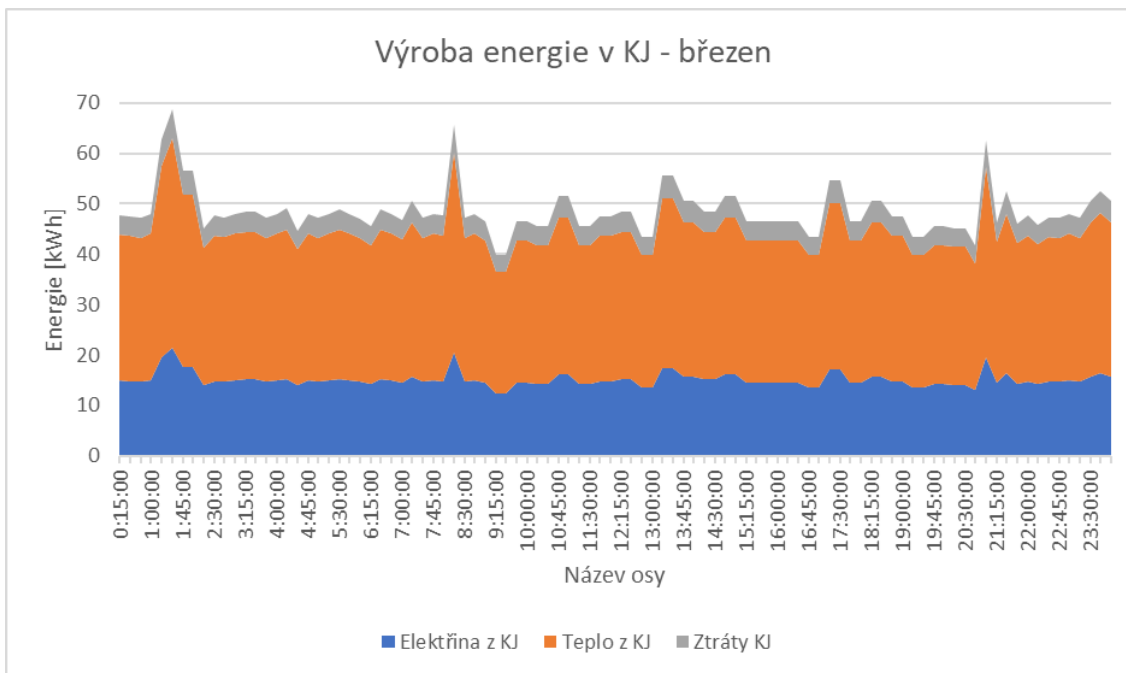


Graf 9: Přehled potřeby tepla pro měřené dny

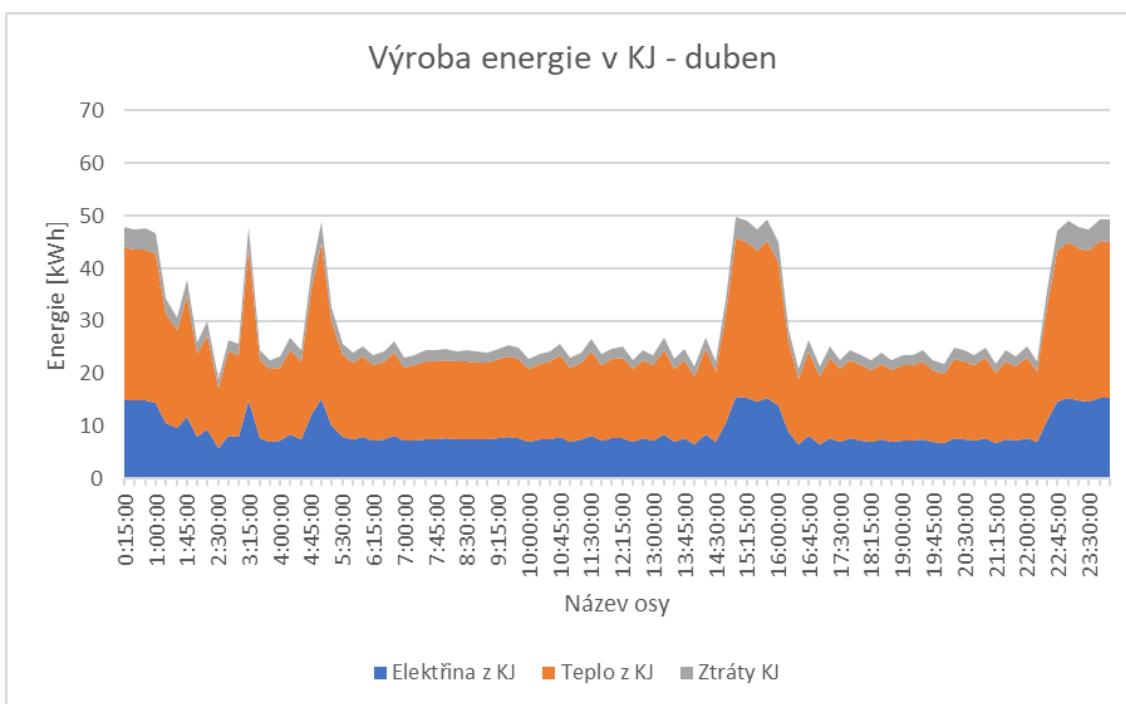
15.4. Výroba elektřiny a tepla v kogenerační jednotce

Cílem této práce je optimalizace kogenerace, proto je důležité zaměřit se na poměr vyrobené elektřiny a tepla, stejně tak jako spotřebované.

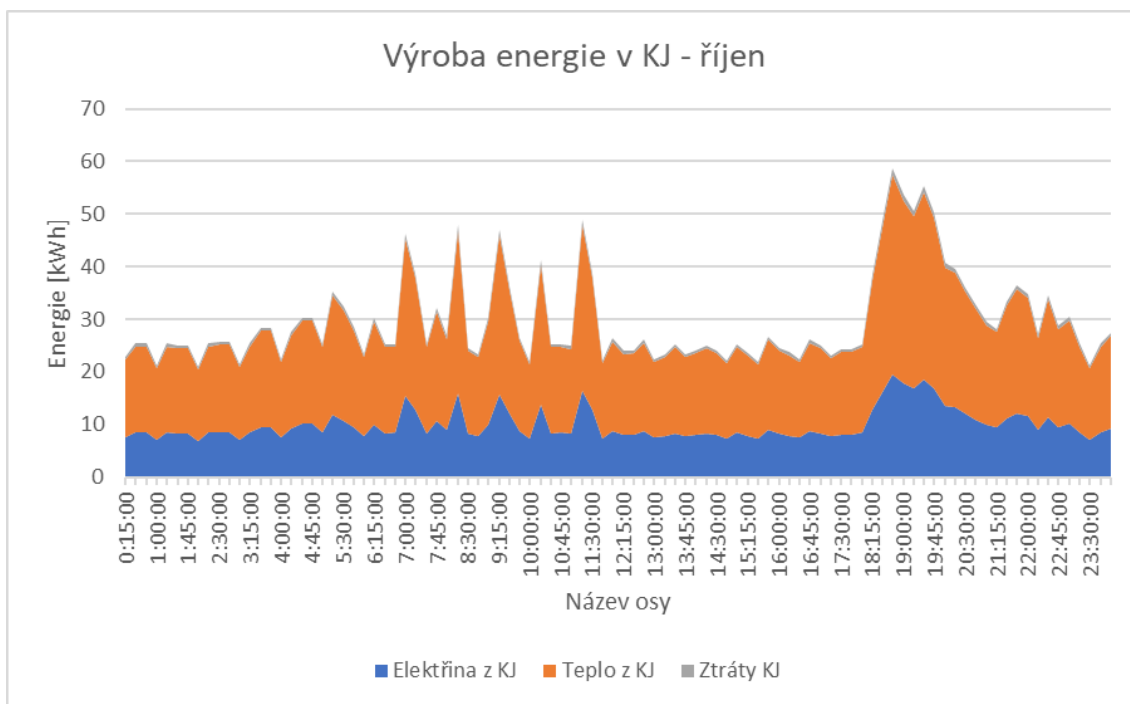
Grafy 10–12 značí množství využití energie dodávané do kogeneračních jednotek. Zobrazují množství vyrobené elektřiny, vyrobeného tepla, stejně tak jako ztrátu.



Graf 10: Přehled využití příkonu KJ v měřeném březnovém dni

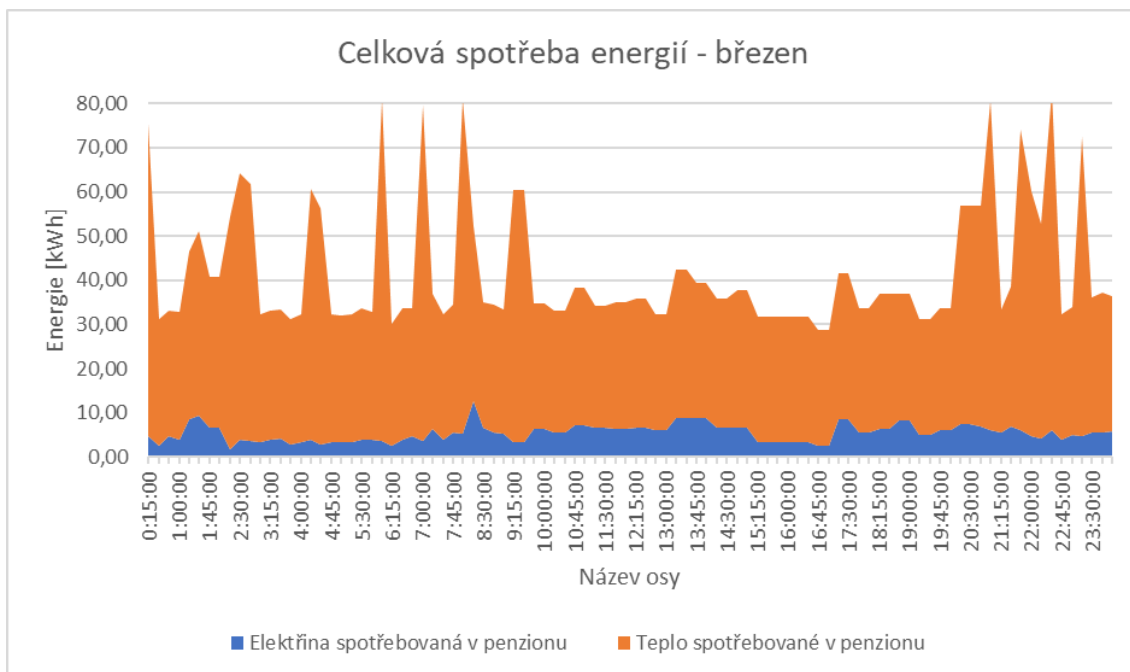


Graf 11: Přehled využití příkonu KJ v měřeném dubnovém dni

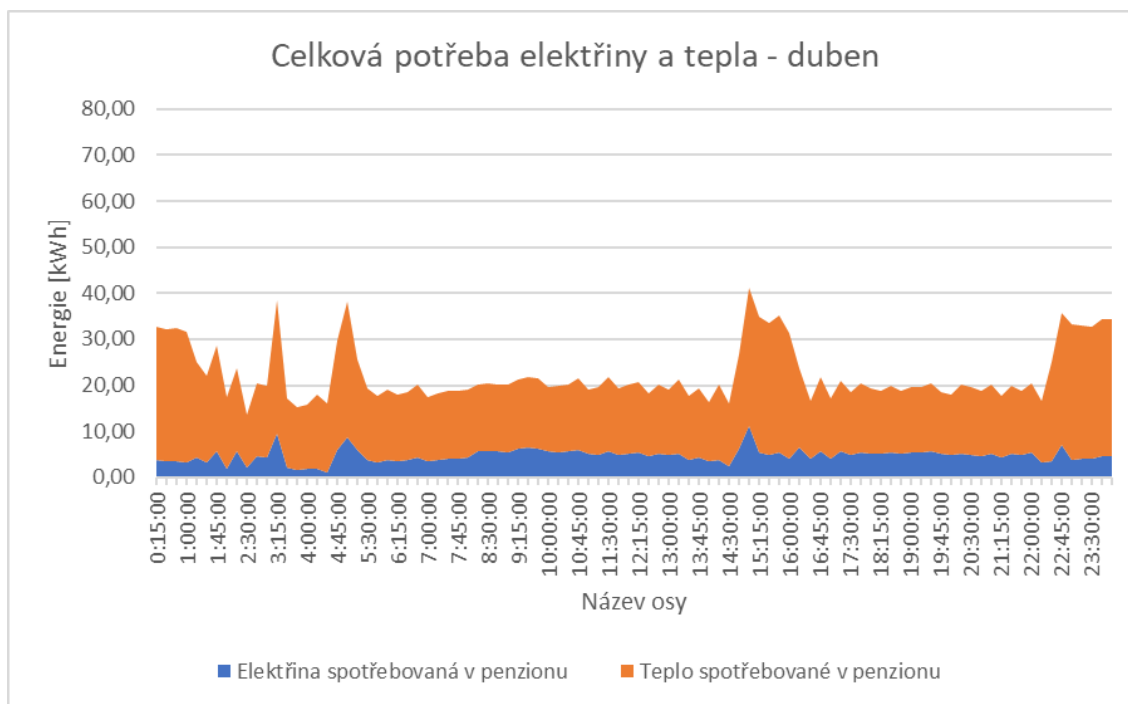


Graf 12: Přehled využití příkonu KJ v měřeném říjnovém dni

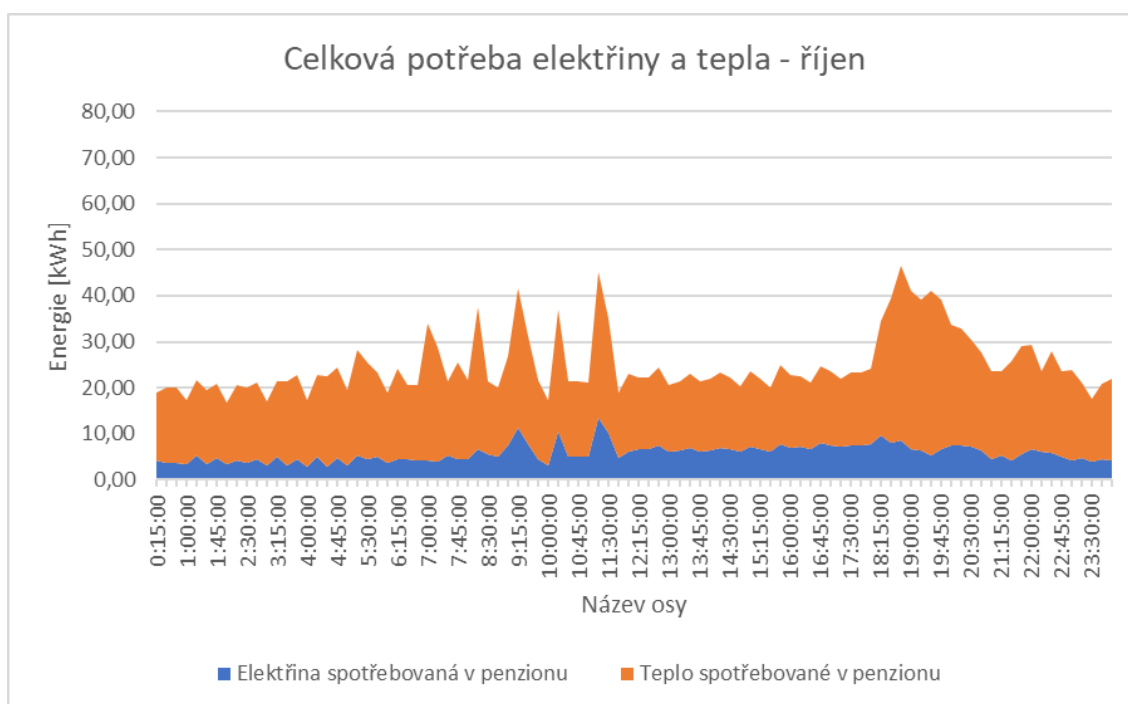
Kogenerace ovšem nepokryje veškerou spotřebu, zbytek energie je dodáván kotlem v případě tepla a ze sítě v případě elektřiny. Potřeba elektřiny a tepla v měřených dnech je zobrazená v grafech 13–15. Celkové teplo je součtem tepla z KJ a tepla dodaného kotlem, celková elektřina je zase součtem elektřiny z KJ a elektřiny naměřené na elektroměru.



Graf 13: Celková spotřeba elektřiny a tepla v měřeném březnovém dni



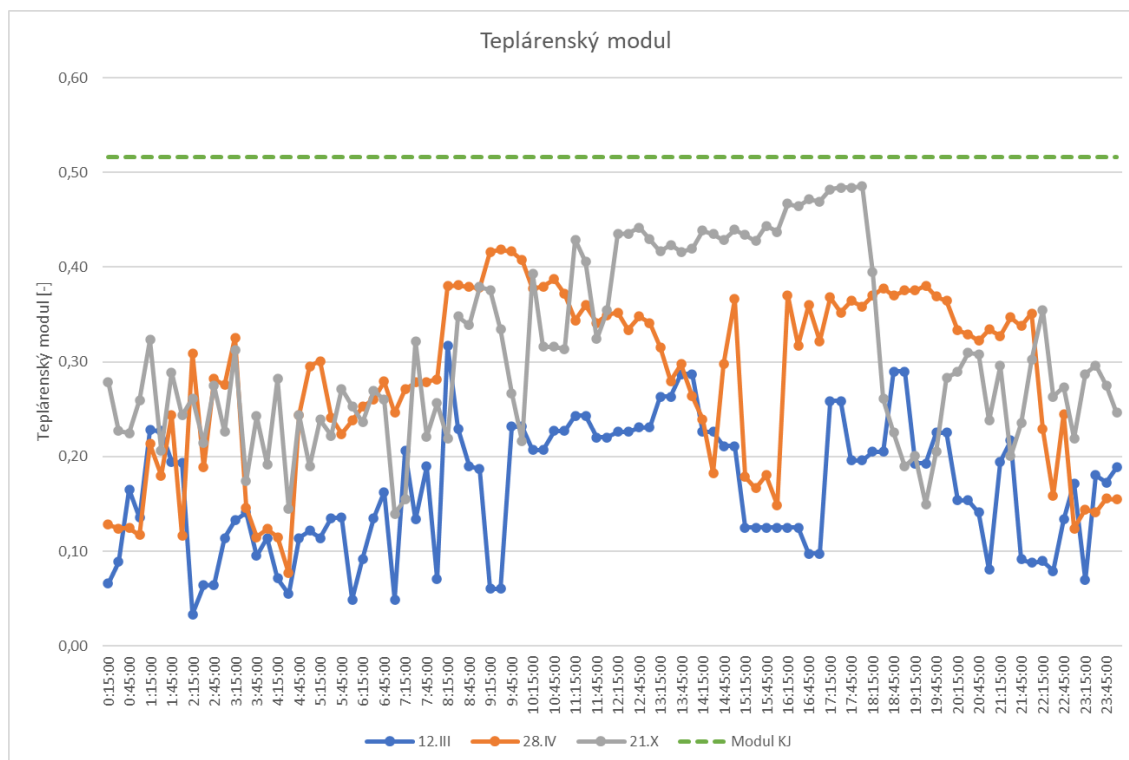
Graf 14: Celková potřeba elektřiny a tepla v měřeném dubnovém dni



Graf 15: Celková potřeba elektřiny a tepla v měřeném říjnovém dni

Z grafů 13–15 můžeme získat požadovaný teplotní modul, resp. teplotní modul, který by byl v daný moment nejlepší a dovolil by nám plně pokrýt všechnu spotřebu při dostatečném výkonu.

Tento teplotní modul byl zanesen do grafu 16, kde je porovnaný s teplotním modulem, který dodává KJ.



Graf 16: Porovnání požadovaného teplárenského modulu v měřených dnech s teplárenským modulem KJ

Z grafu je očividné, že teplárenský modul KJ je vyšší než potřebný modul penzionu. To znamená, že pokud je KJ v provozu na pokrytí spotřeby tepla, pokryje nám zároveň i spotřebu elektřiny.

15.5. Provoz kogeneračních jednotek

Výrobce KJ TEDOM měří mnohé údaje dálkově. Mezi tyto údaje patří například tlaky, teploty, ale pro naše potřeby hlavně provozní hodiny, množství vyrobené elektřiny a počet denních startů. Právě počet startů u kogeneračních jednotek v našem penzionu je údaj, nad kterým je potřeba se pozastavit.

KJ TEDOM pracují na principu spalovacího motoru a ten, stejně jako většina dalších energetických zařízení, potřebuje po spuštění čas, aby se dostal na ideální provozní podmínky, a dosahoval tak optimální výroby a účinnosti. Z toho vyplývá, že by se KJ měla provozovat v menším množství delších časových úseků, čímž se sníží poměr provozu při náběhovém režimu ku provoznímu režimu.

Provoz KJ v penzionu je přizpůsobený na pokrytí tepla, tzv. KJ běží tak, aby vyráběla dostatek tepla, a nehlídá na potřeby elektřiny (v případě přebytku vrací do sítě, v případě nedostatku ze sítě odebírá). V zimních obdobích to tedy znamená, že KJ běží celý den bez vypnutí, protože je vysoká potřeba tepla (často i vyšší, než kolik KJ dodávají, což se dohání plynovým kotlem). Z tohoto důvodu v zimě není problém s nabíháním KJ.

Z dálkově měřených dat ovšem zjišťujeme, že v ostatních ročních obdobích, převážně pak v přechodných obdobích, jako je jaro a podzim, startují KJ několikrát za den. S tímto se počítá, ale vhodný počet startů se pohybuje v řádu nižších jednotek. Podíváme-li se ovšem na počet startů například na podzim 2022, zjistíme, že KJ startovaly pravidelně 10x denně a maximální počet startů za den byl 24. 10. 2022, a sice 19 startů za den. A to je pouze pro jednu KJ, v ten samý den startovala 19x i druhá KJ, takže 38 startů během jednoho dne. To znamená, že KJ se

spustí a během několika minut se znova vypnou, a to často před tím, než se dostanou na ideální provozní podmínky.

Důvodem, proč je nejvíce startů na podzim, může být pravděpodobně nejvíce nestabilní počasí, kdy mnozí zapínají topení jen chvilkově a celková potřeba na teplo je malá, KJ proto po startu do několika minut dohřeje nádrže a vypne se.

16. ROČNÍ SPOTŘEBY

Pro návrh zlepšení provozu kotelny není potřeba znát pouze denní průběh spotřeb a výroby energií, ale také roční průběh.

Z fakturací firmy OnSite máme k dispozici množství vyrobeného tepla a elektřiny dodané do penzionu. Z dálkových odečtů TEDOM zase zjistíme denní a měsíční výrobu elektřiny.

	Odběr z KJ [kWh]	Odběr z vnější sítě [kWh]	Celková spotřeba [kWh]
Leden	15 196,00	43,00	15 239,00
Únor	13 296,00	37,00	13 333,00
Březen	15 380,00	232,00	15 612,00
Duben	14 384,00	364,00	14 748,00
Květen	7 315,00	4 482,00	11 797,00
Červen	5 692,00	5 354,00	11 046,00
Červenec	5 065,00	5 928,00	10 993,00
Srpen	5 473,00	5 938,00	11 411,00
Září	8 865,00	3 633,00	12 498,00
Říjen	13 881,00	684,00	14 565,00
Listopad	14 874,00	115,00	14 989,00
Prosinec	16 553,00	9,00	16 562,00
Rok	135 974,00	26 819,00	162 793,00

Tabulka 9: Celková spotřeba elektřiny v penzionu

	Celkem vyrobená elektřina [kWh]	Odběr z KJ [kWh]	Celková spotřeba [kWh]
leden	41 682,00	15 196,00	26 486,00
únor	13 296,00	13 296,00	13 333,00
březen	15 380,00	15 380,00	15 612,00
duben	14 384,00	14 384,00	14 748,00
květen	7 315,00	7 315,00	11 797,00
červen	5 692,00	5 692,00	11 046,00
červenec	5 065,00	5 065,00	10 993,00
srpen	5 473,00	5 473,00	11 411,00
září	8 865,00	8 865,00	12 498,00
říjen	13 881,00	13 881,00	14 565,00
listopad	14 874,00	14 874,00	14 989,00
prosinec	16 553,00	16 553,00	16 562,00
Rok	162 460,00	135 974,00	174 040,00

Tabulka 10: Celková vyrobená elektřina z KJ

17. PROKÁZÁNÍ ZHORŠENÍ ÚČINNOSTI

V předchozích částech bylo uvedeno, že kogenerační jednotky v penzionu nejsou provozovány optimálně. V přechodných obdobích během dne opakovaně startují a počet denních startů dosahuje i dvouciferných hodnot. Toto by se teoreticky mělo projevit na účinnosti výroby energií, otázka je, zda to dokážeme pomocí naměřených hodnot.

Ze samotných fyzických měření bohužel nemáme dostatek dat, jelikož jsme neměřili kalorimetry ani elektroměry pro KJ. Můžeme ale vyzkoušet kombinaci našich měření a dálkových měření TEDOM a OnSite.

17.1. Metoda 1

Jako první metodu zjištění jsme vyzkoušeli kombinaci fyzických odečtů, odečtů TEDOM a měsíčních údajů o výrobě elektřiny a tepla firmy OnSite.

Z našich fyzických odečtů zjistíme celkovou spotřebu plynu, ale také spotřebu plynu KJ, kterou ovšem nejprve musíme převést na normovaný objem. Samozřejmě, že tyto odečty máme jen k několika datům v roce, kdy jsme prováděli měření, ale tuto spotřebu můžeme rozdělit podle obvyklé spotřeby tepla pro domácnosti do jednotlivých měsíců.

Pro přepočítání m^3 na kWh musíme využít spalné teplo nebo výhřevnost (jelikož nás zajímá pouze změna účinnosti, nezáleží, které použijeme). Hodnota spalného tepla není konstantní, nicméně Pražská plynárenská nabízí aplikace „Spalné teplo“ a „Zobrazování on-line toků do domácí zóny“. Z první aplikace zjistíme denní hodnoty spalného tepla, druhá aplikace pak ukazuje celkové spotřebované množství plynu pro danou lokalitu z dálkových měření. Z denních hodnot spalného tepla a množství z druhé aplikace můžeme pomocí váženého průměru vypočítat fakturační hodnotu spalného tepla pro každý měsíc zvlášť.

Z měsíčních výrob energií známe množství vyrobené elektřiny a tepla z KJ (a z kotle), a můžeme tak vypočítat účinnost během měsíce.

Z výsledků bohužel nedostáváme data, které by nám prokázala naši teorii. Měsíční interval je příliš dlouhý pro určení, zda rozdíly v účinnostech v jednotlivých měsících jsou způsobeny technologií, nebo pouze výpočtem.

17.2. Metoda 2

Pro druhou metodu jsme použili stejný způsob výpočtu vyrobené energie, ale pro spotřebu plynu jsme tentokrát využili odečty TEDOM. Tyto odečty neobsahují spotřebu plynu přímo, ale obsahují počet startů a motohodin pro každý den. Motohodina označuje hodinu provozu KJ, takže při 24 mth/den běžela KJ celý den bez vypnutí. Dle technického štítku má KJ průtok $9,8 m^3/hod$. Uvažujeme-li, že KJ spotřebovává při provozu konstantně $9,8 m^3/hod$ plynu, můžeme vypočítat přesnější měsíční spotřeby plynu než v metodě 1.

Výsledek lze vidět v tabulce 11, kde vidíme, že přestože se průměrné účinnosti v jednotlivých měsících liší jen v jednotkách procent, nejvyšší hodnoty dosahují v lednu, nejchladnějším měsíci, kdy kogenerační jednotky běží neustále. Naopak nejnižší účinnosti dosahují v srpnu, který je nejteplejším měsícem.

	Odběr z KJ [kWh]	Odběr z vnější sítě [kWh]	Celková spotřeba [kWh]	el. Účinnosti	tep. Účinnost	Celková účinnost
Leden	15 196,00	43,00	15 239,00	28,57%	55,59%	84,16%
Únor	13 296,00	37,00	13 333,00	27,70%	53,16%	80,85%
Březen	15 380,00	232,00	15 612,00	28,31%	53,90%	82,21%
Duben	14 384,00	364,00	14 748,00	28,13%	53,87%	81,99%
Květen	7 315,00	4 482,00	11 797,00	27,94%	52,91%	80,84%
Červen	5 692,00	5 354,00	11 046,00	27,40%	51,65%	79,06%
Červenec	5 065,00	5 928,00	10 993,00	27,46%	51,81%	79,27%
Srpen	5 473,00	5 938,00	11 411,00	27,44%	51,49%	78,94%
Září	8 865,00	3 633,00	12 498,00	27,39%	52,00%	79,40%
Říjen	13 881,00	684,00	14 565,00	27,41%	52,69%	80,10%
Listopad	14 874,00	115,00	14 989,00	27,71%	52,38%	80,09%
Prosinec	16 553,00	9,00	16 562,00	27,81%	52,35%	80,16%
Rok	135 974,00	26 819,00	162 793,00			

Tabulka 11: Průměrné účinnosti v jednotlivých měsících

Dané výsledky naznačují, že naše teorie by mohla být správná. Pro lepší názornost ještě uvedeme porovnání s průměrným denním počtem motohodin a počtem startů v každém měsíci.

17.3. Metoda 3

Jako poslední metodu zkusíme využít pouze data OnSite. Využijeme k tomu data ze 13. 3. 2022, kdy obě KJ hlásí (dle odečtů Tedom) 2 starty, což znamená, že v průběhu dne budeme mít 2 časy, kdy by nám měla vycházet nižší účinnost než ve zbytku dne.

Data od OnSite jsou minutová, nicméně to způsobuje problémy s odečty spotřeby plynu a výrobou tepla. Plyn se odečítá v desetinách metrů čtverečních, ale často se stane, že se spotřeba propíše do následující/předchozí minuty, což má za následek nulovou hodnotu v jedné minutě a dvojnásobnou v následující/přečozí minutě. Teplo se zase odečítá v desítkách MJ (10^7 J), nicméně minutová spotřeba je nižší, takže pak minutová výroba připomíná binární kód se střídáním jedniček a nul.

Obě tyto nepřesnosti jsme pomocí správně sepsaných vzorců eliminovali tak, aby výsledný součet za celý den odpovídal původním datům.

Následně nás tedy zajímalo, jaké jsou účinnosti v jednotlivých čtvrthodinách, jaká je průměrná účinnost, a hlavně jaká jsou maxima a minima účinností. Výsledné hodnoty jsou:

- max účinnost: 92,38 %
- průměrná účinnost: 86,44 %
- min účinnost: 78,38 %

Vidíme tedy, že maximální hodnoty účinnosti se pohybují nad 90 %, ale minima klesají až pod hranici 80 %. Vyhledáme-li, kdy k tomuto minimu došlo, zjistíme, že to bylo v intervalu 16:00–16:15. Důležitým bodem je, že spotřeba plynu v tento moment klesla na polovinu hodnoty v přechozím intervalu. To znamená, že se jedna z kogeneračních jednotek vypnula a v reakci na to klesla účinnost.

Date	Time	Plyn (m ³)	Time	Plyn (m ³)	Plyn (kWh)	EL (kWh)	Teplo (1e7 J)	Teplo (kWh)	úč. El	úč. Tep
13.03.2022	15:41:03	0,150								
13.03.2022	15:42:02	0,300								
13.03.2022	15:43:02	0,300								
13.03.2022	15:44:01	0,300								
13.03.2022	15:45:02	0,300								
13.03.2022	15:46:02	0,300								
13.03.2022	15:47:02	0,400								
13.03.2022	15:48:02	0,300								
13.03.2022	15:49:02	0,300								
13.03.2022	15:50:02	0,300								
13.03.2022	15:51:02	0,300								
13.03.2022	15:52:02	0,300								
13.03.2022	15:53:03	0,300	16:00:01	4,700	50,602	14,772	10,289	28,582	29,19%	56,48%
13.03.2022	15:54:02	0,300								85,68%
13.03.2022	15:55:02	0,300								
13.03.2022	15:56:03	0,400								
13.03.2022	15:57:02	0,300								
13.03.2022	15:58:02	0,300								
13.03.2022	15:59:03	0,300								
13.03.2022	16:00:01	0,300								
13.03.2022	16:01:02	0,300								
13.03.2022	16:02:02	0,300								
13.03.2022	16:03:02	0,200								
13.03.2022	16:04:02	0,150								
13.03.2022	16:05:02	0,150								
13.03.2022	16:06:02	0,150								
13.03.2022	16:07:02	0,200								
13.03.2022	16:08:01	0,150	16:15:02	2,650	28,531	7,620	5,308	14,744	26,71%	51,68%
13.03.2022	16:09:02	0,150								78,38%
13.03.2022	16:10:02	0,150								
13.03.2022	16:11:02	0,150								
13.03.2022	16:12:02	0,150								
13.03.2022	16:13:02	0,150								
13.03.2022	16:14:02	0,150								
13.03.2022	16:15:02	0,150								

Obrázek 23: spotřeby plynu a výroba energií v čase minima

Toto nám naši teorii na první pohled opět potvrzuje. Na druhý pohled si ovšem všimneme, že něco není v pořádku. Naše teorie byla, že účinnost bude nižší při startu KJ vzhledem k potřebnému času na rozjezd a zahřátí motoru. Z dat z metody 3 ovšem vyplývá, že účinnost klesne naopak při vypnutí KJ. Naopak maxima podle této metody dosahují při opětovném sepnutí druhé KJ.

18. MODEL ROČNÍCH POTŘEB ENERGIÍ

Předtím, než budeme moci optimalizovat provoz KJ, je potřeba znát profil potřeby elektřiny a tepla. Jelikož se ovšem dálkově měří jen zlomek dat, je potřeba tento profil vytvořit na základě námi známých údajů.

K vytvoření tohoto modelového profilu jsme využili známé měsíční spotřeby elektřiny a plynu v kombinaci s našimi fyzickými odečty. K tomuto modelu jsme nejprve odhadli procentuální rozdělení týdenní spotřeby mezi jednotlivé dny v týdnu. Toto rozdělení bylo vytvořeno na základě několika předpokladů:

- Ve všední dny budou spotřeby nižší vzhledem ke skutečnosti, že většina obyvatel tráví značnou část dne mimo domov.
- Pondělí–čtvrtek uvažujeme vzhledem k rozdělení jako identické dny.
- Páteční spotřeby jsou lehce vyšší než v ostatní dny. Uvažujeme, že v pátek mohou být pracovní doby kratší.
- Víkendové spotřeby jsou obecně vyšší než ve všední dny. I přes skutečnost, že část lidí pojedou o víkendu na výlet, bude průměrný čas strávený doma vyšší.
- Nedělní spotřeba je vyšší než sobotní.
- Státní svátky jsou považované za neděle.

Dané předpoklady platí jak pro elektřinu, tak pro teplo. Procentuální rozdělení ale není stejné, stejně tak jako toto rozdělení nezůstává stejné pro danou energii pro každý měsíc, ale mění se v průběhu roku.

Následně je na základě počtu jednotlivých dnů v daném měsíci rozdělena známá měsíční spotřeba mezi dané dny.

Leden					
	Den v týdnu	Počet	Podíl	Celkem podíl	Množství
Pondělí	1	5	13,75%	69%	470,0757151
Úterý	2	4	13,75%	55%	470,0757151
Středa	3	4	13,75%	55%	470,0757151
Čtvrtek	4	4	13,75%	55%	470,0757151
Pátek	5	4	14,00%	56%	478,6225463
Sobota	6	4	15,00%	60%	512,809871
Neděle	7	6	16,00%	96%	546,9971957
Celkem		31	100,0%	446%	15 239,00
Svátek	sv		16,0%		

Tabulka 12: Rozdělení spotřeb elektřiny pro leden

Tabulka 12 ukazuje tento model pro rozdělení elektřiny pro leden a lednový týden. Žlutě vyplněná pole jsou odhadnutá procenta. Oranžové pole zase známou měsíční spotřebou. Model pak tuto spotřebu rozdělí na základě procent mezi jednotlivé dny.

Srpen				
Den v týdnu	Počet	Podíl	Celkem podíl	Množství
1	5	12,50%	63%	326,0285714
2	5	12,50%	63%	326,0285714
3	5	12,50%	63%	326,0285714
4	4	12,50%	50%	326,0285714
5	4	14,00%	56%	365,152
6	4	17,50%	70%	456,44
7	4	18,50%	74%	482,5222857
	31	100,0%	438%	11 411,00
sv		18,5%		

Tabulka 13: Rozdělení spotřeb elektřiny pro srpen

Porovnáme-li rozdělení pro leden v tabulce 12 a rozdělení pro srpen v tabulce 13, je podíl spotřeby ve všední dny vůči víkendů nižší než v lednu.

Abychom si ověřili věrohodnost našeho rozdělení, porovnali jsme toto rozdělení s námi naměřenou (resp. vypočítanou) spotřebou pro všechny 3 dny, kdy jsme provedli fyzická měření a snažili se procentuální rozdělení upravit tak, abychom se co nejvíce přiblížili naměřené hodnotě.

10.03.2022	4	14%	478,461	
11.03.2022	5	14%	496,182	
12.03.2022	6	15%	531,623	525,363
13.03.2022	7	17%	602,506	
14.03.2022	1	14%	478,461	

Obrázek 24: Porovnání spotřeby elektřiny dle modelu s reálnou naměřenou spotřebou

Příklad je ukázán na obrázku 24, kde porovnáme námi měřený den 12. března. Světle oranžová buňka značí vypočítanou spotřebu pomocí modelu a tmavě oranžová reálnou naměřenou spotřebu. Jak lze vidět, tak rozdíl je pouze okolo 1 %.

Z předchozích kroků nyní známe denní spotřeby pro celý rok, ale abychom mohli navrhnout a optimalizovat provoz, potřebujeme znát i průběh každého dne. K tomu využijeme naše fyzické odečty, které jsou ve ¼hodinových intervalech. Z našich odečtů máme:

- březnovou neděli
- dubnový čtvrtek
- říjnovou sobotu

To znamená, že máme k dispozici 1 všední den a 2 víkendové dny. Pro všední dny jsme tedy použili denní profil z dubnového čtvrtka a pro víkendové dny jsme použili profil z říjnové soboty z důvodu pravidelnějšího profilu oproti skokovému březnovému.

Denní spotřebu pro každý den pak podle tohoto profilu rozdělíme do jednotlivých čtvrthodin. Tím pádem známe, kolik energie je potřeba každých 15 minut celého roku. Tento model nám bude následně sloužit pro práci s provozem KJ a kotle.

19. MODEL VÝROBY FVE

Kromě již existujících KJ bude v penzionu nově instalována také FVE. Z tohoto důvodu bude potřeba KJ optimalizovat v kooperaci s touto FVE, protože to bude znamenat menší potřebu na výrobu elektřiny z KJ, převážně pak v letních měsících, resp. to znamená nižší odběr elektřiny ze sítě, pokud jsou obě KJ vypnuté.

Jelikož cílem této práce není návrh FVE, ale návrh optimalizace KJ, použijeme zjednodušený model výroby FVE. K tomuto účelu využijeme data meteostanice v pražském Suchdole. Ta spadá pod Českou zemědělskou univerzitu a nachází se v jejím kampusu. Meteostanice měří mnoho charakteristik jako například venkovní teplotu, rychlost větru, vlhkost vzduchu, srážky nebo pro nás důležitou radiační bilanci neboli sluneční osvit. Pro náš model využijeme sumy energie záření udávané v jednotkách KJ/m^2 v desetiminutových intervalech.

Tyto desetiminutové hodnoty vezmeme pro 6 po sobě následujících roků a zprůměrujeme je. Průměrné hodnoty pak využijeme pro náš model, dostaneme tak objektivnější data pro návrh optimalizace, než kdybychom použili data pouze pro 1 konkrétní rok, z důvodu vyhlazení různých výkyvů od standardu. Z dat, které jsme získali, zjistíme úhrn energie pro každých 10 minut celého roku a jejich součtem dostaneme roční úhrn sluneční energie.

Před použitím pro náš model potřebujeme desetiminutové úhrny převést na čtvrt hodinové, aby odpovídaly intervalům našeho modelu spotřeb, a mohli jsme ho tak snadno napojit. To jsme pro zjednodušení udělali tím, že jsme desetiminutové úhrny sečetli do půlhodinových a ty potom dělíme v poměru 1:1 do daných čtvrt hodin. Vznikne tím lehká nepřesnost, ale pro naše účely je to postačující. Pokud bychom chtěli výsledky trochu přesnější, lze tento způsob nahradit dělením „prostředního“ desetiminutového intervalu mezi první a druhou čtvrt hodinu.

V dalším kroku využijeme předpokladu, že FVE vyrobí ročně přibližně množství energie odpovídající provozu na jmenovitém výkonu po 1000 hodin. Instalovaný výkon FVE je 34 kWp, to znamená, že ideálně vyrobí fotovoltaika ročně 34 MWh energie. Abychom zohlednili případně horší podmínky, budeme v našem modelu zvažovat o 5 % horší výrobu, tzv. místo 34 MWh ročně pouze 32,3 MWh ročně.

Pro převedení úhrnu energie slunečního záření na vyrobenou energii pak vydělíme roční výrobu úhrnem energie a tímto výsledkem pak vynásobíme každou čtvrt hodinu. Tak dostaneme námi požadovaný výsledek modelu výroby FVE.

Propojením modelů spotřeby a modelu FVE dostaneme hlavní podklad pro následnou optimalizaci provozu KJ. Jelikož FVE není závislá na žádném palivu jako KJ nebo kotel (pouze na slunečním záření), můžeme vyrobenou elektrickou energii z FVE odečíst od spotřeby elektřiny, a dostat tak zbývající potřebu elektřiny, kterou je nutné dodat z KJ nebo ze sítě. Na potřebu tepla FVE nemá vliv.

20. NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBY ELEKTŘINY A TEPLA

Při měření spotřeb a výroby energií jsme objevili nedostatky a prostor pro zefektivnění výroby energií. Zároveň je v plánu instalace fotovoltaických panelů. Z těchto důvodů je tedy vhodné prozkoumat možnosti integrace FVE ve spojení s KVET a možnosti zlepšení výroby KVET.

20.1. Princip modelu provozu KJ

V předchozích kapitolách jsme prozkoumali 2 modely. Jako první jsme vytvořili model spotřeby jednotlivých energií v penzionu v průběhu celého roku po 15minutových intervalech a jako druhý model výroby elektřiny z FVE o výkonu 34 kWp. Dané 2 modely nám poslouží jako výchozí data pro návrh a optimalizaci provozu KJ. Z jejich kombinace dostáváme zbývající potřebu elektřiny a tepla v jednotlivých čtvrthodinách. KJ budeme optimalizovat na pokrytí spotřeby tepla, přebytečná elektřina se prodává do sítě a v případě nedostatku se nakupuje ze sítě.

Za účelem možnosti optimalizace se pokusíme vytvořit co nejvíce automatický model, který bude sám přepočítávat výsledky při změně vstupních parametrů bez potřeby větších manuálních úprav.

V první řadě určíme tepelnou kapacitu akumulčních nádrží. Pro to využijeme jednoduchý vzorec:

$$Q = V \cdot c \cdot \Delta T \quad (7)$$

kde

V...objem nádrže [l]

c...měrná tepelná kapacita vody [4 180 J/kg*K]

ΔT ...teplotní rozdíl mezi maximální a minimální teplotou v nádrži [K]

Hustota vody je přibližně 1000 kg/m³, to znamená, že jsme mohli ve vzorci nahradit hmotnost vody v nádrži objemem nádrže v litrech. V penzionu se nacházejí 2 nádrže o objemu 5 000 litrů. Maximální teplota v nádrži je stanovena na 80 °C. Při volbě minimální teploty v nádrži je potřeba zohlednit riziko výskytu Legionelly. Jak bylo dříve uvedeno, minimální teplotní hranice TUV je stanovena vyhláškou na 50 °C nebo optimálně 55 °C. Pro naše výpočty stanovíme hranici na 65 °C, zůstaneme tak v teplotách, kdy Legionella umírá v jednotkách minut.

Z těchto hodnot dostáváme tepelnou kapacitu jedné nádrže 313,5 MJ, neboli 87,083 kWh, celková kapacita pro ukládání tepla bude tedy 174,17 kWh. V modelu je s kapacitou nádrže počítáno v hodnotách obsahu energie v nádržích (0–174,17 kWh) nebo v procentech. Jednou z primárních podmínek modelování provozu KJ bude tedy udržovat se přibližně v tomto rozmezí. Za tímto účelem jsme zvolili hranici, při které se spouští „dohřívací režim“. To ovšem neznamená, že KJ nebo kotel jsou v provozu pouze v tomto dobíjecím režimu, pouze to znamená, že je potřeba vyrobit takové množství tepla, aby v následujícím intervalu vzrostlo množství tepla uloženého v nádržích (resp. vzrostla teplota v nádržích). Tento dobíjecí systém se opět vypíná po dosažení horní hranice tohoto režimu.

Hranice jsou volené jako 15 % a 90 %, při volbě příliš nízké spodní hranice nebo příliš vysoké horní hranice by se pak mohlo stát, že nám model „ujede“ příliš mimo hranice kapacity. Například v případě spodní hranice se může stát, že kapacita nádrže je v dané čtvrt hodině nad hranicí spuštění dobíjecího režimu, ale zároveň je spotřeba tepla v této čtvrt hodině tak velká, že model v následujícím intervalu klesne pod kapacitu nádrže. Abychom takovým případům předešli, jsou implementovány další podmínky spuštění/vypnutí KJ, které jsou ovšem spojeny ještě s dalším požadavkem na provoz KJ. Jednou z nevýhod procentuálně určených hranic je jejich přímá závislost na teplotním rozdílu nádrží. V případě změny teplotního rozdílu se hodnota energie odpovídající těmto procentům změní a může to způsobit výše uvedené problémy

s modelem. Pokud by se teplotní rozdíl nastavil například na 10 °C místo původních 15 °C, všimneme si při pohledu na model, že kapacita nádrže v určitých částech klesne pod hranici 0 %, nebo naopak stoupne nad 100 %. Na rozdíl od bateriového uložení v případě elektřiny toto není nesmyslný problém, nýbrž to pouze znamená, že teplota v nádrži se vymkla požadovaným teplotním hranicím.

Když máme stanovenou akumulaci nádrže a hranice jejího dohřívání, musíme navrhnout ještě některé z parametrů KJ. V našem modelu budeme počítat s nominálními výkony a účinnostmi KJ, to znamená elektrický výkon 30 kW a tepelný výkon 58,1 kW, což odpovídá účinností: 32,4 % pro výrobu elektřiny a 62,8 % pro výrobu tepla. Celková účinnost KJ se dostává na 95,2 %. Z účinností dostaneme potřebný příkon KJ, který činí 92,59 kW.

Důležité je při provozu KJ počítat s faktem, že KJ funguje na principu spalovacího motoru, a při spuštění tedy potřebuje čas k zahřátí, aby mohla dosáhnout své maximální účinnosti. Čas, který KJ potřebuje k zahřátí je otázkou toho, jak dlouho KJ stála před jejím znovuspuštěním, a určení okamžité účinnosti během tohoto zahřívání je otázkou složitějšího měření, které bohužel na místě měření není, proto lze toto zahřívání do modelu zahrnout jinak.

Tento fakt jsme v modelu zjednodušili a zohlednili pomocí parametru „nájezdová účinnost“. Ta v modelu udává procento původního výkonu v první čtvrt hodině spuštění KJ. To znamená, že v první čtvrt hodině, kdy se KJ spustí, vyrobí pouze toto procento energie, kterou by vyrobila při nominálním výkonu. V druhé čtvrt hodině provozu už uvažujeme KJ zahřátou, a tedy provozovanou na nominální výkony.

Pro náš model jsme nejprve stanovili tuto nájezdovou účinnost na 70 % a provedli první výpočty s touto hodnotou, následně jsme však tuto hodnotu upravili na základě výpočtu s využitím dat skutečné výroby energií a motohodin. Z odečtů OnSite známe celkové vyrobené teplo z obou KJ za rok 2022, které činí 617 686 MWh, a z odečtů TEDOM známe počet motohodin a počet startů. Z těchto dat vypočítáme procento snížení účinnosti, pokud by se KJ po sepnutí chovala jako v našem modelu.

K tomu využijeme námi vytvořený vzorec:

$$Q = \dot{Q}_t \cdot \left(mth - (1 - \eta_{nú}) \cdot \frac{n_{st}}{4} \right) \quad (8)$$

kde

\dot{Q}_t = nominální tepelný výkon KJ

t = počet motohodin

$\eta_{nú}$ = nájezdová účinnost

n_{st} = počet startů

Princip tohoto vzorce je ve vypočtení vyrobené energie bez uvažování nájezdové účinnosti a následném odečtení energie, kterou touto účinností ztrácíme. Jelikož v našem modelu uvažujeme, že nájezdová účinnost ovlivňuje pouze první čtvrt hodinu provozu, dělíme počet startů 4.

Jelikož jedinou neznámou tohoto vzorce z reálných dat je nájezdová účinnost, upravíme tento vzorec a dostaneme vzorec pro její výpočet:

$$\eta_{n\acute{u}} = 1 - \frac{\left(mth - \frac{Q}{Q_t}\right)}{\frac{n_{st}}{4}} \quad (9)$$

Z našeho výpočtu dostáváme nájezdovou účinnost 58,11 %, takže jsme tuto hodnotu dosadili do našeho modelu pro optimalizaci.

Předposlední požadovanou, ale primární podmínkou pro KJ je omezení počtu startů KJ. Opakovaným vypínáním a zapínáním KJ se bude snižovat průměrná účinnost a zároveň se budou rychleji opotřebovávat mechanické části motoru. Za účelem omezení počtu startů v našem modelu jsme zavedli podmínku, že po zapnutí/vypnutí musí KJ zůstat ve stejném stavu alespoň hodinu. S tímto jsou pak spojeny podmínky, kdy se KJ smí spustit, aby v následující hodině nedošlo k tomu, že se teplota v nádrži dostane mezi požadované rozmezí. Tuto podmínku budeme hlídat pomocí sloupců „prodleva sepnutí KJ1“ a „prodleva sepnutí KJ2“. Tyto podmínky kontrolují, zda došlo ke změně stavu provozu KJ, a pokud ano, začnou odpočítávat hodinu provozu, po uplynutí hodiny se podmínka opět resetuje, a povolí tak modelu opětovnou změnu stavu, pokud je potřeba.

Poslední podmínkou, kterou pro model zavedeme, nazýváme „level potřeby tepla“ (nebo také úroveň potřeby tepla). Podmínky se skládají ze 2 částí, pro čtvrt hodinu a hodinu. Tento parametr ověřuje, do jaké kategorie spadá potřeba tepla v danou čtvrt hodinu a v následující hodinu. Tyto kategorie jsou nastaveny podle výkonů jednotlivých strojů, přehled je v tabulce 14.

Level	Podmínka
0	Potřeba tepla < výkon jedné KJ
1	Potřeba tepla < výkon dvou KJ
2	Potřeba tepla > výkon dvou KJ

Tabulka 14: Rozdělení úrovně potřeby tepla

Důvod pro existenci dvou obdobných podmínek pro 2 časové úseky je spojen s podmínkou alespoň hodinové provozu. Může totiž nastat podmínka, kdy je v konkrétní čtvrt hodinu spotřeba tepla nízká, ale ve zbytku hodiny spotřeba opět naroste. Tudiž pokud by neexistovala hodinová podmínka pro úroveň potřeby, mohla by se KJ zbytečně vypnout a brzo by vyžadovala opětovné sepnutí.

Poslední podmínka se již netýká KJ, ale kotle. Jelikož instalovaný výkon kotle je obrovský a nebude nikdy potřeba provozovat ho na plný výkon (ani v případě odstavení obou KJ), stanovíme minimální výkon, na který bude kotel provozován, pokud není potřeba výkon větší. To znamená například v případě, kdy je potřeba dohřívát akumulární nádrž, ale spotřeba tepla je jen mírně vyšší, než co pokryjí KJ. Dohříváním nádrže při nižším výkonu docílíme nižšího počtu startů nejen kotle, ale částečně také KJ.

Jelikož náš model nerozlišuje obě KJ mezi sebou, nýbrž rozlišuje pouze, zda je v provozu jedna/dvě KJ v každou čtvrt hodinu, zavedeme pojmenování „primární KJ“ pro první sepnutou KJ a „sekundární KJ“ pro KJ, která se sepnou jako druhá, když je primární KJ již v provozu.

21. VARIANTY OPTIMALIZACE

Model, který jsme vytvořili, budeme následně modifikovat pro několik variant, které pak budeme moci kromě porovnávání se současným stavem porovnat také mezi sebou a vybrat tu nejuvhodnější. Tyto varianty jsou:

- model A: optimalizace provozu 2 KJ v kombinaci s FVE
- model B: optimalizace provozu pouze 1 KJ v kombinaci s FVE
- model C: optimalizace provozu 2 KJ v kombinaci s FVE s bateriovým uložištěm
- model D: optimalizace provozu pouze 1 KJ v kombinaci s FVE s bateriovým uložištěm
- model E: optimalizace provozu 2 KJ bez použití FVE

21.1. Model A: Model optimalizace provozu 2 KJ v kombinaci s FVE

Prvním a pro nás výchozím modelem je provoz obou KJ v kombinaci s plánovanou instalací FVE. V tomto modelu vycházíme z priority KJ před kotlem. To znamená, že jednou z podmínek pro spuštění kotle bude, že obě KJ jsou zapnuté. Model vyhodnocuje v každé čtvrt hodině podmínky pro spuštění primární KJ, sekundární KJ a kotle.

21.1.1. Podmínky pro primární KJ

Na začátku modelu budeme vycházet ze spotřeby tepla v danou čtvrt hodinu. Na vzorci pro posouzení podmínek provozu budeme využívat především vnořené funkce IF, tím docílíme jisté hierarchie podmínek, kdy je budeme moci seřadit podle důležitosti. První podmínkou bude u každého stroje kontrola, zda už vypršela hodinová prodleva, a může tedy změnit svůj stav (vypnout/zapnout), tím docílíme toho, aby toto pravidlo nebylo nikdy porušeno. Následně už je nastavení a seřazení podmínek složitější. Jako druhou podmínku ověříme, že na základě spotřeby tepla a tepelného výkonu KJ nepřesáhneme v dané čtvrt hodině maximální kapacitu akumulací nádrže, a pokud ano, tak KJ model vypne.

Další podmínky využijí parametr úrovně spotřeby tepla. KJ bude v provozu, pokud alespoň jeden parametr bude mít hodnotu větší než 0, to znamená, že spotřeba tepla je vyšší než výroba jedné KJ. Předposlední podmínka kontroluje stav „dobíjecího režimu“. Jelikož má primární KJ nejvyšší prioritu při výrobě tepla, bude v provozu v každém případě, kdy je dobíjecí režim aktivní. Poslední podmínka je určena především pro případy výroby tepla v létě, kdy je v provozu pouze primární KJ, a to přerušovaně. Ověříme, zda při vypnutí primární KJ nedojde v následující hodině ke klesnutí kapacity akumulací nádrží pod požadovanou minimální teplotu.

Tímto máme všechny potřebné podmínky pro provoz primární KJ. Následný přehled zobrazuje podmínky shrnuté:

- podmínka prodlevy sepnutí
- podmínka nepřesáhnutí kapacity při provozu KJ
- podmínka úrovně spotřeby
- podmínka aktivity dobíjecího režimu
- podmínka dostatečné kapacity v akumulací nádrži pro pokrytí potřeby tepla v následující hodině

21.1.2. Podmínky pro sekundární KJ

Jelikož je provoz sekundární KJ závislý na provozu KJ primární, je potřeba do vzorce pro provoz uvést více podmínek než v případě primární KJ.

První podmínka je stejná jako v případě primární KJ, tzv. podmínka alespoň hodinového provozu. V druhé podmínce se ovšem lišíme, musíme totiž zkontrolovat, zda je v provozu primární KJ, nebo ne. V případě, že nejsou splněny podmínky pro provoz primární KJ, nemá smysl zapínat sekundární KJ. Následná podmínka je důležitá v případě, že byla sekundární KJ vypnutá. Pokud je sekundární KJ vypnutá a není spotřeba tepla vyšší než zbývající kapacita v nádrži, není potřeba, aby se sekundární KJ znovu zapínala. Tím docílíme dalšího omezení počtu startů, protože KJ bude moct být delší dobu vypnutá a pak následně vzhledem k nízké teplotě v akumulární nádrži může být zapnutá po delší časový úsek, než akumulární nádrž dohřeje.

Další podmínka kontroluje stav dobíjecího režimu, ovšem tentokrát nestačí pouze, aby byl tento režim aktivní, nicméně je potřeba, aby byla zbývající potřeba tepla v druhé vlně vyšší než nula. V opačném případě není potřeba sekundární KJ spouštět, protože primární KJ vyrobí dostatek tepla, aby nehrozilo, že teplota v akumulární nádrži neklesne příliš nízkou. Obdobně zkontrolujeme v další podmínce, že nehrozí pokles teploty k akumulární nádrži pod požadovanou hranici v následující hodině, pokud by se KJ vypnula, a stejně tak opačný případ, kdy v případě provozu obou KJ v následující hodině nedojde k přehřátí akumulární nádrže. V našem modelu ovšem docházelo k případu, kdy suma v následující hodině splňovala poslední podmínku a teplota po hodině byla pod limitem, nicméně po 45 minutách byla teplota lehce nad limitem. Proto jsme zavedli ještě podmínku pro sumu po 45 minutách. Obdobně bychom mohli uvést podobné podmínky ve všech případech, kdy pracujeme se spotřebou v následující hodině, nicméně tyto případy jsou poměrně vzácné a vychýlení teploty akumulární nádrže mimo hranice je pouze mírné, proto jsme v modelu tyto podmínky neuváděli, vzorce pro výpočet tam nejsou zbytečně prodlužované a sníží to náročnost výpočtů na software. Poslední podmínky jsou již podobné jako v případě primární KJ. Konkrétně podmínky pro úroveň potřeby tepla, ovšem tentokrát je potřeba, aby byla hodnota těchto podmínek 2.

Všechny podmínky pro provoz sekundární KJ jsou shrnuty v následujícím přehledu:

- podmínka prodlevy sepnutí
- primární KJ je v provozu
- opětovné zapnutí sekundární KJ jen v případě rizika poklesu teploty pod min. hranici
- podmínka aktivity dobíjecího režimu a zbývající potřeby tepla ve druhé vlně
- podmínka nepřesáhnutí kapacity při provozu KJ
- podmínka úrovně spotřeby

21.1.3. Podmínky provozu kotle

Jako poslední musíme ještě udat podmínky pro provoz kotle, protože kotel funguje pouze jako špičkový zdroj tepla v případě, že obě KJ nejsou dostatečné. To znamená, že by měly být podmínky nastavené tak, aby byl kotel v provozu pouze v chladnějších měsících, přes léto by se neměl zapnout vůbec. Podmínky budou vesměs podobné jako v případě sekundární KJ pouze s mírnými obměnami.

Stejně jako v případě KJ je první podmínkou, aby kotel zůstal zapnutý/vypnutý alespoň hodinu v kuse pro omezení počtu zapínání. Přestože v modelu nepočítáme se sníženou účinností kotle při zapínání, je dobré omezit počet opakovaných zapínání/vypínání kotle. Další podmínkou bude, podobně jako v případě sekundární KJ, aby byly v provozu obě KJ předtím, než se bude zapínat kotel. Následuje opět sada podmínek, aby teplota v akumulární nádrži nepřekročila jednu z požadovaných hranic v nádržích. Všude počítáme s minimálním výkonem kotle, který

jsme si určili mezi parametry modelu, a případnou potřebu vyššího výkonu kotle řešíme až ve výpočtu samotné výroby tepla z kotle.

Posledními podmínkami bude případ dohřívacího režimu, kdy kontrolujeme, zda je zbývající potřeba tepla ve 3. vlně stále vyšší než 0, což znamená, že obě KJ dohromady nedokážou pokrýt potřebu tepla. V tomto případě je potřeba, aby se kotel zapnul a pomohl s dohřátím nádrže.

Výrobu tepla z kotle posuzujeme jednoduše podle hodnoty zbývající potřeby tepla ve 3. vlně. Kotel běží na minimální výkon v případě, že je potřeba tepla nižší, než minimální výkon kotle. V případě, že je potřeba tepla vyšší, vyrobí kotel množství tepla odpovídající spotřebě.

Podmínky pro provoz kotle jsou tedy:

- podmínka prodlevy sepnutí
- primární a sekundární KJ jsou v provozu
- podmínka nepřesáhnutí kapacity při provozu KJ
- podmínka aktivity dobíjecího režimu a zbývající potřeby tepla ve třetí vlně

21.1.4. Výsledky modelu A

Nyní už máme vysvětlený princip výpočtu modelu, zbývá nám už jen vyhodnotit výsledky tohoto modelu. Zajímá nás hned několik výsledků, a sice:

- spotřeba plynu – se znalostí celkové spotřeby budeme moci vypočítat náklady na nákup plynu, hlavní položku pro ekonomické zhodnocení (nezahrnuje množství plynu z čerpací stanice pro automobily)
- počet startů – jeden z hlavních cílů optimalizace je snížení počtu startů oproti stávajícímu stavu
- vyrobené teplo z KJ a kotle – součet vyrobeného tepla bude vždy stejný, ale bude se lišit poměr tepla vyrobeného v kotli vůči teple vyrobenému v KJ
- výroba elektřiny – díky znalosti výroby elektřiny zjistíme množství prodané a nakoupené elektřiny do/ze sítě, které jsou důležité pro ekonomické zhodnocení
- počet motohodin – důležité hlavně z důvodu frekvence servisu
- maximální denní spotřeba plynu – pro výpočet potřebné rezervované kapacity

Výsledné počty startů a motohodin je potřeba rozdělit mezi obě KJ, jelikož v modelu nerozlišujeme, která konkrétní KJ je v provozu. V modelu vypočítáváme maximální počet startů primární KJ, který můžeme dělit 2, protože lze uvažovat, že se v tomto případě KJ budou střídat. V případě sekundární KJ výsledek dělit můžeme jedině v případě, že se starty nepotkávají se starty primární KJ. Příkladem může být situace, kdy běží KJ1 jako primární a nastartuje KJ2 jako sekundární. Když už není potřeba sekundární KJ a dostane pokyn k vypnutí, vypne se KJ1, která byla v provozu delší dobu, a z KJ2 se tak stane primární KJ. Tím docílíme nejen nižšího počtu startů na jednu KJ, ale také k vyvážení poměru motohodin. Jako maximální denní počet startů tedy uvažujeme maximum z poloviční hodnoty startů primární KJ a polovinu hodnoty sekundární KJ, pokud v den maxima sekundární KJ primární KJ nespustila. V případě počtu motohodin je pouze vydělíme 2 a budeme uvažovat, že se KJ úspěšně střídaly v průběhu roku tak, aby došlo k úměrnému rozdělení provozu a nezatěžovali jsme jednu více než druhou.

Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny		1 108 939,33	kWh
Vyrobené teplo z KJ		589 561,72	kWh
Vyrobené teplo z kotle		105 521,83	kWh
Vyrobená elektřina z KJ		304 420,85	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	115 223,09	kWh
	prodaná do sítě	189 197,77	kWh
Nákup elektřiny		15 269,91	kWh
Maximální denní spotřeba		0,58829	kWh
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		10 228,00	mth
Maximální počet startů – primární KJ		6	-
Maximální počet startů – sekundární KJ		3	-
Maximální denní počet startů jedné KJ		3	-

Tabulka 15: Energetický přehled modelu A

Ke spotřebě plynu je ještě potřeba přičíst množství plynu spotřebovaného pro automobily. Dle našeho ročního odečtu je tato spotřeba přibližně 2 700 m³, což odpovídá přibližně 30 000 kWh energie v plynu. Výsledky budou hlouběji prozkoumány v kapitole výsledků, kde budou porovnávány jednotlivé modely se současným stavem a zároveň mezi sebou.

21.2. Model B: Model optimalizace provozu pouze 1 KJ v kombinaci s FVE

Druhý model bude lehká modifikace prvního modelu, která je ovšem velkou změnou, pokud se na model podíváme z pohledu reálného použití. Z modelu A jsme zjistili, že kombinace FVE a alespoň jedné KJ pokryje všechnu nebo většinu potřebné elektřiny, jelikož výkon kotle v penzionu dokáže pokrýt celou spotřebu tepla i v případě vypnutí obou KJ.

Na základě toho je reálnou možností provoz pouze jedné KJ po dobu celého roku. Drtivá většina elektřiny vyrobené sekundární KJ jde do sítě, výkupní cena elektřiny ovšem není příliš dobrá a obecně platí pravidlo, že ideálně chceme pokrýt co největší vlastní spotřebu a zároveň mít co nejmenší přetoky.

V tomto případě tedy uvažujeme, že sekundární KJ nikdy nebude spuštěna. To ovšem neznamená, že bude v provozu pouze jedna KJ. Jelikož pracujeme se situací, kdy v kotelně jsou 2 KJ, není příliš pravděpodobné, že bychom jednu prodali a zůstala pouze jedna. Místo toho uvažujeme, že stejně jako v případě modelu A se budou KJ střídat v provozu tak, aby vyrovnávaly počet motohodin, a opotřebovávaly se tak podobnou rychlostí.

21.2.1. Podmínky pro provoz KJ1

Jelikož rozdíl mezi modelem A a modelem B je ve zrušení provozu sekundární KJ, budou podmínky pro primární KJ úplně stejné jako pro model A. Jelikož jsme vysvětlili podmínky provozu již v případě modelu A, uvedeme zde pouze znovu seznam podmínek v bodech.

- podmínka prodlevy sepnutí
- podmínka nepřesáhnutí kapacity při provozu KJ
- podmínka úrovně spotřeby
- podmínka aktivity dobíjecího režimu
- podmínka dostatečné kapacity v akumulační nádrži pro pokrytí potřeby tepla v následující hodině

Jelikož sekundární KJ bude po celou dobu vypnutá, není potřeba uvádět podmínky jejího provozu.

21.2.2. Podmínky pro provoz kotle

V případě modelu A byly podmínky provozu kotle přímo závislé na provozu sekundární KJ. Jelikož je kotel provozován jako špičkový zdroj, byla jednou z podmínek, aby byly v provozu obě KJ před tím, než se může zapnout kotel. V případě modelu B ovšem sekundární KJ v provozu není, takže je potřeba podmínky podle toho upravit. To znamená změnit podmínky, které udávají, aby byla v provozu sekundární KJ, na podmínku provozu primární KJ a zároveň všechny podmínky, které sledují spotřebu tepla a porovnávají ji s výrobou KJ (ať už čtvrt hodinovou nebo hodinovou), musíme změnit na výrobu pouze jedné KJ:

- podmínka prodlevy sepnutí
- primární KJ jsou v provozu
- podmínka nepřesáhnutí kapacity při provozu KJ
- podmínka aktivity dobíjecího režimu a zbývající potřeby tepla ve třetí vlně (třetí vlna = druhá vlna, protože KJ2 není v provozu)

21.2.3. Výsledky modelu B

Stejně jako v případě modelu A jsme shrnuli výsledky modelu B do přehledné tabulky, která nám zobrazuje stejné parametry jako u předchozího modelu. Výsledky jsou zahrnuty v tabulce 16.

Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny		1 037 956,69	kWh
Vyrobené teplo z KJ		389 943,99	kWh
Vyrobené teplo z kotle		305 106,09	kWh
Vyrobená elektřina z KJ		201, 348,01	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	109 393,51	kWh
	prodaná do sítě	91 954,50	kWh
Nákup elektřiny		21 099,49	kWh
Maximální denní spotřeba		0,54035	kWh
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		6 767,00	mth
Maximální počet startů – primární KJ		6	-
Maximální počet startů – sekundární KJ		0	-
Maximální denní počet startů jedné KJ		3/6	-

Tabulka 16: Energetický přehled modelu B

Jak šlo předpokládat na základě myšlenky tohoto modelu, spotřeba plynu a vyrobené energie z KJ klesly, výroba tepla z kotle naopak stoupla. Předpokládali jsme také mírný nárůst nákupu elektřiny, ale výsledné množství nakoupené elektřiny je nakonec o více než třetinu vyšší než nákup elektřiny v modelu A. To znamená, že množství případů, kdy sekundární KJ pomáhala k pokrytí spotřeby elektřiny, bylo více, než jsme předpokládali. Zároveň to může znamenat, že kvůli jinému provozu je primární KJ v provozu v jiných časech, a tedy nemusí být v provozu v případech vyšších spotřeb elektřiny.

U počtu startů primární KJ dostáváme stejný počet jako v případě modelu A. V tomto případě ovšem máme 2 možnosti, pokud bychom uvažovali provoz pouze jedné KJ a odstranění druhé KJ, tak by všechny starty spadaly pod jednu KJ. Pokud uvažujeme ponechání obou KJ, ale

budeme vždy provozovat pouze jednu, dostaneme jako maximální denní počet startů jedné KJ 3 starty, což je stejné jako v případě modelu A.

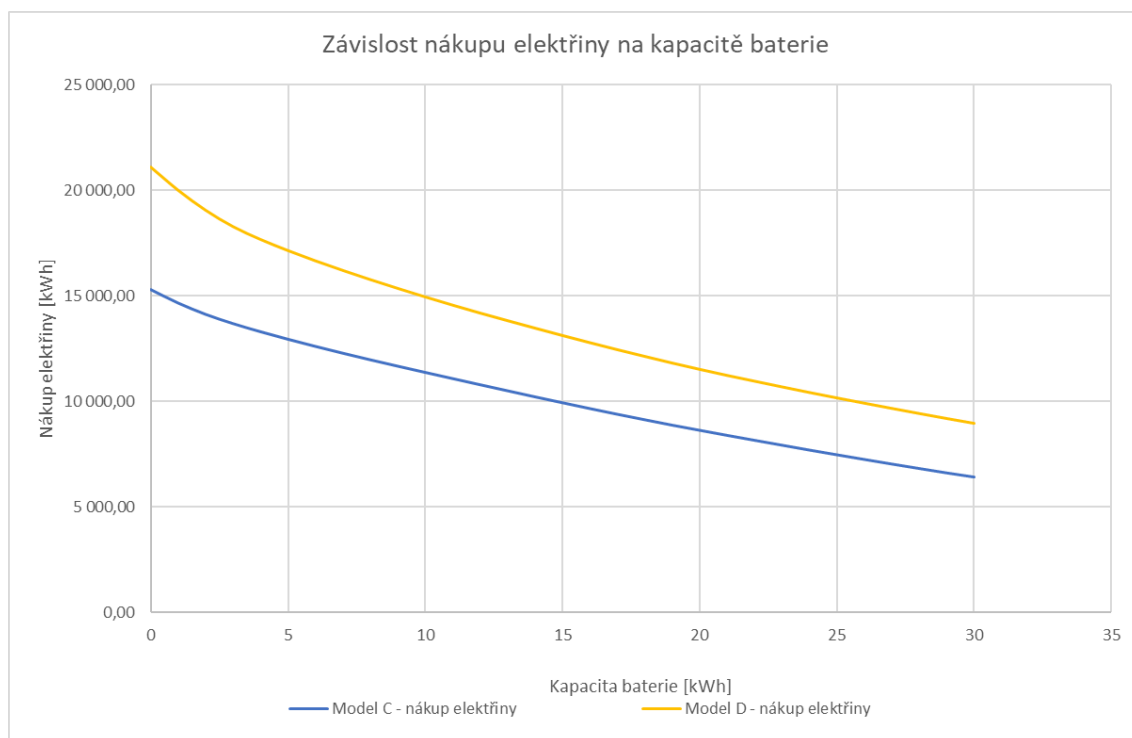
21.3. Model C

Ve třetím modelu uvažujeme opět provoz obou KJ jako v případě modelu A, ovšem tentokrát s tím rozdílem, že budeme uvažovat instalaci bateriového uložště. Toto uložště nám pomůže ukládat přebytečnou elektřinu vyrobenou z KJ a FVE a využít ji v případech, kdy výroba elektřiny nepokryje celou spotřebu penzionu.

Zde je ovšem velkou otázkou potřebná kapacita baterie. Budeme pracovat s použitelnou kapacitou baterie, tedy s kapacitou, kterou můžeme využít (v případě bateriového uložště platí stejně jako například v případě baterií mobilních telefonů, že je nechceme ani kompletně vybit, ani kompletně nabít, tím prodloužíme životnost baterií).

21.3.1. Optimalizace velikosti bateriového uložště

Abychom našli ideální velikost bateriového uložště pro použití v modelu C a modelu D, vyneseme si z našeho modelu závislost nákupu elektřiny na kapacitě baterie. Model jsme zkusili navrhnout na různé velikosti bateriového uložště od 1 kWh do 30 kWh. V modelu zároveň počítáme se dvěma parametry pro baterie. První je, že nelze využít celou kapacitu baterie, budeme uvažovat, že baterie se smí pohybovat pouze mezi 10 % a 90 % své kapacity, takže může využít jen 80 % své celkové kapacity. Druhou podmínkou jsou účinnosti nabíjení a vybíjení. Žádná baterie nemá 100% účinnost svého cyklu, část uložené a znovu odebrané energie se ztratí. Účinnost je nicméně velmi vysoká, proto budeme uvažovat účinnost nabíjení i vybíjení 98 %. Výslednou závislost nákupu elektřiny na velikosti bateriového uložště pro modely C a D jsme zanesli do grafu 17.



Graf 17: Závislost nákupu elektřiny na kapacitě baterie

Jak se dalo očekávat, množství nakoupené elektřiny s rostoucí kapacitou baterie klesá. Zajímavým poznatkem z této závislosti ovšem je, že křivka modelu D klesá rychleji než křivka

modelu C. Z toho můžeme usuzovat, že instalace bateriového uložení bude v případě modelu D výhodnější než v případě modelu C. Pro výpočet vyrobených energií budeme uvažovat 10 kWh bateriové uložení v obou případech a v ekonomické části se ještě podíváme na vliv návratnosti na kapacitě.

21.3.2. Podmínky pro provoz KJ a kotle

V případě našeho modelu budou podmínky provozu KJ stejné jako v případě modelu A. Důvodem tohoto nastavení je, že chceme ve všech modelech provozovat KJ na pokrytí potřeby tepla, nikoliv elektřiny. Přebytkovou elektřinu můžeme prodat, přebytečné teplo by se zbytečně mařilo. Podmínky pro provoz primární KJ jsou uvedeny v kapitole 21.1.1, podmínky pro provoz sekundární KJ jsou uvedeny v kapitole 21.1.2 a podmínky pro provoz kotle jsou v kapitole 21.1.3.

21.3.3. Výsledky modelu C

Výsledky modelu C jsou uvedeny v tabulce 17. Tyto výsledky jsou z velké části stejné jako v případě modelu A, ale samozřejmě s velkým rozdílem v nákupu, prodeji a spotřebě elektřiny. Díky bateriovému uložení jsme snížili množství nakoupené elektřiny a zároveň zvýšili množství vyrobené elektřiny z KJ, která se spotřebuje přímo v penzionu. Tyto výhody jsou ovšem za cenu nejen investice, ale také nižšího množství prodané elektřiny. Snížení množství prodané elektřiny se ovšem do výsledku tolik neprojeví a hlavním nákladem a negativem budou investiční náklady na bateriové uložení.

	Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny	1 108 939,33	kWh
	Vyrobene teplo z KJ	589 561,72	kWh
	Vyrobene teplo z kotle	105 521,83	kWh
	Vyrobena elektřina z KJ	304 420,85	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	128 653,62	kWh
	prodána do sítě	175 767,24	kWh
	Nákup elektřiny	1 892,25	kWh
	Maximální denní spotřeba	0,58829	kWh
	Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)	10 228,00	mth
	Maximální počet startů – primární KJ	6	-
	Maximální počet startů – sekundární KJ	3	-
	Maximální denní počet startů jedné KJ	3	-

Tabulka 17: Energetický přehled modelu C

21.4. Model D

V posledním modelu opět využijeme bateriové uložení, ale v tomto modelu budeme aplikovat bateriové uložení na model B, to znamená s provozem pouze primární KJ. V modelu B jsme provozovali vždy pouze jednu KJ, což mělo za následek snížení spotřeby plynu, ale za cenu nižšího množství vyrobené elektřiny a zvýšení nákupu elektřiny. To by ovšem mohlo mít pozitivní vliv na využití bateriového uložení, vzhledem k menšímu množství vyrobené elektřiny nebudou přetoky tak velké, a tím se tedy zvýší poměr mezi elektřinou uloženou ku elektřině prodané do sítě.

21.4.1. Podmínky pro provoz KJ a kotle

Obdobně jako model C přebíral podmínky od modelu A, tak model D přebírá podmínky od modelu B. Podmínky tedy budou stejné jako v modelu B, podmínky pro provoz primární KJ jsou

uvedeny v kapitole 21.2.1, podmínky pro provoz kotle v kapitole 21.2.2. Sekundární KJ je po celou dobu mimo provoz, tudíž není potřeba uvádět podmínky.

21.4.2. Výsledky modelu D

Výsledky modelu D vidíme v tabulce 18. Výsledky budou opět obdobné jako u modelu B, jen s rozdílem v nakoupené/prodané elektřině.

Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny		1 037 956,69	kWh
Vyrobené teplo z KJ		389 943,99	kWh
Vyrobené teplo z kotle		305 106,09	kWh
Vyrobená elektřina z KJ		201, 348,01	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	126 929,16	kWh
	prodaná do sítě	74 418,85	kWh
Nákup elektřiny		3 616,70	kWh
Maximální denní spotřeba		0,54035	kWh
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		6 767,00	mth
Maximální počet startů – primární KJ		6	-
Maximální počet startů – sekundární KJ		0	-
Maximální denní počet startů jedné KJ		3/6	-

Tabulka 18: Energetický přehled modelu D

21.5. Model E

Posledním modelem bude model E, který má stejné podmínky jako model A, nicméně zde uvažujeme stav bez nainstalované FVE. Cílem tohoto modelu je zjistit, jak se změní provoz, protože provoz bude úplně stejný jako v modelu A (jelikož provozujeme KJ na pokrytí potřeby tepla). Důvodem vytvoření tohoto modelu je zjištění, jaké množství nákupu elektřiny nám ušetří FVE. Nejdůležitější bude porovnání současného stavu, modelu E a modelu A, ze kterých zjistíme, jaký vliv má na úsporách úprava provozu KJ a jaký vliv má instalace FVE.

21.5.1. Podmínky pro provoz KJ a kotle

Podmínky provozu obou KJ a kotle budou stejné jako v případě modelu A a modelu C. Jediným rozdílem je, že FVE má nulovou výrobu, zbývající elektřina v jednotlivých vlnách tedy bude vyšší.

21.5.2. Výsledky modelu E

Výsledky modelu E jsou opět obdobné jako v modelu A a C, jen s rozdílem týkajícím se nákupu a prodeje elektřiny.

Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny		1 108 939,33	kWh
Vyrobené teplo z KJ		589 561,72	kWh
Vyrobené teplo z kotle		105 521,83	kWh
Vyrobená elektřina z KJ		304 420,85	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	136 877,85	kWh
	prodaná do sítě	167 543,01	kWh
Nákup elektřiny		25 915,15	kWh
Maximální denní spotřeba		0,58829	kWh
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		10 228,00	mth
Maximální počet startů – primární KJ		6	-
Maximální počet startů – sekundární KJ		3	-
Maximální denní počet startů jedné KJ		3	-

Tabulka 19: Energetický přehled modelu E

21.6. Současný stav

V kapitolách 21.1.–21.5 jsme navrhovali naše modely provozu KJ. Abychom znali úspěšnost těchto modelů, je potřeba znát také současný stav, abychom věděli, z čeho vycházíme. V předchozích kapitolách jsme uvedli zdroje našich dálkových odečtů, které jsme dostali od firem TEDOM a OnSite. Z těchto odečtů jsme schopni dostat téměř úplnou tabulku výsledků obdobně jako v případě našich modelů. Bohužel nedokážeme replikovat model, ze kterého bychom tyto výsledky dostali, což znamená, že nedokážeme získat hodnotu maximální denní spotřeby plynu. Máme sice k dispozici počty startů a motohodin KJ, z čehož bychom mohli získat spotřebu plynu KJ, ale o kotli takovéto informace nemáme. Pro kotel známe pouze měsíční výroby tepla, proto nemůžeme zjistit, kolik plynu kotel v každý den spotřeboval.

Na základě našich dat jsme výsledky pro současný stav shrnuli do tabulky 20.

Spotřeba plynu na výrobu tepla a elektřiny		1 203 918,31	kWh
Vyrobené teplo z KJ		617 686,00	kWh
Vyrobené teplo z kotle		77 520,00	kWh
Vyrobená elektřina z KJ		323 939,00	kWh
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	135 974,00	kWh
	prodaná do sítě	187 965,00	kWh
Nákup elektřiny		26 819,00	kWh
Maximální denní spotřeba		-	kWh
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		10 919,00	mth
Maximální počet startů – primární KJ		19	-
Maximální počet startů – sekundární KJ		19	-
Maximální denní počet startů jedné KJ		19	-

Tabulka 20: Energetický přehled současného stavu

22. EKONOMIKA

Na základě výsledků modelu z předchozích kapitol dostáváme dostatečné podklady pro ekonomické zhodnocení jednotlivých variant a jejich porovnání na základě ekonomické výhodnosti. Pro toto porovnání musíme uvažovat několik různých nákladů spojených s provozem KJ. Hlavními náklady jsou nákup plynu jakožto paliva nejen pro KJ, ale také kotle, a potom nákup elektřiny v případech, kdy jsou KJ vypnuté, nebo je v provozu jen jedna a společně

s FVE nepokryjí okamžitou spotřebu. Zároveň je potřeba stanovit výkupní cenu elektřiny, která hraje velkou roli. Dalším důležitým nákladem pro všechny varianty, na který se nesmí zapomínat, je servis KJ. Stejně jako motory automobilů, i motory KJ je potřeba pravidelně servisovat. V případě modelů s využitím bateriového uložení je ještě potřeba započítat investiční náklady na nákup a instalaci bateriového uložení.

22.1. Náklady na nákup energií – jednotkové ceny

V první řadě je třeba znát jednotkové ceny na nákup energií. Pro jednotkové ceny za regulované složky fakturace využijeme ceník podle cenového rozhodnutí ERU pro rok 2023 a pro ceny za neregulované složky (cena za komoditu plynu a cena za silovou elektřinu) využijeme odhad na základě ceny na burze. Námi řešený penzion bude v důsledku množství odebraného plynu spadat do kategorie střední odběratel. Pro střední odběry platí jiné ceny, než mají maloodběratelé, a také jiný způsob výpočtu jedné z položek.

22.1.1. Jednotkové ceny plynu

Cena za nákup plynu se skládá z několika položek. Kromě ceny za samotnou komoditu, která není regulována ERU, se jedná ještě o další položky, které hradí náklady na distribuci a náklady spojené s dalšími subjekty v energetice.

Cena za distribuci plynu se skládá ze 2 položek: cena za služby distribuční soustavy a cena za denní rezervovanou kapacitu (Rk). První z těchto položek je jednoduše udávána v Kč/MWh a pro rok 2023 má hodnotu 48,11 Kč/kWh. Určení ceny za denní rezervovanou kapacitu je poněkud složitější. Tato položka se udává v Kč/tis. m³ a u maloodběrů je přímo daná v cenovém rozhodnutí. V případě středních odběrů se však vypočítává na základě hodnoty této rezervované kapacity, kterou si zákazník sjednává sám na rozdíl od maloodběrů, kde se hodnota rezervované kapacity vypočítává na základě historické spotřeby.

Pro střední odběry se jednotková cena za rezervovanou kapacitu vypočítává podle vzorce:

$$C_k = (a + b \cdot \ln k) \cdot 1\,000 \quad (10)$$

Koeficienty a, b jsou přímo dané v cenovém rozhodnutí a liší se pro jednotlivé distribuční zóny, jak lze vidět na obrázku 21. Pro Prahu je distributorem Pražská plynárenská Distribuce (PPD) a koeficienty jsou a = 399,3718 a b = -18,2473. Pro tento výpočet platí ještě speciální podmínka, že pokud je Rk nižší než 519 m³, vloží se do výpočtu hodnota 519 m³, to znamená, že minimální jednotková cena je 285 291,43 Kč/tis. m³. S rostoucí hodnotou Rk se jednotková cena snižuje. Pro variantu A a C nám vychází maximální hodnota denní Rk na 0,63134 m³, abychom nepřesáhli maximální Rk, budeme předpokládat, že sjednaná hodnota Rk je 0,65 m³. To znamená, že jsme nad limitem minimální Rk a jednotková cena se tak podle vzorce 10 bude rovnat 281 184,54 Kč.

Provozovatel distribuční soustavy	Koeficienty cenového vzorce	
	Místní síť	
	a	b
EG.D, a.s.	366,2118	-6,5753
Pražská plynárenská Distribuce, a.s.	399,3718	-18,2473
GasNet, s.r.o.	355,3190	-17,1789
QUANTUM, a.s.	418,4013	-17,1789
VLČEK Josef – elektro s.r.o.	492,6000	-17,2473

Tabulka 21: Koeficienty pro výpočet jednotkové ceny za rezervovanou kapacitu

Další 2 položky na faktuře za plyn jsou: cena za činnosti operátora trhu a daň ze zemního plynu. Cena za činnost OTE je jen malá položka na faktuře, která má jednotkovou cenu pouze 1,83 Kč/MWh. Daň ze zemního plynu má stejnou jednotkovou cenu již několik let, a sice 30,60 Kč/MWh.

Cena za komoditu se během posledních let razantně měnila. Nejprve vlivem obchodu s emisními povolenkami, který zapříčinil růst ceny plynu v druhé polovině roku 2021, následně pak od února roku 2022 vlivem války na Ukrajině a nejistotou ohledně dostupnosti plynu bez závislosti na Rusku. V průběhu roku 2023 už je cena plynu relativně stabilní a pohybovala se většinou pod hranicí 1 500 Kč/MWh (mimo první kvartál roku). V našem modelu budeme počítat s cenou 1 500 Kč/MWh.

Náš ceník pro nákup plynu tedy bude následující:

Položka	Jednotka	Jednotková cena [Kč]
Komoditní složka	Kč/MWh	1 500,00
Cena za služby distribuční soustavy	Kč/MWh	48,11
Cena za denní rezervovanou kapacitu	Kč/tis. m ³	281 184,54
Cena za činnosti operátora trhu	Kč/MWh	1,83
Daň ze zemního plynu	Kč/MWh	30,60

Tabulka 22: Jednotkové ceny za plyn pro střední odběry

22.1.2. Jednotkové ceny elektřiny

Fakturace elektřiny zahrnuje oproti ceně za plyn více jednotlivých položek a podobně jako se fakturace plynu dělí mezi maloodběry a střední odběry, dělí se fakturace elektřiny na nízké a vysoké napětí. Pro náš penzion bereme nízké napětí, které nabízí mnoho různých tarifů, podle kterých bychom mohli cenu počítat. Pro náš případ budeme počítat s tarifem C02d. Stejně jako v případě plynu počítáme regulované složky z cenového rozhodnutí ERU a cenu za silovou elektřinu bereme podle aktuální ceny na burze.

Podobně jako u plynu platíme při nákupu elektřiny cenu za distribuci, ovšem v případě nízkého napětí neřešíme Rk, ale místo toho máme stálý plat za jistič, který se pohybuje v řádu stovek Kč/měsíc podle velikosti jističe. Jelikož neznáme velikost jističe, budeme počítat s cenou 244 Kč/měsíc. Plat za distribuované množství činí 2 182,68 Kč/MWh. Další položkou, která je obdobná jako u fakturace plynu, je poplatek za OTE. Nicméně v případě elektřiny není tato cena závislá na odebraném množství a činí stálou platbu 3,43 Kč/měsíc.

Další dvě/tři položky jsou již specifické pro fakturaci elektřiny. První z nich je poplatek za systémové služby. Tento poplatek se platí společnosti ČEPS, která je provozovatelem distribuční soustavy. Jednotková cena poplatku za systémové služby činí 113,53 Kč. Další 2 položky se týkají

stejně věci, a sice poplatku na podporu obnovitelných zdrojů. Počítají se 2 částky, jedna je podle hodnoty jističe a druhá na základě spotřeby, fakturuje se pak nižší z těchto částek. Od podzimu roku 2022 do konce roku 2023 byla tato položka odpuštěna a neúčtovala se z důvodu snahy vlády o snížení nákladů na elektřinu pro zákazníky. Jelikož neznáme hodnotu jističe, budeme v našem modelu počítat pouze s hodnotou závislou na spotřebě, která činí 495 Kč/MWh.

Cena za silovou elektřinu byla stejně jako cena plynu výrazně ovlivněna válkou na Ukrajině, na čemž má velký podíl provoz paroplynových elektráren. Během roku 2022 a 2023 byla cena silové elektřiny omezená stropem na 5 000 Kč/MWh, ale během roku 2023 klesla cena pod tento limit. V našem modelu uvažujeme cenu za silovou elektřinu 4 500 Kč/MWh. Výkupní cena elektřiny byla stanovena na 1 800 Kč/MWh.

Náš ceník pro nákup elektřiny tedy bude následující:

Položka	Jednotka	Jednotková cena
Cena za silovou elektřinu	Kč/MWh	4 500
Cena za služby distribuční soustavy	Kč/MWh	2 182,68
Cena za jistič	Kč/měsíc	244,00
Cena za činnosti operátora trhu	Kč/měsíc	3,43
Cena za POZE	Kč/MWh	495,00
Výkupní cena elektřiny	Kč/MWh	1800,00

Tabulka 23: Jednotkové ceny za elektřinu

22.2. Náklady na servis

V kapitole 7.4. jsme uvedli přibližné intervaly mezi jednotlivými typy servisů KJ. Na základě těchto intervalů by bylo možné vypočítat průměrné roční náklady na servis KJ, v případě některých zákazníků, mezi které spadá také OnSite, a tím pádem i námi řešený penzion, řeší TEDOM poplatky za servis jiným způsobem. Na základě servisů a jejich frekvence vypočítávají jednotkovou cenu za motohodinu. Počítají se 2 různé jednotkové ceny, jedna se zahrnutím generální opravy a jedna bez zahrnutí generální opravy. V průběžných nákladech se většinou počítá s cenou bez generální opravy, protože se zákazníkovi nabízí s blížícím se termínem generální opravy vyhradit finance ve společném rozpočtu na opravy.

V našem případě ovšem budeme počítat s cenou včetně generální opravy, protože počítáme s náklady na mnoho let dopředu, které budou zahrnovat i generální opravu.

Částky za servis se liší pro různé modely KJ a tyto částky nejsou veřejně dostupné. Na základě dohody s TEDOM uvedeme pouze orientační částku: 30 Kč/mth. Tato částka je včetně generální opravy, která se, jak jsme již dříve zmínili, nezahrnuje do průběžných poplatků.

22.3. Cena bateriových uložišť

Bateriové uložišťe je důležitou otázkou spojenou s energetikou. V případě obnovitelných zdrojů ovšem důležitost bateriového uložišťe ještě roste. Část našich modelů zahrnuje i bateriové uložišťe pro ukládání přebytečné elektřiny, abychom ještě snížili odebranou elektřinu ze sítě. Z tohoto důvodu se krátce podíváme na problematiku bateriových uložišť.

Na internetu se bohužel ceny bateriových uložišť velmi liší v různých zdrojích. Ty uvádějí různé částky za kWh. Rozsah cen se na zahraničních zdrojích pohybuje mezi 750 \$/kWh a 1 400 \$/kWh, v českých zdrojích jsme se setkali s cenou 15 000–18 000 Kč/kWh. Pro naše výpočty tedy použijeme cenu 18 000 Kč/kWh. [45] [46] [47]

Pro ceny investic je potřeba ještě zohlednit takzvané diskontování. Diskontování bere v potaz snižování hodnoty peněz v průběhu času. To znamená, že peníze investované v současnosti mají vyšší hodnotu než stejná částka investovaná následující rok, ta má zase vyšší hodnotu než částka investovaná o rok později a tak dále. Tuto skutečnost započítáváme do výpočtů investic pomocí takzvané diskontní sazby. Diskontní sazba je udávána v procentech a udává procentní navýšení částky v následujícím roce, aby měla stejnou hodnotu jako částka v současném roce.

V naší práci nás zajímá investice do bateriového uložště. Toto uložště má určitou životnost, po jejímž uplynutí je potřeba ho vyměnit. Každý rok po dobu této životnosti se bude na investovanou částku aplikovat diskontní sazba. Ta se samozřejmě bude v reálném čase stále měnit, ale pro výpočet výhodnosti investic budeme počítat se současnou hodnotou diskontní sazby. Diskontovaná cena se vypočítá podle vzorce:

$$N_{dis.} = N \cdot (1 + z)^r \quad (11)$$

kde

$N_{dis.}$ = *diskontovaná cena*

N = *cena bez diskontování*

z = *diskontní sazba*

r = *životnost [rok]*

Pro naše výpočty budeme uvažovat životnost bateriového uložště 10 let a současná diskontní sazba je 6 %. Celkové investiční náklady na nákup bateriového uložště budou tedy počítány podle následujícího vzorce:

$$N_{dis.} = 18\,000 \cdot N \cdot (1 + 0,06)^{10} = 32\,235,26 \text{ Kč/kWh} \quad (12)$$

To znamená, že za 1 kWh instalované kapacity bateriového uložště (což znamená pouze 0,8 kWh využitelné kapacity) zaplatíme celkem 32 235,26 Kč. Roční úspory na instalovanou kapacitu tedy budou muset být větší než 3 223,53 Kč za každou instalovanou kWh bateriového uložště.

23. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ VARIANT

V předposlední kapitole jsme navrhovali modely provozu KJ a uvedli jsme výsledky těchto modelů z pohledu vyrobených, prodaných a nakoupených energií. Nyní se podíváme na ekonomické zhodnocení těchto variant. V předchozí kapitole jsme uvedli, jak budeme následující náklady počítat, a nyní nás zajímá, jaké náklady a jaké výnosy s sebou která varianta přináší.

23.1. Ekonomika modelu A

První na řadě je model A. V tomto modelu jsou v provozu obě KJ a nevyužíváme žádné bateriové uložště. Na základě toho můžeme očekávat vyšší náklady na nákup plynu a vyšší náklady na nákup elektřiny oproti modelům s bateriemi. Výslednou ekonomiku jsme rozdělili do několika tabulek. V tabulce 24 jsou uvedeny náklady na plyn, v tabulce 25 náklady na elektřinu a v tabulce 26 celkové roční náklady včetně servisu.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Komoditní složka	1 108,939	MWh	1 663 408,99 Kč
Daň ze zemního plynu			33 933,54 Kč
Cena za služby distribuční soustavy			53 351,07 Kč
Cena za činnosti operátora trhu			2 029,36 Kč
Denní rezervovaná kapacita	0,65	tis. m ³	182 769,95 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA PLYN	1 935 492,91 Kč		

Tabulka 24: Náklady na nákup plynu pro model A

Z tabulky vychází, že největší podíl na nákladech na plyn má komoditní složka. Ta činí celkem cca 86 % celkových nákladů na plyn. To je poměrně velká změna oproti cenám plynu před rokem 2020, kdy se ceny za komoditní složku plynu pohybovaly zhruba na třetině současných cen (zhruba 400–500 Kč/MWh).

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	15,270	MWh	68 714,61 Kč
Systémové služby			1 733,59 Kč
Plat za distribuci			33 329,33 Kč
POZE			7 558,61 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRINU	114 305,30 Kč		
Výkup elektřiny	189,198	MWh	340 555,98 Kč

Tabulka 25: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model A

Obdobně jako u plynu, i v případě elektřiny se nejvíce na celkové ceně podílí silová elektřina, ale v tomto případě jen z 60 %. Velká část nákladů padne také na distribuci elektřiny. Poplatek za OTE je díky kalkulaci nezávislé na spotřebě téměř zanedbatelný. Celkové výnosy z prodeje elektřiny činí přibližně trojnásobek nákladů na nákup elektřiny. To je dobrá ukázka toho, jak velké množství elektřiny je vlastně prodáváno, protože jednotková cena na nákup elektřiny je mnohem vyšší než na výkup, ale přesto dostáváme 3x více za prodej elektřiny než za nákup.

Z pohledu servisu dostáváme jednoduchý výpočet, protože počítáme s částkou za motohodinu provozu.

$$C_{servis} = C_{s-j.c} \cdot mth = 30 \cdot 10\,228 = 306\,840,00 \text{ Kč} \quad (13)$$

Náklady na nákup plynu	1 935 492,91 Kč
Náklady na nákup elektřiny	114 305,30 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-340 555,98 Kč
Náklady na servis	306 840,00 Kč
Celkové roční náklady	2 016 082,24 Kč

Tabulka 26: Ekonomický přehled modelu A

Většinu nákladů činí samozřejmě náklady na plyn, druhý největší podíl na nákladech má servis KJ a nejmenší náklad činí nákup zbývající elektřiny. Vysoký zisk z prodeje elektřiny nám pokryje celé náklady na servis a část nákladů na elektřinu. Celkové roční náklady tohoto modelu včetně servisu a odečtení zisku z prodeje elektřiny tedy dávají 2 016 082,24 Kč.

23.2. Ekonomika modelu B

V modelu B uvažujeme provoz pouze jedné KJ v každém intervalu a tím větší využití kotle. Jelikož má kotel větší účinnost výroby tepla než KJ, bude to znamenat menší spotřebu plynu, ale za cenu menšího množství vyrobené elektřiny.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Komoditní složka	1 037,957	MWh	1 556 935,03 Kč
Daň ze zemního plynu			31 761,47 Kč
Cena za služby distribuční soustavy			49 936,10 Kč
Cena za činnosti operátora trhu			1 899,46 Kč
Denní rezervovaná kapacita	0,6	tis. m ³	168 710,73 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA PLYN			1 809 242,79 Kč

Tabulka 27: Náklady na nákup plynu pro model B

Díky snížené celkové spotřebě plynu s použitím pouze jedné KJ jsme si v kapitole 21.2.3 ukázali, že klesla také maximální denní spotřeba plynu. S tímto poznatkem si můžeme dovolit snížit původní hodnotu rezervované kapacity 0,65 tis. m³ na 0,6 tis. m³, bez rizika překročení. Díky tomu jsme snížili náklady na plyn ještě o dodatečných 14 059,22 Kč, a výsledné náklady na plyn tedy činí 1 809 242,79 Kč. To znamená úspora více jak 125 000 Kč oproti modelu A.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	21,099	MWh	94 947,70 Kč
Systémové služby			2 395,43 Kč
Plat za distribuci			46 053,43 Kč
POZE			10 444,25 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRINU			156 809,97 Kč
Výkup elektřiny	91,955	MWh	165 518,11 Kč

Tabulka 28: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model B

Za cenu nižších nákladů na plyn ale vzrostly náklady na nákup elektřiny na 156 809,97 Kč, což samo o sobě není příliš velký nárůst, ale spolu s tím razantně klesl zisk z prodeje elektřiny na méně než polovinu.

Díky snížení počtu motohodin také zároveň výrazně klesly náklady na servis:

$$C_{servis} = C_{s-j,c} \cdot mth = 30 \cdot 6\,767 = 203\,010,00 \text{ Kč} \quad (14)$$

Náklady na nákup plynu	1 809 242,79 Kč
Náklady na nákup elektřiny	156 809,97 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-165 518,11 Kč
Náklady na servis	203 010,00 Kč
Celkové roční náklady	2 003 544,65 Kč

Tabulka 29: Ekonomický přehled modelu B

Náklady na nákup plynu opět činí největší podíl na celkové ceně, ale podíl nákupu elektřiny vzrostl a klesl zisk z prodeje elektřiny. Výsledné roční náklady tak činí 2 003 544,65 Kč.

23.3. Ekonomika modelu C

Nyní už se dostáváme k modelům využívající bateriová uložení. Dané modely budou mít stejné náklady na plyn jako předchozí modely. V případě modelu C bude stejná spotřeba plynu, a tedy i stejné náklady na nákup plynu jako v modelu A. Spotřebuje se tedy 1 108,939 kWh plynu a náklady činí 1 935 492,91 Kč. Uvažujeme instalaci 10 kWh baterie, která se při opakovaném nabíjení a vybíjení bude pohybovat v rozmezí 10–90 %, takže má 8 kWh využitelné kapacity.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	11,359	MWh	51 115,14 Kč
Systémové služby			1 289,58 Kč
Plat za distribuci			24 792,89 Kč
POZE			5 622,66 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRINU	85 789,42 Kč		
Výkup elektřiny	185,276	MWh	333 496,34 Kč

Tabulka 30: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model C

Náklady na nákup elektřiny se ale s baterií změní. Díky baterii se sníží množství elektřiny, které je potřeba nakoupit, ale zároveň se o stejnou hodnotu sníží množství elektřiny prodané. To znamená, že úspora díky baterii bude odpovídat rozdílu mezi jednotkovou cenou nákupu a jednotkovou cenou výkupu vynásobenou uspořenou elektřinou.

Náklady na nákup plynu	1 935 492,91 Kč
Náklady na nákup elektřiny	85 789,42 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-333 496,34 Kč
Náklady na servis	306 840,00 Kč
Investiční náklady	322 352,59 Kč
Celkové roční náklady	1 994 625,9 Kč

Tabulka 31: Ekonomická přehled modelu C

Vzhledem ke stejnému množství motohodin jako v případě modelu A budou celkové náklady na servis stejné. Celkové náklady tedy klesly na 1 994 625,9 Kč, nicméně investice do bateriového uložení se zahrnutím diskontované sazby bude 322 352,59 Kč. Na návratnost a výhodnost této investice se podíváme v kapitole 24.

23.4. Ekonomika modelu D

Další model, který využívá baterii, je model D. Ten bude mít stejné náklady na nákup plynu jako model B a obdobně jako u modelu C se sníží náklady na nákup elektřiny. Výsledná kalkulace ceny je zahrnuta v tabulce 32.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	14,944	MWh	67 250,00 Kč
Systémové služby			1 696,64 Kč
Plat za distribuci			32 618,94 Kč
POZE			7 397,50 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRĚINU	111 932,24 Kč		
Výkup elektřiny	85,788	MWh	154 419,18 Kč

Tabulka 32: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model D

Servis bude opět stejný jako v případě modelu B.

Náklady na nákup plynu	1 809 242,79 Kč
Náklady na nákup elektřiny	111 932,24 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-154 419,18 Kč
Náklady na servis	203 010,000 Kč
Investiční náklady	322 352,59 Kč
Celkové roční náklady	1 969 765,85 Kč

Tabulka 33: Ekonomický přehled modelu D

U modelu D, stejně jako v případě modelu C, klesly roční náklady pod hranici 2 milionů Kč/rok. Tato úspora je ale samozřejmě limitovaná investicí do baterie.

23.5. Ekonomika modelu E

Nakonec se ještě podíváme na model E a na současný stav. Model E je stejný jako model A, ale bez zahrnutí výroby FVE. Díky tomu budeme moci zjistit, do jaké míry se FVE podílí na celkové úspoře, a tím pádem zjistíme i úsporu díky optimalizaci provozu KJ. Spotřeba plynu bude opět stejná jako v případě modelu A, náklady jsou tedy zobrazeny v tabulce 24 v kapitole 23.1.

Oproti tomu náklady na plyn se v současném stavu budou lišit. Hodnotu potřebné rezervované kapacity neznáme, ale použijeme stejnou hodnotu jako v modelu, to znamená 650 m³. Spotřebu plynu známe.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Komoditní složka	1 203,918	MWh	1 805 877,46 Kč
Daň ze zemního plynu			36 839,90 Kč
Cena za služby distribuční soustavy			57 920,51 Kč
Cena za činnosti operátora trhu			2 203,17 Kč
Denní rezervovaná kapacita	0,65	tis. m ³	182 769,95
CELKOVÉ NÁKLADY NA PLYN	2 085 611,00 Kč		

Tabulka 34: Náklady na nákup plynu za současného stavu

Díky absenci FVE bude nákup elektřiny v modelu E vyšší než u jakéhokoliv dalšího modelu, a můžeme tedy očekávat celkový nárůst nákladů. Výpočet nákladů je v tabulce 35.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	25,915	MWh	116 618,19 Kč
Systémové služby			2 942,15 Kč
Plat za distribuci			56 564,49 Kč
POZE			12 828,00 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRINU	191 921,99 Kč		
Výkup elektřiny	167,543	MWh	301 577,41 Kč

Tabulka 35: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny modelu E

Spotřebu elektřiny za současného stavu opět známe a je velice blízká spotřebě modelu E, liší se pouze o necelou jednu MWh (méně než 4% odchylka). Náklady současného stavu jsou v tabulce 36.

Položka	Množství	Jednotka	Výsledná cena
Silová elektřina	26,819	MWh	120 685,50 Kč
Systémové služby			3 044,76 Kč
Plat za distribuci			58 537,29 Kč
POZE			13 275,41 Kč
Plat za jistič	40	A	2 928,00 Kč
Poplatek OTE	12	měsíc	41,16 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ELEKTRINU	198 512,12 Kč		
Výkup elektřiny	187,965	MWh	338 337,00 Kč

Tabulka 36: Náklady na nákup elektřiny současného stavu

Náklady na servis modelu E budou stejné jako v případě modelu A, ale u současného stavu se zvýší vlivem vyššího počtu motohodin. Celkové náklady na servis tedy budou:

$$C_{servis} = C_{s-j.c} \cdot mth = 30 \cdot 10\,919 = 327\,570,00 \text{ Kč} \quad (15)$$

Nyní tedy máme všechny potřebné náklady, abychom vypočítali celkové náklady modelu E a za současného stavu.

Náklady na nákup plynu	1 935 492,91 Kč
Náklady na nákup elektřiny	191 921,99 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-301 577,41 Kč
Náklady na servis	306 840,00 Kč
Celkové roční náklady	2 132 677,49 Kč

Tabulka 37: Ekonomický přehled modelu E

Náklady na nákup plynu	2 085 611,00 Kč
Náklady na nákup elektřiny	198 512,12 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-338 337,00 Kč
Náklady na servis	327 570,00 Kč
Celkové roční náklady	2 273 356,12 Kč

Tabulka 38: Ekonomický přehled současného stavu

Vidíme, že náklady za současného stavu jsou vyšší než v případě modelu E, ale na detailnější porovnání se podíváme až v následující kapitole.

24. POROVNÁNÍ VARIANT

Na závěr tedy nezbyvá nic jiného než výsledky našich modelů porovnat, a to jak z energetického, tak hlavně z ekonomického hlediska, abychom mohli posoudit, který model je finančně nejvýhodnější.

24.1. Porovnání modelu se současným stavem

V prvé řadě je potřeba znát, kolik jsme ušetřili energie a nákladů implementováním našeho modelu. K tomu budeme porovnávat model A a model E se současným stavem. Rozdíl mezi současným stavem a modelem E nám dá informaci o tom, jaký vliv na výrobu a ekonomiku má implementace samotné optimalizace. Rozdíl mezi modely A a E nám dá informaci o tom, kolik nám ušetřila implementace již naplánované FVE.

			Současný stav	Model E	Model A
Spotřeba plynu		kWh	1 203 918,31	1 108 939,33	1 108 939,33
Vyrobené teplo z KJ		kWh	617 686,00	589 561,72	589 561,72
Vyrobené teplo z kotle		kWh	77 520,00	105 521,83	105 521,83
Vyrobená elektřina z KJ		kWh	323 939,00	304 420,85	304 420,85
Z toho:	spotřebovaná v penzionu	kWh	135 974,00	136 877,85	115 223,09
	prodaná do sítě	kWh	187 965,00	167 543,01	189 197,77
Nákup elektřiny		kWh	26 819,00	25 915,15	15 269,91
Maximální denní spotřeba		tis. m ³	-	0,58829	0,58829
Počet motohodin (celkem KJ1+KJ2)		mth	10 919,00	10 228,00	10 228,00
Max. denní počet startů jedné KJ		-	19	3	3

Tabulka 39: Energetické porovnání modelu A a modelu E se současných stavem

Podíváme-li se na odlišnosti mezi současným stavem a modelem E, všimneme si hned několika zásadních rozdílů. Za prvé, hlavní cíl optimalizace byl dosažen, počet startů klesl z 19 na pouhé 3, což znamená mnohem ekonomičtější provoz. Společně s tím klesl počet provozních hodin (motohodin) KJ. S tím samozřejmě klesla i výroba tepla a elektřiny z KJ na úkor většího množství vyrobeného tepla z kotle. Jelikož ale kotel vyrobí větší množství tepla než KJ ze stejného množství plynu, snížila se tak celková roční spotřeba plynu, přičemž zůstala téměř přesně zachována spotřeba elektřiny vyrobené z KJ přímo v penzionu a s tím související nákup zbývajících elektřiny ze sítě. Toto můžeme brát jako potvrzení reálnosti modelu, protože jsme se s reálným stavem potkali velice blízce i v datech, která byla zcela vytvořena modelem.

Díky optimalizaci jsme tak ušetřili téměř 95 MWh plynu za cenu snížení množství prodané elektřiny přibližně o 20,4 MWh. Důležité tedy je, jaký vliv má tento krok na výsledné náklady. Na to jsme se podívali v tabulce 40, kde vidíme, že na prodeji elektřiny do sítě ztrácíme skoro 37 000 Kč, ale naopak na nákladech za plyn ušetříme 150 000 Kč a zároveň ušetříme skoro 21 000 Kč na servisu díky nižším motohodinám. Toto sice nezahrnuje potřebu častějšího servisu kotle díky jeho většímu provozu, ale vzhledem k velikosti úspory se dá s jistotou říct, že tyto chybějící náklady nezmění fakt, že modelový provoz bude vycházet výhodněji než současný provoz.

	Současný stav	Model E	Model A
Náklady na nákup plynu	2 085 611,00 Kč	1 935 492,91 Kč	1 935 492,91 Kč
Náklady na nákup elektřiny	198 512,12 Kč	191 921,99 Kč	114 305,30 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-338 337,00 Kč	-301 577,41 Kč	-340 555,98 Kč
Náklady na servis	327 570,00 Kč	306 840,00 Kč	306 840,00 Kč
Celkové roční náklady	2 273 356,12 Kč	2 132 677,49 Kč	2 016 082,24 Kč

Tabulka 40: Ekonomické porovnání modelu E a modelu A se současným stavem

Optimalizace provozu nám tedy ušetřila 140 678,62 Kč/rok, a to bez uvažování FVE. Porovnáme-li model E ještě s modelem A, který uvažuje instalovanou FVE, dostaneme společně s výhodami modelu E ještě úsporu v podobě snížení nákupu elektřiny ze sítě a zároveň vyššího prodeje přebytečné elektřiny. Finančně se to projeví ještě dodatečnou úsporou 116 595,26 Kč. Podíváme-li se na to procentuálně, optimalizace provozu KJ nám ušetřila 6,19 % původních nákladů a z nové ceny nám ještě dalších 5,47 % ušetřila instalovaná FVE. Samotná optimalizace provozu KJ má tedy dle našeho modelu ještě o trochu větší vliv na finanční úsporu než instalovaná FVE, a to bez potřeby investičních nákladů (vyjma nákladů na projekt a případný vývin řídicího softwaru).

24.2. Porovnání modelů A–D

Nyní už víme, že nám náš optimalizovaný model pomůže ušetřit jak spotřebu plynu, tak celkové roční náklady. Je otázkou, která ze 4 variant vychází nejlépe. Podíváme se na porovnání těchto 4 variant stejným stylem, jako jsme v předchozí kapitole porovnávali model A a model E se současným stavem.

		Model A	Model B	Model C	Model D	
Spotřeba plynu	kWh	1 108 939,33	1 037 956,69	1 108 939,33	1 037 956,69	
Vyrobené teplo z KJ	kWh	589 561,72	389 943,99	589 561,72	389 943,99	
Vyrobené teplo z kotle	kWh	105 521,83	305 106,09	105 521,83	305 106,09	
Vyrobená elektřina z KJ	kWh	304 420,85	201 348,01	304 420,85	201 348,01	
Z toho:	místní spotřeba	kWh	115 223,09	109 393,51	119 145,11	115 559,58
	prodaná do sítě	kWh	189 197,77	91 954,50	185 275,75	85 788,43
Nákup elektřiny	kWh	15 269,91	21 099,49	11 358,92	14 944,44	
Maximální denní spotřeba	tis. m ³	0,58829	0,54035	0,58829	0,54035	
Počet motohodin (KJ1+KJ2)	mth	10 228,00	6 767,00	10 228,00	6 767,00	
Max. počet startů jedné KJ	-	3	3	3	3	

Tabulka 41: Energetické porovnání modelů

Při porovnávání těchto 4 modelů musíme brát na vědomí, že KJ jsou provozovány stejně v modelu C jako v modelu A, a stejně tak v modelu D jako v modelu B. Spotřeba plynu, vyrobené teplo z KJ/kotle, vyrobená elektřina z KJ, počty motohodin, startů a maximální denní spotřeby jsou tedy vždy stejné v obou dvojicích. Z toho vidíme, že dvojice B, D má nižší spotřebu plynu o zhruba 6,4 %, výroba tepla se přesune více na kotel, čímž dojde ke snížení motohodin KJ o 34 % a zároveň snížení množství vyrobené elektřiny o téměř stejnou hodnotu.

Čím se od sebe pak ale dvojice liší, je nakládání elektřinou. Zatímco v modelu A se počítá s nákupem elektřiny ze sítě 15 269,91 kWh, což odpovídá 9,38 % celkové spotřeby elektřiny, model C počítá s nákupem jen 11 358,92 kWh, což odpovídá 6,98 % celkové spotřeby. V případě dvojice B, D nákup u modelu B odpovídá 12,96 % celkové spotřeby a u modelu D 9,18 % spotřeby. V případě dvojice B, D jsme tedy instalováním baterie ušetřili nejen více elektřiny než v případě

dvojice A, C, ale model D má dokonce nižší nákup elektřiny než model A, který uvažuje provoz obou KJ.

Obdobně můžeme porovnat dvojice z pohledu nakládání s elektřinou vyrobenou z KJ. Uvažujeme, že elektřina vyrobená z FVE se vždy spotřebuje, a prodaná elektřina tak vždy pochází z KJ. V případě modelu A je procento vyrobené elektřiny spotřebované přímo v penzionu jen 37,85 %, to znamená, že většinu vyrobené elektřiny prodáváme do sítě. Instalace bateriového uložení v tomto ohledu příliš nepomohla, protože se procento zvýšilo jen na 39,14 % celkové vyrobené elektřiny, z toho vyplývá nárůst tedy jen o méně než 1,5 procentního bodu. V případě modelu B se ovšem díky snížení provozu KJ vyšplhalo procento místního využití vyrobené elektřiny na 54,33 %, takže v tomto případě už můžeme říct, že nadpoloviční většinu elektřiny z KJ spotřebujeme přímo v penzionu. Instalace bateriového uložení tuto hodnotu ještě zvýší na 57,39 %, to znamená nárůst lehce přes 3 procentní body.

Nejdůležitějším aspektem je ale ekonomické porovnání těchto variant. Kapitole 24 jsme podrobně vypočítali náklady na energie spojené s provozem KJ a kotle, stejně tak jako náklady na servis a metodu výpočtu investičních nákladů. Výsledky jsme porovnali v tabulce 42.

	Model A	Model B	Model C	Model D
Nákup plynu	1 935 492,91 Kč	1 809 242,79 Kč	1 935 492,91 Kč	1 809 242,79 Kč
Nákup elektřiny	114 305,30 Kč	156 809,97 Kč	85 789,42 Kč	111 932,24 Kč
Zisk z prodeje elektřiny	-340 555,98 Kč	-165 518,11 Kč	-333 496,34 Kč	154 419,18 Kč
Servis	306 840,00 Kč	203 010,00 Kč	306 840,00 Kč	203 010,00 Kč
Investiční náklady	0 Kč	0 Kč	322 352,59 Kč	322 352,59 Kč
Celkové roční náklady	2 016 082,24 Kč	2 003 544,65 Kč	1 994 625,99 Kč	1 969 765,85 Kč
Úspora optimalizací	-140 678,62 Kč	-153 216,21 Kč	-162 134,87 Kč	-186 995,02 Kč
Úspora díky baterii	0 Kč	0 Kč	21 456,24 Kč	33 778,80 Kč
Návratnost investice	-	-	15,02 let	9,54 let

Tabulka 42: Ekonomické porovnání modelů

Výsledné ekonomické zhodnocení v tabulce 42 nám dává zajímavé výsledky. Původním modelem jsme dokázali snížit náklady optimalizací provozu o 116 595,26 Kč (to nezahrnuje úsporu díky instalované FVE, celková úspora včetně FVE je oproti současnému stavu 257 273,88 Kč). Model B tuto úsporu ještě o trochu zvýšil, konkrétně o 12 537,59 Kč. Vrátime-li se ale do kalkulací ceny za plyn pro modely A a B, všimneme si, že rozdíl v těchto nákladech skoro odpovídá úspoře díky snížení rezervované kapacity. Pokud bychom u modelu B nechali původních 650 m³, vyšly by dokonce roční náklady ještě mírně vyšší než v případě modelu A.

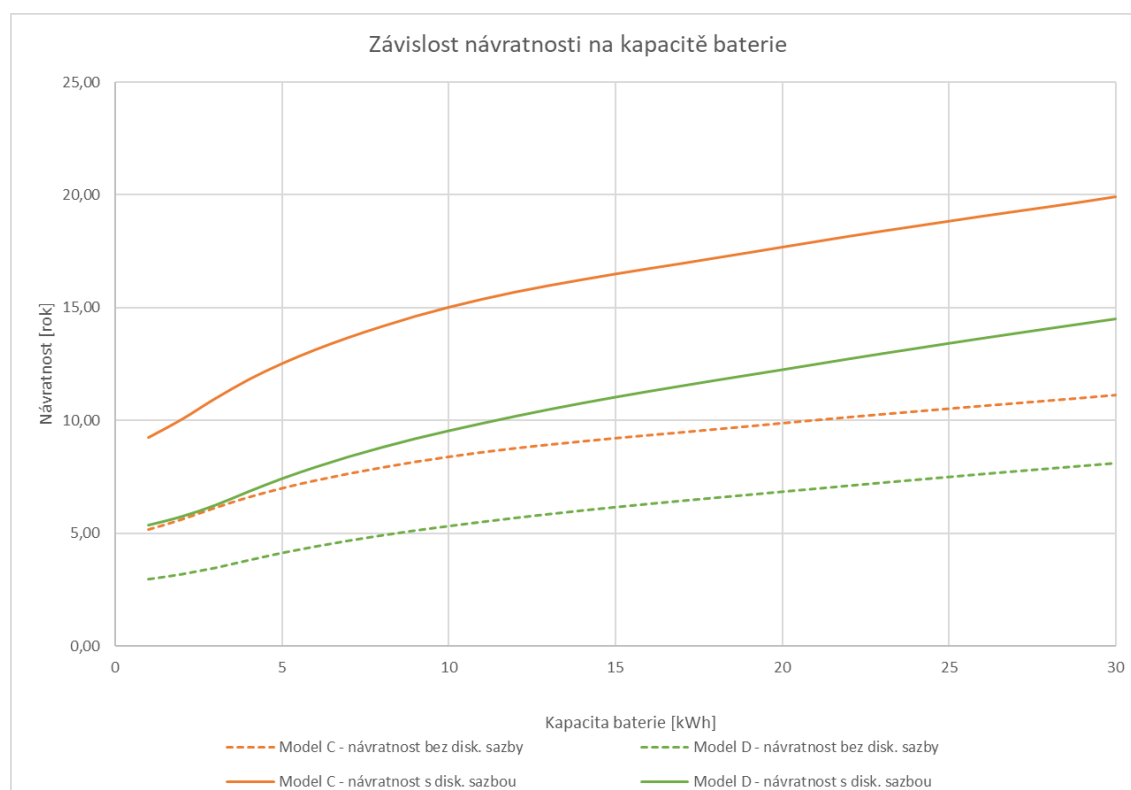
Důležité je také podotknout, že model B počítá s nižšími náklady na servis KJ díky snížení počtu motohodin. Zároveň ale model B uvažuje větší zapojení kotle do výroby celkového tepla, a tudíž častější provoz kotle, z čehož plyne častější servis kotle. Množství vyrobeného tepla z kotle a tím pádem i přibližný počet provozních hodin se v modelu B téměř trojnásobily oproti modelu A. V práci jsme nepočítali s náklady na servis kotle, proto nemůžeme s jistotou říct, že je model B výhodnější, přestože nám z našich výsledků výhodněji vychází. Na rozdíl od porovnávání současného stavu a modelu A/E, kde jsme také neuvažovali náklady na servis kotle, je zde rozdíl mezi variantami příliš malý.

S bateriovým uložení to bohužel velký úspěch není. V případě modelu C, kdy jsme aplikovali 10 kWh uložení na model s využitím obou KJ jednotek, jsme dostali návratnost investice lehce přes 15 let. Jelikož uvažujeme životnost bateriového uložení zhruba 10 let, můžeme s jistotou říct, že v tomto případě se bateriové uložení nevyplatí, alespoň ne v této velikosti. U modelu D je návratnost o něco lepší. Při stejné velikosti uložení 10 kWh jsme dostali

návratnost 9,54 let, což sice znamená, že by se nám investice vrátila, ale až v posledním roce její životnosti. Z toho vyplývá potenciální risk, že bychom mohli na této investici také ztratit, například v případě změn cen nebo zhoršení kapacity uložistiště v průběhu její životnosti (které jsme v našem modelu neuvažovali).

24.3. Vliv kapacity bateriového uložistiště na návratnost investice

S námi počítanou kapacitou bateriového uložistiště 10 kWh jsme nedosáhli příliš dobrých výsledků. V případě modelu C návratnost značně překročila životnost uložistiště a v případě modelu D se návratnost jen těsně vešla pod životnost. Jak se ovšem tato návratnost změní, pokud bychom uvažovali jinou velikost baterie? Na tuto otázku jsme chtěli najít odpověď, proto jsme modely C a D přepočítali pro kapacity v rozmezí od 1 do 30 kWh a závislost návratnosti jsme zanesli do grafu 18.



Graf 18: Závislost návratnosti na kapacitě baterie

Z grafu vyplývá jednoduchý výsledek: hodnota návratnosti je přímo úměrná kapacitě. Z toho plyne, že čím menší kapacita baterie, tím výhodnější tato investice bude. Pokud bychom neuvažovali diskontovanou cenu, byl by model D ekonomicky výhodný i pro kapacity vyšší než 30 kWh a model C by byl výhodný pro kapacity do 20 kWh. Uvažujeme-li ale diskontované ceny, je model C nevýhodný pro téměř jakékoli kapacity, vyjma velmi nízkých kapacit okolo 1 kWh, a to pravděpodobně jen z důvodu stylu našeho výpočtu investice, kdy máme fixní cenu za instalovanou kWh (reálně bude pro velmi malé baterie cena za kWh vyšší kvůli nákladům na instalaci). Model D, který oproti tomu zůstává teoreticky ekonomicky návratný i s námi počítanou kapacitou 10 kWh, má reálný potenciál pro baterie zhruba do hodnoty 10 kWh. Například s baterií s kapacitou 5 kWh se pohybujeme na návratnosti mezi 7 a 8 lety, což už stojí za zvážení. Model C tak můžeme téměř s jistotou zavrhnout, protože reálná návratnost tam neexistuje pro žádné kapacity. Model D zůstává jako reálná možnost.

25. ZÁVĚR

V úvodu jsme stanovili hlavní cíl této práce: optimalizovat provoz KJ, abychom zefektivnili současný stav a dosáhli reálných úspor. K tomuto úkolu jsme vytvořili několik výpočtových modelů pomocí Microsoft Excel. Nejprve bylo potřeba na základě dostupných odečtů vytvořit roční profil spotřeb elektřiny a tepla a k tomu vytvořit model výroby elektřiny z instalované FVE o výkonu 34 kWp. Vytvořili jsme modely v časových intervalech po 15 minutách, a dostali tak v každém intervalu spotřeby elektřiny a tepla a k tomu vyrobenou elektřinu z FVE. Z těchto modelů jsme dostali množství elektřiny a tepla, které je v každém intervalu potřeba pokrýt výrobou z KJ a kotle (v případě nedostatku vyrobené elektřiny lze nakupovat ze sítě). Na základě několika předpokladů a mnoha námi požadovaných podmínek, které chceme, aby systém dodržoval, jsme vytvořili vzorce pro obě KJ a kotel, které určují, zda bude KJ/kotel v daném intervalu v provozu, nebo ne.

Pomocí námi vytvořeného modelu se nám hlavního cíle podařilo dosáhnout. Díky optimalizaci jsme snížili maximální počet celkových denních startů na jednu KJ z 19 (z celkově 38 na obě KJ) na pouhé 3 starty pro jednu KJ (6 dohromady). Toto snížení počtu startů je důsledkem správně nastavených podmínek, které kontrolují teploty v akumulačních nádržích a aktuální potřebu tepla a vyhodnocují, zda je potřeba KJ zapnout a jestli bude po spuštění moci zůstat v provozu alespoň po dobu jedné hodiny.

Díky snížení startů a lehkému přenesení zátěže výroby tepla z KJ na kotel jsme dosáhli snížení spotřeby plynu (v současném stavu vyrobil kotel pouze 11,15 % celkového tepla, zatímco v našem základním modelu vyrobil 15,18 % celkového tepla). Zároveň jsme dosáhli finanční úspory přes **250 000 Kč/rok** v kombinaci s FVE. Vytvořený model nám zároveň dovolil prozkoumat i možnost bez využití FVE, kdy se úspora rovnala přibližně **140 000 Kč/rok**, které lze připsat jako úspory dosažené pouze optimalizací.

Společně se základním modelem, který uvažoval obdobný stav jako v současnosti, kdy jsou v provozu obě KJ a kotel, jen s přidanou instalací FVE, jsme vytvořili ještě další 3 modely, které zkoumaly výhodnost provozu pouze jedné KJ anebo instalaci bateriového uložení. Všechny dané modely jsme prozkoumali a vyhodnotili stejným způsobem jako základní model. Z našich výsledků jsme zjistili, že provoz pouze jedné z KJ je pro penzion výhodnější než provoz obou KJ z hlediska úspory paliva. Z hlediska finančních nákladů je to ovšem složitější. Přestože jsme dostali v tomto modelu vyšší úsporu, model nepočítal s cenou za servis kotle (pouze servis KJ) a výsledný cenový rozdíl je tak malý, že častější servis kotle zvrátí výhodnost ve prospěch prvního modelu s provozem obou KJ.

Použití bateriového uložení se v případě aplikace na základní model neosvědčilo a nevyplatilo by se bez ohledu na kapacitu. V případě aplikace na model s provozem jedné KJ jednotky se ale doba návratnosti dostala pod hranici životnosti bateriového uložení, pokud použijeme uložení menší než 10 kWh, pro větší kapacity už je úspora na nákupu elektřiny příliš nízká oproti investičním nákladům.

Závěrem tedy lze říct, že optimalizace provozu byla úspěšná a podařilo se snížit náklady oproti současnému stavu. Z námi zkoumaných variant/modelů bude nejvýhodnější s minimem rizik model A, tedy model, který uvažuje provoz obou KJ. Použití bateriového uložení je vždy nevýhodné při použití s provozem obou KJ, ale může být výhodné při provozu pouze jedné KJ a pořízení baterie pouze s malým uložení. V případě velikosti uložení platí čím menší, tím lepší.

26. ZDROJE

- [1] TEDOM. Kogenerační jednotky - Přehled vyráběných typů. 2021.
- [2] PAVLÍČEK, Jan. *Projekty s kogeneračními jednotkami TEDOM* [firemní prezentace]. 2016.
- [3] PAROPLYNOVÁ ELEKTRÁRNA. In: *Svět Energie* [online]. 2020 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/plynove-a-paroplynov-elektrarny/paroplynova-elektrarna>
- [4] Jak to funguje. In: *Pražská Teplárenská* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/jak-to-funguje/>
- [5] NEUŽIL, Martin. *Výtopny a parní teplárny* [prezentace]. 2014.
- [6] Trigenerace. In: *Sokra* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.sokra.cz/trigenerace>
- [7] NEUŽIL, Martin. *Tepelné zdroje soustav CZT* [prezentace]. 2014.
- [8] Cena emisní povolenky (EUA). In: *O Energetice* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/emisni-povolenka>
- [9] War in Ukraine. In: *Global Conflict Tracker* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/conflict-ukraine>
- [10] PXE - Zemní plyn - ceny a grafy PXE zemního plynu, vývoj ceny PXE zemního plynu 1 MWh - 1 rok - měna CZK. In: *Kurzy.cz* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/pxe-zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/1MWh-czk-1-rok>
- [11] GRIM, Jakub. Evropské plány na život bez ruského plynu. Spoléhání na LNG, jádro i úspory, část zemí opět pálí uhlí. In: *IROZHLAS.cz* [online]. Praha: iROZHLAS.cz, 2022 [cit. 2022-09-07]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/rusky-plyn-energetika-energie-uhli-mazut-jadro-analyza_2208150500_jgr
- [12] Aplikace Zobrazování on-line toků do domácí zóny. In: *Pražská Plynárenská Distribuce* [online]. 2023 [cit. 2023-10-09]. Dostupné z: <https://www.ppdistribuce.cz/online-toky/>
- [13] Kdy začíná topná sezóna a jak během ní topit v bytě nebo rodinném domě?. In: *Skupina ČEZ* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/vytapeni/kdy-zacina-topna-sezona-a-jak-behem-ni-topit-v-byte-nebo-rodinnem-dome-174111>
- [14] *Energetický regulační Věštník*. In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2021, Ročník 21, Částka 8/2021.
- [15] *Energetický regulační Věštník*. In: . Jihlava, 2023, Ročník 23, Částka 8/2021.
- [16] TRÁVNÍČEK, Petr a Zbyšek KARAFIÁT. Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. *Biom.cz* [online]. 2009 [cit. 2022-09-07]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>
- [17] SOUČEK, Stanislav. TEDOM. *Kogenerační jednotky MICRO*. Třebíč, 2013. Interní dokument.
- [18] SOUČEK, Stanislav. TEDOM. *Kogenerační jednotky projekční podklady*. Třebíč, 2013. Interní dokument.
- [19] KRAWCZYK, Dorota Anna, ed. *Buildings 2020+* [online]. 1. Vilnius: Printing House of Bialystok Univesity of Technology, 2019 [cit. 2022-09-07]. ISBN 978-83-65596-72-7. Dostupné z: <https://pb.edu.pl/oficyna-wydawnicza/wp-content/uploads/sites/4/2019/02/Buildings-2020-part2-04-02-2019.pdf>
- [20] SOUČEK, Stanislav. TEDOM. *Kogenerační jednotky*. Třebíč, 2013. Interní dokument.
- [21] TEDOM. *Paliva pro KJ, vlastnosti, omezení*. Třebíč, 2014. Interní dokument.

- [22] PALMER, Gary. Mathane Number. *Journal of Natural Gas Engineering* [online]. 2017, 2(2), 134-142 [cit. 2022-09-07]. ISSN 2379-2884. Dostupné z: doi:10.7569/JNGE.2017.692506
- [23] MWM. *Přípustné alternativní plyny ke spouštění bioplynových zařízení*. Mannheim, 2009. Technický oběžník, Interní dokument.
- [24] NEUŽIL, Martin. *Kogenerační jednotky se spalovacím motorem*. Praha, 2021.
- [25] Dálkový monitoring kogeneračních jednotek. In: *TEDOM* [online]. Třebíč: TEDOM a.s., 2022 [cit. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/servis/dalkovy-monitoring-kogeneracnich-jednotek/>
- [26] PORUCHY SPALOVÁNÍ U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ. In: *SZAKAL METAL* [online]. Brno: SZAKAL METAL s.r.o., 2022 [cit. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://www.motordily.cz/poruchy-spalovani-u-zazehovych-motoru/>
- [27] TEDOM. *Detonační spalování*. Třebíč, 2013. Interní dokument.
- [28] KOZA, Václav a Libor ČAPLA. Změny složení plynu distribuovaného v ČR. In: *Tzb-info* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/25237-zmeny-slozeni-plynu-distribuvaneho-v-cr>
- [29] RYVOLA, Stanislav. PROTOKOL průměrných hodnot jakostních znaků zemního plynu na předávacích stanicích mezi NET4GAS, s. r. o. a PPD, a. s. dle předávacího protokolu. In: *Pražská Plynárenská Distribuce* [online]. 2022 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.ppdistribuce.cz/distribucni-soustava/hodnoty-spalneho-tepla-line-toku-jakostnich-znaku>
- [30] RYVOLA, Stanislav. PROTOKOL průměrných hodnot jakostních znaků zemního plynu na předávacích stanicích mezi NET4GAS, s. r. o. a PPD, a. s. dle předávacího protokolu. In: *Pražská Plynárenská Distribuce* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.ppdistribuce.cz/distribucni-soustava/hodnoty-spalneho-tepla-line-toku-jakostnich-znaku>
- [31] TEPLÁ, Kateřina. Josef Jeleček měl více plánů, vyhrál ale TEDOM. In: *Energy-Hub* [online]. Praha: Energy-Hub, 2016 [cit. 2022-09-07]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20170113145601/http://cz.energyhub.eu/pro-energy/12732-josef-jelecek-mel-vice-planu-vyhral-ale-tedom>
- [32] TEDOM. *Technická specifikace - datový list: MICRO 30*. Třebíč, 2022. Interní dokument.
- [33] TEDOM. *Strojní část KJ, hlavní části, funkce* [firemní prezentace]. Třebíč, 2014. Interní dokument.
- [34] FEJGL, David. Historie podniku Liaz. In: *Liaz.cz* [online]. 2010 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <http://liaz.cz/historie.php>
- [35] Stacionární motory. In: *Tedom Motory* [online]. 2021 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.tedom-engines.com/stacionarni-motory/>
- [36] Ocenění za dlouhodobou spolupráci od MWM. In: *TEDOM* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/oceneni-za-dlouhodobou-spolupraci-od-mwm/>
- [37] MWM. *Power plants layout: with gas engines (Planning notes and assembly notes)*. 2022-07. 2022. Dostupné také z: https://www.mwm.net/files/upload/mwm/issuu/Power-plants-layout-MWM-07-2022_en.pdf
- [38] Kulový ventil. In: *Gumex* [online]. 2021 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/slovník-pojmu/kulovy-ventil-75>
- [39] KOLSTAD, Charles. Ball Valve - How They Work. In: *Tameson* [online]. 2016 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://tameson.com/pages/ball-valve-introduction>
- [40] Kulové kohouty. In: *BOLA* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/poradna/kulove-kohouty>

- [41] Co jsou zač elektromagnetické ventily?. In: *BOLA* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/poradna/co-jsou-zac-elektromagneticke-ventily>
- [42] TEDOM. *KOGENERACE: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*. 2023-10. 2023. Dostupné také z: <https://www.tedom.com/wp-content/uploads/2023/10/Brozura-kogenerace.pdf>
- [43] Informace o legionelle. In: *Legionella* [online]. 2016 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://legionella.cz/o-legionelle/>
- [44] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. In: . 2018, ročník 2004, číslo 252.
- [45] Montáž a instalace fotovoltaiky: Cena, návratnost, dotace 2023. In: *Smart Phoenix Renewable Energy* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.smartphoenix.cz/poradna/montaz-a-instalace-fotovoltaiky-cena-navratnost-dotace-2023>
- [46] CRAMER, Kristen. Solar battery storage system cost. In: *Home Guide* [online]. 2023 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://homeguide.com/costs/solar-battery-storage-system-cost>
- [47] Cost of Residential Electricity Storage Battery Per kWh. In: *BSL* [online]. 2021 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.bsl-battery.com/cost-of-residential-electricity-storage-battery-per-kwh.html>

27. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Budova penzionu.....	16
Obrázek 2: Kotelna: 2 kogenerační jednotky TEDOM MICRO 30 a plynový kotel (vpravo)	17
Obrázek 3: Princip úspory paliva použitím KJ [2]	18
Obrázek 4: Schéma trigenerace s teplovodní absorpční chladicí jednotkou [2]	18
Obrázek 5: Schéma trigenerace se spalínovou absorpční chladicí jednotkou [2]	19
Obrázek 6: Graf nákupu plynu z USA (v podobě LNG) a plynu z Ruska [11]	20
Obrázek 7: Princip spalování kapalných paliv [23]	24
Obrázek 8: Porovnání složení plynu z ledna 2022 (vlevo) [29] a listopadu 2023 (vpravo) [30] ..	26
Obrázek 9: Porovnání metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023 podle softwaru MAN.....	27
Obrázek 10: Porovnání metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023 podle softwaru CAT	28
Obrázek 11: Štítek KJ v pensionu Na Chmelnici	30
Obrázek 12: Schéma KJ [33]	31
Obrázek 13: Podrobnější schéma KJ [33]	32
Obrázek 14: Motory používané v KJ TEDOM. KUBOTA (vlevo), TGE (vpravo) [17] [33].....	33
Obrázek 15: Technický výkres KJ TEDOM MICRO 30 [18]	34
Obrázek 16: Schéma spalínové trasy [20]	35
Obrázek 17: Schéma primárního okruhu [20]	35
Obrázek 18: Schéma sekundárního okruhu [20]	36
Obrázek 19: Kulový ventil [39] a solenoidový ventil [41]	37
Obrázek 20: Základní modul pro KJ CENTO [42]	39
Obrázek 21: Provedení s protihlukovým krytem KJ CENTO [42]	39
Obrázek 22: Kontejnerové provedení obsahující 2 moduly KJ CENTO [42]	40
Obrázek 23: spotřeby plynu a výroba energií v čase minima.....	57
Obrázek 24: Porovnání spotřeby elektřiny dle modelu s reálnou naměřenou spotřebou	59

28. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled zelených bonusů pro rok 2022 [14]	21
Tabulka 2: Přehled zelených bonusů pro rok 2024 [15]	21
Tabulka 3: Porovnání oktanového a metanového čísla ZP z ledna 2022 a ZP z listopadu 2023 .	28
Tabulka 4: Technické parametry KJ MICRO T33 [32]	29
Tabulka 5: Technické parametry KJ MICRO 30 [32]	30
Tabulka 6: Přehled emisí pro KJ MICRO 30 [32].....	31
Tabulka 7: Vlastnosti generátoru KJ [17]	38
Tabulka 8: Chování bakterií legionelly v závislosti na teplotě vody [43]	41
Tabulka 9: Celková spotřeba elektřiny v penzionu	54
Tabulka 10: Celková vyrobená elektřina z KJ	54
Tabulka 11: Průměrné účinnosti v jednotlivých měsících	56
Tabulka 12: Rozdělení spotřeb elektřiny pro leden	58
Tabulka 13: Rozdělení spotřeb elektřiny pro srpen	59
Tabulka 14: Rozdělení úrovně potřeby tepla	63
Tabulka 15: Energetický přehled modelu A	67
Tabulka 16: Energetický přehled modelu B	68
Tabulka 17: Energetický přehled modelu C	70
Tabulka 18: Energetický přehled modelu D	71
Tabulka 19: Energetický přehled modelu E.....	72
Tabulka 20: Energetický přehled současného stavu	72
Tabulka 21: Koeficienty pro výpočet jednotkové ceny za rezervovanou kapacitu	74
Tabulka 22: Jednotkové ceny za plyn pro střední odběry.....	74
Tabulka 23: Jednotkové ceny za elektřinu	75
Tabulka 24: Náklady na nákup plynu pro model A	77
Tabulka 25: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model A	77
Tabulka 26: Ekonomický přehled modelu A.....	77
Tabulka 27: Náklady na nákup plynu pro model B.....	78
Tabulka 28: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model B.....	78
Tabulka 29: Ekonomický přehled modelu B.....	78
Tabulka 30: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model C.....	79
Tabulka 31: Ekonomická přehled modelu C.....	79
Tabulka 32: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny pro model D	80
Tabulka 33: Ekonomický přehled modelu D	80
Tabulka 34: Náklady na nákup plynu za současného stavu	80
Tabulka 35: Náklady na nákup elektřiny a zisk z prodeje elektřiny modelu E	81
Tabulka 36: Náklady na nákup elektřiny současného stavu	81
Tabulka 37: Ekonomický přehled modelu E	81
Tabulka 38: Ekonomický přehled současného stavu	81
Tabulka 39: Energetické porovnání modelu A a modelu E se současných stavem.....	82
Tabulka 40: Ekonomické porovnání modelu E a modelu A se současným stavem.....	83
Tabulka 41: Energetické porovnání modelů	83
Tabulka 42: Ekonomické porovnání modelů.....	84

29. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Porovnání průběhu spotřeby TUV o víkendu a ve všední den	44
Graf 2: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném březnovém dni	45
Graf 3: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném dubnovém dni	46
Graf 4: Spotřeba plynu na různých zdrojích v měřeném říjnovém dni	46
Graf 5: Porovnání celkové potřeby tepla v měřených dnech	47
Graf 6: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném březnovém dni.....	48
Graf 7: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném dubnovém dni	48
Graf 8: Zdroje vyrobeného tepla v měřeném říjnovém dni	49
Graf 9: Přehled potřeby tepla pro měřené dny.....	49
Graf 10: Přehled využití příkonu KJ v měřeném březnovém dni.....	50
Graf 11: Přehled využití příkonu KJ v měřeném dubnovém dni.....	50
Graf 12: Přehled využití příkonu KJ v měřeném říjnovém dni.....	51
Graf 13: Celková spotřeba elektřiny a tepla v měřeném březnovém dni	51
Graf 14: Celková potřeba elektřiny a tepla v měřeném dubnovém dni.....	52
Graf 15: Celková potřeba elektřiny a tepla v měřeném říjnovém dni.....	52
Graf 16: Porovnání požadovaného teplotenského modulu v měřených dnech s teplotenským modulem KJ	53
Graf 17: Závislost nákupu elektřiny na kapacitě baterie	69
Graf 18: Závislost návratnosti na kapacitě baterie.....	85

30. SEZNAM PŘÍLOH (CD)

Příloha 1	Sklář_DP_FVE_model
Příloha 2	Sklář_DP_Návratnost FVE
Příloha 3	Sklář_DP_Model A,C
Příloha 4	Sklář_DP_Model B,D
Příloha 5	Sklář_DP_Model E