

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2024

**MICHAL
ANDRONÍK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Androník** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **483255**
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:

Návrh alternativních zdrojů energie pro zlepšení energetické bilance ohřevu teplé vody v penzionu

Název diplomové práce anglicky:

Alternative energy sources design for pension hot water energy balance improving

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte diplomovou práci na výše uvedené téma, která bude obsahovat:

- 1) Základní popis budovy penzionu, jeho energetických zdrojů (kotelna) a jejich provozu v letním období,
- 2) Rešerše alternativních zdrojů energie na využití energie slunečního záření, které se dají použít v penzionu na předehřev/ohřev teplé vody - fotovoltaické (FV) kolektory, fototermální (FT) kolektory, FVT hybridní kolektory,
- 3) Rešerše alternativních zdrojů energie na využití energie okolí, které se dají použít v penzionu na předehřev/ohřev teplé vody - tepelné čerpadlo,
- 4) Technický a ekonomický návrh alternativních zdrojů energie na využití energie slunečního záření - FV kolektory, FT kolektory, FVT hybridní kolektory a jejich optimální konfiguraci,
- 5) Technický a ekonomický návrh alternativních zdrojů energie na využití energie okolí - tepelné čerpadlo vzduch - voda a jeho optimální konfigurace,
- 6) Optimalizace provozu stávajících energetických zdrojů v kotelně penzionu pro letní provoz - 2 x kogenerační jednotky Tedom T33
- 7) Závěr - doporučení optimální varianty

Seznam doporučené literatury:

Haselhuhn R.: Fotovoltaika - budovy jako zdroj proudu, HEL, Ostrava, 2010

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **15.04.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **03.06.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2025**

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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 28.5. 2024

Bc. Michal Androník

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Michal Androník
Název BP:	Návrh alternativních zdrojů energie pro zlepšení energetické bilance ohřevu teplé vody v penzionu
Anglický název:	Alternative energy sources design for pension hot water energy balance improving
Akademický rok:	2023/2024
Ústav:	Ústav energetiky 12115
Vedoucí DP:	Ing. Martin Neužil, PhD.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 112 Počet obrázků: 26 Počet tabulek: 65 Počet grafů: 22 Počet příloh: 13
Klíčová slova:	hybridní fotovoltaicko-termický kolektor, tepelné čerpadlo, kogenerační jednotka, optimalizace, energetická úspora, investiční náklady, návratnost investice
Keywords:	hybrid photovoltaic-thermal collector, heat pump, cogeneration unit, optimization, energy savings, investment costs, return on investment
Anotace:	Diplomová práce představuje v praxi prováděnou návrhovou studii. Předmětem práce je představit 3 návrhové varianty energeticky úsporných opatření při přípravě teplé vody v reálném objektu. V rámci jednotlivých variant jsou uvedeny řešerše technologií, které jsou následně využity v navrhovaných systémech. Výstupem práce je technickoekonomické zhodnocení návrhových variant se závěrečným doporučením pro majitele objektu.
Abstract:	The diploma thesis represents a design study carried out in practice. The aim is to present 3 design variants of energy-saving measures in the preparation of hot domestic water in a real building. Within the individual variants, there are research of technologies that are subsequently used in the proposed systems. The output of the thesis is a technical-economic evaluation of the design variants with a final recommendation for the building owner.

Poděkování

Dovoluji si vyjádřit upřímné poděkování Ing. Martinu Neužilovi, Ph.D., za jeho cenné rady, vstřícný přístup a čas, který mi věnoval během mé práce na diplomovém projektu. Velký dík patří také mé rodině a blízkým, kteří mi poskytovali podporu a porozumění nejen v procesu psaní této práce, ale po celou dobu mého studia.

Obsah

1. Úvod	9
2. Řešený objekt	9
2.1 Dodávka tepla a elektrické energie	9
2.2 Popis fungování kotelny	11
2.3 Dodávka tepla od ONSite Power	13
2.4 Měření spotřeby TV v referenční dny.....	14
3. Varianta A – Hybridní FVT kolektory	16
3.1 Zvolené FVT kolektory	16
3.2 Fotovoltaické panely	16
3.2.1 Fotovoltaický panel JINKO 460 Wp	17
3.3 Solární termální kolektory	17
3.3.1 Trubicový kolektor Vitosol 300-TM	18
3.3.2 Teplonosné látky v solárních kolektorech	19
3.4 Naked Energy Ltd.....	20
3.5 VirtuPVT.....	20
3.6 Porovnání technologií.....	22
4. Varianta A – Návrh systému FVT kolektorů.....	23
4.1 Tepelné bilance teplé vody.....	23
4.1.1 Cena teplé vody dle měření.....	26
4.1.2 Cena teplé vody dle fakturace za rok 2022	27
4.2 Validace spotřeby teplé vody v penzionu.....	29
4.3 Návrh počtu FVT kolektorů.....	31
4.4 Elektrický dohřev TV	35
4.5 Energetické zisky v průběhu roku.....	36
4.5.2 Finanční úspora na přípravě teplé vody	45
4.5.3 Porovnávací solární elektrárna	47
4.6 Ekonomické zhodnocení.....	51
4.6.1 Investiční náklady FVT systému.....	51
4.6.2 Prostá doba návratnosti investice FVT systému.....	53
4.6.3 Diskontovaná doba návratnosti investice FVT systému	53
4.6.4 Ekonomické zhodnocení porovnávacího systému FV+FT.....	55
4.6.4.1 Prostá doba návratnosti investice porovnávacího systému FV+FT	55
4.6.4.2 Diskontovaná doba návratnosti investice porovnávacího systému FV+FT	56
4.7 Bilance TV v průběhu referenčního dne	57
4.8 Předběžný návrh realizace.....	58

4.9 Závěr varianty A.....	59
4.9.1 Citlivostní analýza	60
5. Varianta B – Tepelné čerpadlo	61
5.1 Princip.....	61
5.2 Historie tepelných čerpadel	62
5.3 Výrobci.....	63
5.3.1 Daikin Altherma.....	63
5.3.2 Kronoterm WP4 LF-502	64
5.4 Návrh tepelného čerpadla pro penzion.....	65
5.5 Výpočet energetické náročnosti tepelného čerpadla	65
5.5.1 Systém tepelných čerpadel	68
5.6 Ekonomické zhodnocení.....	70
5.6.1 Investiční náklady	70
5.6.2 Prostá doba návratnosti investice.....	72
5.6.3 Diskontovaná doba návratnosti investice	74
5.7 Předběžný návrh realizace.....	76
5.8 Závěr varianty B.....	77
6. Varianta C – Optimalizace stávajícího provozu	78
6.1 Analýza spotřeby tepla na přípravu TV v objektu	78
6.1.1 Fakturace tepla v penzionu	78
6.1.2 Diagram trvání potřeby tepla	79
6.2 Výkonová pružnost zdrojů.....	80
6.2.1 Parametry instalovaných KGJ	83
6.3 Návrh pokrytí potřeby tepla na ohřev TV v penzionu	84
6.3.1 Analýza KGJ v letním období	84
6.3.2 Provoz KGJ v letním období.....	86
6.4 Ekonomika varianty C.....	95
6.5 Závěr varianty C.....	95
7. Zhodnocení navrhovaných variant.....	96
7.2 Závěrečné doporučení.....	96
8. Závěr.....	97
Seznam použitých zdrojů.....	98
Seznam příloh.....	101
Přílohy.....	102

Seznam symbolů a zkratk

Symbols

t	teplota	[°C]
E	elektrická energie	[Wh]
S	plocha	[m ²]
V	objem	[m ³]
P	výkon	[W]
η	účinnost	[%]
m	hmotnost	[kg]
p	tlak	[bar]
ρ	hustota	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Q	teplo	[Wh]
G _{zář}	dopadající sluneční záření	[W/m ²]
Z	ztráty	[-]
N	náklady	[Kč]
C	cena	[Kč]
f	počet měrných jednotek	[-]
z	počet zařízení	[-]
k	koncentrační faktor	[-]
n	počet trubic	[-]
d	počet dní	[-]
δ	sluneční deklinace	[°]
M	číslo měsíce	[-]
h	výška slunce nad obzorem	[°]
τ	sluneční čas	[h]
a	sluneční azimut	[°]
I	intenzita sluneční radiace	[W/m ²]
Ú	úspora	[Kč]
T _s	doba návratnosti	[roky]

IN	investiční náklady	[Kč]
CF	roční úspora nákladů	[Kč]
SH	současná hodnota	[Kč]
BH	budoucí hodnota	[Kč]
i	diskontní faktor	[%]
COP	topný faktor	[-]
W	elektrický příkon	[Wh]
SF	současný stav nákladů	[Kč]
BF	budoucí stav nákladů	[Kč]
DCF	diskontovaná úspora	[Kč]

Zkratky

TV	teplá voda
KGJ	kogenerační jednotka
CNG	compressed natural gas (stlačený zemní plyn)
FV	fotovoltaika
FT	fototermika
FVT	fotovoltaicko-termický
DPH	daň z přidané hodnoty
DC	stejnoseměrný elektrický proud
ČSN	česká technická norma
DN	jmenovitá světlost
TČ	tepelné čerpadlo

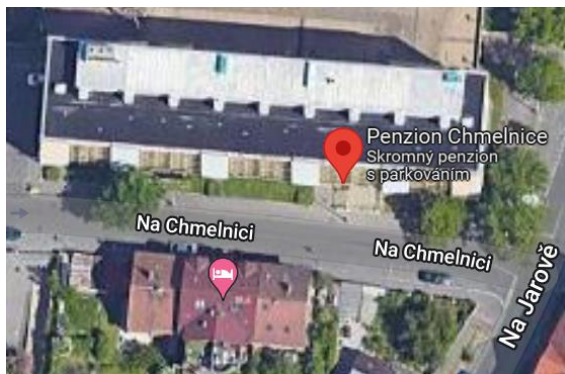
1. Úvod

V dnešní době je hlavním trendem v energetice zvyšující se cena elektřiny i dálkového tepla. Tento trend je důsledkem ekonomicko-hospodářské situace ve světě. Mnoho majitelů rodinných domů nebo větších objektů se snaží na současnou situaci reagovat investicemi do nových energetických systémů svých objektů či rekonstrukcí těch stávajících. Největší pozornost je věnována řešením, která pracují s obnovitelnými zdroji, neboť se snižují náklady na paliva a emise CO₂.

Tato diplomová práce představuje v praxi prováděnou návrhovou studii, jejímž obsahem je představení tří eventuálních variant nového energetického řešení na vylepšení energetické bilance při přípravě teplé vody v konkrétním penzionu s kapacitou 200 osob. Ve všech variantách je na základě reálných hodnot spotřeby tepla a elektrické energie navržen systém skládající se z konkrétních komponent a zařízení. Zároveň je v každém návrhu použita technologie, která spadá do kategorie obnovitelných zdrojů energie. Výstup práce je technicko – ekonomické zhodnocení na základě, kterého bude doporučena jedna z variant jako nejvýhodnější či nejproveditelnější.

2. Řešený objekt

Řešeným objektem v diplomové práci je Pension Chmelnice, který se nachází na adrese Na Chmelnici 1957/9, 130 00 Praha 3 – Žižkov. Celková kapacita penzionu činí 315 lůžek a jeho průměrná obsazenost se pohybuje okolo 187 osob. Jedná se primárně o ubytování pro déle setrvávající hosty, což bude důležitá informace z hlediska sledování energetických bilancí v průběhu dne. Pension je 6 podlažní budova s plochou střechou, jak je možno vidět na obrázku. [1, 2]



Obrázek 2 Pension Chmelnice (Google Maps) [1]



Obrázek 2.1 Pension Chmelnice (pohled z ulice) [2]

V penzionu se nachází pokoje dvojlůžkové, třílůžkové a čtyřlůžkové. Dvojlůžkové a třílůžkové pokoje disponují většinou společnou kuchyňkou a sociálním zařízením. Část pokojů má dokonce vlastní sociální zařízení a koupelnu.

2.1 Dodávka tepla a elektrické energie

Objekt je napojen na vnější distribuční síť elektrické energie, avšak není zcela závislý na vnější dodávce elektřiny. Kotelna objektu v suterénu objektu disponuje 2 kogeneračními jednotkami s výkonem 2x33 kWe a 2x64 kWt od firmy Tedom, a dále plynovým kotlem s výkonem 750 kW. Teplo z těchto zařízení se využívá k vytápění objektu a k ohřevu teplé vody. V zimním a přechodném období, kdy kogenerační jednotky nestačí na zvýšenou poptávku po teple na vytápění, je zároveň v provozu i plynový kotel. Teplo z rezervního kotle se akumuluje v zásobníku TV o objemu 500 litrů. Teplo z kogeneračních jednotek je ukládáno do 2 zásobníků otopné vody o objemu 2x5 m³ a slouží zároveň k ohřevu TV v zásobníku o objemu 400 litrů.

Kotelnu provozuje společnost OnSite Power, která se zaměřuje na provoz nezávislých zdrojů tepla a elektřiny. Firma neplatí žádné investice do rekonstrukcí kotelny, což znamená, že veškerá finanční náročnost kotelny stojí na majiteli objektu. OnSite Power dodává elektřinu a teplo do penzionu z KGJ v kotelně a majitel platí pouze za tuto dodávku, nikoli za plyn do KGJ. Majitel platí za plyn do aut (CNG) a do kotle. Na základě takto definovaných smluvních závazků má penzion alespoň část elektřiny přibližně o 30 % levnější, než je elektřina odebírána od Pražské energetiky, od které penzion vykupuje elektřinu v případě, že nejsou kogenerační jednotky v provozu. Nižší cena elektřiny je důsledkem odpadajících distribučních poplatků. [3]

Na obrázku 2.1.2 je možno vidět rozdělovač a sběrač topné vody, který slouží k vytápění celého objektu.



Obrázek 2.1 Plynový kotel a KGJ (vlevo)



Obrázek 2.1.1 Zásobník TV a rezervní zásobník TV (vpravo)

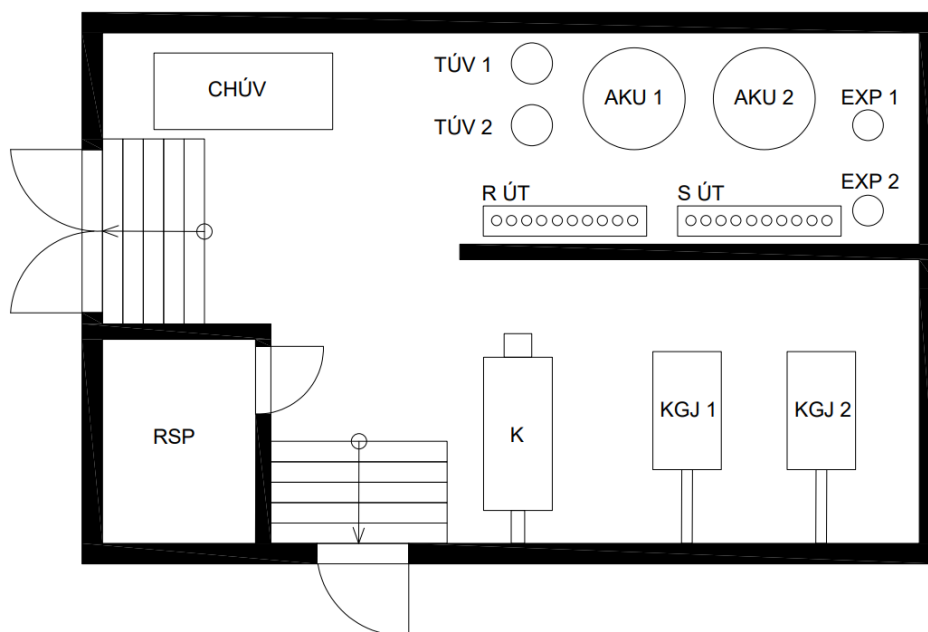


Obrázek 2.1.2 Rozvaděč a sběrač topné vody v kotelně

V současné době je pro objekt navrhována malá fotovoltaická elektrárna, která bude realizována na střeše objektu. FV elektrárna je navrhována pro pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie v penzionu. Malá elektrárna hybridních FVT kolektorů, která je v této práci navrhována, bude sloužit k pokrytí potřeb na celoroční ohřev teplé vody (TV) a spotřeby elektrické energie (cirkulační čerpadlo TV). Vzhledem ke klimatickým podmínkám v České republice, je velice výhodné hledat vhodné zařízení v oblasti vakuových trubcových kolektorů.

2.2 Popis fungování kotelny

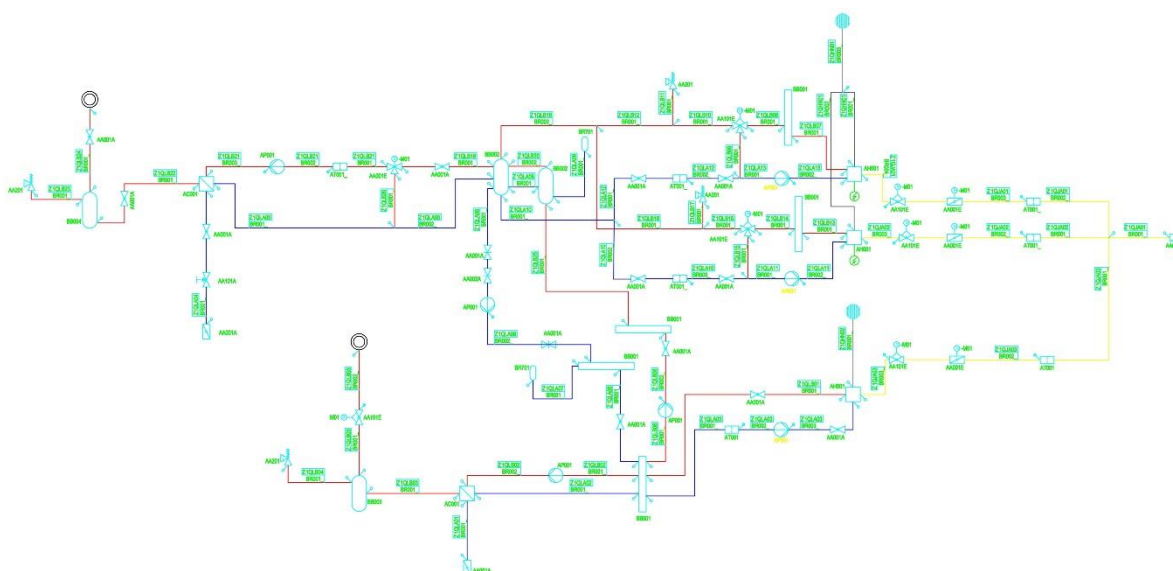
Půdorys kotelny je uveden na obrázku 2.2 a zjednodušené PI&D schéma kotelny je na obrázku 2.2.1.



Obrázek 2.2 Půdorys kotelny

Tabulka 2.2 Popis zkratk ze schématu

Značky	Popis
CHÚV	chemická úprava vody
TÚV 1	zásobník teplé vody (400 l)
TÚV 2	zásobník teplé vody (500 l)
AKU 1	akumulační nádrž topné vody (5 m ³)
AKU 2	akumulační nádrž topné vody (5 m ³)
EXP 1	expanzní nádoba
EXP 2	expanzní nádoba
S ÚT	sběrač ústředního topení
R ÚT	rozvaděč ústředního topení
KGJ 1	kogenerační jednotka
KGJ 2	kogenerační jednotka
K	kotel
RSP	regulační stanice plynu



Obrázek 2.2.1 PI&D schéma kotelny

Kogenerační jednotky i kotel spalují zemní plyn. U všech tří zařízení je plyn dodáván z vnější sítě. Plyn není nutné dále dopravovat pomocí kompresorů uvnitř kotelny, což je možno vidět na schématu na „žluté“ trase plynu. Trasa plynu se pouze skládá z hlavní klapky, filtrů, uzavíracích klapek s elektropohonem a regulačních ventilů. Z kotle a kogeneračních jednotek jsou odváděny spaliny do komínů. Komín je pro obě kogenerační jednotky jeden, narozdíl od kotle, který má jeden vlastní. Z kotle je ohřátá voda odváděna do anuloidu, odkud dále pokračuje přes čerpadlo do rozvaděče topné vody. Studená voda se do anuloidu vrací ze sběrače. Z anuloidu pokračuje ohřátá voda přes čerpadlo do deskového výměníku, kde ohřívá teplou vodu, která se akumuluje v zásobníku TV (500 l). Kvůli deskovému výměníku nemůže dojít ke kontaminaci pitné vody v zásobníku. Voda, která předá teplo v deskovém výměníku se znovu vrací přes anuloid, filtr a čerpadlo zpět do kotle. Kogenerační jednotky produkují teplo ve formě ohřáté vody a elektrickou energii. Teplo z KGJ (kogenerační jednotka) ve formě ohřáté vody putuje přes trojcestný ventil do akumulačních nádrží o objemu 10 m³. Trojcestný ventil na trase ohřáté vody má funkci regulační. Přepouští ohřátou vodu zpět na trasu studené vody do KGJ z důvodu, aby se voda nevracela příliš studená a nepodchlazovala celý systém.

Voda v akumulčních nádržích slouží k vytápění, takže je svedena do rozvaděče ústředního vytápění a vedena jako studená zpět do sběrače a dále přes čerpadlo do akumulčních nádrží. Zároveň voda z těchto nádrží slouží k ohřevu teplé vody v zásobníku TV (400 l). Opět je na této trase umístěn deskový výměník, přes který je voda z vnější přípojky ohřívána. Schéma kotelny je dál v příloze 1.

Na základě této analýzy byly zjištěny nedostatky v systému dodávky tepla v penzionu:

1. Chybí cirkulace mezi spotřebiči TV a zásobníky TV, a proto dochází k riziku stagnace vody v potrubí.
2. Pojistné ventily na trasách ohřáté vody z KGJ by měly být umístěny přímo na výstupu z KGJ, nikoli až za trojcestným ventilem.

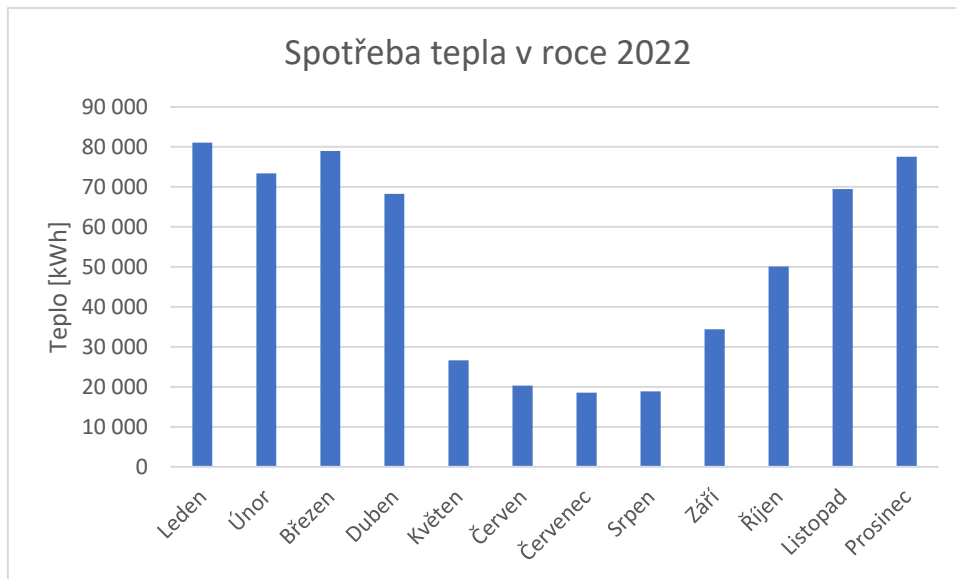
První nedostatek má význam i z hlediska tepelných ztrát v potrubí, neboť z důvodu chybějící cirkulace dochází k ochlazení teplé vody. Pokud uživatelé čekají, než doteče do spotřebiče teplá voda, dochází k plýtvání s vodou, a jedná se tak v současné době o nevhodné řešení. Kotelna samotná byla několikrát rekonstruována a přestavěna, avšak i přesto byly nalezeny tyto systémové vady, které by v případě opravy mohly znamenat dokonce i energetické úspory.

2.3 Dodávka tepla od OnSite Power

Společnost OnSite Power se stará o veškeré energetické toky v kotelně penzionu. Hlavním předmětem této práce je dodávka tepelné energie. Jednotková cena dodávané tepelné energie je 2,921 Kč/kWh bez DPH (sazba DPH je 10 %). Jednotková cena tepla je uvedena na fakturách od OnSite Power. Při návrhu jednotlivých variant nových energetických zdrojů se bude vycházet ze zaplacených faktur za teplo v roce 2022. Data z faktur v jednotlivých měsících jsou uvedena v tabulce 2.3.

Tabulka 2.3 Spotřeba tepla v penzionu za rok 2022

	Dodané teplo		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	81 094,00	kWh	236 875,57	260 563,13
Únor	73 358,00	kWh	214 278,72	235 706,59
Březen	78 964,00	kWh	230 653,84	253 719,23
Duben	68 300,00	kWh	199 504,30	219 454,73
Květen	26 628,00	kWh	77 780,39	85 558,43
Červen	20 347,00	kWh	59 433,59	65 376,95
Červenec	18 567,00	kWh	54 234,21	59 657,63
Srpen	18 872,00	kWh	55 125,11	60 637,62
Září	34 431,00	kWh	100 572,95	110 630,25
Říjen	50 058,00	kWh	146 219,42	160 841,36
Listopad	69 492,00	kWh	202 986,13	223 284,75
Prosinec	77 578,00	kWh	226 605,34	249 265,87
Celkem	617 689,00	kWh/rok	1 804 269,57	1 984 696,53



Obrázek 2.3 Spotřeba tepla v penzionu za rok 2022

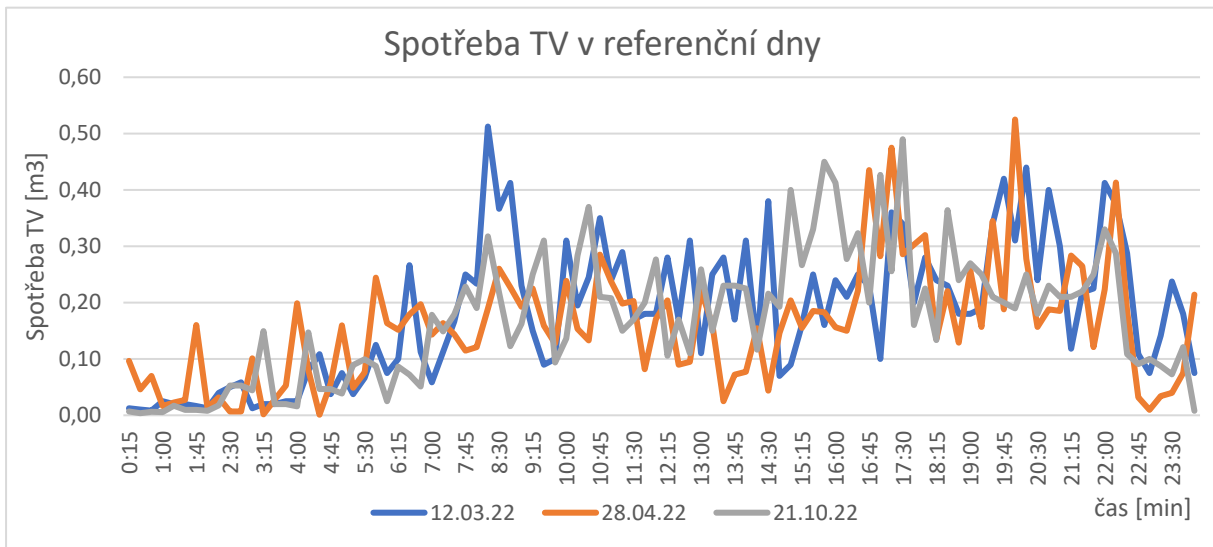
Ve spotřebě tepla je zahrnuta tepelná energie na vytápění, ale i na přípravu teplé vody. Spotřeba tepla na přípravu TV se bude pohybovat okolo hodnot spotřeb tepla v letních měsících, neboť se jedná o období, kdy se objekt nevytápí.

V objektu bylo provedeno měření spotřeby teplé vody v referenční dny, které mohou sloužit jako zajímavý podklad při určování reálné průměrné roční spotřeby teplé vody v objektu. V penzionu dochází často k měsíčním i týdenním výkyvům ve spotřebě tepla v závislosti na tom, jak je objekt obsazen. Z tohoto důvodu je důležité inženýrsky odhadnout spotřebu teplé vody v objektu tak, aby byla zajištěna bezpečnost provozu.

2.4 Měření spotřeby TV v referenční dny

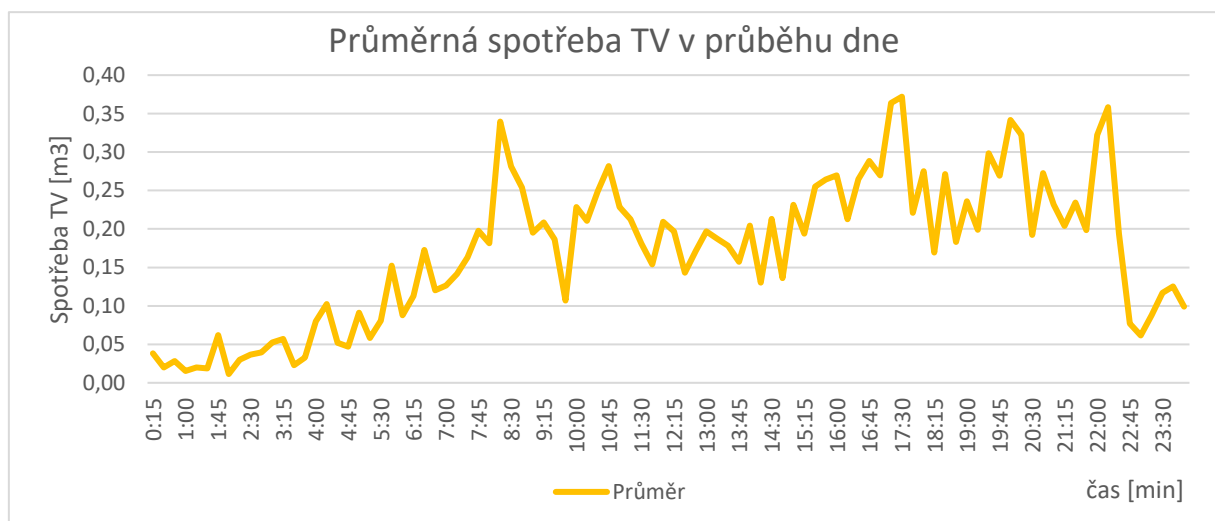
Na základě dříve provedeného měření v penzionu v referenční dny, lze stanovit průměrnou spotřebu teplé vody. Průběhy spotřeb teplé vody v referenční dny jsou zobrazeny na grafu 2.4. U spotřeby teplé vody by bylo možné předpokládat minimální změny ve spotřebě v průběhu roku. Avšak vzhledem k charakteru objektu lze předpokládat nahodilé změny v obsazenosti penzionu, a tudíž i ve spotřebě tepla.

Měření proběhla ve dnech 12.3., 28.4. a 21.10. 2022. V následujících výpočtech je uvažována průměrná hodnota spotřeby TV v průběhu dne z provedených měření.



Graf 2.4 Spotřeba TV v referenční dny

Na grafu 2.4 možno vidět rozdílné spotřeby TV v referenční dny. Z tohoto důvodu byla stanovena jedna zprůměrovaná denní spotřeba teplé vody, která bude sloužit pro porovnání dat spotřeby tepla z faktorů pomocí zpětného výpočtu.



Graf 2.4.1 Zprůměrovaná spotřeba TV v průběhu dne

Celková zprůměrovaná spotřeba TV za den byla stanovena na 16,44 m³. Na základě této zjištěné spotřeby TV v průběhu dne je možné zjistit i potřebné teplo na její ohřev. Výpočet na ohřev TV je dán normou ČSN 06 0320. Následující výpočet vyjadřuje spotřebu tepla na ohřev TV z 10 °C na 55 °C.

- Spotřeba tepla na ohřev TV:

Hustota vody je, při střední teplotě $t_{stř} = 32,5 \text{ °C}$, $\rho = 994,83 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{16,44 \cdot 994,83 \cdot 4,1796 \cdot (55 - 10)}{3600} = 854,66 \text{ kWh/den}$$

(2.4)

Průměrná spotřeba tepla na ohřev teplé vody se bude pohybovat okolo 900 kWh za den.

3. Varianta A – Hybridní FVT kolektory

Hybridní fotovoltaicko-termické (FVT) kolektory jsou zařízení, která kombinují technologii fotovoltaických panelů a solárních termických kolektorů. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů je dnes velice diskutovaným tématem. V důsledku zvyšujících se cen elektřiny, dálkového tepla a paliv je dnes již naprosto běžné využití solární energie na vylepšení energetické bilance rodinných domů či jiných větších objektů.

Cílem tohoto projektu je navrhnout nové energetické řešení vylepšení energetické bilance již existujícího pensionu. Ve variantě A bude snaha dosáhnout tohoto cíle za pomoci systému hybridních fotovoltaicko-termických kolektorů (FVT). Tento úkol vyžaduje detailní rešerši zvolených FVT kolektorů a důkladnou analýzu současného stavu vytápění objektu a dodávky elektrické energie. Na základě těchto zjištěných informací bude navržen optimální systém. Výstupem návrhu varianty A bude rozhodnutí o možnosti realizace a ekonomické zhodnocení.

3.1 Zvolené FVT kolektory

Vzhledem k požadavkům majitele objektu byly zvoleny kolektory od firmy Naked energy, jejichž kolektory jsou zcela unikátní svojí konstrukcí a možnostmi využití. Z tohoto důvodu je důležité uvést základní výhody, respektive nevýhody oproti konkurenčním zařízením, kterými jsou koncentrační termální kolektory a konvenční fotovoltaické panely.

3.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely jsou zařízení, která generují elektrickou energii (DC el. proud) z dopadajícího solárního záření. První FV panely začaly vznikat v 70. a 80. letech minulého století, ovšem tehdy byla jejich výroba energeticky nevýhodná, neboť bylo zapotřebí více energie pro jejich výrobu, než byly schopny poté produkovat. Konstrukce i samotná výroba se od té doby v mnoha ohledech změnily. Například jednotlivé články se dřív vyráběly z křemíkových ingotů kruhového průřezu, čímž vznikala poměrně velká nevyužitá plocha panelu, jak je možno vidět na obrázku níže (obr. 3.2). [4]



Obrázek 3.2 Starší model FV panelu s kruhovým průřezem článků [1]

Dnešní FV panely jsou již energeticky výhodné a jejich maximální elektrický výkon se dále zvyšuje. Zároveň je důležité zmínit i vyšší kvalitu dnešních panelů. Dnes je totiž naprosto běžné, že výrobci garantují minimální pokles elektrického výkonu v horizontu až 25 let. Za všechny výrobce je zde uvedena firma JINKO, která distribuuje svoje produkty i v České republice. [5]

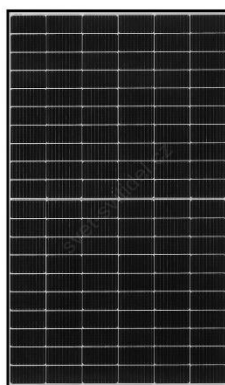
3.2.1 Fotovoltaický panel JINKO 460 Wp

Je poměrně předvídatelné, že konkurenční zařízení z řad FV panelů budou mít vyšší elektrický maximální výkon oproti hybridním FVT kolektorům. To samozřejmě platí i pro mnou zvolené porovnávací panely od firmy JinkoSolar Holding Co., Ltd. Jedná se o firmu sídlící v Šanghaji v Číně. Společnost začínala jako výrobce waferů (základní disk z polovodiče používaný jako substrát) v roce 2006. Dnes je firma Jinko výrobcem a distributorem solárních produktů v globálním měřítku. [6]

Jedním z produktů od firmy Jinko je i monokrystalický FV panel Jinko 460 Wp, který se běžně využívá pro stavbu malých solárních elektráren pro rodinné domy a je považován za jeden z nejlepších panelů na českém trhu. Podle výrobce generuje panel vysoké elektrické zisky i za špatných světelných podmínek (ráno/zatažená obloha). [7]

Tabulka 3.2.1 Parametry panelu Jinko 460 Wp [7]

Parametry	Jinko 460 Wp
Rozměry [mm]	1 903 x 30 x 1 134
Hmotnost [kg]	24,2
Typ článků [-]	Monokrystalický
Napětí (P_{max}) [V]	34,20
Proud (P_{max}) [A]	13,45
Nosnost (zatížení větrem) [Pa]	2 400
Nosnost (zatížení sněhem) [Pa]	5 400
Stupeň krytí IP [-]	IP68
Max. elektrický výkon [Wp]	460
Elektrická účinnost panelu [%]	21,32



Obrázek 3.2.1 FV panel Jinko 460 Wp [7]

Panel Jinko 460 Wp je vyrobený metodou half-cut, která spočívá v půlení článků. Podle výrobce tato metoda snižuje tepelný odpor a zvyšuje výstupní výkon o 5 až 10 Wp. Toto řešení je velice důležité, protože právě teplota panelu v letních měsících je jedním z největších negativních vlivů na výkon panelu. Panel samotný je poměrně dobře odolný vůči vnějším vlivům, jako jsou vítr či sníh. Jedná se tedy o velice spolehlivé, výkonné a ověřené zařízení. [7]

3.3 Solární termální kolektory

Hybridní FVT kolektory kromě elektrické energie jsou schopny generovat i tepelnou energii v podobě ohřátého vzduchu či teplé vody. Proto je důležité provést porovnání hybridních FVT kolektorů se solárními kolektory, které slouží pouze k výrobě tepla. Nejbližšími konkurenty zvolených hybridních FVT kolektorů z řad solárních kolektorů, jsou solární trubicové kolektory, a to zejména z důvodu principu konstrukce.

Solární kolektory se obdobně jako fotovoltaické panely potýkají s problémem vlivu teploty okolního prostředí na energetické zisky z kolektoru. Z tohoto důvodu je velmi důležitým úkolem při návrhu tepelných kolektorů volba tepelné izolace. Pro trubicové kolektory je charakteristické, že jako tepelnou izolaci využívají vytvořené vakuum uvnitř trubice, do které je vložena trubka. V této trubce následně proudí teplotnosné médium, což je nejčastěji nemrznoucí kapalina. Vynálezcem této zajímavé technologie je americký astrofyzik Charles Greeley Abbot (1872-1973), který si nechal své zařízení patentovat již v roce 1930. Výhodou takovýchto kolektorů je bezpochyby vyšší provozní teplota oproti plochým kolektorům (až 100 °C). Tyto kolektory se většinou využívají především v kombinovaných soustavách pro vytápění či v průmyslových vysokoteplotních aplikacích. [8, 9]

3.3.1 Trubicový kolektor Vitosol 300-TM

Trubicové vakuové kolektory jsou v dnešní době velice oblíbené pro ohřev teplé vody (TV) a to platí i pro Českou republiku. Z tohoto důvodu je zde uvedeno jako porovnávací zařízení trubicový kolektor od české firmy AAA Solar s.r.o. Firma AAA Solar se sídlem v Bolehošti je společnost zaměřující se na dodávku solárních systémů na ohřev vody, zejména na systémy s vakuovými trubicovými kolektory. [10, 11]

Konkrétním trubicovým porovnávacím kolektorem byl zvolen kolektor AAA Sol-20T. Tento kolektor je vhodný pro celoroční provoz, a to zejména na ohřev teplé vody, nebo například v letních měsících na ohřev vody v bazénech. AAA Sol-20T poskytuje vynikající výkon i při horším počasí a to proto, že trubice je schopna absorbovat energii z infračervených paprsků, které projdou skrz mraky. Díky tomu dokáže kolektor využít i tzv. difúzní záření. [11, 12]

Tabulka 3.3.1 Parametry trubicového kolektoru AAA Sol-20T [12]

Parametry	AAA Sol-20T
Rozměry kolektoru [mm]	1 944 x 1 554 x 132
Hmotnost [kg]	65
Celková plocha kolektoru [m ²]	3.02
Plocha apertury kolektoru [m ²]	1,89
Špičkový tepelný výkon [Wp]	1 454
Maximální provozní teplota [°C]	125
Účinnost kolektoru [%]	76,9
Maximální provozní tlak [MPa]	1,2
Objem kapaliny [l]	1,41



Obrázek 3.3.1 Kolektor AAA Sol-20T na ploché střeše [12]

Kolektor AAA Sol-20T je velice výkonné zařízení. Mezi jeho přednosti patří hlavně vysoký maximální tepelný výkon při 1 000 W/m² (poledne při jasné obloze). Zároveň je zařízení schopno absorbovat i difúzní záření, přičemž není příliš závislé na orientaci vzhledem ke světovým stranám, jako je tomu u fotovoltaických panelů.

3.3.2 Teplonosné látky v solárních kolektorech

Teplonosné látky jsou jednou z nejdůležitějších částí celého solárního systému, resp. kolektoru. Především v našich středoevropských podmínkách je z důvodu celoročně proměnlivých venkovních teplot důležité využívat speciální kapaliny na přenos tepla z kolektoru do místa spotřeby.

Ve většině solárních soustav s kapalinovými kolektory se používají vodní směsi s nemrznoucími kapalinami. Nejčastějšími látkami pro teplonosné médium jsou propylenglykol a etylenglykol (Etylenglykol se přestává využívat kvůli jeho jedovatosti). Nemrznoucí směsi se zpravidla používají v objemovém ředění 40-50 % propylenglykolu podle požadované teploty tuhnutí. Podle typu kolektoru se používají různé typy nemrznoucích směsí. Klasicky inhibované směsi jsou vhodné pro použití v plochých kolektorech (stagnační teploty pod 180 °C) a pokročilé směsi s kapalnými inhibitory umožňující použití v trubkových vakuových kolektorech (stagnační teploty do 250 °C). Níže je v tabulce uveden výčet některých výrobců nemrznoucích směsí společně s teplotami tuhnutí. [13]

Tabulka 3.3.2 Teplonosné látky na bázi propylenglykolu [13]

Teplonosná látka	Výrobce	t _t [°C]
Solaren EKO	Velvana, a.s.	-31
Kolektor P Super	Agrimex, s.r.o., Třebíč	-30
Tyfocor L	Tyforop Chemie, GmbH	-50
Tyfocor LS	Tyforop Chemie, GmbH	-28
Antifrogen SOL	Gerling, Holz & CO Handels, GmbH	-34

V běžných topných soustavách je využívána jako teplonosná kapalina voda. Ovšem z hlediska termofyzikálních vlastností je například právě směs propylenglykolu mnohem kvalitnějším teplonosným médiem, a proto je využívána v solárních systémech.

V porovnání s vodou má vodní směs propylenglykolu jiné termo-fyzikální vlastnosti, především:

- nižší tepelnou kapacitu;
- nižší tepelnou vodivost;
- větší objemovou roztažnost;
- vyšší kinematickou viskozitu, nicméně s výraznou teplotní závislostí.

Znalost tepelně-fyzikálních vlastností nemrznoucí směsi je nutná pro stanovení tlakových ztrát v potrubí (viskozita, hustota), předávaného výkonu solární soustavy (měrná tepelná kapacita, hustota), návrhu expanzních nádob (hustota, součinitel objemové roztažnosti), atd. [13]

Solární kolektory obsahují více či méně korozně odolné materiály. Je tedy snahou chemických inženýrů implementovat antikoroziční inhibitory do solárních teplonosných látek. Moderní propylenglykolové směsi obsahují antikoroziční inhibitory, které vytvářejí ochrannou vrstvu na vnitřní stěně potrubí.

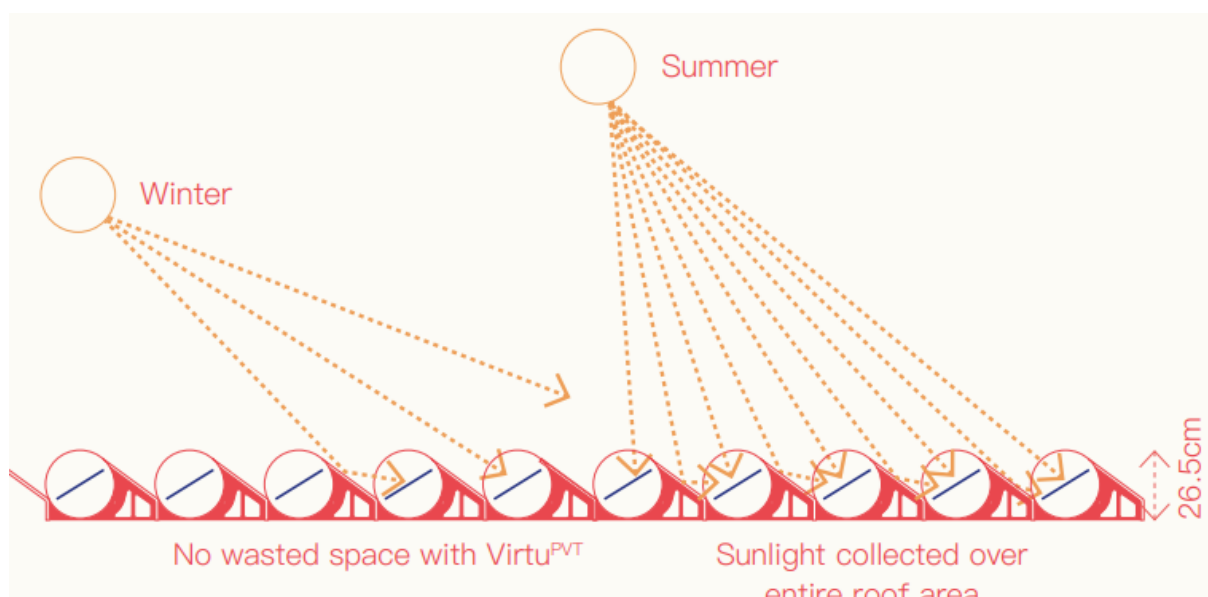
Solární soustavy obsahují materiály jako měď, bronz nebo ocel. Vzhledem k tomu, že neexistuje univerzální inhibitor, je nutné kombinovat různé organické/anorganické inhibitory s ochranným potenciálem pro specifický kov. Nutnou úpravou teplotnosné látky pro zajištění ochrany proti korozi je odstranění plynů z kapaliny (řádné odvzdušnění) a udržení pH kapaliny nad hodnotou 7. Při navrhování rozvodů je doporučeno používat materiály s nízkým elektrochemickým potenciálem vůči teplotnosné kapalině. [13]

3.4 Naked Energy Ltd.

Naked Energy je malá firma o přibližně 50 zaměstnancích, která sídlí ve městě Crawley (West Sussex). Tato firma původem z Velké Británie vyvinula zcela unikátní technologii trubcových FVT kolektorů (VirtuPVT). Firma působí na trhu od roku 2009 a za tu dobu stihla přijít hned s několika typy hybridních kolektorů. Firemní strategie je zaměřena především na realizaci instalací systémů větších budov (hotely, kancelářské komplexy, průmyslové objekty atd.). Mimo jiné společnost nabízí ve svém produktovém portfoliu i koncentrační termické kolektory (VirtuHOT). [14]

3.5 VirtuPVT

Technologie je unikátní především svojí konstrukcí a designem. Uvnitř válců je vakuum, které funguje jako dokonalá izolace, díky které je pod panelem vyšší teplota. Díky této technologii, je možné tyto kapalinové hybridní kolektory využívat i v chladnějším prostředích. Ve srovnání s klasickými panely, které mívají na rovině střeše sklon 25 stupňů, což u panelu, který je na příklad 1 metr dlouhý, způsobí, že vznikne mezi jednotlivými řadami panelů příliš dlouhá mezera nevyužitého prostoru. Tento problém je výborně vyřešený u VirtuPVT instalací, neboť výška jednotlivých válců je pouze 25 centimetrů a samotné panely uvnitř válců už mají požadovaný úhel sklonu. Další technickou zajímavostí je odražeč dopadajícího slunečního záření, který v denní době, odráží sluneční záření na plochu panelu a vytváří koncentrované sluneční záření, což zvyšuje plošný výkon kolektoru (viz obr. 3.5). Tyto hliníkové reflektory se umísťují mezi jednotlivé řady válců. Podle výrobce je další důležitou výhodou oproti konkurenci (klasické panely) snadná a rychlá instalace. I získané teplo má velice dobré hodnoty. Pomocí VirtuPVT jsme schopni získat vodu o teplotě přibližně 60 stupňů Celsia. Výrobce tvrdí, že teplota výstupní kapaliny se může pohybovat mezi 10 °C až 80 °C. [15, 16]

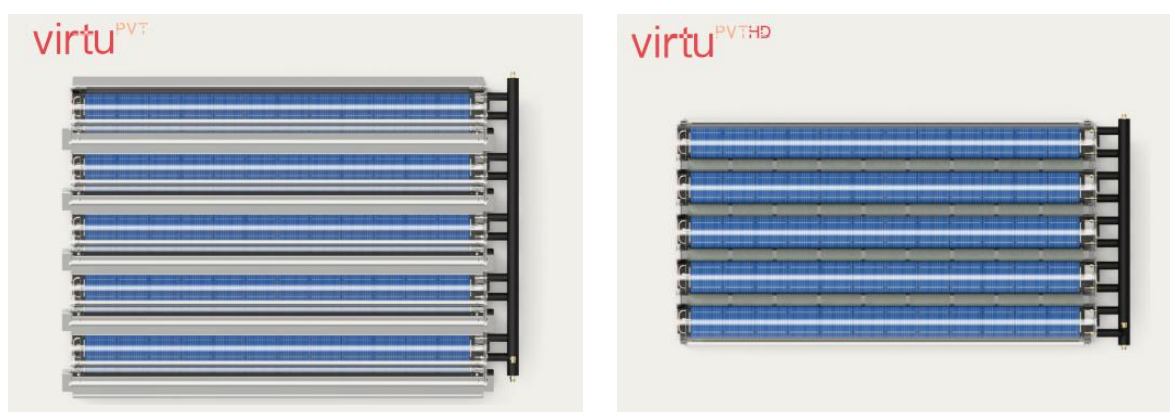


Obrázek 3.5 Grafické znázornění funkce reflektorů mezi FVT kolektory [15]

Kolektory VirtuPVT se vyrábí ve dvou verzích: VirtuPVT a VirtuPVTHD. Rozdílné technické vlastnosti a benefity lze porovnat v tabulce 3.5. Vizuální porovnání obou variant je vidět na obrázku 3.5.1. Jedním z hlavních rozdílů VirtuPVTHD mezi VirtuPVT je absence odražečů, které koncentrují sluneční záření dovnitř trubice na plochy FV panelů. [15]

Tabulka 3.5 Porovnání VirtuPVT a VirtuPVTHD [15]

Parametry jedné trubice	VirtuPVT	VirtuPVTHD
Rozměry [mm]	2 165 x 300 x 265	2 165 x 220 x 265
Aktivní plocha [m ²]	0,324	0,324
Hmotnost (s kapalinou) [kg]	19,9	15,6
Úhel sklonu absorberu [°]	35	0 až ± 20
Špičkový tepelný výkon [Wp]	275	215
Špičkový elektrický výkon [Wp]	70	55



Obrázek 3.5.1 Porovnání VirtuPVT a VirtuPVTHD [15]

Oba typy kolektorů se prodávají, respektive instalují v pěticích. To znamená, že parametry jedné trubice nejsou zcela vhodné pro porovnávání s konkurenčními technologiemi. Z tohoto důvodu je zde uvedena další tabulka, kde jsou uvedeny parametry jedné pětice trubíc, které tvoří jeden kolektor (tab. 3.5.1).

Tabulka 3.5.1 Porovnání parametrů VirtuPVT a VirtuPVTHD pro pět trubíc zapojených do jednoho kolektoru [16]

Parametry kolektoru	VirtuPVT	VirtuPVTHD
Rozměry [mm]	2 260 x 1 500 x 265	2 260 x 1 100 x 265
Aktivní plocha [m ²]	1,62	1,62
Hmotnost (s kapalinou) [kg]	99,5	78
Špičkový tepelný výkon [Wp]	1 375	1 075
Špičkový elektrický výkon [Wp]	350	275

3.6 Porovnání technologií

Na první pohled mají porovnávací FV panely a FT (fototermické) kolektory lepší elektrický, respektive tepelný špičkový výkon, protože tato zařízení jsou využitelnější z hlediska těchto parametrů.

Hybridní kolektory mají nižší tepelný i elektrický špičkový výkon, avšak je zde hned několik důvodů, proč jsou tyto kolektory lepší a výhodnější:

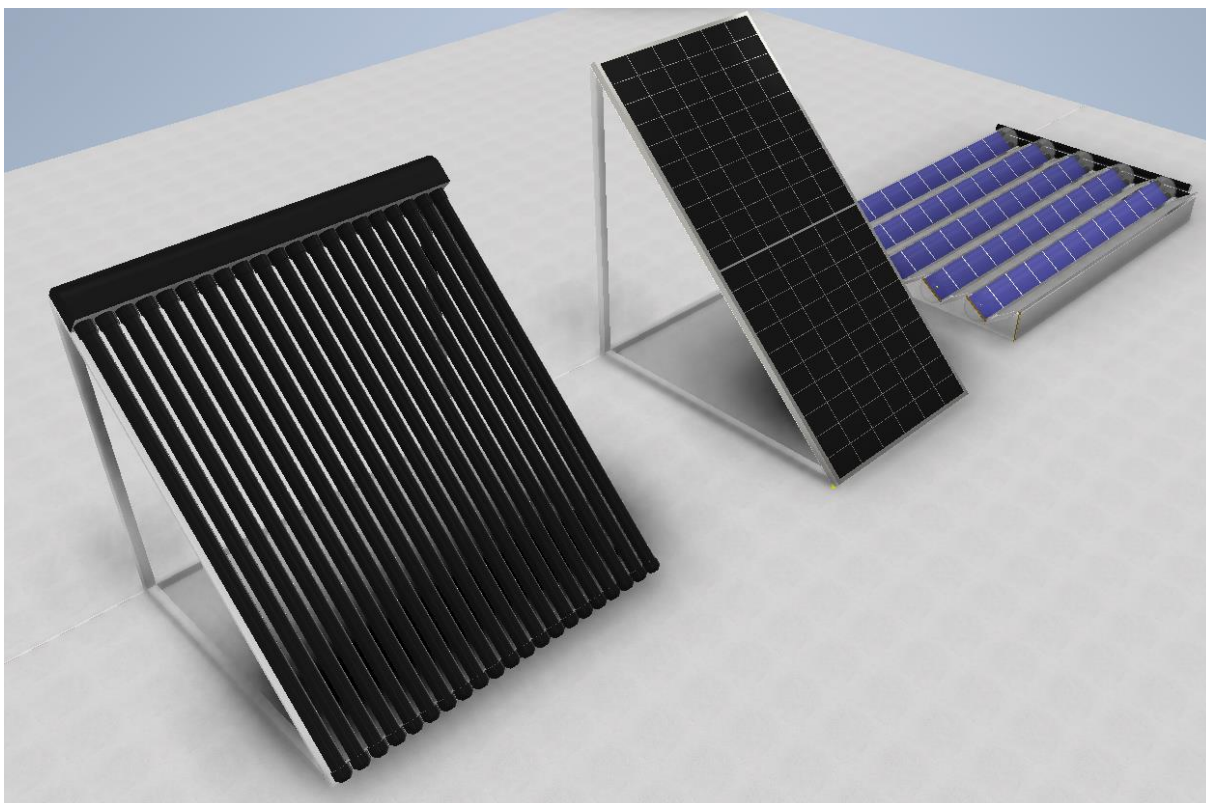
- Možnost instalace na rovinné střechy bez nutnosti konstrukce pro nastavení kolektoru pod určitý úhel.
- Možnost instalace na fasádu objektu.
- Vyšší využití jednotkové plochy střechy. Generovaná energie ve dvou složkách (tepelná energie).
- Využití slunečního záření, které nedopadá přímo na absorbery díky odražečům, které koncentrují záření na plochu kolektorů.
- Díky instalaci přímo na plochou střechu, nedochází ke vzájemnému stínění jednotlivých řad kolektorů, což je velkým rizikem především u plošných tepelných kolektorů a fotovoltaických panelů.

Tabulka 3.6 Porovnání parametrů jednotlivých zařízení [6, 11, 12, 15, 16]

Parametry	AAA Sol-2T	JINKO 460 Wp	VirtuPVT	VirtuPVTHD
Délka [mm]	1 944	1 903	2 260	2 260
Šířka [mm]	1 554	1 134	1 500	1 100
Tloušťka [mm]	132	30	265	265
Hmotnost [kg]	65	24,2	99,5	78
Maximální tepelný výkon [Wp]	1 454	-	1 375	1 075
Maximální elektrický výkon [Wp]	-	460	350	275
Cena za panel/kolektory [Kč/ks]	19 990	5 190	42 785 (za 5 trubici)	42 785 (za 5 trubici)

Aby bylo jednodušší porovnání zvolených zařízení, je zde uvedena tabulka hlavních parametrů. Porovnávací zařízení jsou rozměrově stejně velká, a tudíž je lze bez problému porovnávat. První zajímavostí je hmotnost FVT kolektorů, která je vyšší než u FV panelu a FT kolektoru, což je způsobeno vyšším množstvím různých technologií, které jsou zapotřebí pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Jak již bylo dříve zmíněno, tak panel JINKO i kolektor AAA Sol-2T jsou z hlediska elektrického respektive tepelného špičkového výkonu jasně výhodnější ve srovnání s hybridními kolektory. Stěžejním rozhodovacím faktorem je tudíž cena hybridních kolektorů, protože cena tepelného kolektoru AAA Sol-2T je poměrně vysoká narozdíl od fotovoltaického panelu JINKO. Cena FVT kolektorů Virtu je v přepočtu z britských liber při současném kurzu 8 557 Kč za jednu trubici. Cena FVT kolektorů je poměrně vysoká, avšak je důležité uvést, že kolektory od firmy Naked Energy nejsou příliš limitovány z hlediska instalace (vzájemné stínění kolektorů). Z tohoto důvodu jsou kolektory Virtu limitovány pouze velikostí využitelné plochy střechy, a díky tomu lze dosáhnout vyššího instalovaného tepelného/elektrického výkonu. Zároveň lze získat větší množství energie dohromady ve dvou složkách z jednoho metru čtverečního oproti porovnávacím kolektorům a panelům. A v neposlední řadě jsou kolektory Virtu výhodnější z hlediska levnější konstrukce nosných rámců při instalaci na rovinné střechy, protože zmíněná konstrukce je výrazně menší než u porovnávacích zařízení.

Porovnání velikosti jednotlivých zařízení v reálném měřítku je vyobrazeno na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6 Porovnání výše zmíněných zařízení (zleva: AAA Sol-2T, Jinko 460 Wp, VirtuPVT)

Na obrázku 3.6 je na první pohled patrné, že pokud jsou zařízení instalována pod úhlem 45 stupňů, pak není možné instalovat FT a FV panely libovolně za sebou z důvodu vzájemného stínění absorpčních ploch. Tento problém je výrazně eliminován u zařízení VirtuPVT a jedná se tak o jednu z hlavních předností těchto hybridních FVT kolektorů.

Na základě zmíněných výhod bylo rozhodnuto o využití kolektorů od firmy Naked Energy pro návrh tepelného systému pro ohřev TV v penzionu Chmelnice.

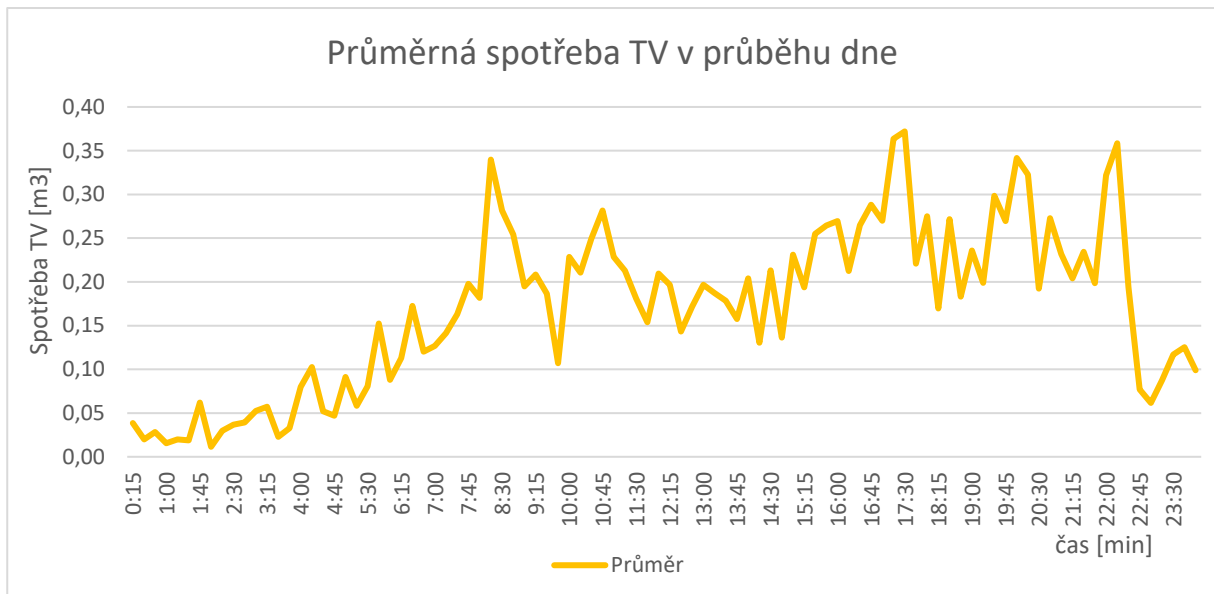
4. Varianta A – Návrh systému FVT kolektorů

Pro řešený objekt bude v této části navržen systém zvolených hybridních FVT kolektorů. Tento systém bude navržen tak, aby vylepšoval energetickou bilanci teplé vody v objektu. To znamená, že systém bude předehtřívat teplou vodu v zásobníku teplé vody (500 l).

4.1 Tepelné bilance teplé vody

V první fázi návrhu je podstatné stanovit potřebné množství tepla na ohřev teplé vody. Z kapitoly 2 lze použít dva postupy. Zaprvé použít zprůměrovanou hodnotu spotřeby TV z naměřených hodnot. Zadruhé je možnost využít spotřeby tepla uvedené na fakturách od ONSite Power za rok 2022. Druhý ze zmiňovaných postupů je více přesný, neboť není známa spotřeba TV v každém dni měsíce. Z tohoto důvodu by sumární měsíční spotřeba tepla na ohřev teplé vody nebyla přesná.

Zvolený postup bude pracovat s hodnotami z faktur, ale zároveň budou pro potřeby kontroly využita i data z měření.



Graf 4.1 Průměrná spotřeba TV v průběhu dne

Celková zprůměrovaná spotřeba TV za den činí 16,44 m³. Na základě této zjištěné spotřeby TV v průběhu dne je možné zjistit i potřebné teplo na ohřev. Výpočet na ohřev TV je dán normou ČSN 06 0320. Následující výpočet vyjadřuje spotřebu tepla na ohřev TV z 10 °C na 55 °C.

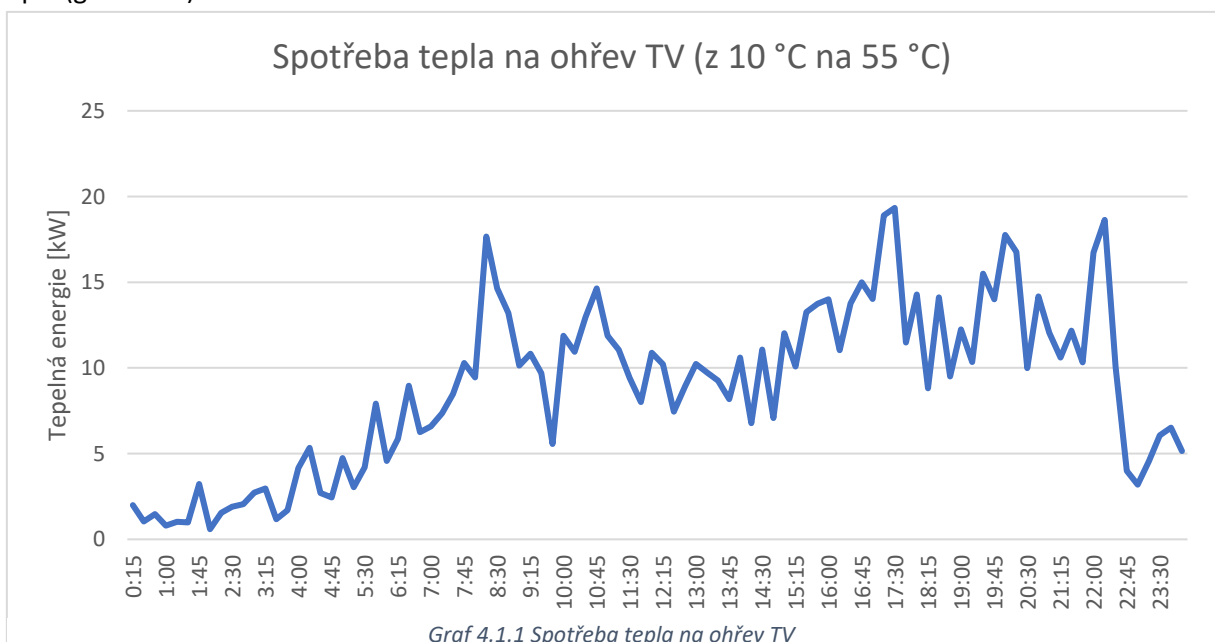
- Spotřeba tepla na ohřev TV:

Hustota vody je při střední teplotě $t_{stř} = 32,5 \text{ °C}$, $\rho = 994,83 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{16,44 \cdot 994,83 \cdot 4,1796 \cdot (55 - 10)}{3600} = 854,66 \text{ kWh/den}$$

(4.1)

Tento výpočet byl proveden ve všech měřených časech obdobně, díky čemuž byl získán graf spotřeby tepla (graf 4.1.1).



Graf 4.1.1 Spotřeba tepla na ohřev TV

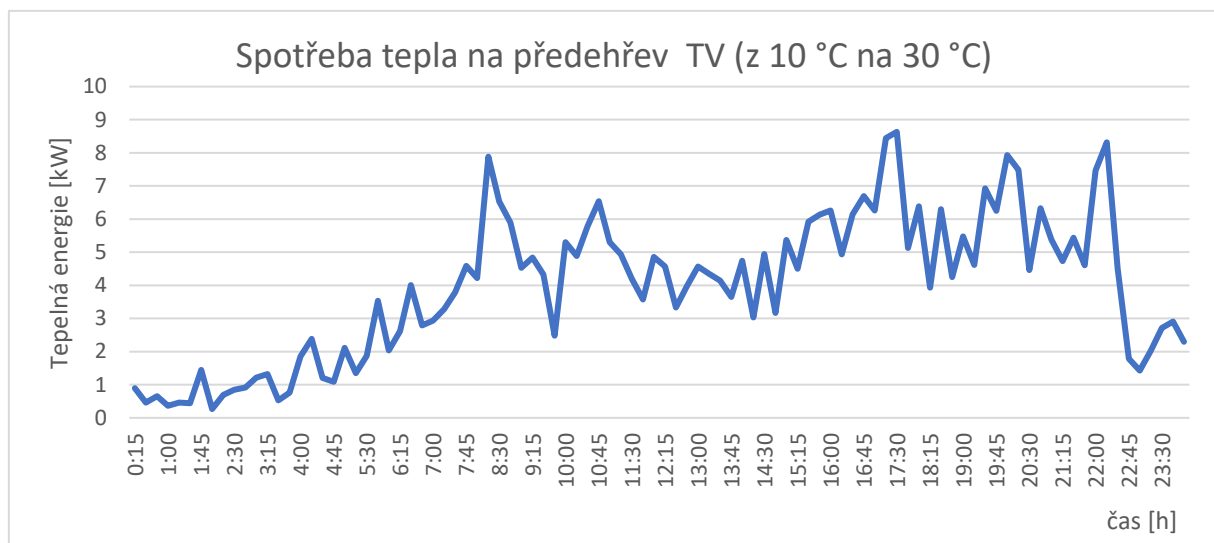
Vzhledem k návrhu systému FVT kolektorů je ovšem důležitější provést obdobný výpočet pro přehřev teplé vody z 10 °C na 30 °C. Ačkoli výrobce tvrdí, že teplota výstupní kapaliny z kolektorů od Naked Energy se může pohybovat mezi 10 °C až 80 °C, je z hlediska bezpečnosti výhodnější uvažovat nižší energetické zisky a poté výsledky porovnat s optimističtější scénářem. Výsledky výpočtu potřeby tepla na přehřev TV jsou zobrazeny v grafu 4.1.2.

- Spotřeba tepla na přehřev TV FVT kolektory z 10 °C na 30 °C:

Hustota vody je při střední teplotě $t_{stř} = 20\text{ °C}$, $\rho = 998,16\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{16,44 \cdot 998,16 \cdot 4,185 \cdot (30 - 10)}{3600} = 380,347\text{ kWh/den}$$

(4.1.1)



Graf 4.1.2 Spotřeba tepla na přehřev TV z 10 °C na 30 °C

Rozdílem předchozích dvou bilancí lze zjistit, kolik tepelné energie je zapotřebí k dohřevu TV v průběhu dne.

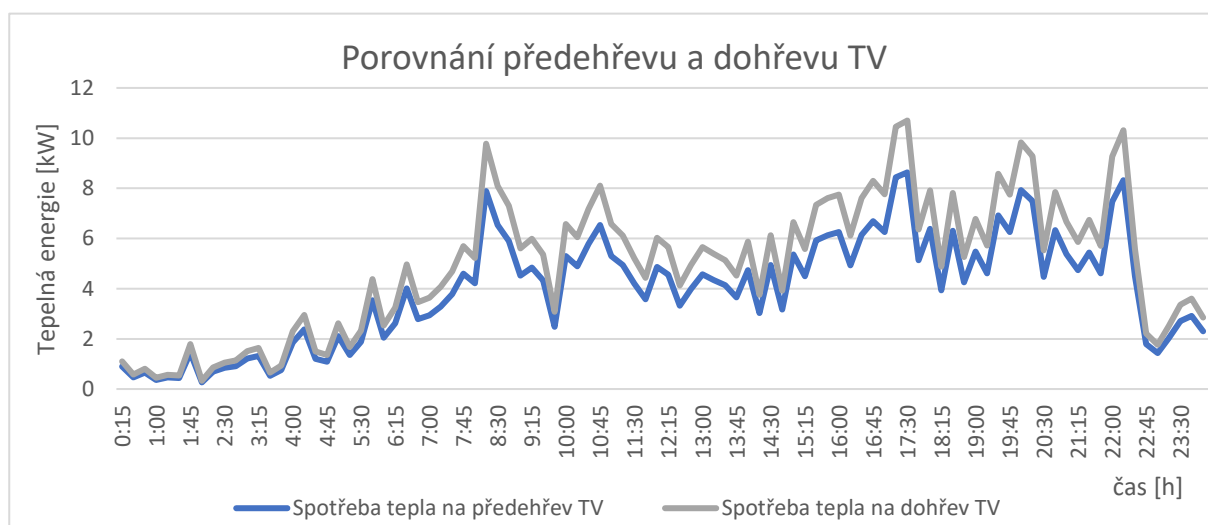
- Spotřeba tepla na dohřev TV jiným zdrojem z 30 °C na 55 °C:

Hustota vody je při střední teplotě $t_{stř} = 42,5\text{ °C}$, $\rho = 991,21\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{16,44 \cdot 994,83 \cdot 4,185 \cdot (55 - 30)}{3600} = 473,04\text{ kWh/den}$$

(4.1.2)

Výsledkem porovnání potenciálního předehřevu a dohřevu TV je uveden v grafu 4.1.3.



Graf 4.1.3 Porovnání předehřevu a dohřevu TV

Spotřeba tepla na předehřev TV z 10 °C na 30 °C v průměrný den činí 380,347 kWh/den. Toto množství tepelné energie vyjadřuje referenční hodnotu tepelné potřeby, na jejímž základě proběhne předběžný návrh počtu potřebných hybridních kolektorů.

4.1.1 Cena teplé vody dle měření

Na základě provedeného měření spotřeby TV lze jednoduše zjistit, jaké jsou měsíční náklady na teplovou vodu v objektu. Cena teplé vody je tvořena dvěma složkami. První složkou je tzv. vodné a stočné, kde vodné je platba za dodávku pitné vody a služby spojené s její výrobou. Stočné je platba za služby spojené s odváděním a čištěním odpadní vody. A druhou složkou jsou náklady spojené s přípravou teplé vody (cena elektřiny a zemního plynu). Cena vodného a stočného pro rok 2022 je uvedena v tabulce níže. [17]

Tabulka 4.1.1 Cena vodného a stočného v Praze [17]

	Cena za 1 m ³ bez DPH	Cena za 1 m ³ s DPH
Vodné	51	61,71
Stočné	47,4	57,354
Celkem	98,4	119,064

Na základě bilančních výpočtů bylo zjištěno, že spotřeba tepla na ohřev 1 m³ teplé vody činí 51,97 kWh. Při zahrnutí možných ztrát tepla (ztráty v rozvodech a akumulaci) může hodnota spotřeby tepla činit až 60,43 kWh/1 m³.

$$Q_{TV_{1m^3_ztráty}} = (Q_{TV_{1m^3}} \cdot Z) + Q_{TV_{1m^3}} = (51,97 \cdot 0,1628) + 51,97 = 60,43 \text{ kWh}/1m^3$$

(4.1.1.1)

$Q_{TV_{1m^3}}$ = potřeba tepla na ohřev 1 m³ TV [kWh]

$Q_{TV_{1m^3_ztráty}}$ = potřeba tepla na ohřev 1 m³ TV při zahrnutí ztrát [kWh]

Z = ztráty, $Z = 1 - [(účinnost \text{ rozvodů}) \cdot (účinnost \text{ akumulace})] = 1 - (0,91 \cdot 0,92) = 0,1628$

Z dostupných podkladů od ONSite Power lze zjistit, že cena za 1 kilowatthodinu tepla je 2,921 Kč/bez DPH. Pomocí těchto dat byla následně vypočítána finanční náročnost přípravy teplé vody v objektu (viz. výpočet níže).

$$N_{TV_{1m^3}} = (C_Q \cdot Q_{TV_{1m^3}}) + C_{stoč} + C_{vod}$$

$$N_{TV_{DEN}} = N_{TV_{1m^3}} \cdot V_{TV_{DEN}}$$

$$N_{TV_{ROK}} = N_{TV_{DEN}} \cdot 365$$

(4.1.1.2)

$N_{TV_{1m^3}}$ = náklady na 1 m³ TV [Kč]

C_Q = cena tepla od ONSite Power [Kč/kWh]

$C_{stoč}$, C_{vod} = cena vodného / stočného [Kč/1 m³]

$N_{TV_{DEN}}$ = náklady na denní spotřebu TV [Kč/den]

$V_{TV_{DEN}}$ = spotřeba TV za den [m³]

$N_{TV_{ROK}}$ = náklady na roční spotřebu TV [m³]

Tabulka 4.1.1.1 Cena teplé vody v objektu (bez uvažování ztrát)

	bez DPH	s DPH
Cena za 1 m ³ TV [Kč]	250,22	302,77
Cena za denní spotřebu TV [Kč]	4 113,59	4 977,45
Cena za roční spotřebu TV [Kč]	1 501 462,11	1 816 769,16

Tabulka 4.1.1.2 Cena teplé vody v objektu (s uvažováním ztrát)

	bez DPH	s DPH
Cena za 1 m ³ TV [Kč]	274,93	332,67
Cena za denní spotřebu TV [Kč]	4 519,93	5 469,11
Cena za roční spotřebu TV [Kč]	1 649 773,41	1 996 225,83

Na ceně teplé vody za den lze vidět, že je zde velký prostor pro optimalizaci přípravy TV a nalezení ekonomičtějšího řešení. Avšak je důležité zmínit, že se stále jedná o odhad na základě zprůměrované spotřeby TV ze tří měření. Cena teplé vody vyčíslená dle fakturace tepla za rok 2022 se bude lišit.

4.1.2 Cena teplé vody dle fakturace za rok 2022

Celkový reálný měsíční objem teplé vody spotřebovaný v penzionu se může výrazně lišit od hodnoty, která vychází ze zprůměrovaného měření ze tří referenčních dnů. Z tohoto důvodu bude hodnota energetické a finanční náročnosti přípravy TV z faktur přesnější.

Tabulka 4.1.2 Spotřeba tepla v penzionu za rok 2022

	Dodané teplo		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	81 094,00	kWh	236 875,57	260 563,13
Únor	73 358,00	kWh	214 278,72	235 706,59
Březen	78 964,00	kWh	230 653,84	253 719,23
Duben	68 300,00	kWh	199 504,30	219 454,73
Květen	26 628,00	kWh	77 780,39	85 558,43
Červen	20 347,00	kWh	59 433,59	65 376,95
Červenec	18 567,00	kWh	54 234,21	59 657,63
Srpen	18 872,00	kWh	55 125,11	60 637,62
Září	34 431,00	kWh	100 572,95	110 630,25
Říjen	50 058,00	kWh	146 219,42	160 841,36
Listopad	69 492,00	kWh	202 986,13	223 284,75
Prosinec	77 578,00	kWh	226 605,34	249 265,87
Celkem	617 689,00	kWh/rok	1 804 269,57	1 984 696,53

Měsíční spotřebu tepla na přípravu teplé vody lze pouze odhadovat podle spotřeby v letních měsících (červen, červenec, srpen). Vzhledem k tomu, že cílem této návrhové studie je zlepšení energetické bilance při přípravě teplé vody, bylo rozhodnuto, že referenční hodnota spotřeby tepla na ohřev TV bude nejnižší možná, 18 567 kWh (červenec). V reálném provozu by to znamenalo, že pokud bude spotřeba tepla na přípravu TV vyšší než hodnota návrhová, bude navržený systém poddimenzovaný. Takový systém by byl poměrně vyhovující, protože penzion disponuje již existující kotelnou se třemi energetickými zdroji (2 x kogenerační plynová jednotka, 1 plynový kotel), které jsou v dobrém technickém stavu. Ekonomicky ani technicky nedává smysl zasahovat do současné kotelny, což by bylo pravděpodobně nutné, pokud by byl navrhovaný systém předimenzován.

Dle následujícího výpočtu byla zjištěna měsíční spotřeba teplé vody na základě vyfakturovaného množství tepla v červenci 2022.

$$V_{\text{měs}} = \frac{Q_{DOD}}{Q_{TV_{1m^3}}} = \frac{18\,567}{51,975} = 357,23 \text{ m}^3/\text{měs}$$

(4.1.2.1)

Q_{DOD} = dodané množství tepla za měsíc červenec 2022 dle fakturace [kWh/měs]

$Q_{TV_{1m^3}}$ = množství potřebného tepla na ohřev 1 m³ TV [kWh/1 m³]

Při zahrnutí tepelných ztrát akumulací a v rozvodech tepelné energie se spotřeba TV mírně změní.

$$V_{\text{měs}} = \frac{Q_{DOD}}{Q_{TV_{1m^3_ztráty}}} = \frac{18\,567}{60,43} = 307,22 \text{ m}^3/\text{měs}$$

(4.1.2.2)

Q_{DOD} = dodané množství tepla za měsíc červenec 2022 dle fakturace [kWh/měs]

$Q_{TV_{1m^3}}$ = množství potřebného tepla na ohřev 1 m³ TV při zahrnutí ztrát [kWh/1 m³]

Z výpočtu vyplývá, že za červenec 2022 bylo spotřebováno 357 m³ teplé vody. Denní spotřeba TV činí 11,52 m³. Hodnota z provedeného odhadu vychází nižší než podle měření v referenční dny. Příčinnou může být rozdílná obsazenost penzionu. Zároveň byl proveden obdobný odhad spotřeby se zavedením ztrát jako v případě měřených dat, což sníží výslednou spotřebu teplé vody, neboť byla fixně stanovena spotřeba tepla dle fakturace. Výsledná spotřeba TV za den při zahrnutí ztrát činí 9,91 m³ za den, což činí 307 m³ TV za měsíc. Právě spotřeba TV se zahrnutými ztrátami bude použita jako porovnávací kritérium pro návrhové varianty.

Finanční náročnost přípravy teplé vody dle fakturace je uvedena v tabulkách níže.

Tabulka 4.1.2.1 Cena teplé vody v objektu dle odhadu z fakturace (bez uvažování ztrát)

	bez DPH	s DPH
Cena za 1 m ³ TV [Kč]	250,22	302,76
Cena za denní spotřebu TV [Kč]	2 883,41	3 488,92
Cena za roční spotřebu TV [Kč]	1 052 444,01	1 273 457,25

Tabulka 4.1.2.2 Cena teplé vody v objektu dle odhadu z fakturace (s uvažováním ztrát)

	bez DPH	s DPH
Cena za 1 m ³ TV [Kč]	274,93	332,67
Cena za denní spotřebu TV [Kč]	2 724,65	3 296,83
Cena za roční spotřebu TV [Kč]	994 497,97	1 203 342,54

4.2 Validace spotřeby teplé vody v penzionu

Návrh nových energetických systémů se odvíjí od spotřeby teplé vody. Z tohoto důvodu je podstatné ověřit správnost výpočtů a porovnat naměřené hodnoty spotřeby TV a data z faktur s jinými validačními hodnotami. Pro ověření správnosti měření bude použita, jako validační nástroj, norma ČSN EN 15316-3-1. [18]

Podle normy ČSN EN 15316-3-1 se denní potřeba teplé vody $V_{W,day}$ [m³/den] podle vztahu:

$$V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} \quad (4.2)$$

$V_{W,f,day}$ = specifická denní potřeba teplé vody na měrnou jednotku [l]

f = počet měrných jednotek [-]

Výše uvedený výpočet vyžaduje znalost dvou tabulkových hodnot. Je zapotřebí znát počet lůžek v penzionu, kde jedno lůžko představuje jednu měrnou jednotku.

Z předchozích analýz bylo zjištěno, že počet lůžek v penzionu činí 315. Další hodnotou je specifická denní potřeba teplé vody na měrnou jednotku, která je dána tabulkově.

Tabulka 4.2 Specifické denní potřeby teplé vody o teplotě 60 °C v jiných než obytných budovách podle ČSN EN 15316-3-1 [18]

Druh budovy	Specifická denní potřeba teplé vody na měrnou jednotku $V_{W,f,day}$ [l/ (měrná jednotka·den)]	Měrná jednotka
Ubytovací zařízení	28	lůžko
Jednohvězdičkový hotel bez prádelny	56	lůžko
Jednohvězdičkový hotel s prádelnou	70	lůžko
Dvouhvězdičkový hotel bez prádelny	76	lůžko
Dvouhvězdičkový hotel s prádelnou	90	lůžko
Tříhvězdičkový hotel bez prádelny	97	lůžko
Tříhvězdičkový hotel s prádelnou	111	lůžko
Restaurace	10 až 21	jídlo
Nemocnice bez prádelny	56	lůžko
Nemocnice s prádelnou	88	lůžko

Vzhledem k charakteru objektu (Penzion Chmelnice) je obtížné rozhodnout, o který druh budovy se podle normy jedná. Z tohoto důvodu jsou uvažovány ve výpočtech první 3 varianty a z nich vytvořen aritmetický průměr.

Výpočet denní potřeby teplé vody podle normy ČSN EN 15316-3-1 pro variantu – Ubytovací zařízení:

$$V_1 = V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} = \frac{28 \cdot 315}{1000} = 8,82 \text{ m}^3/\text{den}$$

(4.2.1)

Výpočet denní potřeby teplé vody podle normy ČSN EN 15316-3-1 pro variantu – Jednohvězdičkový hotel bez prádelny:

$$V_2 = V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} = \frac{56 \cdot 315}{1000} = 17,64 \text{ m}^3/\text{den}$$

(4.2.2)

Výpočet denní potřeby teplé vody podle normy ČSN EN 15316-3-1 pro variantu – Jednohvězdičkový hotel s prádelnou:

$$V_3 = V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} = \frac{70 \cdot 315}{1000} = 22,05 \text{ m}^3/\text{den}$$

(4.2.3)

Průměr z jednotlivých variant:

$$V_{W,day} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = 16,17 \text{ m}^3/\text{den}$$

(4.2.4)

Tabulka 4.2.1 Porovnání naměřené spotřeby teplé vody se spotřebou teplé vody dle normy

	Denní spotřeba TV [m ³ /den]
Průměrná spotřeba TV z naměřených hodnot	16,44
Spotřeba TV vypočtená dle faktur 2022	11,52
Spotřeba TV podle ČSN EN 15316-3-1	16,17

Podle toho výpočtu je patrné, že validace proběhla úspěšně, neboť bylo zjištěno, že naměřená hodnota spotřeby TV v penzionu se blíží hodnotě zjištěné na základě normovaného výpočtu. Spotřeba odhadnutá na základě faktur se mírně liší, avšak jak již bylo dříve zmíněno, charakter spotřeby TV v penzionu je silně závislý na počtu ubytovaných osob, který se může lišit v průběhu roku.

4.3 Návrh počtu FVT kolektorů

Předběžný počet kolektorů VirtPVT je zjištěn pomocí podílu mezi energetickými zisky FVT kolektoru pro referenční den (21. 4.) a potřeby tepla na předeřev. Vzhledem k tomu, že FVT kolektory budou generovat elektrickou i tepelnou energii, budou obě složky energie uvažovány při zjišťování počtu kolektorů. Tento předpoklad není problém uvažovat, neboť zásobník TV má více nevyužitých přípojek tepla.

Vztah pro výpočet počtu kolektorů je popsán následující rovnicí:

$$z_1 = \frac{Q_{TV}}{Q + E}, z_2 = \frac{Q_{TV(stř)}}{Q + E}$$

(4.3)

Q = tepelná energie [Wh]

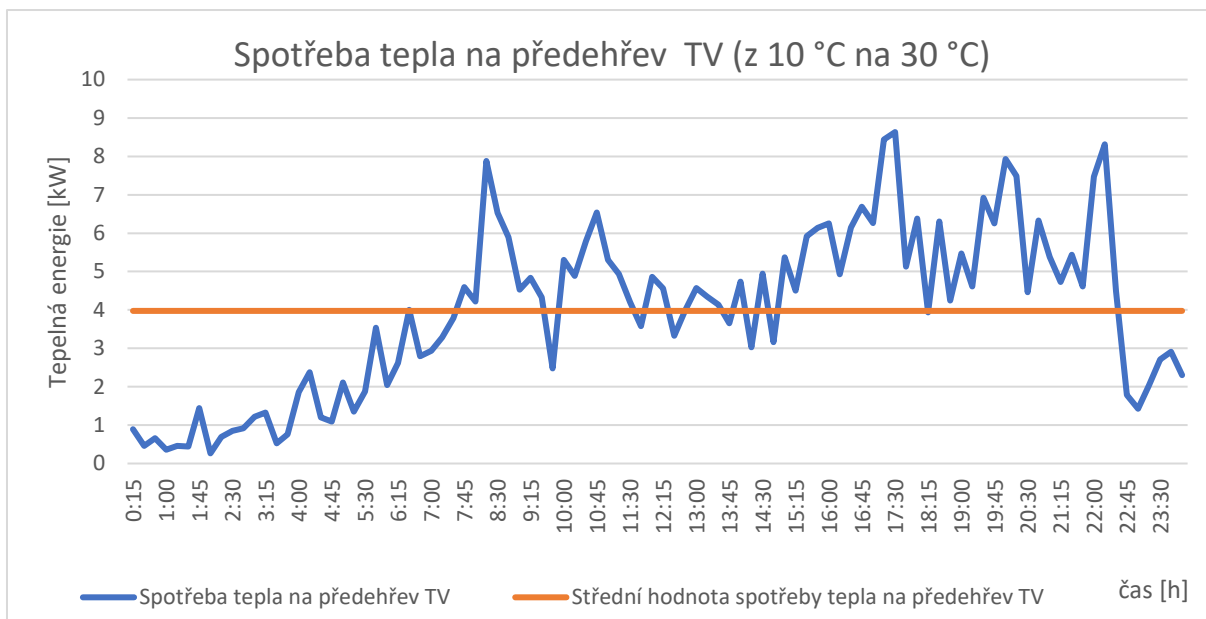
E = elektrická energie [Wh]

Q_{TV} = teplo na předeřev TV za den [Wh]

Q_{TV(stř)} = střední hodnota potřeby tepla na předeřev TV za den [Wh]

Z rovnic je patrné, že budou provedeny dva výpočty na určení množství potřebných kolektorů. V prvním případě se jedná o výpočet, který počítá s pokrytím celé potřeby tepla na předeřev a tím pádem se jedná o výpočet, který způsobí předimenzování systému z hlediska počtu kolektorů.

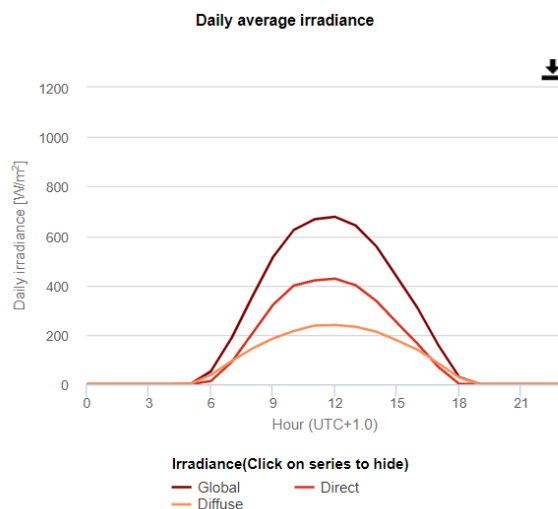
Druhý výpočet oproti tomu počítá pouze se střední hodnotou potřeby tepla, která činí 3,975 kWh/den, jak je patrné z grafu 4.3.



Graf 4.3 Střední hodnota spotřeby tepla na přehřev TV

Energetické zisky kolektorů budou simulovat pomocí programu PVGIS, přičemž data uvedená níže jsou vztahena k lokalitě, ve které se penzion nachází. Photovoltaic geographical information system (PVGIS) je vědecký orgán Evropské komise, která zaměstnává vědce, kteří poskytují nezávislé vědecké poradenství a podporují politiku EU.

Program PVGIS pro referenční den v dubnu vygeneroval následující hodnoty dopadajícího záření. Tyto hodnoty jsou platné pro podmínky, že je daná absorpční plocha panelu nakloněna o 35° vzhledem k vodorovné ploše a zároveň je absorpční plocha panelu orientována přímo na jih. Za těchto podmínek má křivka denního průběhu dopadajícího záření následující tvar.



Graf 4.3.1 Hodinový průběh sluneční radiace dopadající do referenční lokality v dubnu [19]

Hodnoty dopadajícího slunečního záření na orientovanou plochu v jednotlivých hodinách jsou přehledně uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 4.3 Hodinový průběh dopadajícího slunečního záření

Čas [h]	Dopadající sluneční záření [W/m ²]
0:00	0
1:00	0
2:00	0
3:00	0
4:00	0
5:00	1,08
6:00	52,03
7:00	187,15
8:00	355,35
9:00	514,11
10:00	623,52
11:00	666,79
12:00	676,79
13:00	642,04
14:00	557,1
15:00	432,39
16:00	306,56
17:00	156,89
18:00	29,38
19:00	0,01
20:00	0
21:00	0
22:00	0
23:00	0
Σ	5 201, 2

Na základě zjištěných hodnot vychází, že v referenční den v dubnu dopadá do dané lokality 5 201,2 W/m² slunečního záření.

Pro další návrhové výpočty je zapotřebí určit účinnosti výroby elektrické a tepelné energie. K tomu byly použity následující vzorce:

$$\eta_{tep} = \frac{\frac{P_{tep}}{S_{akt}}}{G_{referenční\ záření}} = \frac{\frac{275}{0,324}}{1000} = 0,849$$

(4.3.1)

$G_{referenční\ záření}$ = dopadající záření, při kterém dochází maximálnímu výkonu = 1000 W/m²

P_{tep} = tepelný maximální výkon panelu = 275 W

S_{akt} = aktivní plocha panelu = 0,324 m²

$$\eta_{el} = \frac{\frac{P_{el}}{S_{akt}}}{G_{\text{referenční záření}}} = \frac{\frac{70}{0,324}}{1000} = 0,216$$

(4.3.2)

$G_{\text{referenční záření}}$ = dopadající záření, při kterém dochází maximálnímu výkonu = 1000 W/m²

P_{el} = elektrický maximální výkon panelu = 70 W

S_{akt} = aktivní plocha panelu = 0,324 m²

Hodnoty použité ve vzorcích jsou výkonové parametry jedné trubice, neboť cílem je určit množství potřebných trubíc VirtuPVT.

V následujících výpočtech energetických zisků je podstatné zohlednit vliv koncentrace záření, protože se jedná o hybridních koncentrační kolektory s odražečem záření na plochu kolektoru. Zároveň je důležité v tomto koncentračním faktoru zohlednit taktéž vliv tepelné izolace vakuem, které zabraňuje vyšším tepelným ztrátám. Vzorec pro výpočet získané tepelné energie z jedné trubice VirtuPVT je následně ve tvaru:

$$Q_{FVT} = G_{zář} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot k = 5\,201,2 \cdot 0,324 \cdot 0,849 \cdot 3 = 4\,292,18 \text{ Wh/den}$$

(4.3.3)

$G_{zář}$ = dopadající sluneční záření za den = 5 201,2 W/m²

S_{akt} = aktivní plocha jednoho panelu = 0,324 m²

η_{tep} = tepelná účinnost panelu = 84,9 %

k = koncentrační faktor = 3

Vzorec pro výpočet získané elektrické energie z jedné trubice VirtuPVT je následně ve tvaru:

$$E_{FVT} = G_{zář} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} = 5\,201,2 \cdot 0,324 \cdot 0,216 \cdot 3 = 1\,092 \text{ Wh/den}$$

(4.3.4)

$G_{zář}$ = dopadající sluneční záření za den v dubnu = 5 201,2 W/m²

S_{akt} = aktivní plocha jednoho panelu = 0,324 m²

η_{el} = elektrická účinnost panelu = 21,6 %

k = koncentrační faktor = 3

Posledním krokem pro prvotní návrh počtu hybridních FVT kolektorů je dosažení do původního vzorce. Avšak počet kolektorů se v praxi navrhuje na pokrytí 30 % potřeby tepla na předehřev teplé vody, což je zohledněno v následujícím výpočtu:

$$z_1 = \frac{Q_{TV} \cdot 0,3}{Q + E} = \frac{381\,624 \cdot 0,3}{4\,292,18 + 1\,092} = 21,263 \rightarrow z_1 = 21 \text{ ks}$$

(4.3.5.)

$$z_2 = \frac{Q_{TV(stř)} \cdot 0,3}{Q + E} = \frac{381\,621 \cdot 0,3}{4\,292,18 + 1\,092} = 21,263 \rightarrow z_2 = 21 \text{ ks}$$

(4.3.6)

Podle očekávání se ani jeden postup neliší, a docházíme tak k závěru, že na pokrytí 30 % potřeby tepla (energií) na předehřev TV v přechodném období je zapotřebí alespoň 4 pětictrubicových FVT kolektorů VirtuPVT. Je nutné zmínit, že tento výpočet slouží jen k hrubému návrhu počtu kolektorů v systému. Detailní návrh bude vyžadovat více možných postupů, aby bylo možné dojít k co možná nejušpornějšímu řešení. Rozhodujícím faktorem při volbě počtu kolektorů bude ekonomické hodnocení, které bude provedeno v pozdější části tohoto projektu. Ekonomika projektu v této části postrádá smyslu, neboť se jedná o pouhý odhad při návrhu z hlediska tepelných bilancí.

4.4 Elektrický dohřev TV

Navrhovaný systém FVT kolektorů bude sloužit k předehřevu TV pomocí teplotonosné kapaliny z 10 °C na 30 °C. Elektrická energie získaná z FVT kolektorů bude využita na dohřev TV z 30 °C na 55 °C. Tímto způsobem bude zvýšen potenciál využití instalovaného systému. Elektrická energie z FVT kolektorů nepokryje celkovou potřebnou energii na dohřev teplé vody na 55 °C ani při nejhodnějších klimatických podmínkách. Pro tento účel bude stále zapotřebí využít výkonovou kapacitu stávající kotelny.

Elektrická energie generovaná v FVT kolektorech je svedena přes střídač do zásobníku teplé vody, kde pomocí odporové tyče bude dohřívat teplou vodu. Střídač transformuje napětí ze stejnosměrného na střídavé napětí. Tato přeměna nefunguje se stoprocentní účinností, takže na základě doporučení výrobců a zkušeností je v následujících výpočtech uvažována účinnost přeměny 90 %.

Další nezanedbatelnou ztrátou na celkové účinnosti přeměny elektrické energie na tepelnou v zásobníku TV je ztráta přeměnou energie v zásobníku. Účinnost ohřevu teplé vody v zásobníku pomocí odporové tyče se většinou pohybuje okolo 98 %.

Při uvažování těchto důležitých aspektů elektrického ohřevu teplé vody vychází celková účinnost transformace energie 94 %. Při uvažování naměřených hodnot je níže proveden výpočet na zjištění příkonu odporové tyče.

- Spotřeba tepla na dohřev TV jiným zdrojem z 30 °C na 55 °C:

Hustota vody je při střední teplotě $t_{stř} = 42,5 \text{ °C}$, $\rho = 991,21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_{TV} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{16,44 \cdot 994,83 \cdot 4,185 \cdot (55 - 30)}{3600} = 473,04 \text{ kWh/den} \quad (4.4)$$

- Množství dodaného tepla v referenční den pomocí odporové tyče

$$Q_E = z \cdot E_{FVT} \cdot \eta_c = 21 \cdot 1092 \cdot 0,94 = 21\,556,1 \text{ Wh/den} = 21,6 \text{ kWh/den} \quad (4.4.1)$$

Procentuální pokrytí potřebného tepelného příkonu:

$$\frac{Q_E}{Q_{TV}} \cdot 100 = 4,57 \% \quad (4.4.2)$$

Elektrická energie získaná z 21 trubic kolektorů VirtuPVT pokryje v referenčním dni v přechodném období pouze 4,57 % celkové potřeby tepla na dohřev TV.

Pokud je uvažována snaha o pokrytí potřeby tepla na ohřev TV z 30 %, tak výpočet procentuálního pokrytí potřeby vypadá následovně:

$$\frac{Q_E}{Q_{TV} \cdot 0,3} \cdot 100 = 15,2 \%$$

(4.4.3)

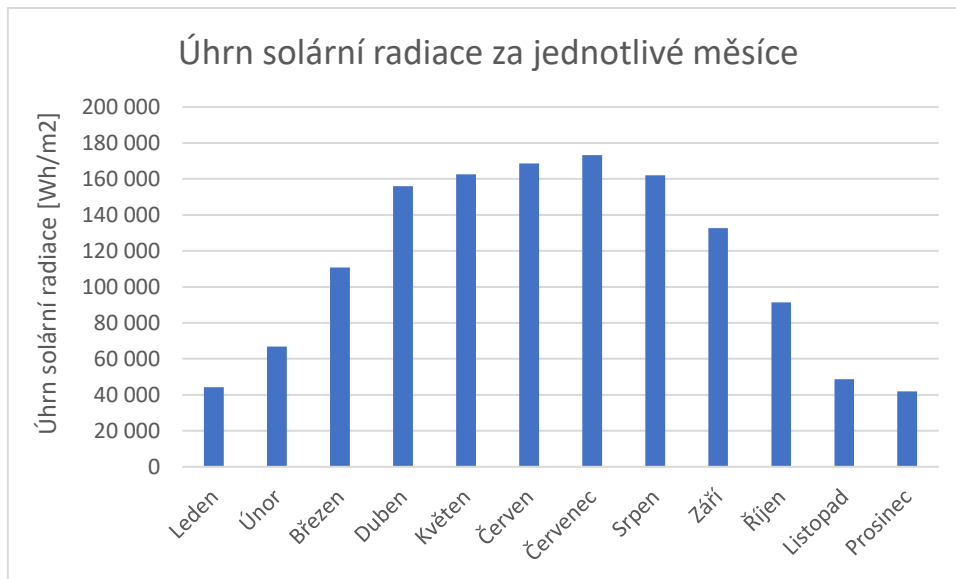
Pokud je tepelná bilance vztažena ke snaze o pokrytí celkové potřeby tepla z 30 %, pak dosahuje systém mírného navýšení procentuálního pokrytí. Zároveň je nutné dodat, že výpočet je stále prováděn na kompletní dohřev (z 30 °C na 55 °C). Pokud bude systém využívat elektřinu z FVT kolektorů na dohřev na nižší teplotu, pak bude bilance vycházet optimističtěji.

4.5 Energetické zisky v průběhu roku

Zjištění energetické bilance navrhovaného systému lze provést různými způsoby. Cílem bilančních výpočtů je zjistit množství generované tepelné a elektrické energie pomocí hybridních FVT kolektorů VirtuPVT. Na základě těchto dat lze odhalit potenciální finanční úsporu při výrobě teplé vody pro penzion. Generované energetické zisky systému vychází z hodnot úhrnu solární radiace v referenční lokalitě, které jsou čerpány z programu PVGIS (Photovoltaic geographical information system). Na základě zkušeností a praktičnosti byl zvolen postup tzv. referenčního dne. Zvolená metodika zjednodušuje výpočty, neboť pracuje s průměrnými hodnotami sluneční radiace po dobu celého měsíce. V programu PVGIS je uvažováno se sklonem absorberů 35° vůči střeše budovy a jejich orientací přímo na jih. Výsledné úhrny solárního záření za jednotlivé měsíce jsou uvedeny v tabulce 4.5. [19]

Tabulka 4.5 Úhrn solární radiace na plochu 1 m² pod sklonem 35° v referenční lokalitě

Měsíc	Úhrn solární radiace [Wh/m ²]
Leden	44 174
Únor	66 847
Březen	110 722
Duben	156 036
Květen	162 496
Červen	168 605
Červenec	173 198
Srpen	161 968
Září	132 618
Říjen	91 434
Listopad	48 685
Prosinec	41 888
Celkem za rok	1 358 671



Graf 4.5 Úhrn solární radiace v referenční lokalitě v jednotlivých měsících

Na základě zjištěných dat lze následně vypočítat hrubý odhad generovaných energetických zisků solárního systému s hybridními FVT kolektory. Postup výpočtu pro měsíc leden je uveden níže. Následující měsíce byly zpracovány stejným způsobem.

- Elektrická energie vygenerovaná za měsíc leden:

$$E_{FVT} = G_{z\acute{a}\check{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{el} \cdot k \cdot n \cdot d = 194,8 \text{ kWh/měsíc}$$

(4.5)

$G_{z\acute{a}\check{r}}$ = dopadající sluneční záření za den v lednu = 1 425 Wh/m²

S_{akt} = aktivní plocha jednoho panelu = 0,324 m²

η_{el} = elektrická účinnost panelu = 21,6 %

k = koncentrační faktor = 3

n = počet trubic = 21 ks

d = počet dnů v měsíci = 31

- Teplná energie vygenerovaná za měsíc leden:

$$Q_{FVT} = G_{z\acute{a}\check{r}} \cdot S_{akt} \cdot \eta_{tep} \cdot k \cdot n \cdot d = 765,5 \text{ kWh/měsíc}$$

(4.5.1)

$G_{z\acute{a}\check{r}}$ = dopadající sluneční záření za den v lednu = 1 425 Wh/m²

S_{akt} = aktivní plocha jednoho panelu = 0,324 m²

η_{tep} = elektrická účinnost panelu = 84,9 %

k = koncentrační faktor = 3

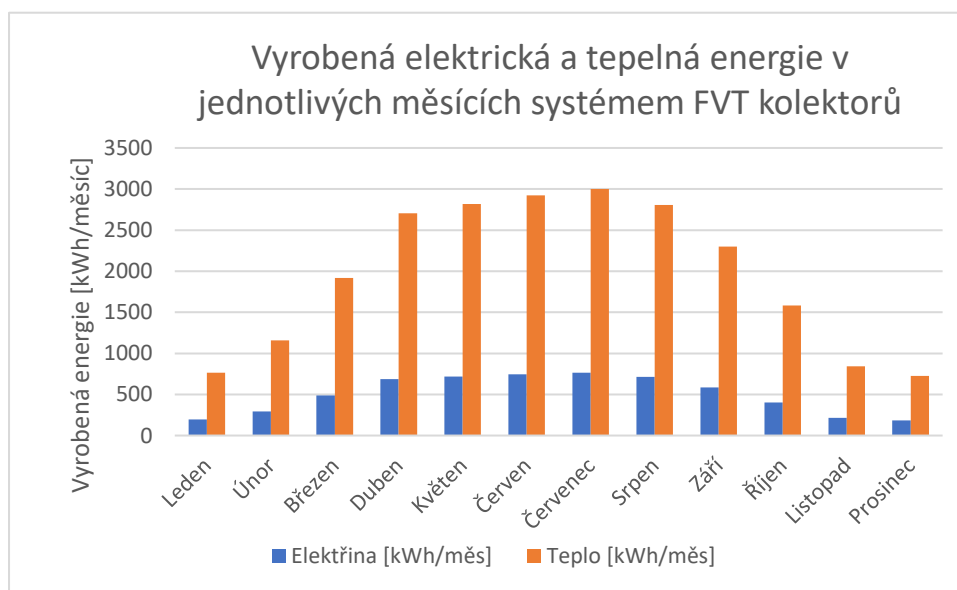
n = počet trubic = 21 ks

d = počet dnů v měsíci = 31

Předchozí postup byl zopakován pro všechny zbývající měsíce a výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tabulce 4.5.1. V tabulce níže je možno vidět množství generované elektrické a tepelné energie v jednotlivých měsících.

Tabulka 4.5.1 Množství generované elektrické a tepelné energie pomocí FVT kolektorů VirtuPVT

VirtuPVT	Elektrina [kWh/měsíc]	Teplo [kWh/měsíc]
Leden	194,8	765,5
Únor	294,7	1 158,4
Březen	488,2	1 918,8
Duben	688,0	2 704,1
Květen	716,4	2 816,0
Červen	743,4	2 921,9
Červenec	763,6	3 001,5
Srpen	714,1	2 806,9
Září	584,7	2 298,2
Říjen	403,1	1 584,5
Listopad	214,7	843,7
Prosinec	184,7	725,9
Celkem za rok	5 990,4	23 545,5



Graf 4.5.1 Množství generované elektrické a tepelné energie pomocí FVT kolektorů VirtuPVT

Z tabulky a grafu 4.5.1 je na první pohled patrné, že tepelné zisky systému značně převyšují elektrické, příčinou je vyšší účinnost transformace energie. Dále je zřejmé, že v průběhu roku bude docházet ke značným výkyvům v energetických ziscích v rámci ročních období. Jedná se o typickou charakteristiku solárních systémů v mírném podnebném pásmu.

Validace solární radiace

Program PVGIS na zjištění úhrnu solární radiace je v této práci použit jako jediný zdroj informací o solárním záření ve zvolené lokalitě. Z toho důvodu je podstatné provést validaci získaných dat. Na základě kontroly dat je možné výsledky z PVGIS prohlásit za platné. Solární radiace je validována pro referenční den v měsíci březnu. Ke kontrole výpočtů jsou použity dvě metody:

- Program Helioclim
- Norma ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor

[20, 21]

Validace normou ČSN 73 0548

Způsob kontroly pomocí normy ČSN vychází pouze z numerických výpočtů a nepracuje s přesnějšími daty, jako je tomu u programu PVGIS či Helioclim. Na základě sluneční konstanty, roční doby a polohy lokality, ve které se nachází penzion, je možné zjistit množství dopadající slunečního záření. Od výpočtů lze očekávat, že výsledky budou mírně vyšší než u zbývajících dvou metod. Norma totiž slouží k odhadu potřebného chladicího výkonu pro klimatizované prostory, proto jsou výpočty předimenzované. Metoda dle normy ČSN 73 0548 spočívá ve výpočtu množství dopadajícího záření v každou jednotlivou hodinu v průběhu dne, pro názornost je zde uveden výpočet dopadající sluneční radiace k osmé hodině ranní. [21]

1. Výpočet polohy slunce

Sluneční deklinace

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30M) = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot 3) = 0^\circ$$

(4.5.2)

M ... číslo měsíce (1-12)

Výška slunce nad obzorem

Pro 50° severní šířky (ČR) se určuje

$$\sin(h) = 0,766 \cdot \sin(\delta) - 0,643 \cdot \cos(15\tau) = 0,766 \cdot \sin(0) - 0,643 \cdot \cos(15 \cdot 8) = 0,3215$$

(4.5.3)

$$h = 18,754^\circ$$

τ ... sluneční čas [h], $\tau = 8$ h

Sluneční azimut

$$\sin(a) = \frac{\sin(15\tau) \cdot \cos(\delta)}{\cos(h)} = \frac{\sin(15 \cdot 8) \cdot \cos(0)}{\cos(18,754)} = 0,9146$$

(4.5.4)

$$a = 66,15^\circ$$

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků θ

$$\cos(\theta) = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - \gamma) \quad (4.5.5)$$

$$\cos(\theta) = \sin(18,754) \cdot \cos(35) + \cos(18,754) \cdot \sin(35) \cdot \cos(66,15 - 0) = 0,483$$
$$\theta = 61,12^\circ$$

α ... úhel stěny s vodorovnou rovinou, vzatý na odvrácené od slunce [°]

γ ... azimutový úhel normály stěny, vzatý od směru sever po směru otáčení hodinových ručiček [°]

2. Intenzita sluneční radiace (ČSN 73 0548)

Intenzita přímé sluneční radiace

$$I_D = I_0 \cdot e^{[-0,097 \cdot z \cdot (\sin(h))^{-0,8}]} = 1350 \cdot e^{[-0,097 \cdot 7 \cdot (\sin(18,754))^{-0,8}]} = 121,14 \text{ W/m}^2 \quad (4.5.6)$$

I_0 ... sluneční konstanta [W/m²]

z ... součinitel znečištění atmosféry, $z=7$ [-]

Součinitel znečištění atmosféry charakterizuje množství nečistot v ovzduší ve zvolené lokalitě, které výrazně ovlivňuje množství přímé dopadající sluneční radiace. Vzhledem ke stáří a charakteru normy byl součinitel „ z “ volen vyšší. Normou daný výpočet byl vydán v roce 1986, z čehož lze usuzovat, že hodnoty, na kterých závisí tento součinitel, jsou již dnes rozhodně jiné. Norma ČSN 73 0548 se používala k návrhu klimatizací a vzduchotechniky, takže z hlediska bezpečnosti návrhu počítá s vyšším množstvím dopadající sluneční radiace než jiné dnešní metody. V normě není žádným způsobem řešena oblačnost a jiné klimatické podmínky, které ovlivňují množství dopadajícího záření. Tato fakta byla klíčová pro volbu součinitele znečištění atmosféry.

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orientovanou plochu

$$I_{DS} = I_D \cdot \cos(\theta) = 121,14 \cdot \cos(61,12) = 57,81 \text{ W/m}^2 \quad (4.5.7)$$

Intenzita difusní sluneční radiace

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot \frac{\sin(h)}{3} \quad (4.5.8)$$

$$I_d = \left[1350 - 121,14 - (1080 - 1,4 \cdot 121,14) \cdot \sin^2\left(\frac{35}{2}\right) \right] \cdot \frac{\sin(18,754)}{3} = 110,73 \text{ W/m}^2$$

Intenzita celkové sluneční radiace

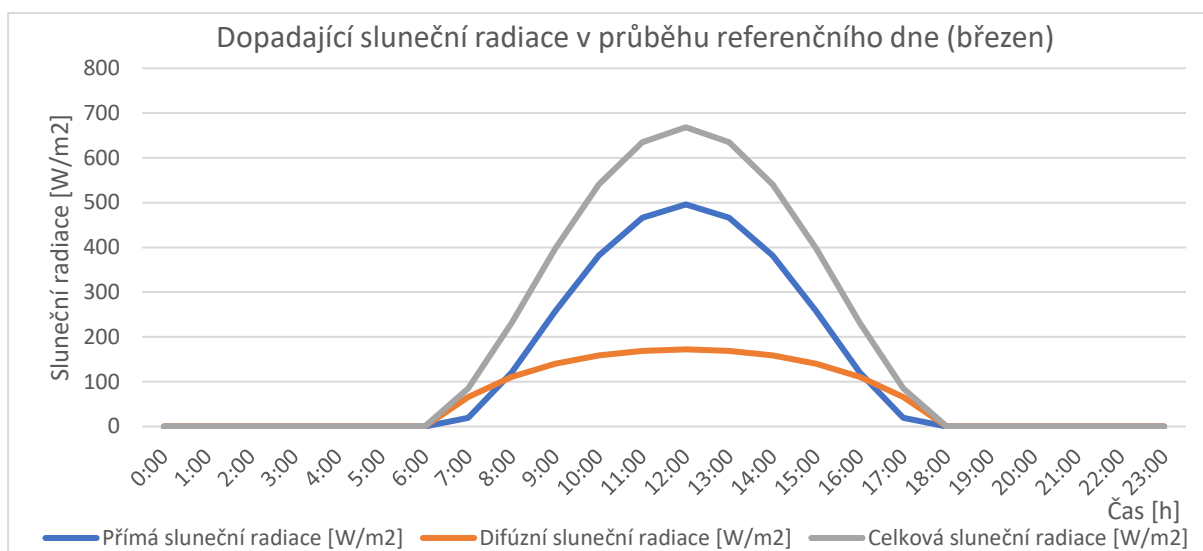
$$I_C = I_{DS} + I_d = 168,54 \text{ W/m}^2 \quad (4.5.9)$$

3. Dopadající solární radiace v průběhu referenčního dne

Podle normy byly provedeny výpočty na zjištění intenzity celkové solární radiace v průběhu referenčního dne. Dílčí výpočty byly zaměřeny na propočítání dvou hlavních složek solární radiace: difúzní a přímé sluneční radiace. Výsledky výpočtu jsou zpracovány v tabulce a grafu 4.5.1.1.

Tabulka 4.5.1.1 Průběh solární radiace v referenční den dle normy ČSN 73 0548 [21]

Čas [h]	Přímá sluneční radiace [W/m ²]	Difúzní sluneční radiace [W/m ²]	Celková sluneční radiace [W/m ²]
0:00	0	0	0
1:00	0	0	0
2:00	0	0	0
3:00	0	0	0
4:00	0	0	0
5:00	0	0	0
6:00	0	0	0
7:00	19,52	65,69	85,21
8:00	121,14	110,73	231,87
9:00	257,52	139,90	397,42
10:00	381,77	158,48	540,24
11:00	466,24	168,92	635,16
12:00	495,98	172,30	668,29
13:00	466,24	168,92	635,16
14:00	381,77	158,48	540,24
15:00	257,52	139,90	397,42
16:00	121,14	110,73	231,87
17:00	19,52	65,69	85,21
18:00	0	0	0
19:00	0	0	0
20:00	0	0	0
21:00	0	0	0
22:00	0	0	0
23:00	0	0	0
Celkové množství dopadající sluneční radiace			4 448,10 Wh/m²



Graf 4.5.1.1 Průběh solární radiace v referenční den dle normy ČSN 73 0548 [19]

Celková dopadající solární radiace v referenční den v březnu vychází vyšší při výpočtu dle normy ČSN 73 0548, než je hodnota z programu PVGIS. Příčinou je charakter výpočtu, neboť tato metoda není primárně určena ke zjišťování úhrnu solární radiace, pokud jde o návrh solárního systému, a navíc se jedná pouze o numerickou metodu. Oproti tomu program PVGIS pracuje s hodnotami určenými z dat naměřených na meteorologických stanicích.

Validace dle programu Helioclim

Druhá metoda validace výsledků je velmi odlišná oproti normovanému výpočtu. Program Helioclim pracuje s obdobnými daty jako PVGIS, avšak je provozován soukromou společností SoDa. (Solar radiation Data) zprostředkovává webové služby, tj. nabízí jednorázový přístup k velkému množství informací týkajících se slunečního záření a jeho využití. SoDa nechává veřejně přístupnou demoverzi programu Helioclim, který je velmi podobný PVGIS. Demoverze obsahuje pouze data mezi lety 2004-2006. [20]

Do Helioclimu byly zadány stejné vstupní parametry jako do PVGIS. Výsledky validace jsou uvedeny v tabulce 4.5.1.2.

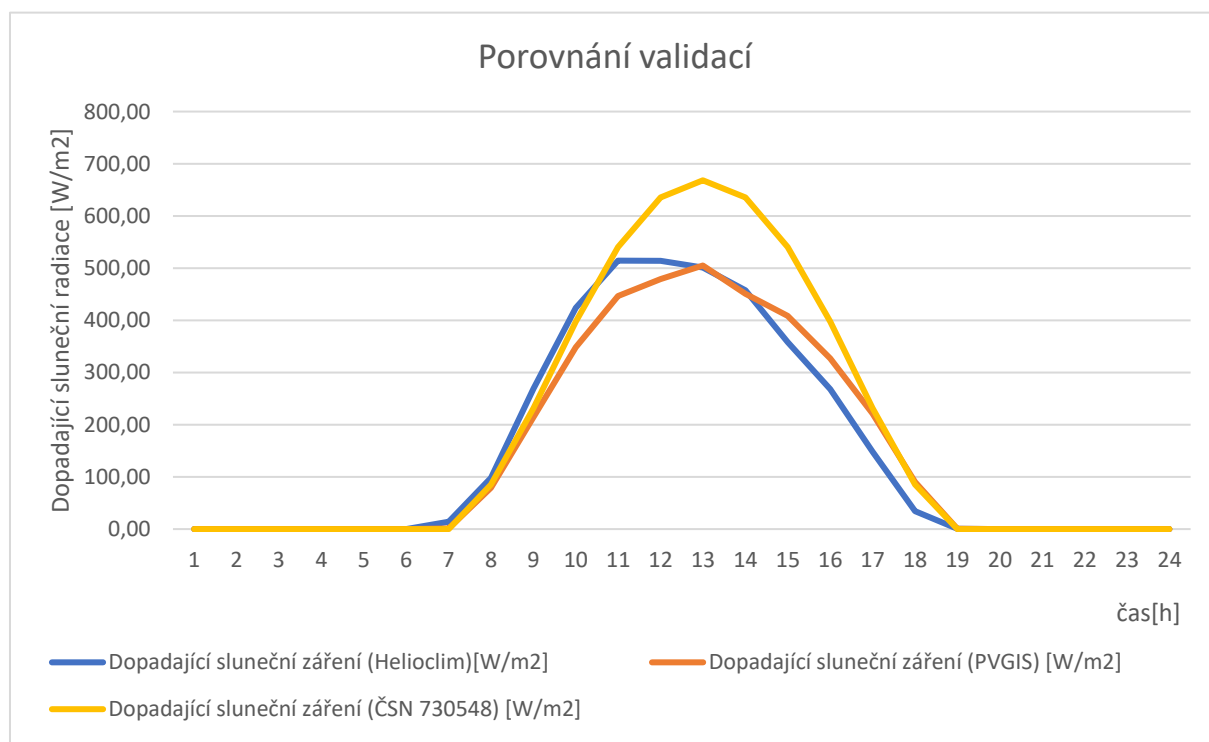
Tabulka 4.5.1.2 Úhrn dopadající solární radiace ve zvolené lokalitě v referenční den [20]

Čas [h]	Celková sluneční radiace [W/m ²]
0:00	0,00
1:00	0,00
2:00	0,00
3:00	0,00
4:00	0,00
5:00	0,06
6:00	13,81
7:00	98,19
8:00	269,10
9:00	423,77
10:00	514,35
11:00	513,87
12:00	500,94
13:00	457,48
14:00	357,97
15:00	268,19
16:00	148,19
17:00	34,48
18:00	0,68
19:00	0,00
20:00	0,00
21:00	0,00
22:00	0,00
23:00	0,00
Celkem	3 601,10 Wh/m²

V porovnání s normovaným výpočtem jsou výsledky z programu Helioclim menší a více se blíží hodnotám z PVGIS. Porovnání všech variant je uvedeno v tabulce a grafu 4.5.1.3.

Tabulka 4.5.1.3 Porovnání validací úhrnu solární radiace ve zvolené lokalitě [19–21]

Čas [h]	Dopadající sluneční záření (ČSN 730548) [W/m ²]	Dopadající sluneční záření (PVGIS) [W/m ²]	Dopadající sluneční záření (Helioclim)[W/m ²]
0:00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,06
6:00	0,00	1,25	13,81
7:00	85,21	78,92	98,19
8:00	231,87	214,46	269,10
9:00	397,42	348,25	423,77
10:00	540,24	446,44	514,35
11:00	635,16	478,75	513,87
12:00	668,29	505,00	500,94
13:00	635,16	450,88	457,48
14:00	540,24	408,22	357,97
15:00	397,42	326,88	268,19
16:00	231,87	221,57	148,19
17:00	85,21	90,38	34,48
18:00	0,00	0,69	0,68
19:00	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00
Celkem	4 448,08 Wh/m²	3 571,69 Wh/m²	3 601,10 Wh/m²



Obrázek 4.5.1.3 Porovnání validací úhrnu solární radiace ve zvolené lokalitě [18–20]

Validace solární radiace ukázala, že jako relevantní zdroj lze používat program PVGIS, neboť data z něj získaná jsou velmi podobná těm z programu Helioclim. Odchyłka o velikosti 0,82 % celkového úhrnu solární radiace v referenční den je zanedbatelná a výkyvy z hlediska denního maxima je možné přisuzovat rozdílnosti dat, ze kterých programy čerpají. Programy pracují na principu interpolace sluneční radiace na základě reálných hodnot z meteorostanic. Nelze přesně zjistit, ze kterých dat program čerpá. Z tohoto důvodu je obtížné posoudit, který z programů se nejvíce blíží realitě. Avšak celkový úhrn solární radiace je téměř shodný, proto lze validaci prohlásit za úspěšnou a v dalších výpočtech pokračovat s daty PVGIS.

4.5.2 Finanční úspora na přípravě teplé vody

Cílem této práce je navrhnout 3 možné varianty pro snížení finanční náročnosti přípravy teplé vody v objektu. Na základě dříve zjištěných energetických zisků pomocí FVT kolektorů je v této kapitole odhadnuta finanční úspora na přípravě teplé vody v celém roce. Jedná se ovšem o odhad, neboť není zcela jasné, jak se systém s hybridními FVT kolektory bude chovat v reálném provozu. Především energetické zisky v letních a zimních měsících, získané z programu PVGIS, nelze považovat za naprosto přesné. Podstatou následujících výpočtů pro zjištění finančních úspor je pouze odčítání energie potřebné pro ohřev TV za současného stavu a energie potřebné při využití FVT kolektorů. Současný stav je zopakován v tabulce 4.5.2. Jednotková cena teplé vody zahrnuje vodné, stočné a cenu tepla, která je stanovena smluvně s externí firmou provozující kotelnu (ONSite Power).

Tabulka 4.5.2 Současný stav finanční náročnosti přípravy TV

Spotřeba TV za den dle fakturace	V_{den}	9,91 m ³ /den	
Množství tepla na ohřev TV za den	$Q_{\text{TV_den}}$	598,94 kWh/den	
Vodné (s DPH)	$N_{\text{vodné}}$	51 Kč/1 m ³ (61,71 Kč/1 m ³)	
Stočné (s DPH)	$N_{\text{stočné}}$	47,4 Kč/1 m ³ (57,35 Kč/1 m ³)	
		bez DPH	s DPH
Cena TV za den	$C_{\text{TV_den}}$	2 725 Kč	3 297 Kč
Cena TV za měsíc (28 dní)	$C_{\text{TV_měs}}$	76 290 Kč	92 311 Kč
Cena TV za měsíc (30 dní)	$C_{\text{TV_měs}}$	81 740 Kč	98 905 Kč
Cena TV za měsíc (31 dní)	$C_{\text{TV_měs}}$	84 464 Kč	102 202 Kč
Cena TV za rok	$C_{\text{TV_rok}}$	994 498 Kč	1 203 343 Kč

Příprava teplé vody v penzionu stojí v současné době přibližně 90 000 Kč měsíčně, což znamená, že majitelé penzionu zaplatí 1 203 343 Kč (s DPH) za teplou vodu ročně. Finanční náročnost přípravy TV se s níží při využití FVT kolektorů.

Množství potřebného tepla pro ohřev TV se bude odvíjet od generovaných energetických zisků v jednotlivých měsících, které závisí na množství dopadající solární radiace. Z pohledu tepelné energie lze pouze odhadovat, jak velké budou teplotní ztráty v potrubních rozvodech od kolektorů k zásobníkům TV. Lze ovšem předpokládat, že instalace solárního systému bude obsahovat i nové kvalitní izolace potrubí, a ztráty tak budou minimální. Z tohoto důvodu jsou tepelné ztráty zanedbány. Ztráty na straně elektrické energie byly řešeny v kapitole 4.4. Hlavní ztráty jsou: ztráta při transformaci napětí ve střídači (90 %) a ztráta v odporové tyči v zásobníku (98 %). Na základě tohoto předpokladu je nutno elektrické zisky systému snížit celkovou účinností transformace 94 %. Tabulka 4.5.2.1 znázorňuje, jakým způsobem se zmenší elektrické zisky systému v referenční den v měsíci s uvažováním ztrát při transformaci energie.

Tabulka 4.5.2.1 Zisky elektrické energie z FVT systému s uvažováním účinnosti transformace energie v referenční den

	E [kWh/ref.den]	E s účinností 94% [kWh/ref.den]
Leden	2,5	2,3
Únor	4,2	3,9
Březen	6,3	5,9
Duben	9,1	8,6
Květen	9,2	8,6
Červen	9,8	9,2
Červenec	9,8	9,2
Srpen	9,1	8,6
Září	7,7	7,3
Říjen	5,2	4,9
Listopad	2,8	2,7
Prosinec	2,4	2,2

Při zachování všech vstupních parametrů kromě potřebného množství tepla bude nákladovost přípravy TV vypadat následujícím způsobem, jak je možno vidět v tabulce 4.5.2.2.

Tabulka 4.5.2.2 Finanční náročnost přípravy TV při uvažování energetických zisků systému FVT kolektorů

		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	N _{TV_1}	81 693	98 849
Únor	N _{TV_2}	72 097	87 238
Březen	N _{TV_3}	77 519	93 798
Duben	N _{TV_4}	71 952	87 062
Květen	N _{TV_5}	74 271	89 868
Červen	N _{TV_6}	71 164	86 108
Červenec	N _{TV_7}	73 600	89 056
Srpen	N _{TV_8}	74 305	89 909
Září	N _{TV_9}	73 421	88 839
Říjen	N _{TV_10}	78 729	95 262
Listopad	N _{TV_11}	78 686	95 210
Prosinec	N _{TV_12}	81 837	99 022
Cena teplé vody za rok		909 274	1 100 221

Tabulka 4.5.2.3 Finanční úspora při přípravě TV při instalaci FVT systému oproti současnému stavu

		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	Ú _{TV_1}	2 771	3 353
Únor	Ú _{TV_2}	4 193	5 074
Březen	Ú _{TV_3}	6 945	8 404
Duben	Ú _{TV_4}	9 788	11 843
Květen	Ú _{TV_5}	10 193	12 333
Červen	Ú _{TV_6}	10 576	12 797
Červenec	Ú _{TV_7}	10 864	13 146
Srpen	Ú _{TV_8}	10 160	12 293
Září	Ú _{TV_9}	8 319	10 066
Říjen	Ú _{TV_10}	5 735	6 940
Listopad	Ú _{TV_11}	3 054	3 695
Prosinec	Ú _{TV_12}	2 627	3 179
Roční úspora za rok		85 224	103 121

Na základě porovnání finanční náročnosti přípravy teplé vody při instalaci FVT systému a současného stavu bylo zjištěno, že v nejméně příznivých měsících, z hlediska úhrnu solární radiace, se bude finanční úspora pohybovat okolo nižších jednotek tisíc, a naopak v nadprůměrných měsících bude úspora přes 10 000 Kč. Data budou klíčová pro ekonomické zhodnocení návrhu, jehož výstupem bude zjištění prosté/diskontované doby návratnosti investice navrhované varianty.

4.5.3 Porovnávací solární elektrárna

Hybridní FVT kolektory nejsou zatím častou volbou při návrzích malých a středních solárních elektráren. Z tohoto důvodu je zapotřebí provést porovnání navrhovaného systému s více konvenčními technologiemi. K tomuto účelu bude sloužit systém složený z fotovoltaických panelů a solárních trubcových kolektorů, neboť se principiálně jedná o zařízení podobná hybridním FVT kolektorům. Konkrétně budou pro porovnání využity fotovoltaické panely Jinko 460Wp a solární kolektory AAA Sol-20T. Jedná se o zařízení zmíněná v kapitole 3.2.1 a 3.3.1.

Cílem porovnání je zjistit energetické zisky a z toho vyplývající finanční úspory. Posledním krokem porovnávání bude odhad finanční náročnosti obou variant.

Porovnávací systém bude navrhován tak, aby měl srovnatelný instalovaný špičkový výkon jako systém s FVT kolektory. K tomuto návrhu lze snadno dojít skrze následující výpočet, pomocí kterého lze zjistit potřebný počet panelů a kolektorů.

$$\text{počet panelů/kolektorů} = \frac{\text{instalovaný FVT výkon}}{\text{špičkový FV/FT výkon jednoho zařízení}}$$

(4.5.3)

Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tabulce 4.5.3.

Tabulka 4.5.3 Tabulka porovnání výkonů a počtu jednotlivých zařízení

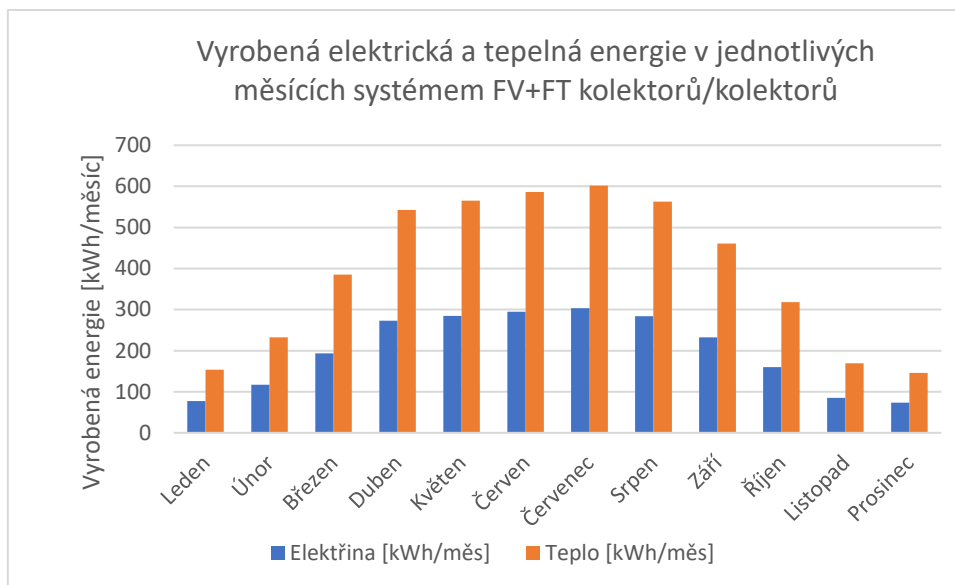
Hybridní FVT kolektory – VirtuPVT			
Špičkový elektrický výkon	P_{el}	70	Wp
Špičkový tepelný výkon	P_{tep}	275	Wp
	Počet trubíc	21	ks
Celkový elektrický výkon	P_{el_celk}	1 470	Wp
Celkový tepelný výkon	P_{tep_celk}	5 775	Wp
Fotovoltaické panely Jinko 400Wp			
Špičkový elektrický výkon	P_{el}	460	Wp
Špičkový tepelný výkon	P_{tep}	-	Wp
	Počet panelů	3,196	ks
	Volba	4	ks
Celkový elektrický výkon	P_{el_celk}	1 840	Wp
Celkový tepelný výkon	P_{tep_celk}	-	Wp
Fototermický vakuový trubicový kolektor – AAA Sol-20T			
Špičkový elektrický výkon	P_{el}		Wp
Špičkový tepelný výkon	P_{tep}	1 454	Wp
	Počet kolektorů	3,972	ks
	Volba	4	ks
Celkový elektrický výkon	P_{el_celk}	-	Wp
Celkový tepelný výkon	P_{tep_celk}	5 816	Wp

Porovnávací systém dle předchozích výpočtů bude obsahovat 4 fototermické vakuové kolektory a 4 fotovoltaické panely. Instalovaný špičkový výkon se blíží výkonu navrhovaného systému. Instalovaný špičkový výkon je v této práci vnímán jakožto parametr, kterým lze nejlépe validně porovnat oba systémy, neboť v reálném provozu se jedná pouze o krátkodobý údaj, kterým nelze dokonale posoudit kvalitu zařízení.

Na základě navržení počtu porovnávacích zařízení byly provedeny výpočty energetických zisků v jednotlivých měsících. Byl použit stejný postup jako v případě FVT systému. Pomocí těchto dat bude možno vypočítat finanční úspory při přípravě teplé vody. Výsledky výpočtů energetických zisků jsou uvedeny v tabulce 4.5.3.1.

Tabulka 4.5.3.1 Množství generované elektrické a tepelné energie pomocí porovnávacího systému FV+FT

FV+FT	Elektřina [kWh/měsíc]	Teplo [kWh/měsíc]
Leden	77,3	153,5
Únor	117,0	232,4
Březen	193,8	384,9
Duben	273,1	542,4
Květen	284,4	564,8
Červen	295,1	586,1
Červenec	303,2	602,0
Srpen	283,5	563,0
Září	232,1	461,0
Říjen	160,0	317,8
Listopad	85,2	169,2
Prosinec	73,3	145,6
Celkem za rok	2 378,2	4 722,6



Graf 4.5.3.1 Množství generované elektrické a tepelné energie pomocí porovnávacího systému FV+FT

Porovnávací systém dle odhadu vygeneruje za rok 2 378,2 kWh elektrické energie a 4 722,6 kWh tepelné energie. Při porovnání energetických zisků z FVT systému v tabulce 4.5.1 je patrné, že FV+FT systém bude vyrábět značně menší množství energie. Příčinou jsou zisky hybridních FVT kolektorů, které jsou výrazně ovlivněny koncentračním faktorem. Na tomto porovnání lze pozorovat významný vliv reflektorů, které zvyšují energetické zisky zařízení.

Energetické zisky, které byly zpracovány pro solární systém s FVT kolektory a porovnávací systém s FV panely a FT kolektory, představují odhad množství generované energie. Reálné hodnoty budou v praxi ovlivněny mnoha faktory. Zásadním faktorem je vliv počasí v jednotlivých měsících. V přechodných měsících (jarní a podzimní období) lze předpokládat, že odhadované zisky by mohly odpovídat realitě. Avšak v letních měsících dochází v praxi ke snížení výkonu solárních systémů vlivem přehřátí panelu. Jedná se o problém týkající se především fotovoltaických panelů. Zvýšená teplota článků je řešena zajímavým způsobem právě u FVT kolektorů VirtuPVT, kde slouží vakuum uvnitř trubice jako tepelná izolace, a lze tak předpokládat nižší pokles výkonu v letních měsících oproti FV panelům.

Teoretická úspora při přípravě teplé vody pomocí porovnávacího solárního systému

Odhadovaná roční finanční úspora při přípravě teplé vody v penzionu pomocí porovnávacího systému byla provedena stejným způsobem jako v kapitole 4.5.2. Zároveň byl proveden stejný postup při odhadu elektrických zisků systému z důvodu ztrát při transformaci energie. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulkách dále.

Tabulka 4.5.3.2 Zisky elektrické energie z FV+FT systému s uvažováním účinnosti transformace energie v referenční den

	E [kWh/ref.den]	E s účinností 94% [kWh/ref.den]
Leden	2,5	2,3
Únor	4,2	3,9
Březen	6,3	5,9
Duben	9,1	8,6
Květen	9,2	8,6
Červen	9,8	9,2
Červenec	9,8	9,2
Srpen	9,1	8,6
Září	7,7	7,3
Říjen	5,2	4,9
Listopad	2,8	2,7
Prosinec	2,4	2,2

Tabulka 4.5.3.3 Finanční náročnost přípravy TV při uvažování energetických zisků porovnávacího systému

		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	N _{TV_1}	83 803	101 402
Únor	N _{TV_2}	75 290	91 101
Březen	N _{TV_3}	82 808	100 198
Duben	N _{TV_4}	79 405	96 081
Květen	N _{TV_5}	82 033	99 260
Červen	N _{TV_6}	79 217	95 853
Červenec	N _{TV_7}	81 873	99 067
Srpen	N _{TV_8}	82 041	99 270
Září	N _{TV_9}	79 756	96 504
Říjen	N _{TV_10}	83 096	100 547
Listopad	N _{TV_11}	81 257	98 321
Prosinec	N _{TV_12}	83 838	101 443
Cena teplé vody za rok		974 419	1 179 047

Tabulka 4.5.3.4 Finanční úspora při přípravě TV při instalaci FV+FT systému oproti současnému stavu

		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	Ú _{TV_1}	661	800
Únor	Ú _{TV_2}	1 000	1 210
Březen	Ú _{TV_3}	1 656	2 004
Duben	Ú _{TV_4}	2 334	2 824
Květen	Ú _{TV_5}	2 431	2 941
Červen	Ú _{TV_6}	2 522	3 052
Červenec	Ú _{TV_7}	2 591	3 135
Srpen	Ú _{TV_8}	2 423	2 932
Září	Ú _{TV_9}	1 984	2 400
Říjen	Ú _{TV_10}	1 368	1 655
Listopad	Ú _{TV_11}	483	584
Prosinec	Ú _{TV_12}	627	758
Roční úspora za rok		20 079	24 296

Tabulka 4.5.3.5 Porovnání ročních úspor FVT a FV+FT systémů

Roční úspora při přípravě TV	bez DPH [Kč/rok]	s DPH [Kč/rok]
<i>Systém s FVT kolektory</i>	85 224	103 121
<i>Systém s FV+FT</i>	20 079	24 296

Z výpočtů je patrné, že finanční úspora při přípravě teplé vody pomocí FV+FT systému bude výrazně nižší než u systému FVT kolektory. Finanční úspora za rok se pohybuje okolo 24 000 Kč (vč. DPH) za rok, což je přibližně o 78 000 Kč méně než u FVT systému, který by mohl generovat roční úsporu ve výši 103 000 Kč (vč. DPH). Hlavní příčinou je samotná konstrukce hybridních FVT kolektorů. Vakuová trubice sloužící jako tepelné izolace v letních a zimních měsících výrazně zvyšuje energetické zisky. Druhý důležitý konstrukční prvek je odrazeč solárního záření, který usměrňuje paprsky na plochu absorberu. Jedná se o technologické prvky, které konvenční FT kolektory a FV panely postrádají.

4.6 Ekonomické zhodnocení

Cílem ekonomického zhodnocení je posoudit realizovatelnost návrhu a jeho ekonomickou životaschopnost. Každý technický projekt je posuzován podle výše počáteční investice, průběžných nákladů na provoz a množství úspor, kterých lze instalací zvolené technologie dosáhnout. Na základě těchto informací lze zjistit prostou a diskontovanou dobu návratnosti počáteční investice. Pro solární systémy obecně platí, že návratnost jejich investice se pohybuje okolo 10 let. Jedná se pouze o průměrnou dobu, kterou nelze považovat za limitující z hlediska rozhodování o možnosti instalace daného systému. V konečném důsledku záleží na rozhodnutí investora, pro kterého může mít daná technologie jiný přínos než finanční úspory na energiích. V dnešní době je velmi časté, že rozhodujícím faktorem je například soběstačnost objektu z pohledu zásobování energiemi. V této práci bude posuzována realizovatelnost návrhu podle prosté/diskontované doby návratnosti investice a zároveň podle přínosu z hlediska míry soběstačnosti objektu na přípravě teplé vody.

4.6.1 Investiční náklady FVT systému

Finanční náročnost projektu je vyhodnocována na základě výše investičních nákladů. Při výčtu základních položek nelze vždy zohlednit vše, neboť tato práce představuje v praxi prováděnou návrhovou studii, ve které se provádí předběžný odhad počáteční investice projektu. Detailní přehled a konečná cena investice by byla vyhotovena v tzv. „detail designu“. Zároveň je nutné zmínit, že do konečné ceny investice se propíší i neočekávané náklady, které lze v počáteční fázi návrhu pouze odhadnout.

V ekonomickém zhodnocení varianty A byl proveden odhad výše investičních nákladů, který vychází z reálných cen komponent, průměrných cen instalačních prací a odborného odhadu. Výsledné investiční náklady jsou uvedeny v tabulce 4.6.1.

Tabulka 4.6.1 Výčet základních investičních nákladů [15, 22–28]

FVT Virtu PVT systém	Cena jednotky		počet kusů (metrů)	Cena celkem	
	s DPH [Kč/ks]	bez DPH [Kč/ks]		s DPH [Kč]	bez DPH [Kč]
Kolektor VirtuPVT (1 trubice)	10 354	8 557	21	217 433	179 697
Potrubní (50 metrů, DN18)	65	54	50	3 249	2 685
Tepelná izolace($D_{vnitř}=22\text{mm}$)	136	112	50	6 793	5 614
Čerpadlo ke střeše	20 643	17 060	1	20 643	17 060
Čerpadlo k výměníku	4 780	3 950	1	4 780	3 950
Deskový výměník	16 250	13 430	1	16 250	13 430
Topná tyč	7 123	5 887	1	7 123	5 887
Střídač	32 900	27 190	1	32 900	27 190
Elektro revize	10 000	7 900	1	10 000	7 900
Topenářské práce	75 000	59 250	1	75 000	59 250
Zednické práce na střeše	40 000	31 600	1	40 000	31 600
Elektroinstalační práce	50 000	39 500	1	50 000	39 500
Celkem				484 171	393 763

Volba jednotlivých komponent byla provedena na základě hrubých výpočtů a odhadů, neboť se jedná pouze o variantní řešení v rámci návrhové studie. Detailnější řešení samotného systému by bylo řešeno v rámci samostatného projektu na základě zadání investora. Je zapotřebí ovšem výčet investičních nákladů řádně okomentovat.

Potrubí DN18 bylo voleno podle výstupních přípojek do kolektorů VirtuPVT a délka byla volena pomocí odhadu a průzkumu objektu tak, aby zohledňovala v nákladech možnou rezervu (případné stavební problémy). V návrhu je potrubí opatřeno tepelnou izolací po celé své délce (minerální vlna s hliníkovým pláštěm) z důvodu zamezení tepelných ztrát. Dále systém disponuje jedním oběhovým čerpadlem nižšího výkonu. Toto čerpadlo od firmy WILLO bude sloužit k oběhu teplé vody mezi zásobníkem a deskovým výměníkem. Deskový výměník o výkonu až 140 kW slouží k oddělení teplé vody na jedné straně a směsi propylenglykolu na druhé straně. Nemrznoucí směs bude cirkulovat mezi deskovým výměníkem a kolektory. Důvodem jsou lepší termomechanické vlastnosti. Cirkulace je zajištěna oběhovým čerpadlem od firmy WILLO o vyšším výkonu, kvůli délce sacího a výtlačného potrubí. Elektřina z kolektorů bude svedena do třífázového střídače napětí a následně do topné tyče.

4.6.2 Prostá doba návratnosti investice FVT systému

Prostá doba návratnosti je nejjednodušším ukazatelem realizovatelnosti projektu. Na základě ročních úspor na energiích při přípravě teplé vody v penzionu a výši investičních nákladů projektu vychází prostá doba návratnosti následujícím způsobem.

- Při uvažování DPH:

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{484\,171}{103\,121} = 4,7 \text{ let}$$

(4.6.2)

T_S = doba návratnosti [roky]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá doba návratnosti investice vychází v horizontu necelých 5 let.

- Bez uvažování DPH:

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{393\,763}{85\,224} = 4,6 \text{ let}$$

(4.6.2.1)

T_S = doba návratnosti [roky]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá doba návratnosti investice se příliš neliší, pokud je uvažováno DPH, a vychází mírně přes 4 a půl roku.

4.6.3 Diskontovaná doba návratnosti investice FVT systému

Diskontovaná doba návratnosti investice stojí na diskontovaném peněžním toku (cash-flow). Pomocí této metody lze získat reálnější představu o návratnosti investice. Klíčový pro výpočet je tzv. diskontní faktor, který je dle ČNB (Česká národní banka) stanoven na 6 %.

$$SH = BH \cdot \frac{1}{(1+i)^n}$$

(4.6.3)

SH = současná hodnota (diskontovaná úspora)

BH = budoucí hodnota (roční úspora)

i = diskontní faktor (6 %)

n = počet let

- Při uvažování DPH:

Tabulka 4.6.3 Roční diskontované úspory systému FVT s DPH

	Roční úspora [Kč (s DPH)]
1. rok	97 284
2. rok	86 583
3. rok	72 697
4. rok	57 582
5. rok	43 029
6. rok	30 334
7. rok	20 174
8. rok	12 657
9. rok	7 492
10. rok	4 183
11. rok	2 204
Celkem	434 219

Diskontovaná návratnost investice vychází výrazně méně pozitivně než prostá doba návratnosti. Z tabulky 4.6.3 vyplývá, že ani po uplynutí 11 let nedosáhne celková úspora výše počáteční investice. Jedná se ovšem pouze o predikci, která je ovlivněna mnoha ekonomickými faktory, tudíž nelze jistě říct, jak bude roční úspora vycházet vzhledem k počáteční investici v budoucnosti. S přesností lze říct, že systém v aktuálním čase může generovat poměrně vysokou roční úsporu při přípravě TV, což může být pro majitele objektu zajímavější porovnávací kritérium.

- Bez uvažování DPH:

Tabulka 4.6.3.1 Roční diskontované úspory systému FVT bez DPH

	Roční úspora [Kč (s DPH)]
1. rok	80 400
2. rok	71 556
3. rok	60 080
4. rok	47 589
5. rok	35 561
6. rok	25 069
7. rok	16 672
8. rok	10 461
9. rok	6 192
10. rok	3 457
11. rok	1 821
Celkem	358 859

Diskontovaná návratnost investice bez uvažování DPH vychází obdobně jako v případě s DPH. Diskontovaná návratnost investice FVT systému vychází nereálně především z důvodu vysokého diskontního faktoru, který byl převzat ze stránek České národní banky (ČNB). Důležitými parametry, které ovlivňují ekonomické hodnocení všech variant, je vliv inflace a ceny energií. Vývoj těchto parametrů v budoucnosti lze poměrně těžko predikovat.

4.6.4 Ekonomické zhodnocení porovnávacího systému FV+FT

Porovnávací solární systém s FV panely a FT kolektory se bude skládat ze stejných komponent, tudíž se odhadovaný výčet investičních nákladů nebude výrazně lišit, jak je možno vidět v tabulce 4.6.4. Jediným rozdílem jsou FV panely a FT kolektory a jejich cena.

Tabulka 4.6.4 Výčet investičních nákladů FV+FT systému [6, 12, 22–28]

FV+FT systém	Cena jednotky		počet kusů (metrů)	Cena celkem	
	s DPH [Kč/ks]	bez DPH [Kč/ks]		s DPH [Kč]	bez DPH [Kč]
FV panel Jinko 460 Wp	5 190	4 100	4	20 760	16 400
FT kolektor AAA Sol – 2T	19 990	15 792	4	79 960	63 168
Potrubní (50 metrů, DN18)	65	54	50	3 249	2 685
Tepelná izolace ($D_{\text{vnitř}}=22\text{mm}$)	136	112	50	6 793	5 614
Čerpadlo ke střeše	20 643	17 060	1	20 643	17 060
Čerpadlo k výměníku	4 780	3 950	1	4 780	3 950
Deskový výměník	16 250	13 430	1	16 250	13 430
Topná tyč	7 123	5 887	1	7 123	5 887
Střídač	32 900	27 190	1	32 900	27 190
Elektro revize	10 000	7 900	1	10 000	7 900
Topenářské práce	75 000	59 250	1	75 000	59 250
Zednické práce na střeše	40 000	31 600	1	40 000	31 600
Elektroinstalační práce	50 000	39 500	1	50 000	39 500
Celkem				367 458	293 635

4.6.4.1 Prostá doba návratnosti investice porovnávacího systému FV+FT

Na základě ročních úspor na energiích při přípravě teplé vody v penzionu a výši investičních nákladů projektu vychází prostá doba návratnosti následujícím způsobem.

- Při uvažování DPH:

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{367\,458}{24\,296} = 15,12 \text{ let}$$

(4.6.4.1)

T_S = doba návratnosti [roky]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá doba návratnosti investice při uvažování DPH vychází přes 15 let.

- Bez uvažování DPH:

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{293\,635}{20\,079} = 14,62 \text{ let}$$

(4.6.4.2)

T_S = doba návratnosti [roky]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá doba návratnosti investice bez DPH vychází přes 14 a půl roku.

4.6.4.2 Diskontovaná doba návratnosti investice porovnávacího systému FV+FT

Diskontovaná doba návratnosti investice i v tomto případě představuje detailnější porovnávací kritérium z hlediska realizovatelnosti projektu. V tomto případě se jasně projeví dva faktory, které výrazně ovlivnili výsledky: vysoký diskontní faktor a malé roční úspora na energiích při přípravě TV.

Tabulka 4.6.4.2 Roční diskontované úspory porovnávacího systému FV+FT s/bez DPH

	s DPH [Kč]	bez DPH [Kč]		s DPH [Kč]	bez DPH [Kč]
1. rok	22 921	18 943	12. rok	258	213
2. rok	20 399	16 859	13. rok	121	100
3. rok	17 128	14 155	14. rok	54	44
4. rok	13 567	11 212	15. rok	22	18
5. rok	10 138	8 378	16. rok	9	7
6. rok	7 147	5 906	17. rok	3	3
7. rok	4 753	3 928	18. rok	1	1
8. rok	2 982	2 465	19. rok	0	0
9. rok	1 765	1 459	20. rok	0	0
10. rok	986	815			
11. rok	519	429	Celkem	102 773	84 936

Z výpočtu vyplývá, že při diskontování ročních úspor je návratnost investice nereálná, a tudíž je navržený porovnávací systém nerealizovatelný. Oproti navrhovanému FVT systému se roční diskontované úspory porovnávacího systému ani nepřiblíží výši investičních nákladů za 20 let provozu. Příčinou je vysoký diskontní faktor a nízká roční úspora na energiích.

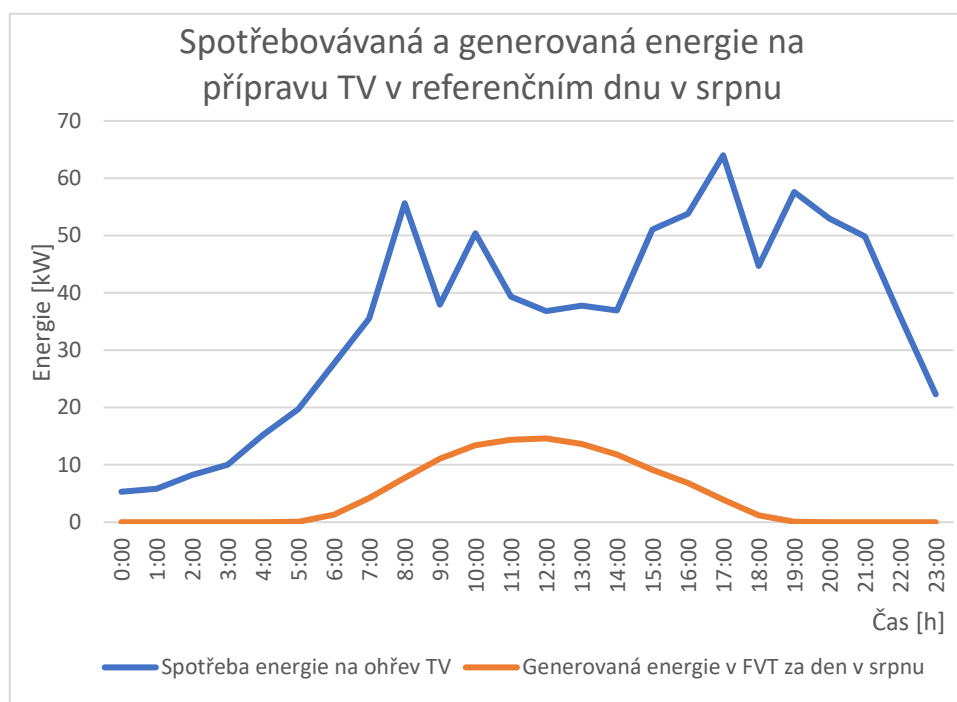
Na základě ekonomického zhodnocení bylo zjištěno, že systém FVT kolektorů na předehřev TV je realizovatelný. Vysoká úspora na přípravě teplé vody má za následek krátkou prostou dobu návratnosti investice, což je zúsobeno vysokými energetickými zisky systému.

Dále zhodnocení porovnávacího systému ukázalo, že systém FV+FT nelze realizovat v důsledku nízkých energetických zisků a nízkých ročních úspor na energiích. To se výrazně projevilo při výpočtu diskontované doby návratnosti. Diskontovaná doba návratnosti ukázala, že ani po 20 letech od instalace systému by se počáteční investice majitelům pensionu nevrátila.

4.7 Bilance TV v průběhu referenčního dne

Průběh spotřeby teplé vody ve většině obytných objektů vypadá velmi podobně. K největšímu odběru TV dochází během ranní a večerní špičky. Jinak tomu není ani v případě Pensionu Chmelnice. S největší pravděpodobností je očekávatelné, že navrhovaný systém nebude stačit pokrýt ranní špičku, a bude tak zapotřebí pracovat na optimalizaci řízení samotného provozu systému a součinnosti s jinými zdroji tepla tak, aby teplo získané z kolektorů ušetřilo, co nejvíce energie na předehřev TV. Vzhledem k tomu, že výrobce VirtuPVT garantuje nejvyšší možnou teplotu kapaliny na výstupu z kolektorů při optimálních podmínkách až 80 °C, nebylo by zapotřebí uvažovat v některých případech ani tzv. dohřev teplé vody. Jedná se však o velmi optimistický scénář, se kterým lze pracovat pouze v letních měsících.

V následujících grafech je znázorněn průběh spotřeby tepla na přípravu teplé vody v pensionu v průběhu referenčního dne. V grafech je vykreslen i průběh generovaných energetických zisků (teplo + elektřina) ze systému FVT kolektorů v průběhu dne. Spotřeba tepla na přípravu teplé vody je zpracována pouze pro potřeby porovnání v rámci tepelné bilance. Neboť reálná spotřeba v průběhu dne vypadá víc skokově, což je důsledek nahřívání velkých zásobníků otopné vody, která následně ohřívá přes výměník teplou vodu v zásobníku TV. Jakmile jsou zásobníky otopné vody nahřáty na požadovanou teplotu, vypínají se kogenerační jednotky a kotel.



Graf 4.7 Porovnání Spotřebovávaná a generovaná energie na ohřev TV v referenčním dnu v srpnu

Na grafu 4.7 lze vidět, že ani v průměrný letní den nebude systém generovat energetické přebytky. Potvrdilo se, že systém nebude ani zdaleka soběstačný a bude stále zapotřebí dalších zdrojů energie. Zároveň tento graf ukázal, že nebude zapotřebí řešit energetické přebytky z hlediska akumulace energie. Jedná se o poddimenzovaný systém, u něhož by mohlo dojít k navýšení kapacity a zlepšení energetické bilance. Toto navýšení výkonu systému by mohlo znamenat generování energetických přebytků. Problematika přebytků by následně musela být řešena v rámci celkové kapacity zásobníkového systému pensionu. Výsledky dalších energetických bilancí v jednotlivých měsících jsou v příloze 2 až 13.

4.8 Předběžný návrh realizace

Z ekonomických výpočtů byl učiněn závěr, že realizovatelný je pouze systém s hybridními FVT kolektory. Trubice VirtuPVT od Naked Energy by byly instalovány na fasádu objektu v nejvyšším poschodí. Cílem předběžného návrhu realizace je nastínit pomocí vizualizace, jak bude vypadat systém instalovaný na střeše. Jedná se pouze o předběžný návrh, který by mohl sloužit jako podklad pro další projektovou dokumentaci. Hybridní kolektory by byly instalovány na fasádu výklenků v posledním patře, přičemž na každý výklenek by bylo upevněno 5 až 6 kolektorů.



Obrázek 4.8 Vizualizace možné instalace FVT kolektorů na fasádu výklenků v posledním patře objektu

Majitelka objektu do budoucna zvažuje rozsáhlou investici s cílem vybudování luxusních bytů v nejvyšším poschodí. Tato varianta řešení posledního poschodí s využitím hybridních FVT kolektorů je znázorněna v následující vizualizaci. V této variantě se zároveň nabízí další možný energetický návrh. Bylo by možné rozšířit velikost solární elektrárny tak, aby její část zásobovala teplem pouze střešní byty nízkopotenciálním teplem, které by mohlo být použito na podlahové vytápění. Jedná se o variantu, která by vyžadovala další technické a ekonomické zhodnocení, z toho důvodu není v této práci dále rozvedena a je pouze doporučena majitelce objektu ke zvážení.



Obrázek 4.8.1 Vizualizace možné podoby střešní terasy v případě rekonstrukce

4.9 Závěr varianty A

Ve variantě A byl zpracován návrh systému s hybridními fotovoltaicko-termickými kolektory. Navržený systém se skládá z 21 trubic VirtuPVT o celkovém tepelném výkonu $5\,775\text{ Wp}_{\text{tep}}$ a $1\,470\text{ Wp}_{\text{el}}$. Energetické zisky systému byly zjištěny pomocí programu PVGIS. Výsledky byly validovány pomocí normovaného výpočtu dle normy ČSN 73 0548 a programu Helioclim. Validace byla úspěšná, neboť ukázala, že hodnoty z programu PVGIS jsou poměrně přesné. Na základě energetických zisků byla zjištěna finanční úspora při přípravě teplé vody. Roční úspora se může vyšplhat až na 103 121 Kč. Na základě ekonomického zhodnocení lze říci, že navržený systém je provozu schopný. Ačkoli diskontovaná návratnost nevyšla pozitivně, dle výrobce mají kolektory VirtuPVT životnost přes 20 let, a tudíž lze očekávat bezproblémový provoz i po uplynutí této doby. Jedná se ovšem o tak vzdálený časový horizont, že v tuto chvíli není možné dané tvrzení potvrdit ani vyvrátit. Dále byla zpracována i krátká vizualizace možné realizace systému na střeše objektu, včetně návrhu možné realizace posledního poschodí.

Z pohledu citlivostní analýzy je podstatné zmínit, že celý návrh vychází z průměrných referenčních hodnot programu PVGIS a lze odhadovat, že reálné energetické zisky systému by mohly být menší v zimních měsících, a naopak vyšší v letních měsících. Další důležitý aspekt, který výrazně ovlivňuje výpočty, je koncentrační faktor odražečů záření kolektorů VirtuPVT. Hybridní FVT kolektory od firmy Naked Energy vypadají a pracují jinak než FV panely či FT kolektory, a proto bylo zapotřebí tento fakt zohlednit i ve výpočtech. Koncentrační faktor výrazně ovlivňuje reálné zisky systému.

4.9.1 Citlivostní analýza

Na celkové hodnocení navrhovaných variant mají největší vliv dva faktory: ceny energií a vývoj inflace. Jedná se o významné faktory pro celý průmysl a ekonomiku, které budou v následujících podkapitolách krátce okomentovány. Uvedená citlivostní analýza je platná i pro návrhové varianty B a C.

Ceny energií

Predikce ceny tepla, elektřiny a zemního plynu je poměrně složitá, avšak závisí na ní ekonomické hodnocení každého projektu. Cena elektřiny je stanovena smluvně se společností ONSite Power. Přesto je důležité sledovat současné trendy, které by mohly penzion finančně ovlivnit. Od srpna roku 2022 sledujeme pokles silové složky ceny elektřiny, kdy byla na svém vrcholu (984 EUR/MWh). V současné době se cena elektřiny na burze pohybuje okolo 80 EUR/MWh. Jedná se o cenu, která je charakterizována pro futures kontrakt typu baseload s dodáním v České republice v roce 2025 a je považována za referenční cenu v ČR. Vývoj ceny elektřiny lze predikovat na nízké jednotky let dopředu podle těchto termínovaných kontraktů pro následující roky. Aktuální cena elektřiny na rok 2025 je 81,67 EUR/MWh (ke dni 17.3.2024) a na rok 2026 je 72,83 EUR/MWh. Z těchto cen lze usuzovat pokles silové složky ceny elektřiny. Současně s tímto trendem lze očekávat nejistotu a nestabilitu, vzhledem k podpoře pouze určitých typů energetických zdrojů. Z tohoto důvodu lze předpokládat nárůst ostatních položek ceny elektřiny (např.: rezervovaný příkon). [29]

Aktuální cena zemního plynu je na burze 27,026 EUR/MWh (ke dni 17.3.2024). Jedná se o cenu s dodáním plynu následující měsíc, která je považována v Evropě za referenční cenu. V České republice je důležitý kontrakt s dodáním následující rok, který může sloužit jako porovnávací kritérium v ekonomickém hodnocení. Tato cena má v současnosti hodnotu 33,05 EUR/MWh. Stejně jako u ceny elektřiny lze predikovat vývoj ceny plynu podle termínovaných kontraktů (tzv. futures). Futures cena zemního plynu je pro rok 2025 33,05 EUR/MWh a pro rok 2026 31,717 EUR/MWh. Podle těchto cen lze očekávat klesající trend ceny zemního plynu. Avšak je možné, že cena za rezervovanou kapacitu se bude vlivem ekonomické nestability měnit. [30]

Pojem nestabilita spojuje všechny zmíněné komodity (zemní plyn, elektřina, teplo). Důvodem je bezpochyby snaha o odklon od konvenčních primárních zdrojů energie (uhlí, zemní plyn) nebo například současné politické vlivy v Evropě.

Inflace

Inflace v posledních letech (především mezi lety 2021 až 2023) výrazně ovlivnila ekonomické rozhodování firem. Přesto, že inflace v roce 2024 začala zpomalovat, důsledky předchozích let budou ještě stále ovlivňovat ekonomiku. Pokud zůstává inflace stabilní, není zapotřebí výrazněji upravovat diskontované finanční toky projektu. Tento vliv inflace na ekonomiku se projevil v nastavení diskontní sazby ČNB, která tento ukazatel pravidelně aktualizuje. V případě, že by inflace opět stoupla, mohlo by dojít k nejistotě ohledně budoucí hodnoty projektu. Z tohoto důvodu se jedná o jeden z hlavních parametrů ovlivňujících ekonomické hodnocení navrhovaných variant v této práci.

5. Varianta B – Tepelné čerpadlo

Předchozí varianta A vycházela z předpokladu využití solární technologie, jakožto zdroj energie na ohřev TV. Avšak solární energetické zdroje jsou závislé na množství a intenzitě dopadající sluneční radiace na jejich povrch, což z těchto zařízení dělá výkonově proměnlivé zdroje. Z tohoto důvodu je v následující variantě B zhodnocena možnost využití výkonově stálějšího (tzv. tvrdého) zdroje, tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo by mohlo sloužit ke snížení doby chodu kogeneračních jednotek, které slouží nahřátí velkých zásobníků otopné vody a teplé vody.

V dnešní době jsou velmi časté instalace tepelných čerpadel, jakožto sekundárního zdroje tepelné energie na vytápění či ohřev teplé vody. Následující varianta B se zabývá možností využití tepelného čerpadla pro vylepšení energetické bilance penzionu z hlediska teplé vody. Vzhledem k velké spotřebě teplé vody v průběhu dne se využití tepelného čerpadla, jakožto tzv. „tvrdého zdroje“, jeví jako velice výhodné. Ovšem je nutné brát v potaz charakter objektu a jeho polohu. Z těchto důvodů je možné zvažovat návrh nového energetického řešení pouze s kompresorovým tepelným čerpadlem typu vzduch/voda. Pro potřeby penzionu bude nutné hledat vhodné tepelné čerpadlo typu monoblok, což znamená, že se zařízení skládá z jedné kompaktní vnitřní jednotky, která má vyvedený přívod a odvod vzduchu ven z budovy. Optimální objem zásobníku TV by se měl pohybovat okolo 500 litrů.

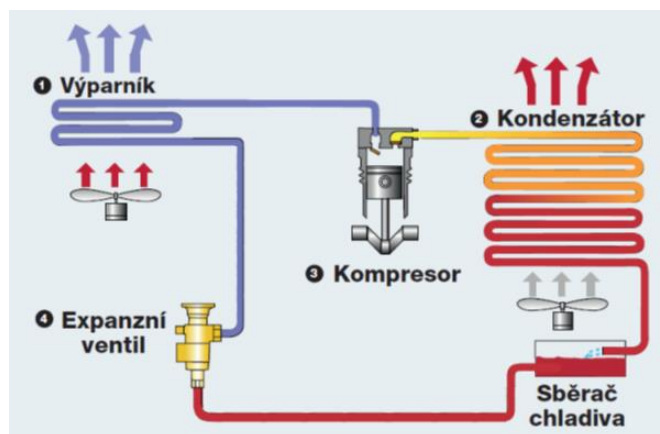
Tepelná čerpadla (TČ) se vyrábí ve mnoha konstrukčních typech s rozdílnými zdroji tepla. Mezi nejrozšířenější typ patří tepelné čerpadlo vzduch/voda, avšak jeho instalace v dnešní době již nemusí automaticky znamenat výhodné energetické řešení. Důvodem je vyšší cena elektrické energie oproti levnějšímu zemnímu plynu. Při ekonomickém zhodnocení varianty B bude tudíž podstatné zbilancování elektrické energie potřebné na chod TČ a její ceny.

5.1 Princip

Tepelné čerpadlo je zařízení, které odnímá teplo z jednoho média (země, vzduch, voda) o nižší teplotě a předává jej jinému médiu (vzduch, voda) o vyšší teplotě. Tento proces je v přírodě nerealizovatelný, neboť je v rozporu s druhým zákonem termodynamiky. Aby tepelné čerpadlo fungovalo, je nutné dodávat energii. Energie je potřebná na pohon kompresoru nebo na procesy probíhající v sorpčním materiálu.

TČ dokážou pomocí malého množství energie proměnit nevyužitelné, tzv. nízkopotenciální teplo, na využitelné. Tato zařízení pracují podle levotočivých cyklů (nejčastěji „obracený“ Rankin-Clausiiův cyklus nebo sorpční oběhy). Chod TČ lze popsat pomocí 4 fází: vypařování, komprese, kondenzace a expanze. V průběhu cyklu dochází k cyklickým změnám skupenství pracovní látky. Se změnou skupenství je spojeno odnímání a přijímání skupenského tepla. Tento proces je umožněn díky fyzikálním a chemickým vlastnostem chladiva, která jsou dnes vyráběna na bázi organických směsí fluoru a dalších látek. Velmi častým chladivem je R-134a (tetrafluorethan). [31, 32]

Pracovní okruh s kompresorem (levotočivý R-C cyklus) má část s nízkým a vysokým tlakem. Vysokotlaká část začíná kompresorem, který je zdrojem tlakové energie. Za kompresorem se nachází kondenzátor, ve kterém je chladivu odebíráno teplo. Po kondenzaci následuje expanze chladiva v expanzním ventilu, při které dochází ke snížení tlaku. Poslední částí je výparník, kde dochází k odebírání tepla z okolí a ohřátí a vypaření chladiva. Cyklus může dále probíhat ve více stupních, čímž lze zvýšit topný, respektive chladicí faktor. Schéma principu tepelného čerpadla je na obrázku 5.1. [31]



Obrázek 5.1 Schéma kompresorového oběhu [31]

Efektivitu tepelného čerpadla, ale i chladících zařízení, určuje topný faktor (u chladících zařízení – chladicí faktor). Topný faktor (COP) je dán vztahem:

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}} [-]$$

(5.1)

Q_{OUT} = odevzdané teplo vytápěnému prostoru či ohřivanému médiu [kJ]

W_{IN} = práce dodaná kompresorem do systému [kJ]

Hodnota topného faktoru se většinou pohybuje okolo hodnoty 2,5 až 5. Ovšem toto číslo není konstantní, neboť závisí na provozních podmínkách.

5.2 Historie tepelných čerpadel

Technologie kompresorových tepelných čerpadel není pouze trendem posledních let, jedná se o technologii, jejíž počátky můžeme datovat až do 18. století. V roce 1756 skotský profesor William Cullen provedl první doloženou ukázkou umělého chlazení, a tím položil základy moderní chladicí techniky a tepelných čerpadel. Profesor Cullen použil pístové čerpadlo k vytvoření částečného vakua v nádobě s diethyletherem. Dalším významným posunem tohoto oboru byl vynález první ledničky. Toho docílil v roce 1834 americký vynálezce Jacob Perkins. Jeho lednička již obsahovala všechny stěžejní komponenty, které jsou typické pro dnešní TČ a chladící zařízení: kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. V roce 1852 britský inženýr Kelvin již teoreticky popsal zařízení, které dnes nazýváme tepelné čerpadlo, neboť do té doby bylo primárním cílem dosáhnout především efektivního chlazení a nikoli alternativního vytápění. Obory tepelných čerpadel a chladicí techniky byly vyvíjeny souběžně a k dalšímu důležitému posunu došlo v roce 1912, kdy švýcarský inženýr Heinrich Zoelly navrhl první elektricky poháněné tepelné čerpadlo typu země/voda pro výrobu nízko teplotního tepla. Avšak o komerčně využitelné zařízení se nejednalo. Komerční výroba začala až v 80. letech minulého století, přičemž rapidně významnější nárůst produkce tepelných čerpadel přišel v první dekádě tohoto století. [33]

5.3 Výrobci

V úvodu do návrhu varianty B již bylo zmíněno, že vzhledem k poloze a charakteru objektu, přichází v úvahu pouze návrh systému s tepelným čerpadlem typu vzduch/voda. Současný trh s těmito tepelnými čerpadly je poměrně rozsáhlý a velice konkurenční. Dnešní energetická situace u nás i ve světě přispívá zvýšenému zájmu o TČ, a tím napomáhá i jejich rozvoji. Dalším kladným faktorem ovlivňujícím trh s tepelnými čerpadly je státní podpora instalací TČ formou dotací. Za všechny výrobce jsou zde uvedeny dvě firmy, jejichž technologie je využitelná pro Pension Chmelnice.

5.3.1 Daikin Altherma

Společnost Daikin Europe N. V. je plně vlastněnou dceřinou společností mateřské společnosti Daikin Industries Limited, která zajišťuje administrativu, vývoj, montáž a prodej produktů Daikin v Evropě, na Středním východě a v Africe. Firma se zaměřuje na klimatizování, ventilace, energeticky efektivní chlazení a vytápění, mrazení a také ohřev vody. V produktovém portfoliu společnosti lze nalézt otopné systémy, klimatizace, procesní chladírenská zařízení, mrazírenské technologie, vzduchové clony, čistírny vzduchu a zařízení na ohřev teplé vody. [34]

Firma nabízí několik typů tepelných čerpadel typu vzduch/voda, která se liší z hlediska součinnosti s jinými zdroji či výkonem. Na základě potřeb pensionu zde uvádím parametry modelu **Altherma M HW – EKHHE260-PCV3**. Jedná se o tepelné čerpadlo sloužící k ohřevu teplé vody s integrovaným zásobníkem. Tento model je vhodný pro malé rezidenční aplikace, ovšem v sériovém použití by mohl fungovat i v řešeném objektu. Zároveň jej lze kombinovat s jinými zdroji tepelné energie (solární kolektory, fotovoltaické panely). [35]

Tabulka 5.3.1 Parametry tepelného čerpadla Altherma M HW – EKHHE260-PCV3 [35]

Parametry	Altherma M HW – EKHHE260-PCV3
Topný výkon [kW]	1,82
COP [-]	3,49
Příkon [W]	430
Energetická třída účinnosti [-]	A+
Teplota venkovního vzduchu (min-max) [°C]	-7–38
Typ chladiva	R-134a
Množství chladiva [kg]	1
Výška x průměr [mm]	1 892 x 628
Objem zásobníku TV [l]	260
Hladina akustického výkonu ve vzdálenosti 1 m [dB]	50
Cena bez DPH [Kč/ks]	67 805
Cena s DPH [Kč/ks]	85 829



Obrázek 5.3.1 Instalace TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3 [20]



Obrázek 5.3.1.1 Tepelné čerpadlo Altherma M HW – EKHHE260-PCV3 [20]

5.3.2 Kronoterm WP4 LF-502

Druhým vybraným výrobcem tepelných čerpadel typu vzduch/voda je slovinská firma Kronoterm. Jedná se o firmu zabývající se vývojem a výrobou tepelných čerpadel pro vytápění, pro ohřev TV, bazénů a chladicích systémů. Kronoterm působí na slovinském, ale i evropském trhu více než 25 let. V zařízeních značky Kronoterm se nachází komponenty od velmi známých dodavatelů, jakými jsou Danfoss, Luve, Copeland, Swep, Alfa Laval, Austria Email, Honeywell, Ziehl Abegg, Ebm Papst, Alco, Tecumseh, Grundfoss, Wilo atd.[36, 37]

Společnost Kronoterm disponuje různými typy tepelných čerpadel. Avšak pro návrh varianty B je podstatný pouze jeden konkrétní typ TČ. Jedná se o tepelné čerpadlo typu vzduch/voda, model WP4 LF-502. Tento model se vyrábí v kompaktním provedení, což znamená, že tepelné čerpadlo a zásobník TV jsou společně v kompaktní jednotce. WP4 LF-502 slouží pouze k výrobě teplé vody, k čemuž může napomáhat volitelný elektro dohřev 2 x 2 kW. Zároveň lze tepelné čerpadlo napojit na jiný zdroj tepla (např. solární kolektory, kotel). Další velmi důležitou funkcí, která není samozřejmostí, je týdenní program funkce antilegionela. Tato funkce napomáhá pravidelnému čištění celého zařízení, a tím zabraňuje kontaminaci teplé vody. Další důležité parametry tohoto zařízení jsou uvedeny níže. [36, 37]

Tabulka 5.3.2 Parametry tepelného čerpadla WP4 LF-502 [36]

Parametry	WP4 LF-502
COP A20°C	3,65
COP _{max}	3,9
Maximální topný výkon [kW]	7,83 (3,83+2 x 2 kW)
Topný výkon TČ [kW]	3,83
Elektro ohřev [kW]	2 x 2
Energetická třída účinnosti [-]	A+
Teplota venkovního vzduchu (min-max) [°C]	-7–35
Typ chladiva	R134a
Množství chladiva [kg]	1,8
Výška x průměr [mm]	2 070 x 856
Objem zásobníku TV [l]	450
Hladina akustického výkonu ve vzdálenosti 1 m [dB]	60
Cena bez DPH [Kč/ks]	142 000
Cena s DPH [Kč/ks]	171 820



Obrázek 5.3.2 Tepelné čerpadlo WP4 LF-502 [22]

5.4 Návrh tepelného čerpadla pro penzion

V návrhu systému s tepelným čerpadlem budou uvažovány dvě varianty: s TČ Kronoterm WP4 LF-502 a s TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3. Důvodem jsou jejich provozní parametry a konstrukce, které jsou velmi podobné, a tak bude stěžejním ukazatelem jejich využitelnosti ekonomické zhodnocení.

V úvodu do návrhu varianty B je důležité zmínit jeden z hlavních přínosů tepelného čerpadla pro hygienu a kvalitu teplé vody v penzionu. Zmiňovaná tepelná čerpadla se skládají mimo jiné i ze zásobníků TV, které mají vzhledem k potřebám penzionu malou kapacitu. Nejedná se však o výrazný technický problém, neboť je počítáno s tím, že zásobník TČ bude propojen se stávajícími akumulačními nádržemi o celkové kapacitě 900 litrů. Výhodou je tedy nepřetržitá cirkulace teplé vody mezi těmito zásobníky. Úprava distribuce TV mezi zásobníky by mohla znamenat snížení tepelných ztrát v akumulačních nádržích, zajištění stálejší teploty TV a zamezení stagnace vody. Snížení míry stagnace TV má hygienický (zdravotní) význam, neboť se eliminuje riziko výskytu bakterií legionella.

5.5 Výpočet energetické náročnosti tepelného čerpadla

Výpočet pro energetické náročnosti se shoduje s výpočtem potřeby tepla s tím rozdílem, že je důležité zohlednit topný faktor COP. Zároveň je představen scénář, jak bude vypadat energetická náročnost tepelného čerpadla v závislosti na nižším topném faktoru v důsledku různých provozních podmínek. Tímto výpočtem bude snazší získat představu o provozu tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody.

Potřebný elektrický příkon tepelného čerpadla pro ohřev referenčního množství teplé vody je proveden na základě následujícího vzorce. Ve výpočtech je využit nominální topný faktor.

- Elektrický příkon TČ Kronoterm WP4 LF-502:

$$W_{T\check{c}1} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{COP} = \frac{1 \cdot 994,83 \cdot 4,185 \cdot (55 - 10)}{3,65} = 14,24 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5)

$W_{T\check{c}1}$ = elektrický příkon tepelného čerpadla na přípravu 1 m³ TV [kWh/1 m³]

- Elektrický příkon TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3:

$$W_{T\check{c}2} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{COP} = \frac{1 \cdot 994,83 \cdot 4,185 \cdot (55 - 10)}{3,49} = 14,89 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5.1)

- Referenční elektrický příkon TČ s COP=3:

$$W_{T\check{c}r} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{COP} = \frac{1 \cdot 994,83 \cdot 4,185 \cdot (55 - 10)}{3} = 17,33 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5.2)

Z porovnání uvažovaných tepelných čerpadel má nejnižší příkon model od firmy Kronoterm. Zároveň je proveden ještě třetí výpočet pro znázornění referenčního elektrického příkonu libovolného čerpadla, pokud bude provozováno při nižším topném faktoru. Ten bude znázorňovat nejméně optimistický scénář. Dále byl proveden obdobný výpočet se zahrnutím ztrát v rozvodech a akumulaci. Zmiňované ztráty byly stanoveny na základě odhadu a zkušeností z obdobných výpočtů.

- Celková tepelná ztráta:

$$Z_c = 1 - (\eta_{aku} \cdot \eta_{rozv}) = 1 - (0,92 \cdot 0,91) = 0,1628$$

(5.5.3)

η_{aku} = účinnost akumulace [-]

η_{rozv} = účinnost rozvodů TV [-]

- Elektrický příkon TČ Kronoterm WP4 LF-502 (zahrnutý ztráty):

$$W_{T\check{c}1Z} = (W_{T\check{c}1} \cdot Z_c) + W_{T\check{c}1} = (14,24 \cdot 0,1628) + 14,24 = 16,56 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5.4)

- Elektrický příkon TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3 (zahrnutý ztráty):

$$W_{T\check{c}2Z} = (W_{T\check{c}2} \cdot Z_c) + W_{T\check{c}2} = (14,89 \cdot 0,1628) + 14,89 = 17,32 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5.5)

- Referenční elektrický příkon TČ s COP=3 (zahrnutý ztráty):

$$W_{T\check{c}rZ} = (W_{T\check{c}r} \cdot Z_c) + W_{T\check{c}r} = (17,33 \cdot 0,1628) + 17,33 = 20,15 \text{ kWh}/1\text{m}^3$$

(5.5.6)

Na základě výše uvedených výpočtů a již dříve zjištěných nákladů spojených přípravou teplé vody, byla zjištěna finanční náročnost přípravy TV pomocí tepelného čerpadla. Cena elektřiny distribuované od společnosti ONSite Power činí 5 Kč/kWh bez DPH. Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 5.5 Finanční náročnost provozu TČ Kronoterm WP4 LF-502

Kronoterm WP4 LF-502		
Vodné	N_{vod} [Kč/m ³]	51
	$N_{\text{vod s DPH}}$ [Kč/m ³]	61,71
Stočné	$N_{\text{stoč}}$ [Kč/m ³]	47,4
	$N_{\text{stoč s DPH}}$ [Kč/m ³]	57,35
Cena elektřiny	N_{elek} [Kč/kWh]	5
	$N_{\text{elek s DPH}}$ [Kč/kWh]	6,05
Spotřeba TV za den	V_{den} [m ³ /den]	9,91
Elektrický příkon TČ (se ztrátami)	$W_{T\check{c}1}$ [kWh/m ³]	16,56
Cena za 1 m ³ TV	C_{TV} [Kč/m ³]	181,2
	$C_{TV \text{ s DPH}}$ [Kč/m ³]	219,2
Cena za TV za den	C_{TV} [Kč/m³]	1 795,6
	$C_{TV \text{ s DPH}}$ [Kč/m³]	2 172,7

Tabulka 5.5.1 Finanční náročnost provozu TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3

Altherma M HW – EKHHE260-PCV3		
Vodné	N_{vod} [Kč/m ³]	51
	$N_{\text{vod s DPH}}$ [Kč/m ³]	61,71
Stočné	$N_{\text{stoč}}$ [Kč/m ³]	47,4
	$N_{\text{stoč s DPH}}$ [Kč/m ³]	57,35
Cena elektřiny	N_{elek} [Kč/kWh]	5
	$N_{\text{elek s DPH}}$ [Kč/kWh]	6,05
Spotřeba TV za den	V_{den} [m ³ /den]	9,91
Elektrický příkon TČ (se ztrátami)	$W_{\text{TČ2}}$ [kWh/m ³]	17,32
Cena za 1 m ³ TV	C_{TV} [Kč/m ³]	185
	$C_{\text{TV s DPH}}$ [Kč/m ³]	223,8
Cena za TV za den	C_{TV} [Kč/m³]	1 833,2
	$C_{\text{TV s DPH}}$ [Kč/m³]	2 218,2

Tabulka 5.5.2 Finanční náročnost provozu referenčního tepelného čerpadla

Referenční tepelné čerpadlo s COP=3		
Vodné	N_{vod} [Kč/m ³]	51
	$N_{\text{vod s DPH}}$ [Kč/m ³]	61,71
Stočné	$N_{\text{stoč}}$ [Kč/m ³]	47,4
	$N_{\text{stoč s DPH}}$ [Kč/m ³]	57,35
Cena elektřiny	N_{elek} [Kč/kWh]	5
	$N_{\text{elek s DPH}}$ [Kč/kWh]	6,05
Spotřeba TV za den	V_{den} [m ³ /den]	9,91
Tepelný příkon TČ (se ztrátami)	$W_{\text{TČr}}$ [kWh/m ³]	20,15
Cena za 1 m ³ TV	C_{TV} [Kč/m ³]	199,1
	$C_{\text{TV s DPH}}$ [Kč/m ³]	240,9
Cena za TV za den	C_{TV} [Kč/m³]	1 973,4
	$C_{\text{TV s DPH}}$ [Kč/m³]	2 287,8

Z uvedených tabulek vyplývá, že provoz tepelného čerpadla od firmy Kronoterm bude nejlevnější. Důvodem je nejvyšší topný faktor ze všech uvažovaných variant. Avšak je důležité zmínit, že TČ od Kronotermu je výrazně dražší než jeho konkurence. Z tohoto důvodu bude podstatné provést ekonomické hodnocení, ve kterém bude úkolem zjistit, která z variant se jeví jako nejekonomičtější z hlediska doby návratnosti vstupní investice.

5.5.1 Systém tepelných čerpadel

Z prvotních bilančních výpočtů je patrné, že příprava teplé vody pomocí vybraných tepelných čerpadel nebude možná, pokud nebude systém disponovat vyšším počtem TČ. Důvodem je nízký nominální topný výkon zvolených TČ. Výpočet pro zjištění potřebného množství tepelných čerpadel vychází z parametrů zařízení, spotřeby tepla na přípravu TV dle fakturace a množství tepla potřebného pro ohřev referenčního množství TV. Jedná se o hrubou bilanci. Pro přesný návrh systému tepelných čerpadel by bylo zapotřebí modelovat provozní stavy tepelného čerpadla v průběhu roku. Potřebný instalovaný výkon systému tepelných čerpadel je určen z denní průměrné spotřeby.

- **Potřebný počet TČ Kronoterm:**

- Potřeba tepla na ohřev TV za den:

$$Q_{TV_den} = Q_{TV_1m3_Z} \cdot V_{den} = 60,43 \cdot 9,91 = 598,94 \text{ kWh/den} \quad (5.5.1.1)$$

$Q_{TV_1m3_Z}$ = teplo na ohřev 1 m³ při zahrnutí ztrát [kWh/1 m³]

V_{den} = spotřeba teplé vody za den dle fakturace [m³]

- Elektrický příkon systému tepelných čerpadel za den:

$$W_{IN_den} = W_{TČ1Z} \cdot V_{den} = 16,58 \cdot 9,91 = 164,09 \text{ kWh/den} \quad (5.5.1.2)$$

$W_{TČ1Z}$ = elektrický příkon TČ na ohřev 1 m³ při zahrnutí ztrát [kWh/1 m³]

- Potřebný instalovaný výkon systému TČ:

$$Q_{TČ_inst} = \frac{Q_{TV_den}}{24} = \frac{598,94}{24} = 24,96 \text{ kW} \quad (5.5.1.3)$$

- Počet TČ Kronoterm:

$$z_{TČ} = \frac{Q_{TČ_inst}}{Q_{TČ}} = \frac{24,96}{7,83} = 3,19 \cong 3 \text{ ks} \quad (5.5.1.4)$$

$Q_{TČ}$ = nominální topný výkon tepelného čerpadla [kW]

Z výpočtu vyplývá, že pro pokrytí spotřeby tepla na přípravu TV bude zapotřebí instalovat 3 TČ od společnosti Kronoterm. Záměrně byl volen nižší počet jednotek, neboť kotelna stále disponuje funkčním systémem kogeneračních jednotek a plynového kotle. V případě zvýšené spotřeby teplé vody budou v záloze připraveny plynové zdroje.

Stejný výpočet byl proveden pro tepelné čerpadlo Altherma i referenční TČ s nižším COP. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách dále.

Tabulka 5.5.1 Množství instalovaných TČ Kronoterm

Množství instalovaných TČ Kronoterm			
Parametry			
Topný výkon TČ	Q_TČ	7,83	kW
Topný faktor TČ	COP	3,65	-
Potřebný el. příkon	W_in	2,15	kW
Denní potřeba tepla			
Topný výkon TČ	Q_TČ_den	598,94	kWh/den
Elektrický příkon TČ	W_in_den	164,09	kWh/den
Potřebný instalovaný výkon			
Topný výkon TČ	Q_TČ_inst	24,96	kW
Elektrický příkon TČ	W_in_inst	6,84	kW
Počet instalovaných TČ			
Počet potřebných TČ	z	3,19	ks
		3	ks

Tabulka 5.5.2 Množství instalovaných TČ Altherma

Množství instalovaných TČ Altherma			
Parametry TČ			
Topný výkon TČ	Q_TČ	1,82	kW
Topný faktor TČ	COP	3,49	-
Potřebný el. příkon	W_in	0,52	kW
Denní potřeba tepla			
Topný výkon TČ	Q_TČ_den	598,94	kWh/den
Elektrický příkon TČ	W_in_den	171,61	kWh/den
Potřebný instalovaný výkon			
Topný výkon TČ	Q_TČ_inst	24,96	kW
Elektrický příkon TČ	W_in_inst	7,15	kW
Počet instalovaných TČ			
Počet potřebných TČ	z	13,71	ks
		14	ks

Tabulka 5.5.3 Množství instalovaných referenčních TČ (COP=3)

Množství instalovaných referenčních TČ			
Parametry TČ			
Topný výkon TČ	Q_TČ	7,83	kW
Topný faktor TČ	COP	3	-
Potřebný el. příkon	W_in	2,61	kW
Denní potřeba tepla			
Topný výkon TČ	Q_TČ_den	598,94	kWh/den
Elektrický příkon TČ	W_in_den	199,65	kWh/den
Potřebný instalovaný výkon			
Topný výkon TČ	Q_TČ_inst	24,96	kW
Elektrický příkon TČ	W_in_inst	8,32	kW
Počet instalovaných TČ			
Počet potřebných TČ	z	3,19	ks
		3	ks

Z výpočtů vyplývá, že realizovatelný je pouze systém s tepelným čerpadlem od firmy Kronoterm, protože by disponoval 3 jednotkami. Návrh s tepelným čerpadlem Altherma je z důvodu nízkého topného výkonu nerealizovatelný, neboť by se systém musel skládat ze 13 jednotek. V dalších výpočtech se TČ Altherma bude uvažovat pouze jako porovnávací systém v rámci ekonomického hodnocení.

5.6 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení varianty B bude obsahovat odhad výše investičních nákladů na instalaci tepelného čerpadla. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, rozhodujícím faktorem realizovatelnosti bude výstup ekonomického zhodnocení, tedy doba návratnosti investice. V předchozích výpočtech bylo zjištěno, že TČ Kronoterm bude finančně nejméně náročné na provoz z důvodu vyššího COP. Zároveň technicky se jedná o provozu schopný návrh. Avšak cena tohoto tepelného čerpadla je poměrně vysoká, takže bude stěžejním faktorem právě doba návratnosti investice.

5.6.1 Investiční náklady

Níže uvedená tabulka investičních nákladů představuje předběžnou představu finanční náročnosti projektu. Základním požadavkem ze strany majitele objektu je, aby celý projekt byl realizován tzv. na klíč. To znamená, že dodavatel bude zodpovědný za celou realizaci projektu včetně veškerých nákladů. Z tohoto důvodu se jedná pouze o předběžný odhad. Zároveň vzhledem k charakteru objektu lze očekávat, že některé náklady (především náklady spojené s rozvody TV a stavebními pracemi) budou vyšší než u projektů pro rodinné domy či jiné menší objekty.

Tabulka 5.6.1 Investiční náklady pro TČ Kronoterm [38]

	Počet kusů [-]	bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Kronoterm WP4 LF-502	3	426 000	515 460
Rezerva na nečekané náklady		29 618,25	35 838,08
Termo čidla (2ks na TČ)	6	7 500	9 075
Elektromontáž		30 000	36 300
Přívod/odvod venkovního vzduchu		25 000	30 250
Revize elektro		3 128	3 784,88
Propojení TČ se zásobníky (2 čerp+rozv)		30 000	36 300
Spuštění, zaškolení		5 000	6 050
Doprava		9 000	10 890
Celkem		565 246 Kč	683 948 Kč

Pozn.: Částky jsou vztaheny na počet kusů

Tabulka 5.6.1.1 Investiční náklady pro TČ Altherma [38]

	Počet kusů [ks]	bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Altherma M HW – EKHHE260-PCV3	14	949 270	1 148 616,70
Rezerva na nečekané náklady		138 218,50	167 244,39
Termo čidla (2ks na TČ)	28	35 000	42 350
Elektromontáž		40 000	48 400
Přívod/odvod venkovního vzduchu		25 000	30 250
Revize elektro		3 128	3 784,88
Propojení TČ se zásobníky (2 čerp+rozv)		140 000	169 400
Spuštění, zaškolení		5 000	6 050
Doprava		42 000	50 820
Celkem		1 377 617 Kč	1 666 916 Kč

Pozn.: Částky jsou vztaheny na počet kusů

Z uvedených nákladů obou tepelných čerpadel je jasné, že dražší variantou by bylo využití TČ Altherma, ale jak již bylo zmíněno, tato varianta je pouze porovnávací.

5.6.2 Prostá doba návratnosti investice

Prostá doba návratnosti je stěžejním ukazatelem ekonomického zhodnocení projektu. Pomocí podílu mezi celkovou výší investice a roční úsporou na energiích lze zjistit, za jak dlouho se majiteli vrátí počáteční investice. Výpočty jsou provedeny s i bez uvažování DPH, ačkoli jsou výsledky stejné.

- **Varianta s TČ Kronoterm WP4 LF-502**

- Výpočet roční úspory oproti současnému stavu (s DPH):

$$CF = SF - BF = 1\,203\,343 - 793\,036 = 410\,307 \text{ Kč}$$

(5.6.2)

CF = roční úspora nákladů na teplou vodu [Kč]

SF = současný stav nákladů na teplou vodu [Kč]

BF = budoucí stav nákladů na teplou vodu [Kč]

- Výpočet prosté doby návratnosti (s DPH):

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{683\,948}{410\,307} = 1,67 \text{ let}$$

(5.6.2.1)

T_S = doba návratnosti [Kč]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá návratnost investice vychází v horizontu 1 roku a 8 měsíců.

- Výpočet roční úspory oproti současnému stavu (bez DPH):

$$CF = SF - BF = 994\,498 - 655\,402 = 339\,096 \text{ Kč}$$

(5.6.2.2)

CF = roční úspora nákladů na teplou vodu [Kč]

SF = současný stav nákladů na teplou vodu [Kč]

BF = budoucí stav nákladů na teplou vodu [Kč]

- Výpočet prosté doby návratnosti (bez DPH):

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{565\,246}{339\,096} = 1,67 \text{ let}$$

(5.6.2.3)

T_S = doba návratnosti [Kč]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

- **Varianta s TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3**

- Výpočet roční úspory oproti současnému stavu (s DPH):

$$CF = SF - BF = 1\,203\,343 - 809\,648 = 393\,694 \text{ Kč}$$

(5.6.2.4)

CF = roční úspora nákladů na teplou vodu [Kč]

SF = současný stav nákladů na teplou vodu [Kč]

BF = budoucí stav nákladů na teplou vodu [Kč]

- Výpočet prosté doby návratnosti (s DPH):

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{1\,666\,916}{393\,694} = 4,23 \text{ let}$$

(5.6.2.5)

T_S = doba návratnosti [Kč]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

Prostá návratnost investice vychází 4 roky a 9 měsíců.

- Výpočet roční úspory oproti současnému stavu (bez DPH):

$$CF = SF - BF = 994\,498 - 669\,131 = 325\,367 \text{ Kč}$$

(5.6.2.6)

CF = roční úspora nákladů na teplou vodu [Kč]

SF = současný stav nákladů na teplou vodu [Kč]

BF = budoucí stav nákladů na teplou vodu [Kč]

- Výpočet prosté doby návratnosti (bez DPH):

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{1\,377\,617}{325\,367} = 4,23 \text{ let}$$

(5.6.2.7)

T_S = doba návratnosti [Kč]

IN = investiční náklady [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

5.6.3 Diskontovaná doba návratnosti investice

Diskontovaná návratnost neuvažuje konstantní peněžní tok tak, jak je tomu u prosté doby návratnosti. Z toho vyplývá, že vyjde větší nežli prostá. Jedná se tedy o praktičtější ukazatel ekonomičnosti projektu.

- **Varianta s TČ Kronoterm WP4 LF-502**

- Výpočet diskontované úspory nákladů na přípravu teplé vody v prvním roce od instalace (s DPH):

$$DCF = \frac{CF}{(1+i)^n} = \frac{410\,307}{(1+0,06)^1} = 387\,082 \text{ Kč}$$

(5.6.3)

DCF = diskontovaná úspora nákladů [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

i = diskontní faktor (6 %)

n = rok, který se počítá

Vývoj diskontované úspory nákladů v následujících letech je uveden v tabulce níže.

Tabulka 5.6.3 Vývoj diskontované úspory nákladů – TČ Kronoterm

Počet diskontních let	bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
1. rok	319 902,18	387 081,63
2. rok	284 711,80	344 501,28
Celkem	604 613,98	731 582,91

Z vývoje diskontované úspory nákladů vyplývá, že návratnost počáteční investice lze očekávat v horizontu 2 let.

- **Varianta s TČ Altherma M HW – EKHHE260-PCV3**

- Výpočet diskontované úspory nákladů na přípravu teplé vody (s DPH):

$$DCF = \frac{CF}{(1+i)^n} = \frac{393\,694}{(1+0,06)^1} = 371\,410 \text{ Kč}$$

(5.6.3.1)

DCF = diskontovaná úspora nákladů [Kč]

CF = roční úspora nákladů [Kč]

i = diskontní faktor (6 %)

n = rok, který se počítá

Tabulka 5.6.4 Vývoj diskontované úspory nákladů – TČ Altherma

Počet diskontních let	bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
1. rok	306 950,12	371 409,65
2. rok	273 184,51	330 553,26
3. rok	229 370,99	277 538,89
4. rok	181 683,30	219 836,80
5. rok	135 764,33	164 274,84
6. rok	95 708,50	115 807,28
7. rok	63 651,62	77 018,46
8. rok	39 935,81	48 322,33
9. rok	23 637,95	28 601,91
10. rok	13 199,31	15 971,16
11. rok	6 953,23	8 413,41
12. rok	3 455,54	4 181,21
13. rok	1 620,09	1 960,31
Celkem	1 375 115,31	1 663 889,52

Vývoj diskontované roční úspory nákladů při instalaci systému tepelných čerpadel Altherma ukazuje, že návratnost investice není v horizontu následujících 13 let reálná. Porovnávací systém potvrdil, že kromě výrazných technických nedostatků je i ekonomicky nerealizovatelný.

5.7 Předběžný návrh realizace

System tepelných čerpadel by mohl vyřešit jeden stěžejní problém, který se týká současné distribuce teplé vody. Teplá voda je akumulována v zásobníku o celkovém objemu 450 litrů, avšak tento zásobník postrádá systém nepřetržité cirkulace teplé vody. Z tohoto důvodu se akumulátor chová jako průtokový ohřívač, což způsobuje značné ztráty tepla. Zároveň tato instalace způsobuje, že se spotřebičů TV neteče okamžitě teplá voda. Jedná se o instalaci, která mimo jiné způsobuje i zvýšenou spotřebu studené vody (ztráty). Tento problém by mohla řešit nepřetržitá cirkulace vody mezi zásobníkem TV tepelných čerpadel a již instalovaným zásobníkem o objemu 450 litrů. Možný způsob zapojení je naznačen na obrázku 5.7. Zásobník s nevyužitými porty na teplou vodu je na obrázku 5.7.1.

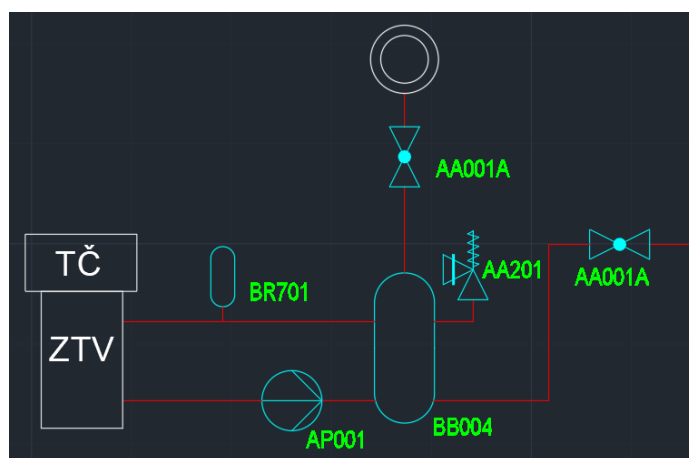


Obrázek 5.7 Možná lokace pro TČ



Obrázek 5.7.1 Zásobník TV (450l) s vyznačenými porty

V úvodu této práce byla provedena podrobná analýza současného stavu kotelny. Z této analýzy je patrné, že kotelna disponuje dostatečným prostorem na instalaci tepelného čerpadla včetně veškeré elektroinstalace a teplovodních rozvodů. Možný způsob zapojení a uložení TČ je na obrázku 5.7.2.



Obrázek 5.7.2 Schéma propojení TČ se zásobníkem TV

Komponenta BR701 označuje nezbytnou součást každého teplovodního systému, expanzní nádobu. Ta slouží k vyrovnávání objemové roztažnosti vody při jejím ohřevu.

5.8 Závěr varianty B

Návrh varianty B počítá s využitím tepelného čerpadla na pokrytí potřeby teplé vody v Pensionu Chmelnice. Na základě tepelných bilancí a následných ekonomických výpočtů bylo zjištěno, že instalace systému tepelných čerpadel by mohla snížit náklady na teplou vodu o přibližně 330 000 Kč ročně. Zároveň byla odhalena možnost značné úspory na přípravu teplé vody v případě odstavení kogeneračních jednotek a převedení potřebného výkonu na rezervní plynový kotel. Z technickoekonomické analýzy vyplynulo, že jediná realizovatelná varianta je systém tepelných čerpadel Kronoterm. Důvodem je vyšší výkon zařízení a větší objem zásobníku teplé vody. Jedná se o důležité faktory, které jsou stěžejní pro regulaci systému tepelných čerpadel. Tepelné čerpadlo Kronoterm je největší teplovodní jednotkou svého typu na současném trhu, což byl hlavní důvod volby tohoto zařízení. Systém disponuje 3 jednotkami typu vzduch – voda o celkovém topném výkonu 23,49 kW.

Tabulka 5.8 Shrnutí ekonomického zhodnocení

	Kronoterm WP4 LF-502
<i>Investiční náklady [Kč] (vč. DPH)</i>	683 948
<i>Cena TV při instalaci TČ [Kč] (vč. DPH)</i>	793 036
<i>Cena TV současný stav [Kč] (vč. DPH)</i>	1 203 343
<i>Roční úspora [Kč] (vč. DPH)</i>	410 307
<i>Prostá doba návratnosti [let]</i>	1,67
<i>Diskontovaná doba návratnosti [let]</i>	2

6. Varianta C – Optimalizace stávajícího provozu

Poslední navrhovaná varianta bude tzv. optimalizační. Ve variantě C je řešena možnost efektivnějšího využití současné kotelny pro přípravu teplé vody v letním období, kdy je spotřeba tepla definována užíváním teplé vody. V průběhu topné sezóny jsou energetické zdroje kotelny více zatížené, což se projevuje stálým chodem kogeneračních jednotek a kotle. Z tohoto důvodu nemá smysl v tomto období hledat možnost energetických úspor na přípravě teplé vody.

Cílem bude předvést nové energetické řešení stávající kotelny s nejnižšími investičními náklady v porovnání s variantou A a B, které povede k efektivnějšímu využití stávajících energetických zdrojů v letním období. Pro letní chod kotelny je v současnosti typické, že vlivem špatného nastavení systému dochází i k 19 startům kogeneračních jednotek v průběhu dne. Vysoký počet startů KGJ má negativní vliv na životnost zařízení.

Návrh varianty C bude v počáteční fázi vyžadovat analýzu spotřeby tepla v penzionu, k čemuž lze využít hned dva postupy. První vychází z naměřených dat spotřeby tepla na přípravu teplé vody v referenční dny. Druhý možný postup vychází z analýzy zaplacených faktur za dodané teplo od firmy OnSite Power.

Pomocí diagramu spotřeby tepla v průběhu dne budou následně představeny možné varianty pokrytí potřeby tepla na přípravu TV pomocí dvou plynových kogeneračních jednotek o tepelném výkonu 2x64 kWt a 2x33 kWe. Plynový kotel o výkonu 750 kWt nebude v letním období provozován.

6.1 Analýza spotřeby tepla na přípravu TV v objektu

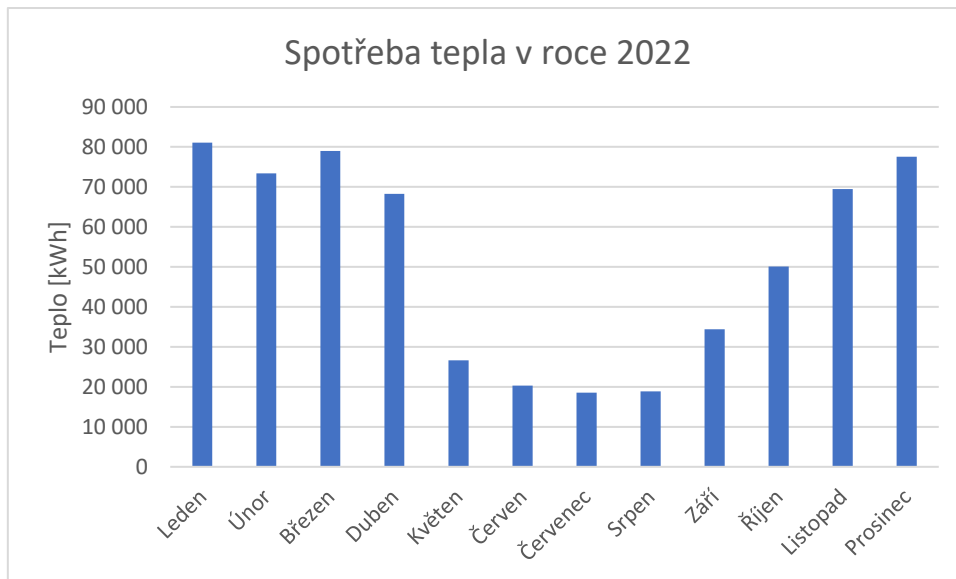
Analýza spotřeby tepla na přípravu teplé vody v penzionu byla řešena již v předchozích kapitolách. I zde je možné použít dva postupy: odečty spotřeby tepla z faktur z roku 2022 nebo data ze tří referenčních měření. Oba tyto postupy budou využity k návrhu pokrytí spotřeby tepla v letním období.

6.1.1 Fakturace tepla v penzionu

Na základě faktur za dodané teplo od firmy OnSite Power, která provozuje kotelnu penzionu, byla zhotovena následující tabulka obsahující mimo jiné i cenu za teplo v jednotlivých měsících.

Tabulka 6.1.1 Spotřeba tepla v penzionu za rok 2022

	Dodané teplo		bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Leden	81 094,00	kWh	236 875,57	260 563,13
Únor	73 358,00	kWh	214 278,72	235 706,59
Březen	78 964,00	kWh	230 653,84	253 719,23
Duben	68 300,00	kWh	199 504,30	219 454,73
Květen	26 628,00	kWh	77 780,39	85 558,43
Červen	20 347,00	kWh	59 433,59	65 376,95
Červenec	18 567,00	kWh	54 234,21	59 657,63
Srpen	18 872,00	kWh	55 125,11	60 637,62
Září	34 431,00	kWh	100 572,95	110 630,25
Říjen	50 058,00	kWh	146 219,42	160 841,36
Listopad	69 492,00	kWh	202 986,13	223 284,75
Prosinec	77 578,00	kWh	226 605,34	249 265,87
Celkem	617 689,00	kWh/rok	1 804 269,57	1 984 696,53

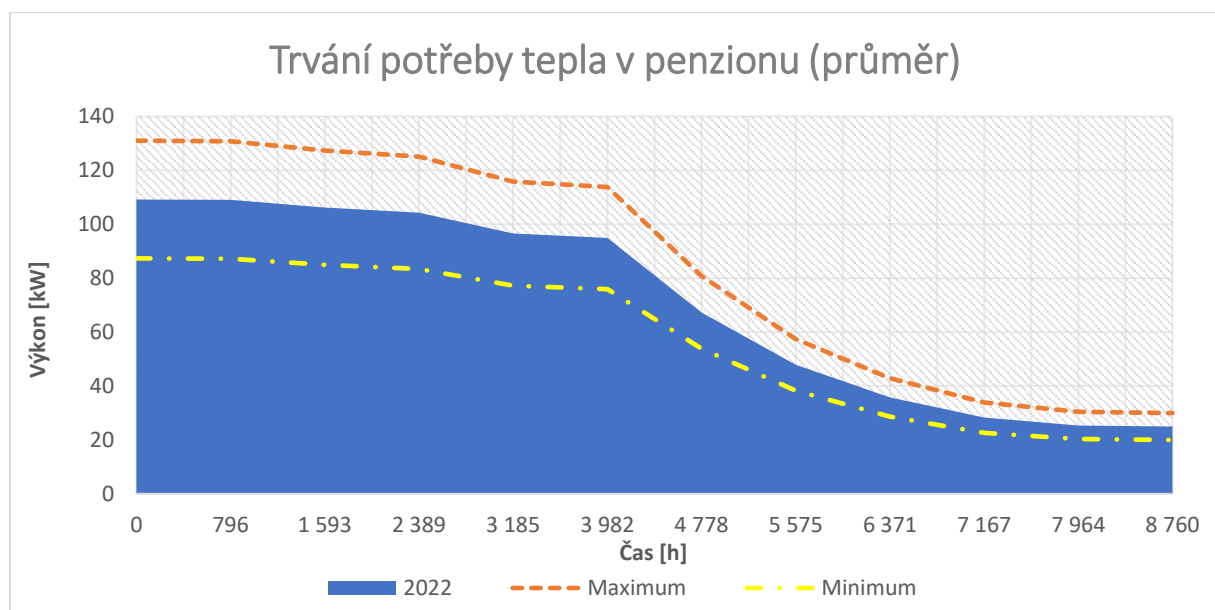


Graf 6.1.1 Spotřeba tepla v penzionu za rok 2022

Průběh spotřeby tepla za jeden kalendářní rok nelze použít jako jediný datový podklad pro návrh chodu zdroje, neboť vliv počasí v jiných rocích může způsobit zvýšenou spotřebu tepla. Mimo jiné se může meziročně lišit i obsazenost objektu, a tudíž i spotřeba teplé vody. Z těchto důvodů byly v rámci analýzy provedeny návrhy méně příznivých i více příznivých spotřeb tepla.

6.1.2 Diagram trvání potřeby tepla

Následující diagram představuje průměrné rozložení potřebného výkonu v průběhu roku na pokrytí tepelných potřeb objektu. V rámci tzv. bezpečnosti návrhu byly zároveň nastíněny proběhy potřebných výkonů při zvýšené i snížené spotřebě tepelné energie. Největší potřebný výkon bude v otopném období, zatímco v letních měsících bude výkon ustálen na svém minimu. V těchto měsících pokrývá systém pouze potřebu po teplé vodě.



Graf 6.1.2 Diagram trvání potřeby tepla v penzionu

Na základě diagramu trvání potřeby tepla v letním období lze predikovat střídavý provoz kogeneračních jednotek z důvodu rovnoměrného opotřebení zařízení. Avšak diagram není vhodný pro denní návrh pokrytí spotřeby tepla, neboť nezohledňuje špičky ve spotřebě v průběhu dne. Z tohoto důvodu budou pro návrh konkrétních modelů pokrytí použita data z měření spotřeby teplé vody v referenční dny.

Pro podrobnější znalost výkonových maxim a minim v rámci měsíců nebo i dnů, by bylo zapotřebí provést měření přímo v kotelně nebo mít přesnější data z průběžného monitoringu, kterým kotelná nedisponuje.

Pro efektivní řízení a vyhodnocování energetických toků systému by bylo nutné instalovat v kotelně kalorimetry. Pomocí těchto zařízení by bylo možné vyhodnocovat spotřebu zemního plynu v závislosti na potřebě tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Průběžný monitoring by mohl pomoci k vyhledávání možných technických úprav v systému s cílem snížení energetické náročnosti.

6.2 Výkonová pružnost zdrojů

Pokrytí potřeby tepla v penzionu pomocí stávajících zdrojů a zároveň zefektivnění přípravy tepla jsou úkoly, pro které jsou klíčové dva parametry systému:

- Výkonová pružnost zdrojů
- Schopnost tepelné akumulace systému

Schopnost akumulace je v kotelně realizována pomocí dvou akumulčních nádrží topné vody o objemu 2x5 m³. Výkonová pružnost zdrojů je klíčová pro regulaci celého systému při změnách spotřeby tepla. Na základě těchto dat bude možno navrhnout nové pokrytí letní spotřeby tepla v penzionu. Hodnoty výkonů a rozsahy regulací jednotlivých zdrojů jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 6.2 Výkonové charakteristiky zdrojů [39, 40]

Zdroj	Nominální tepelný výkon [kW]	Nominální elektrický výkon [kW]	Rozsah regulace výkonu
<i>KGJ Tedom MICRO T33</i>	64	33	100-50 % el. nom. výkonu
<i>KGJ Tedom MICRO T33</i>	64	33	100-50 % el. nom. výkonu
<i>Plynový kotel (hořák: Bentone BG 650-2)</i>	750	-	200 – 1 250 kW (hořák)

Plynový kotel má nominální výkon 750 kW, ale instalovaný hořák od švédské firmy Bentone je možné regulovat na výkony od 200 kW až do 1 250 kW. [39]

Podle dat od výrobce KGJ Tedom je možné provozovat zařízení mezi 50 % až 100 % nominálního elektrického výkonu. Zároveň není uvedeno, zda při změně výkonu dojde ke změně účinnosti zařízení, tudíž pro zjednodušení výpočtů bude uvažována konstantní elektrická, tepelná i celková účinnost kogenerační jednotky. Podle níže uvedených výpočtů byly zpracovány Senkeyovy diagramy hraničních provozních stavů kogenerační jednotky Tedom MICRO T33. [40]

$$\eta_E = \frac{E}{P} \quad (6.2)$$

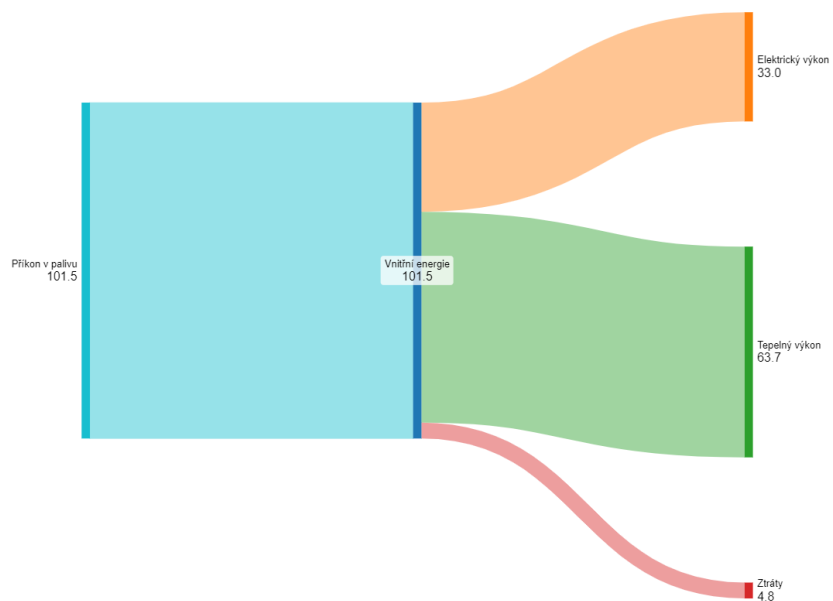
$$\eta_Q = \frac{Q}{P} \quad (6.2.1)$$

$$\eta_C = \eta_Q + \eta_E \quad (6.2.2)$$

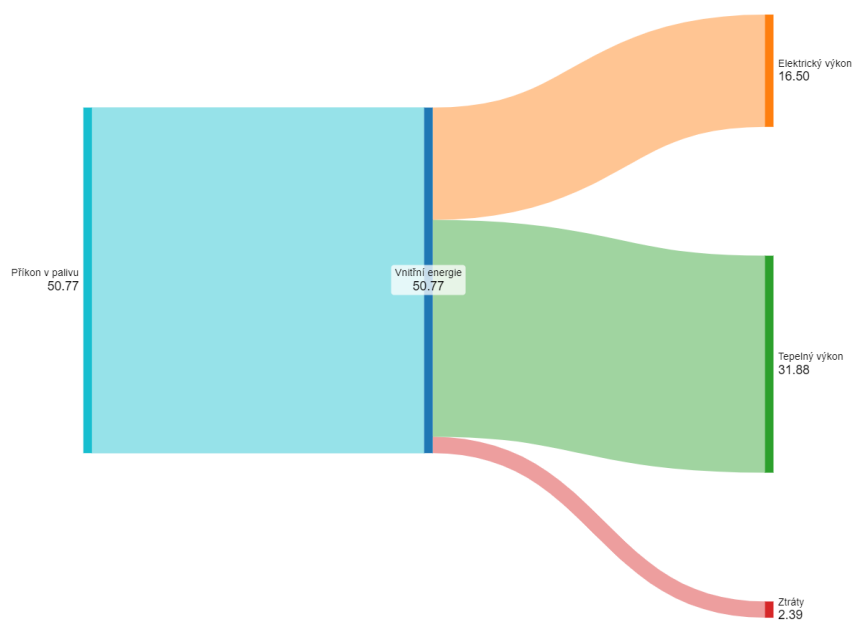
η_E, η_Q, η_C = elektrická, tepelná, celková účinnost [-]

E/Q = elektrický/tepelný výkon [kW]

P = příkon v palivu [kW]



Obrázek 6.2 Senkeyův diagram KGJ při nominálních podmínkách



Obrázek 6.2.1 Senkeyův diagram KGJ při sníženém elektrickém výkonu (50 % nominálního elektrického výkonu)

6.2.1 Parametry instalovaných KGJ

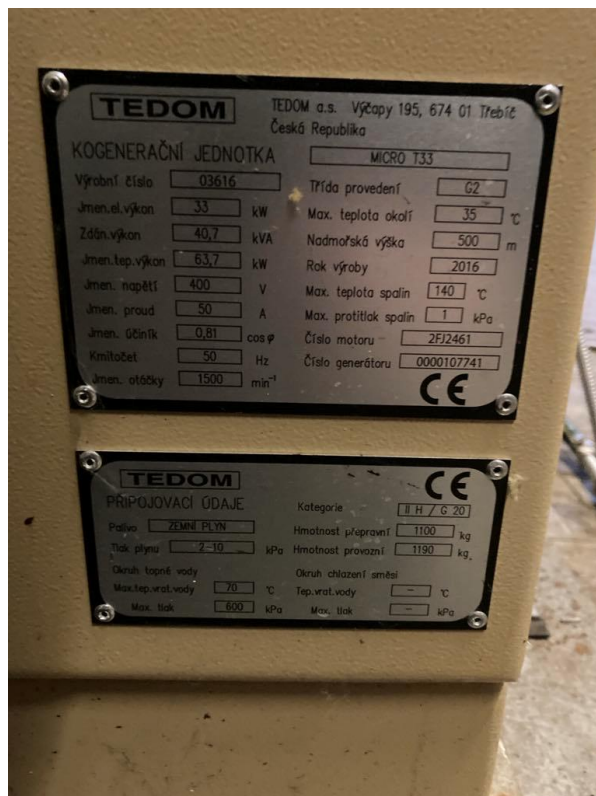
Na základě podrobné analýzy instalovaných zdrojů byly zjištěny provozní parametry, které jsou uvedeny v tabulkách níže.

Tabulka 6.2.1 Parametry kogenerační jednotky Tedom MICRO T33 [40]

Parametry	KGJ Tedom MICRO T33
Elektrický výkon [kW]	33
Tepelný výkon [kW]	63,7
Příkon v palivu [kW]	101,5
Elektrická účinnost [%]	32,5
Tepelná účinnost [%]	62,8
Celková účinnost [%]	95,3
Jmenovité napětí [V]	400
Jmenovitý proud [A]	50
Maximální teplota spalin [°C]	140
Maximální teplota vratné vody [°C]	70
Rok výroby	2016
Nadmořská výška [m]	500



Obrázek 6.2.1 KGJ Tedom v kotelně penzionu



Obrázek 6.2.1.1 Štítek KGJ Tedom MICRO T33

6.3 Návrh pokrytí potřeby tepla na ohřev TV v penzionu

V návrhové variantě C bude řešena možnost pokrytí potřeby tepla v letním období současnými zdroji s využitím krátkodobé akumulace tepla v zásobnících topné vody o objemu $2 \times 5 \text{ m}^3$. Cílem bude najít způsob provozu, při kterém bude nejnižší počet najíždění kogeneračních jednotek ze studeného stavu. Důvodem je nižší spotřeba paliva a vyšší účinnost zdroje při konstantním zatížení.

V současnosti jsou KGJ provozovány v režimu nahřívání zásobníků topné vody. Ve chvíli, kdy je v zásobnících dosažena teplota vody $80 \text{ }^\circ\text{C}$, KGJ se vypínají. Systém se chová různě vzhledem ke spotřebě v různých ročních obdobích. Ve variantě C bude řešen provoz KGJ v letních měsících, kdy je v objektu poptávka po teple specifikována pouze přípravou teplé vody.

6.3.1 Analýza KGJ v letním období

Provoz KGJ je v letním období značně zjednodušen absencí potřeby tepla na vytápění, tudíž je celková spotřeba definována pouze spotřebou tepla na přípravu teplé vody. I přesto je zapotřebí zmapovat schopnost tepelné akumulace systému zásobníků topné vody. Na základě poznatků o tepelné akumulaci a době nabíjení zásobníků bude možné navrhnout dobu provozu zařízení. Souběžně s pokrytím potřeby tepla bude řešena i úvaha o maximalizování elektrických zisků kogeneračních jednotek. Důvodem je možný prodej elektrických přebytků do sítě v době s nejvyšší výkupní cenou elektřiny.

Tepelná kapacita akumulčních nádrží

Prvním důležitým parametrem pro návrh provozu KGJ v penzionu je tepelná kapacita akumulčních nádrží. Tepelná kapacita zásobníku je charakterizována především objemem a požadovanou teplotou. Spodní teplotní hranice pro spuštění ohřevu je $60 \text{ }^\circ\text{C}$ a horní hranice je $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_{AKU} = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T = 5 \cdot 1\,000 \cdot 4\,180 \cdot (80 - 60) = 418\,000\,000 \text{ J} = 418 \text{ MJ} = 116,12 \text{ kWh}$$

(6.3.1)

V = objem zásobníku [m^3]

ρ = hustota vody [kg/m^3]

c = měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

ΔT = rozdíl počáteční a koncové teploty vody v zásobníku [$^\circ\text{C}$]

Z výpočtu vychází, že tepelná kapacita jedné akumulční nádrže je $116,12 \text{ kWh}$, tudíž kapacita dvou nádrží činí $232,24 \text{ kWh}$.

Doba nabití akumulčních nádrží

Na základě zjištěné tepelné kapacity zásobníků bude řešena doba nabití obou nádrží pomocí kogeneračních jednotek. Konkrétně budou řešeny možnosti provozu KGJ s cílem snížit počet tzv. studených startů, kdy KGJ najíždějí po delší době, a tudíž dochází ke snížené účinnosti provozu a větší spotřebě paliva.

Následující výpočet slouží ke zjištění doby nabití zásobníků topné vody pomocí kogeneračních jednotek při nulové spotřebě teplé vody. Tudíž se jedná pouze o hrubou kalkulaci.

$$\tau = \frac{Q_{AKU}}{Q_{nom}} = \frac{116,12}{63,7} = 1,8 \text{ h}$$

(6.3.1.1)

τ = doba nabití 1 zásobníku [h]

Q_{AKU} = tepelná kapacita jednoho zásobníku [kWh]

Q_{nom} = nominální tepelný výkon jedné KGJ [kW]

Z uvedeného výpočtu je patrné, že jeden zásobník o objemu 5 m³ tepelně nabije jedna kogenerační jednotka při nominálním výkonu za 1 hodinu a 50 minut. Obdobně byl proveden výpočet pro 2 zásobníky při nominálním i sníženém tepelném výkonu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.3.1 a 6.3.1.1.

Tabulka 6.3.1 Doba nabití nádrží při nominálním tepelném výkonu jedné KGJ

Doba nabití nádrží – nominální výkon 1 KGJ		
Tepelná kapacita 1 nádrže	116,12	kWh
Tepelná kapacita 2 nádrží	232,24	kWh
Tepelný nominální výkon KGJ	63,70	kW
Doba nabití 1 nádrže (1KGJ)	1,82	h
Doba nabití 2 nádrží (1KGJ)	3,65	h

Tabulka 6.3.1.1 Doba nabití nádrží při 50 % tepelném výkonu jedné KGJ

Doba nabití nádrží – 50 % tepelný výkon 1 KGJ		
Tepelná kapacita 1 nádrže	116,12	kWh
Tepelná kapacita 2 nádrží	232,24	kWh
Tepelný výkon KGJ	31,88	kW
Doba nabití 1 nádrže (1KGJ)	3,64	h
Doba nabití 2 nádrží (1KGJ)	7,28	h

Z výpočtů vyplývá, že při využití jedné kogenerační jednotky provozované na nominálním výkonu bude doba nabití obou zásobníků trvat 3 hodiny a 40 minut.

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o hrubou bilanci, nebudou blíže řešeny poklesy v účinnosti KGJ při nižším výkonu. Z tohoto důvodu lze provést další kalkulaci doby nabití při 50 % tepelného výkonu. Tyto výpočty jsou shrnuty v tabulce 6.3.1.1. Nejdelší doba nabití vychází v případě využití jedné KGJ při 50 % tepelném výkonu, 7 hodin a 17 minut.

Při využití obou kogeneračních jednotek se doba nabití výrazně zkrátí. Avšak z provozních důvodů bude výhodnější střídat starty na kogeneračních jednotkách tak, aby došlo k rovnoměrnému zatížení v průběhu letního období. Pro porovnání jsou doby nabití zásobníků s využitím obou KGJ uvedeny v tabulkách 6.3.1.2 a 6.3.1.3.

Tabulka 6.3.1.2 Doba nabití nádrží při 50 % tepelném výkonu jedné KGJ

Doba nabití nádrží – nominální výkon 2 KGJ		
Tepelná kapacita 1 nádrže	116,12	kWh
Tepelná kapacita 2 nádrží	232,24	kWh
Tepelný nominální výkon 2 KGJ	127,40	kW
Doba nabití 1 nádrže (2KGJ)	0,91	h
Doba nabití 2 nádrží (2KGJ)	1,82	h

Tabulka 6.3.1.3 Doba nabití nádrží při 50 % tepelném výkonu jedné KGJ

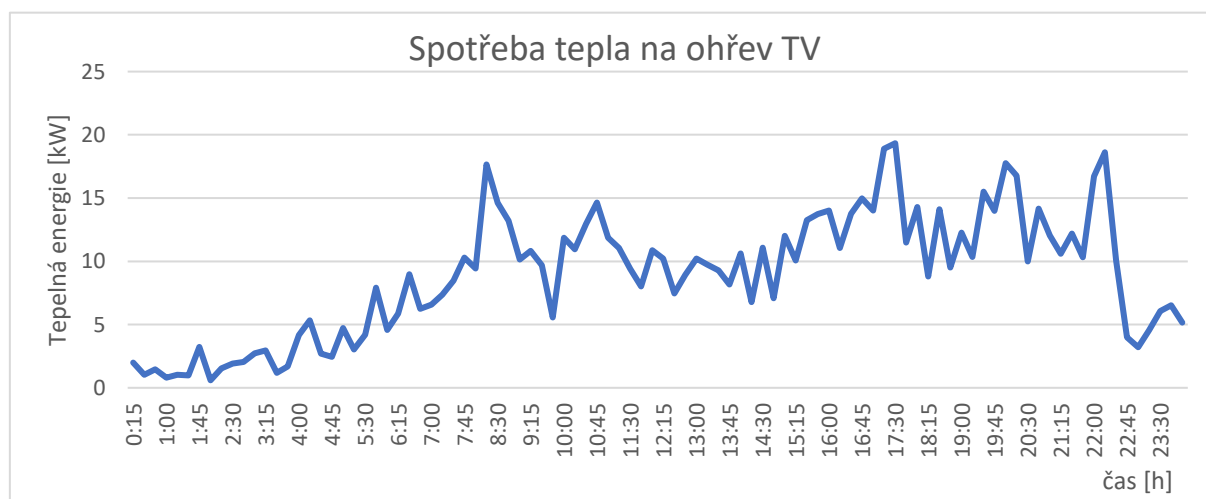
Doba nabití nádrží – 50 % tepelný výkon 2 KGJ		
Tepelná kapacita 1 nádrže	116,12	kWh
Tepelná kapacita 2 nádrží	232,24	kWh
Tepelný výkon 2 KGJ	63,77	kW
Doba nabití 1 nádrže (2KGJ)	1,82	h
Doba nabití 2 nádrží (2KGJ)	3,64	h

6.3.2 Provoz KGJ v letním období

V předchozích kapitolách byla řešena spotřeba teplé vody v penzionu, k čemuž byly použity dva postupy. Pro potřeby bilančních výpočtů byla využívána data vypočtená z faktur, zatímco pro potřeby porovnávání v průběhu dne byla využita data z měření v referenčních dnech. Tyto klíčové hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.3.2.

Tabulka 6.3.2 Porovnání spotřeby TV dle fakturace a měření

	Spotřeba TV za den [m³]	Potřeba tepla na TV za den [kWh]
Dle fakturace 2022	9,91	598,94
Dle referenčního měření	16,44	854,66



Graf 6.3.2 Zprůměrovaná spotřeba tepla na ohřev TV z referenčních měření

Pro návrh provozu KGJ v letním období budou použity oba postupy. Spotřeba tepla zjištěná z měření v referenčních dnech bude využita pro návrh chodu KGJ v průběhu referenčního dne. Spotřeba tepla na ohřev TV dle fakturace v roce 2022 bude sloužit jako porovnávací kritérium. Pomocí obou postupů bude možné optimalizovat počet startů a výkon KGJ.

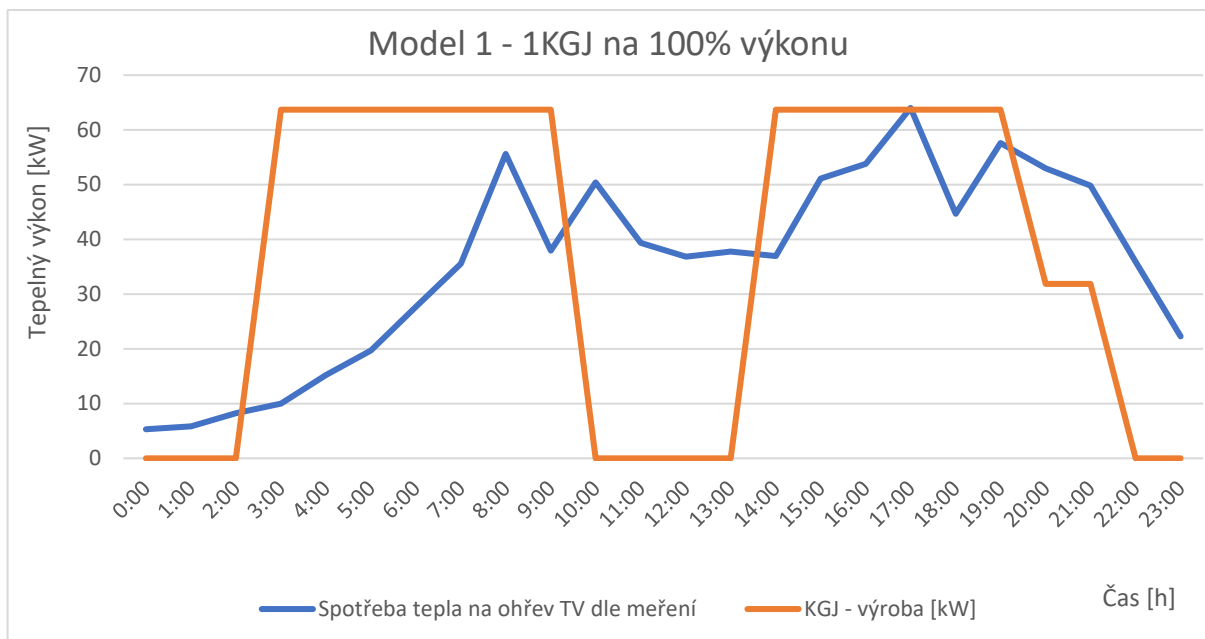
Tepelná kapacita dvou zásobníků topné vody je 232,24 kWh. Z porovnání spotřeby tepla na ohřev TV (viz. tabulka 6.3.2) a tepelné kapacity zásobníků vyplývá, že na pokrytí spotřeby nebude stačit pouze jedno nabití zásobníků za den.

Je velice důležité sledovat spotřebu tepla na ohřev TV v průběhu referenčního dne, z důvodu jejího pokrytí, ale zároveň i zamezení přehřátí topné vody v zásobnících. Při návrhu jednotlivých modelů pokrytí spotřeby tepla na ohřev TV v referenčním dni byl sledován stav nabití zásobníků topné vody.

Tabulka 6.3.2.1 Model letního provozu 1

Model letního provozu 1 - 1KGJ na 100 % výkonu

Čas	Spotřeba tepla [kW]	KGJ1 – výroba [kW]	Rozdíl výroby – spotřeby [kW]	Stav zásobníků [kWh]
0:00	5,32	0	-5,32	-5,32
1:00	5,84	0	-5,84	-11,15
2:00	8,23	0	-8,23	-19,39
3:00	10,00	63,7	53,70	34,31
4:00	15,21	63,7	48,49	82,80
5:00	19,71	63,7	43,99	126,79
6:00	27,66	63,7	36,04	162,83
7:00	35,56	63,7	28,14	190,97
8:00	55,63	63,7	8,07	199,04
9:00	37,94	63,7	25,76	224,80
10:00	50,41	0	-50,41	174,38
11:00	39,35	0	-39,35	135,03
12:00	36,82	0	-36,82	98,21
13:00	37,79	0	-37,79	60,42
14:00	36,96	63,7	26,74	87,15
15:00	51,08	63,7	12,62	99,77
16:00	53,81	63,7	9,89	109,66
17:00	64,01	63,7	-0,31	109,35
18:00	44,69	63,7	19,01	128,36
19:00	57,60	63,7	6,10	134,46
20:00	52,98	31,88	-21,10	113,35
21:00	49,84	31,88	-17,96	95,40
22:00	35,90	0	-35,90	59,50
23:00	22,30	0	-22,30	37,20
Celkem	854,66 kWh	859,98 kWh	37,20 kWh	37,20 kWh



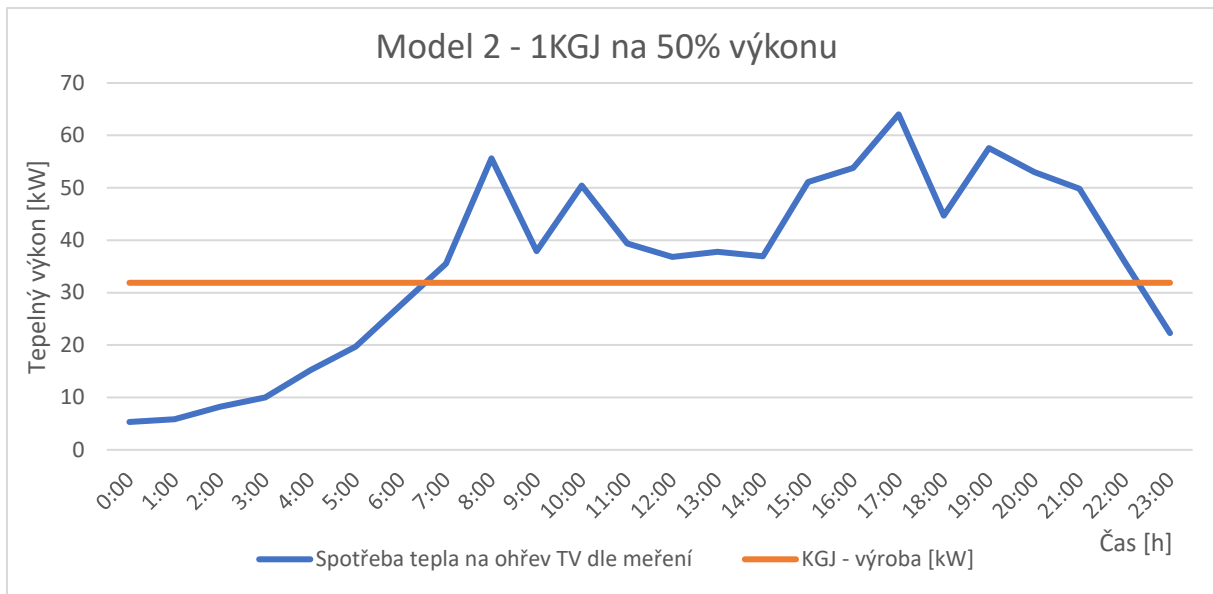
Graf 6.3.2.1 Model letního provozu 1

První model provozu kogeneračních jednotek v letním období je vyobrazen v grafu a tabulce 6.3.2.1. Model 1 spočívá v provozu pouze jedné KGJ na nominální výkon. Na první pohled je patrné, že bude zapotřebí KGJ spustit v průběhu dne dvakrát. Při druhém nabíjení zásobníků sjíždí jednotka mezi 20:00 a 21:00 na poloviční výkon, aby generovala tepelné přebytky, které budou spotřebovány v brzkých ranních hodinách. Model 1 je výhodný především vzhledem k životnosti zdrojů, protože by bylo možné pravidelně střídat chod kogeneračních jednotek, a tak rovnoměrně rozložit jejich zatížení v průběhu roku. Provoz pouze jedné KGJ je velice výhodný i vzhledem k možným servisním pracím a opravám na kotelně. Střídavý chod KGJ1 a KGJ2 bude bez pochyb preferovaným způsobem provozu.

Tabulka 6.3.2.2 Model letního provozu 2

Model letního provozu 2 - 1KGJ na 50 % výkonu

Čas	Spotřeba tepla [kW]	KGJ1 – výroba [kW]	Rozdíl výroby – spotřeby [kW]	Stav zásobníků [kWh]
0:00	5,32	31,88	26,56	26,56
1:00	5,84	31,88	26,04	52,61
2:00	8,23	31,88	23,65	76,25
3:00	10,00	31,88	21,88	98,13
4:00	15,21	31,88	16,67	114,80
5:00	19,71	31,88	12,17	126,97
6:00	27,66	31,88	4,22	131,19
7:00	35,56	31,88	-3,68	127,51
8:00	55,63	31,88	-23,75	103,76
9:00	37,94	31,88	-6,06	97,70
10:00	50,41	31,88	-18,53	79,16
11:00	39,35	31,88	-7,47	71,69
12:00	36,82	31,88	-4,94	66,75
13:00	37,79	31,88	-5,91	60,84
14:00	36,96	31,88	-5,08	55,75
15:00	51,08	31,88	-19,20	36,55
16:00	53,81	31,88	-21,93	14,62
17:00	64,01	31,88	-32,13	-17,51
18:00	44,69	31,88	-12,81	-30,32
19:00	57,60	31,88	-25,72	-56,04
20:00	52,98	31,88	-21,10	-77,15
21:00	49,84	31,88	-17,96	-95,10
22:00	35,90	31,88	-4,02	-99,12
23:00	22,30	31,88	9,58	-89,54
Celkem	854,66 kWh	765,12 kWh	-89,54 kWh	-89,54 kWh



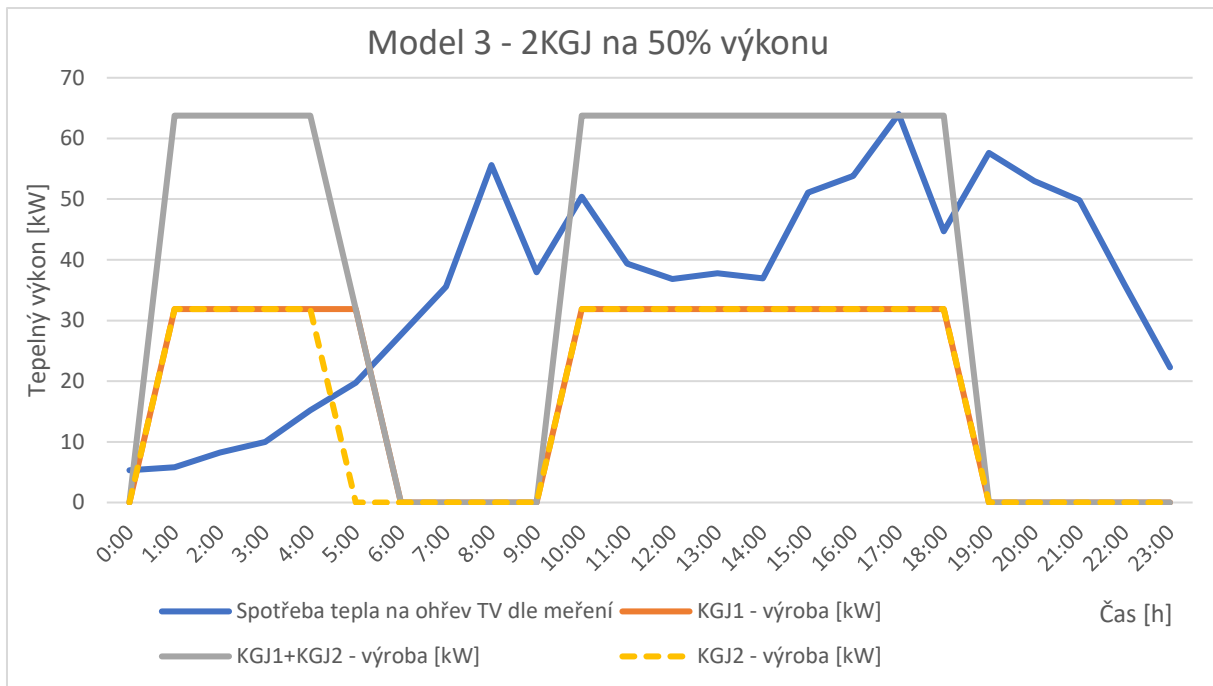
Graf 6.3.2.2 Model letního provozu 2

Pokrytí spotřeby tepla v referenční den využitím jedné KGJ při polovičním tepelném výkonu není možné. Spotřeba tepla na ohřev teplé vody by byla možná pouze v ranní hodiny. Obecně by tento model byl provozu schopný ve pouze výjimečných případech, kdy je obsazenost penzionu nižší a spotřeba tepla nedosahuje hodnot jako v případě referenčního dne.

Tabulka 6.3.2.3 Model letního provozu 3

Model letního provozu 3 - 2KGJ na 50 % výkonu

Čas	Spotřeba tepla [kW]	KGJ1 – výroba [kW]	KGJ2 – výroba [kW]	Rozdíl výroby – spotřeby [kW]	Stav zásobníků [kWh]
0:00	5,32	0	0	-5,32	-5,32
1:00	5,84	31,88	31,88	57,92	52,61
2:00	8,23	31,88	31,88	55,53	108,13
3:00	10,00	31,88	31,88	53,76	161,89
4:00	15,21	31,88	31,88	48,55	210,44
5:00	19,71	31,88	0	12,17	222,61
6:00	27,66	0	0	-27,66	194,95
7:00	35,56	0	0	-35,56	159,39
8:00	55,63	0	0	-55,63	103,76
9:00	37,94	0	0	-37,94	65,82
10:00	50,41	31,88	31,88	13,35	79,16
11:00	39,35	31,88	31,88	24,41	103,57
12:00	36,82	31,88	31,88	26,94	130,51
13:00	37,79	31,88	31,88	25,97	156,48
14:00	36,96	31,88	31,88	26,80	183,27
15:00	51,08	31,88	31,88	12,68	195,95
16:00	53,81	31,88	31,88	9,95	205,90
17:00	64,01	31,88	31,88	-0,25	205,65
18:00	44,69	31,88	31,88	19,07	224,72
19:00	57,60	0	0	-57,60	167,12
20:00	52,98	0	0	-52,98	114,13
21:00	49,84	0	0	-49,84	64,30
22:00	35,90	0	0	-35,90	28,40
23:00	22,30	0	0	-22,30	6,10
Celkem	854,66 kWh	446,66 kWh	414,44 kWh	6,10 kWh	6,10 kWh



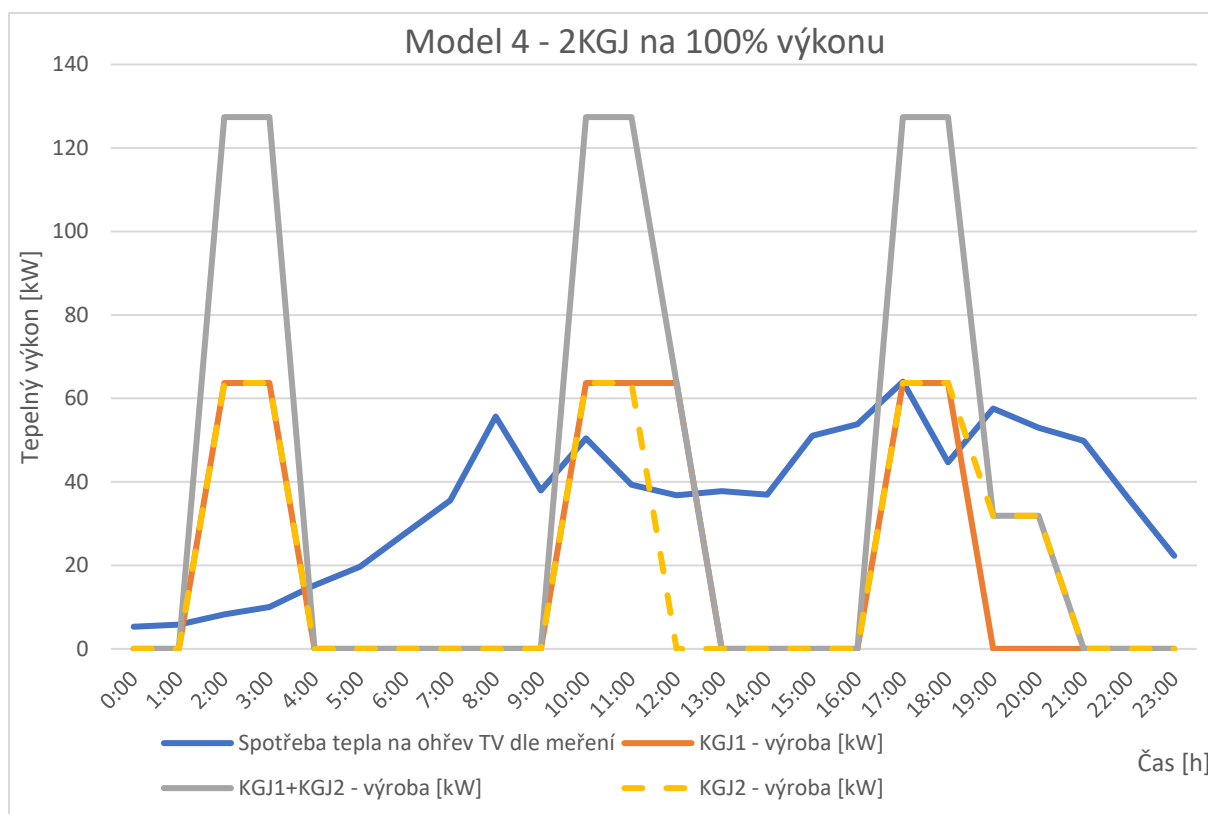
Graf 6.3.2.3 Model letního provozu 3

Model 3 spočívá v provozu dvou KGJ na poloviční tepelný výkon. Tento systém je poměrně dobře optimalizovaný, protože může snadno reagovat na změny ve spotřebě tepla. Regulace může probíhat změnou výkonu jednotlivých jednotek, ale také opožděnými starty jednotek. Nevýhodou provozu obou jednotek je zatížení zařízení při nízkém výkonu, což má negativní vliv na účinnost, životnost a spotřebu paliva. Zároveň je praktičtější mít vždy jednu jednotku mimo provoz, a mít tak možnost naplánování servisních a opravných prací.

Tabulka 6.3.2.4 Model letního provozu 4

Model letního provozu 4 - 2KGJ na 100 % výkonu

Čas	Spotřeba tepla [kW]	KGJ1 – výroba [kW]	KGJ2 – výroba [kW]	Rozdíl výroby – spotřeby [kW]	Stav zásobníků [kWh]
0:00	5,32	0	0	-5,32	-5,32
1:00	5,84	0	0	-5,84	-11,15
2:00	8,23	63,7	63,7	119,17	108,01
3:00	10,00	63,7	63,7	117,40	225,41
4:00	15,21	0	0	-15,21	210,20
5:00	19,71	0	0	-19,71	190,49
6:00	27,66	0	0	-27,66	162,83
7:00	35,56	0	0	-35,56	127,27
8:00	55,63	0	0	-55,63	71,64
9:00	37,94	0	0	-37,94	33,70
10:00	50,41	63,7	63,7	76,99	110,68
11:00	39,35	63,7	63,7	88,05	198,73
12:00	36,82	63,7	0	26,88	225,61
13:00	37,79	0	0	-37,79	187,82
14:00	36,96	0	0	-36,96	150,85
15:00	51,08	0	0	-51,08	99,77
16:00	53,81	0	0	-53,81	45,96
17:00	64,01	63,7	63,7	63,39	109,35
18:00	44,69	63,7	63,7	82,71	192,06
19:00	57,60	0	31,88	-25,72	166,34
20:00	52,98	0	31,88	-21,10	145,23
21:00	49,84	0	0	-49,84	95,40
22:00	35,90	0	0	-35,90	59,50
23:00	22,30	0	0	-22,30	37,20
Celkem	854,66 kWh	445,9 kWh	445,96 kWh	37,20 kWh	37,20 kWh



Graf 6.3.2.4 Model letního provozu 4

V posledním typu letního provozu by byly souběžně provozovány obě KGJ na nominální výkon. Přičemž pro optimální pokrytí spotřeby tepla by bylo zapotřebí provozovat krátkodobě vždy jednu jednotku na snížený výkon. Tento typ provozu by generoval mírné přebytky, což by umožňovalo zpožděný start jednotek následující den. Model 4 je méně efektivní nežli varianty 1 a 3. Důvodem je vyšší počet startů jednotek oproti předchozím modelům. Vyšší počet startů KGJ má negativní vliv na životnost zařízení, účinnost zdroje a spotřebu paliva.

Ze čtyř uvedených letních typů provozu kogeneračních jednotek se jeví nejvýhodněji model 1. V první provozní variantě je v chodu vždy pouze jedna kogenerační jednotka, což umožňuje střídavý provoz obou KGJ. Tento systém umožňuje plánování servisních a opravných prací. Z pohledu provozu se jedná o velice efektivní řešení, neboť je KGJ vždy provozována při nominálních parametrech, což má za následek lepší provozní charakteristiky. Ačkoli nebyla blíže sledována účinnost zdroje při změně provozních parametrů, lze predikovat, že v praxi bude účinnost zdroje nejvyšší při nominálních parametrech. Za těchto podmínek bude i spotřeba paliva nejehospodárnější.

Je důležité zmínit, že se jedná pouze o hrubé bilanční výpočty, které vychází z referenčního měření. Pro přesný návrh provozu by bylo zapotřebí důkladné měření. Zároveň nebyly v rámci bilancí řešeny tepelné ztráty v akumulacích nádrží. Tepelná izolace nádrží je poměrně nová a kvalitní, z tohoto důvodu budou tepelné ztráty v letním období velmi nízké. V zimních měsících by faktor tepelných ztrát musel být zohledněn, neboť by mohly dosahovat až 10 %.

6.4 Ekonomika varianty C

Návrhová varianta C se vyznačuje téměř nulovými náklady na realizaci z důvodu absence investičních nákladů. V optimalizační variantě nebyla řešena instalace nových energetických zdrojů, ale pouze návrh chodu KGJ v letním období. Do celkových nákladů se propíše pouze práce softwarového technika, který by musel kotelně nastavit zmiňované změny v provozu kogeneračních jednotek. Tyto změny by pravděpodobně bylo možné provést dálkově z centrály společnosti OnSite Power, ale to není jisté. Na základě inženýrského odhadu byla provedena kalkulace potřebných prací. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o malý zásah do systému, lze očekávat, že bude práce probíhat maximálně hodinu.

Tabulka 6.4 Náklady na servis KGJ [41]

Položka	Cena bez DPH	Cena s DPH
<i>Standardní servisní práce</i>	600 Kč/h	726 Kč/h
<i>Náklady na dopravu</i>	400 Kč/h + 12 Kč/km	484 Kč/h + 14,5 Kč/km
<i>Celkem</i>	1 040 Kč	1 258 Kč

Centrála společnosti OnSite Power je od penzionu Chmelnice vzdálena 20 km (přibližně 30 minut cesty). Dle hrubé kalkulace by se náklady na změnu provozního systému v letním období mohly pohybovat okolo 1 300 Kč s DPH. Je nutné zmínit, že společnost OnSite Power bude mít vlastní ceník obdobných prací, který se může více či méně lišit. Pro hrubou představu o ceně varianty C je kalkulační odhad dostatečný.

6.5 Závěr varianty C

V rámci varianty C byla řešena optimalizace provozu stávající kotelny na pokrytí spotřeby tepla v letním období. Letní potřeba tepla v penzionu je specifikována spotřebou tepla na přípravu teplé vody. Z tohoto důvodu byla ve výpočtové části práce použity data z měření v referenční dny. Ačkoli dle předchozích kalkulací je spotřeba teplé vody vyšší podle měření než podle fakturace za rok 2022, jedná se o podrobnější vhléd do průběhu spotřeby teplé vody v průběhu dne. Optimalizační výpočty vycházely z analýzy tepelné kapacity zásobníků topné vody, výroby tepla kogeneračními jednotkami a spotřeby teplé vody v průběhu referenčního dne. Na základě bilancí byly vytvořeny čtyři modely provozu KGJ v průběhu referenčního dne v letním období.

Ze čtyř možností provozu KGJ v letním období byl v rámci závěrečného doporučení zvolen model 1. Vybraný model spočívá v provozu pouze jedné kogenerační jednotky v průběhu dne, což umožňuje střídavý provoz dvou KGJ v penzionu. Systém umožňuje plánování servisních a opravných prací. Z pohledu provozu se jedná o velice efektivní řešení, neboť je KGJ vždy provozována při nominálních parametrech, což má za následek lepší provozní charakteristiky.

V poslední fázi návrhu varianty C byla stručně vyčíslena práce technika, který by musel změnit chod kogeneračních jednotek v řídicím systému. Obecně lze konstatovat, že varianta C je velice výhodné energetické řešení, které nevyžaduje žádné složité kalkulace ani projektové řízení.

7. Zhodnocení navrhovaných variant

Představené varianty energeticky úsporných opatření byly cíleny na snížení energetické náročnosti přípravy teplé vody v penzionu Chmelnice. Jednotlivá řešení spočívají ve využití odlišných technologií nebo postupů k dosažení energetických úspor při přípravě teplé vody. V jednotlivých kapitolách byly postupně představeny níže uvedené varianty:

- Varianta A – Hybridní FVT kolektory
- Varianta B – Tepelné čerpadlo
- Varianta C – Optimalizace stávajícího provozu

Tabulka 7 Porovnání návrhových variant (částky jsou bez DPH)

	Investiční náklady [Kč]	Roční úspora provozních nákladů [Kč/rok]	Prostá doba návratnosti [rok]	Diskontovaná doba návratnosti [rok]
Varianta A	484 171	103 121	4,7	-
Varianta B	683 947	410 307	1,66	2
Varianta C	1 258	-	-	-

Ve variantě A byl navržen systém hybridních fotovoltaicko termických kolektorů od firmy Naked Energy. Systém disponuje 21 trubicemi VirtuPVT o celkovém tepelném výkonu 5 775 W_{tep} a celkovém elektrickém výkonu 1 470 W_{el}. Primárním zdrojem energie je sluneční záření, jehož intenzita v průběhu roku byla modelována v programu PVGIS. Data získaná z programu byla zpracována v energetických bilancích, ze kterých byla zjištěna roční úspora současných provozních nákladů.

Ve variantě B byl představen systém tepelných čerpadel typu vzduch-voda jako primární zdroj tepla pro přípravu teplé vody. Nebyl do detailu řešen provoz tepelného čerpadla v průběhu roku v závislosti na venkovní teplotě. I přesto lze předpokládat, že se může jednat o velice výhodnou investici. Provoz tepelného čerpadla by mohl být výhodný především v přechodném období. Z technicko-ekonomické analýzy vyplynulo, že nejvýhodnější bude konkrétně tepelné čerpadlo od firmy Kronoterm s maximálním tepelným výkonem 7,83 kW. Systém se skládá ze 3 jednotek o celkovém topném výkonu 23,49 kW.

Návrhová varianta C byla tzv. optimalizační. V poslední variantě nebyla představená nová technologie vyžadující vysoké investiční náklady. Předmětem zkoumání byla optimalizace provozu kogeneračních jednotek v letním období, kdy je potřeba tepla v penzionu specifikována pouze přípravou teplé vody. V rámci dříve provedených měření bylo zjištěno, že v letních měsících může docházet k opakovanému startu KGJ, což zařízení neprospívá. Podle spotřeby TV dle měření, akumulací schopnosti zásobníků otopné vody a výroby tepla KGJ byly vytvořeny 4 modely provozu v referenční den. Na základě nízkého počtu startů KGJ v průběhu dne a možnosti střídavého provozu KGJ1 a KGJ2 byl vybrán model 1 jako nejvíce hospodárný.

7.2 Závěrečné doporučení

V závěrečném doporučení byly vybrány nejvíce vhodné varianty pro realizaci v penzionu Chmelnice. Z technicko – ekonomického hodnocení je zřejmé, že instalace tepelného čerpadla by mohla značně snížit náklady na přípravu teplé vody. Varianta B by vyžadovala minimální stavební práce oproti variantě A. Zároveň se jedná o řešení s poměrně nízkými náklady na potrubní systém mezi zdrojem energie a zásobníkem TV. V kombinaci s variantou B by bylo možné realizovat optimalizaci chodu kotelny v letním období. Jedná se o opatření s téměř nulovou finanční náročností. Varianta C má především provozní přínos pro celý systém.

Instalace hybridních FVT kolektorů by byla též možná, neboť by vedla k energetickým úsporám. Avšak navrhovaný systém by byl účinnější v případě dříve zmiňované rekonstrukce posledního patra. V případě, že by byly v posledním patře vybudovány luxusnější byty, bylo by možné navrhnout separátní zdroj tepla. Systém by se mohl skládat z hybridních FVT kolektorů a elektrokotlů. Jednalo by se o alternativní řešení k návrhové variantě A, které by bylo výhodné zejména nižšími náklady na potrubní systém, než bylo předloženo ve variantě A.

Další investicí, která by mohla vést ke značným finančním úsporám, je projekt cirkulace teplé vody. Absence cirkulačního okruhu teplé vody mezi zásobníky a spotřebiči vede ke snižování teploty v potrubí vlivem tepelných ztrát. Tento jev způsobuje časovou prodlevu, než ke spotřebiteli doteče teplá voda. Čím delší je časová prodleva, tím větší je množství odtékané a nevyužité studené vody, a tudíž jsou větší finanční ztráty.

8. Závěr

Diplomová práce představuje v praxi prováděnou návrhovou studii, jejímž cílem je představit 3 návrhové varianty energeticky úsporných opatření. Řešeným objektem je pension Chmelnice, který se nachází na adrese Na Chmelnici 1957/9, 130 00 Praha 3 – Žižkov. Investiční záměr majitelky objektu je instalace nového energetického zdroje využívající obnovitelné zdroje energie. V diplomové práci byly řešeny možné energetické úspory při přípravě teplé vody v pensionu. V rámci prvotní analýzy objektu byly zjištěny spotřeby tepla na ohřev TV podle referenčního měření i roční fakturace tepla. Dále bylo provedeno mapování stávající kotelny a vytvořeno PI&D schéma s KKS kódy jednotlivých zařízení. Schéma kotelny ukázalo absenci cirkulace teplé vody, což může představovat možné riziko z pohledu tvorby legionelly při stagnaci vody v době nízkého odběru teplé vody. Investice do cirkulačního systému vody byla uvedena jako jedno z doporučení pro majitelku objektu.

Práce obsahuje 3 návrhové varianty energeticky úsporných opatření. V úvodu každé varianty byly provedeny rešerše na použité technologie, které byly klíčové pro správný návrh nových systémů zásobování objektu teplou vodou. Navrhovaná řešení byla technicky a ekonomicky zhodnocena. V závěru práce bylo uvedeno doporučení instalovat systém tepelných čerpadel a optimalizovat provoz kogeneračních jednotek v letním období, neboť se jedná o ekonomicky nejvýhodnější varianty.

Vzhledem k neustálému zvyšování cen elektřiny, zemního plynu a dálkového tepla lze předpokládat, že instalace technologií využívajících nízkopotenciální teplo či obnovitelné zdroje energie se stanou čím dál více populární. S rostoucí poptávkou a rozvojem trhu s těmito zařízeními se dá očekávat snižování jejich jednotkové ceny.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Pension Chmelnice – Penziony.cz – Ubytování Praha, hotel, apartmán, pension, chata* [online]. [vid. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://www.penziony.cz/praha/pension-chmelnice/>
- [2] *Mapy Google. Mapy Google* [online]. [vid. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Penzion+Chmelnice/@50.0918855,14.4887788,137m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x470b9347c7553dff:0x7616ca55c22e9779!4b1!8m2!3d50.091904!4d14.4893407?hl=cs>
- [3] *Onsite Power: provozovatel mikroelektráren a kogeneračních jednotek. OnSite Power* [online]. [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.onsite.cz/o-nas/>
- [4] *Why is the solar panel in a square shape? What happens when the solar panel is in a circle shape? Quora* [online]. [vid. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Why-is-the-solar-panel-in-a-square-shape-What-happens-when-the-solar-panel-is-in-a-circle-shape>
- [5] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [6] *Jinko Solar- 关于我们* [online]. [vid. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.jinkosolar.com/en/site/aboutus>
- [7] INFO@PROGRAMIA.CZ, Programia s r o, e-mail: *Fotovoltaický solární panel JINKO 460Wp černý rám IP68 Half Cut. Svět svítidel* [online]. [vid. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/fotovoltaicky-solarni-panel-jinko-460wp-ip68/>
- [8] *Typy solárních kolektorů. TZB-info* [online]. [vid. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [9] TOPIN. *Historie solárních termických kolektorů a soustav – 1. část. TOPIN* [online]. [vid. 2022-10-09]. Dostupné z: <http://www.topin.cz//clanky/historie-solarnich-termickych-kolektoru-a-soustav-1-cast-detail-1038>
- [10] S.R.O, AAA Solar. *O nás* [online]. [vid. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.aaasolar.cz/kolektory/o-nas/>
- [11] *katalogovy-list-kolektoru-aaa-sol-20t-pdf.pdf* [online]. [vid. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.aaasolar.cz/soubor/katalogovy-list-kolektoru-aaa-sol-20t-pdf/>
- [12] S.R.O, AAA Solar. *Solární vakuový trubcový kolektor AAA SOL-20T* [online]. [vid. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.aaasolar.cz/produkt/solarni-vakuovy-trubicovy-kolektor-aaa-sol-20t/>
- [13] *Teplonosná kapalina. TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/148-teplonosna-kapalina>
- [14] *About us - Solar thermal and Solar PVT. Naked Energy* [online]. [vid. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://nakedenergy.com/about-us>
- [15] *Solar Redefined* [online]. B.m.: Naked Energy. Dostupné z: <https://nakedenergy.com/products>

- [16] Products. *Naked Energy* [online]. [vid. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://nakedenergy.com/products>
- [17] *Cena vodného a stočného - Pražské vodovody a kanalizace, a.s.* [online]. [vid. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/zakaznici/cena/>
- [18] Stanovení potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu a rozvod podle nové ČSN EN 15316-3. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/8850-stanoveni-potreby-teple-vody-a-tepla-pro-jeji-pripravu-a-rozvod-podle-nove-csn-en-15316-3>
- [19] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [vid. 2022-03-05]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR
- [20] HelioClim-3 Archives demo. *SoDa* [online]. [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.soda-pro.com>
- [21] ZMRHAL, Vladimír. *Projekt III - Vzduchotechnika*. B.m.: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN
- [22] SOLAR-ESHOP. GoodWe DT - 6 kW. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: https://www.solar-eshop.cz/p/stridac-goodwe-dt-6000/?fbclid=IwAR02kHpX8jYu_jurLWGDwbwGvs_nVIAZrwqJdEiy_GsUR0zlaM8Hgc0h5oE
- [23] R.O, PROFI-UNION, spol s. C-STEEL trubka 18x1,2 uhlíková ocel pozinkovaná - 1m. *PROFI-UNION, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/c-steel-trubka-18x1-2-uhlikova-ocel-pozinkovana-1m-p39992/>
- [24] SOLAR-ESHOP. Čerpadlo STAR Z NOVA. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/cirkulacni-čerpadlo-star-z-nova/>
- [25] SOLAR-ESHOP. Čerpadlo Wilo Yonos Maxo 25/0,5-10 - 180. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/čerpadlo-wilo-yonos-maxo-25-0-5-10-180/>
- [26] WPJ.CZ. DNK těleso topné bojlerové 3 kW typ L. *Dilynakotle.cz* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: https://www.dilynakotle.cz/dnk-teleso-topne-bojlerove-3-kw-typ-l_z22779/
- [27] R.O, PROFI-UNION, spol s. Izomat Izotub ALS izolace s hliníkovou folií 22/20 mm. *PROFI-UNION, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/izomat-izotub-als-izolace-s-hlinikovou-folii-22-20-mm-p21849/>
- [28] SOLAR-ESHOP. Výměník Regulus DV285 v izolaci Výkon: DV285-60E - dT 20/40K - 90/141 kW. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/vymenik-regulus-dv285-v-izolaci-1/vykon-dv285-60e-dt-20-40k-90-141-kw/>
- [29] Cena elektřiny. *oEnergetice.cz* [online]. [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/elektrina>
- [30] Cena zemního plynu. *oEnergetice.cz* [online]. [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/zemni-plyn>

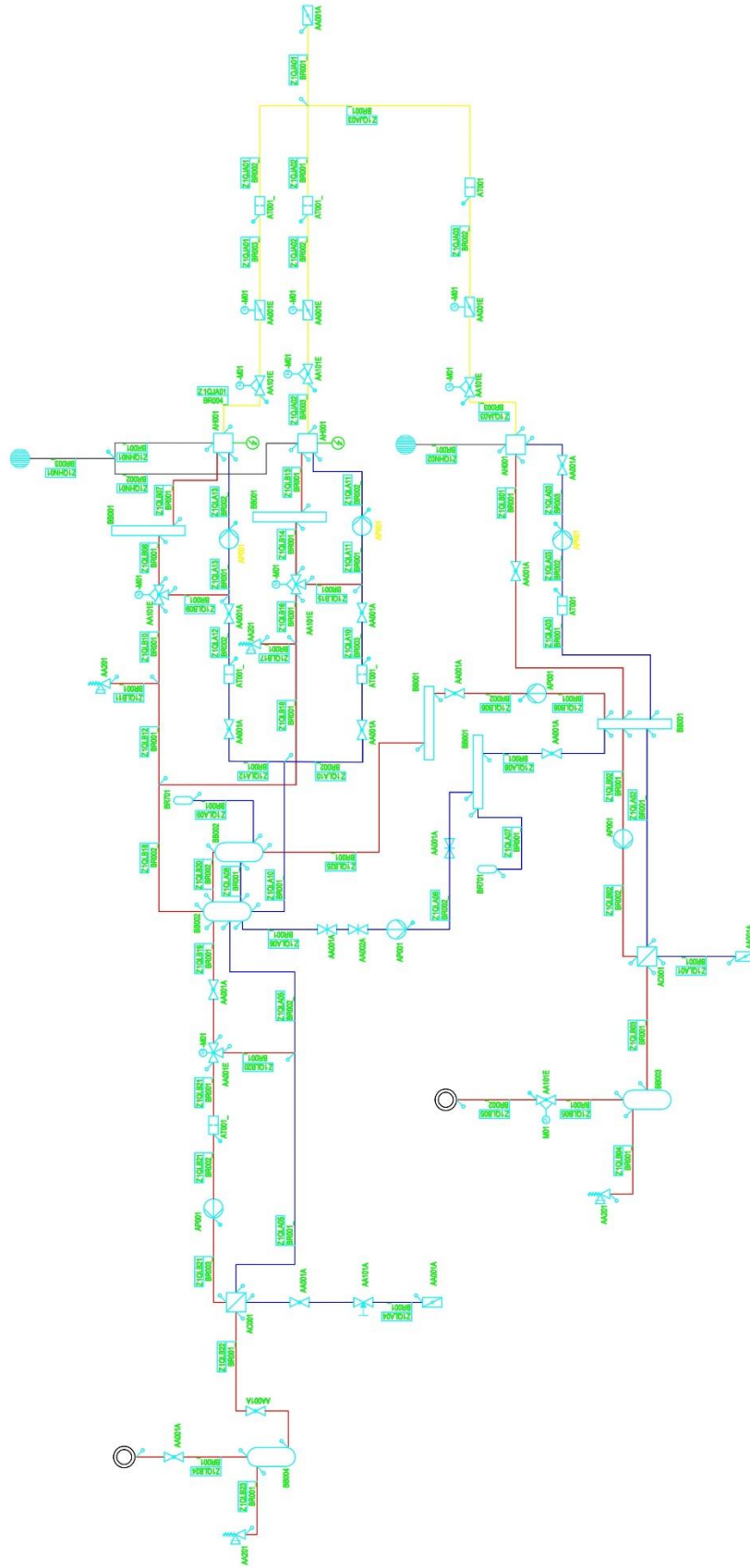
- [31] Tepelná čerpadla - základní informace. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [32] Od vynálezu umělého chlazení k výrobě tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23579-od-vynalezu-umeleho-chlazení-k-vyrobe-tepelnych-cerpadel>
- [33] Od vynálezu umělého chlazení k výrobě tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23579-od-vynalezu-umeleho-chlazení-k-vyrobe-tepelnych-cerpadel>
- [34] O nás. *Daikin Internet* [online]. [vid. 2023-03-20]. Dostupné z: https://www.daikin.cz/cs_cz/about.html
- [35] *EKHHE-PCV3* / *Daikin* [online]. [vid. 2023-03-29]. Dostupné z: https://www.daikin.cz/cs_cz/produkty/product.html/EKHHE-PCV3.html
- [36] *20210219160455.kronoterm-katalog.pdf* [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: https://mojefirma.tzb-info.cz/download/_/company.34703/20210219160455.kronoterm-katalog.pdf
- [37] KRONOTERM - tepelná čerpadla. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/firmy/kronoterm-tepelna-cerpadla>
- [38] VLADAŘ, Tomáš. Tepelné čerpadlo vzduch - voda pro rodinný dům [online]. 2014 [vid. 2023-05-03]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/104685>
- [39] *698f7d543f61a75a4382d7c3a9beb1e7.pdf* [online]. [vid. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://intra.enertech.se/api/v1/uploads/698f7d543f61a75a4382d7c3a9beb1e7.pdf>
- [40] *Micro-T33-Natural-Gas-Indoor-Canopy-Datasheet.pdf* [online]. [vid. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.shentongroup.co.uk/wp-content/uploads/2016/11/Micro-T33-Natural-Gas-Indoor-Canopy-Datasheet.pdf>
- [41] *Ceník služeb* / *Energie MaR* [online]. [vid. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.inelsevenergie.cz/en/node/31>

Seznam příloh

1. Příloha – PI&D schéma kotelny penzionu s tabulkou instalovaných zařízení
2. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v lednu
3. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v únoru
4. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v březnu
5. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v dubnu
6. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v květnu
7. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v červnu
8. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v červenci
9. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v srpnu
10. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v září
11. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v říjnu
12. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v listopadu
13. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v prosinci

Přílohy

1. Příloha – PI&D schéma kotleny penzionu s tabulkou instalovaných zařízení



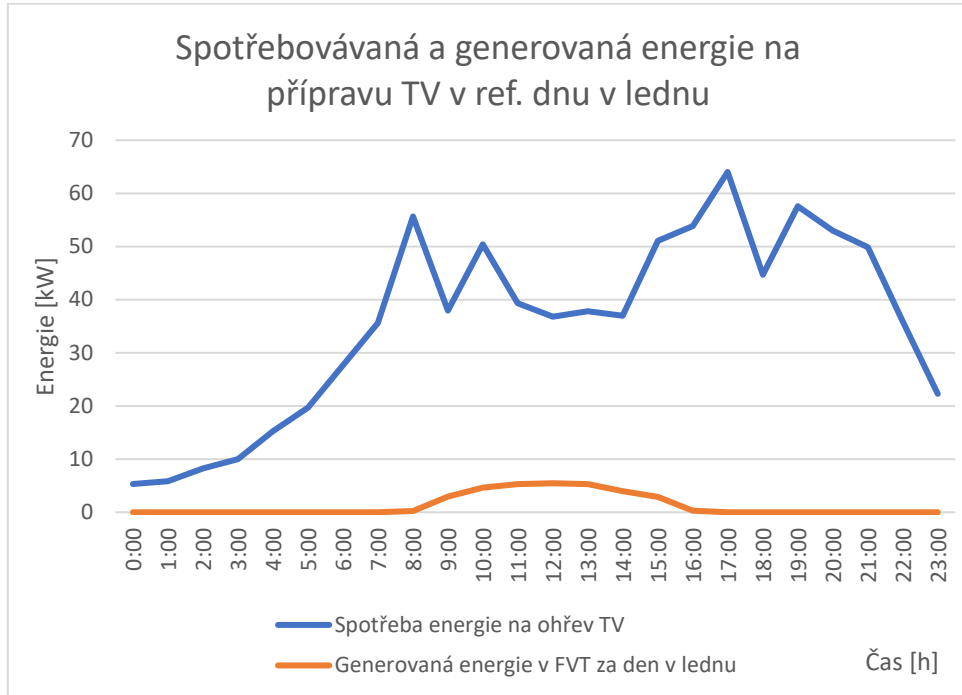
Tabulka – Seznam zařízení současné kotelny s KKS kódy

TRASA ZEMNÍHO PLYNU	
Z1QJA01AA001A	uzavírací klapka
Z1QJA01BR001_	potrubí
Z1QJA02BR001_	potrubí
Z1QJA02AT001_	filtr pevných částic
Z1QJA02BR002_	potrubí
Z1QJA02AA001E	uzavírací klapka s elektropohonem
Z1QJA02AA101E	regulační ventil s elektropohonem
Z1QJA02BR003_	potrubí
Z1QJA02AH001	kogenerační jednotka
Z1QJA01BR002_	potrubí
Z1QJA01AT001_	filtr pevných částic
Z1QJA01BR003_	potrubí
Z1QJA01AA001E	uzavírací klapka s elektropohonem
Z1QJA01AA101E	regulační ventil s elektropohonem
Z1QJA01BR004_	potrubí
Z1QJA01AH001	kogenerační jednotka
Z1QJA03BR001_	potrubí
Z1QJA03AT001_	filtr pevných částic
Z1QJA03BR002_	potrubí
Z1QJA03AA001E	uzavírací klapka s elektropohonem
Z1QJA03AA101E	regulační ventil s elektropohonem
Z1QJA03BR003_	potrubí
Z1QJA03AH001	plynový kotel
TRASA TOPNÉ VODY – plynový kotel	
Z1QLB01BR001_	potrubí
Z1QLB01AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB01BB001	anuloid
Z1QLB02BR001_	potrubí
Z1QLB02AP001	čerpadlo
Z1QLB02BR002_	potrubí
Z1QLB02AC001	deskový výměník
Z1QLA02BR001_	potrubí
Z1QLA03BR001_	potrubí
Z1QLA03AT001	filtr pevných částic
Z1QLA03BR002_	potrubí
Z1QLA03AP001	čerpadlo
Z1QLA03BR003_	potrubí
Z1QLA03AA001A	uzavírací ventil
TRASA TOPNÉ VODY – kogenerační jednotka 1	
Z1QLB13BR001_	potrubí
Z1QLB13BB001	anuloid
Z1QLB14BR001_	potrubí
Z1QLB14AA101E	regulační trojcestný ventil s elektropohonem
Z1QLB15BR001_	potrubí
Z1QLA11BR001_	potrubí
Z1QLA11AP001	čerpadlo
Z1QLA11BR002_	potrubí

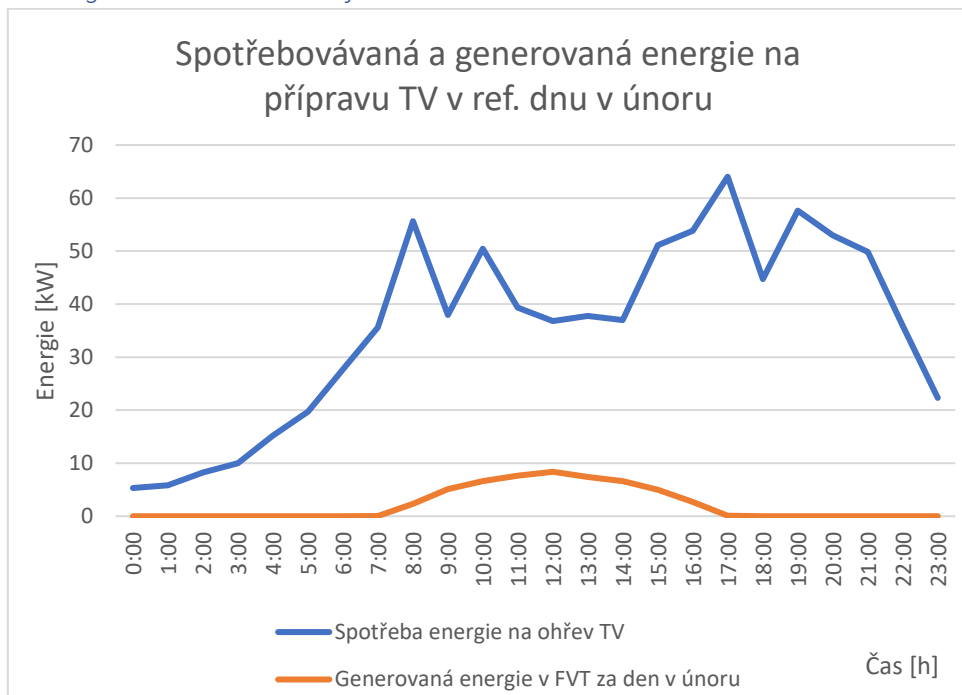
Z1QLB16BR001_	potrubí
Z1QLB17BR001_	potrubí
Z1QLB17AA201	pojistný ventil
Z1QLB18BR001_	potrubí
Z1QLB18BR002_	potrubí
Z1QLB18BB002	akumulační nádrž
Z1QLB19BR001_	potrubí
Z1QLB19AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB19AA001E	trojcestný ventil s elektropohonem
Z1QLB20BR001_	potrubí
Z1QLB20BB002	akumulační nádrž
Z1QLB20BR002	potrubí
Z1QLB21BR001_	potrubí
Z1QLB21AT001_	filtr pevných částic
Z1QLB21BR002_	potrubí
Z1QLB21AP001	čerpadlo
Z1QLB21BR003_	potrubí
Z1QLA05AC001	deskový výměník
Z1QLA05BR001_	potrubí
Z1QLA05BR002_	potrubí
Z1QLA08BR001_	potrubí
Z1QLA09BR001_	potrubí
Z1QLA09BR701	expanzní nádrž
Z1QLA08BR001_	potrubí
Z1QLA08AA001A	šoupátko
Z1QLA08AA002A	šoupátko
Z1QLA08AP001	čerpadlo
Z1QLA08BR002_	potrubí
Z1QLA08AA001A	šoupátko
Z1QLA08BB001	sběrač topné vody
Z1QLA07BR001_	potrubí
Z1QLA07BR701	expanzní nádrž
Z1QLA08BR001_	potrubí
Z1QLA08AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB06BR001_	potrubí
Z1QLB06AP001	čerpadlo
Z1QLB06BR002_	potrubí
Z1QLB06AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB06BB001	rozdělovač topné vody
Z1QLB25BR001_	potrubí
Z1QLA10BR001_	potrubí
Z1QLA10BR002_	potrubí
Z1QLA10AA001A	uzavírací ventil
Z1QLA10AT001_	filtr pevných částic
Z1QLA10BR003	potrubí
Z1QLA10AA001A	uzavírací ventil
TRASA TOPNÉ VODY – kogenerační jednotka 2	
Z1QLB07BR001_	potrubí
Z1QLB07BB001	anuloid
Z1QLB08BR001_	potrubí

Z1QLB08AA101E	regulační trojcestný ventil s elektropohonem
Z1QLB09BR001_	potrubí
Z1QLB10BR001_	potrubí
Z1QLB11BR001_	potrubí
Z1QLB11AA201	pojistný ventil
Z1QLB12BR001_	potrubí
Z1QLA12BR001_	potrubí
Z1QLA12AA001A	uzavírací ventil
Z1QLA12AT001_	filtr pevných částic
Z1QLA12BR002_	potrubí
Z1QLA12AA001A	uzavírací ventil
Z1QLA13BR001_	potrubí
Z1QLA13AP001	čerpadlo
Z1QLA13BR002_	potrubí
TRASA TEPLÉ VODY – zásobník TV 1	
Z1QLA04BR001_	potrubí
Z1QLA04AA101A	ruční redukční ventil
Z1QLA04AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB22BR001_	potrubí
Z1QLB22AA001A	uzavírací ventil
Z1QLB22BB004	zásobník TV
Z1QLB23BR001_	potrubí
Z1QLB23AA201	pojistný ventil
Z1QLB24BR001_	potrubí
Z1QLB24AA001A	uzavírací ventil
	spotřebiče
TRASA TEPLÉ VODY – zásobník TV 2	
Z1QLA01AA001A	uzavírací klapka
Z1QLA01BR001_	potrubí
Z1QLB03BR001_	potrubí
Z1QLB03BB003	zásobník TV
Z1QLB04BR001_	potrubí
Z1QLB04AA201	pojistný ventil
Z1QLB05BR001_	potrubí
Z1QLB05AA101E	regulační ventil s elektropohonem
Z1QLB05BR002_	potrubí
	spotřebiče
TRASA SPALIN – kogenerační jednotky	
Z1QHN01BR001_	potrubí
Z1QHN01BR002_	potrubí
Z1QHN01BR003_	potrubí
	odvod do atmosféry
TRASA SPALIN – plynový kotel	
Z1QHN02BR003_	potrubí
	odvod do atmosféry

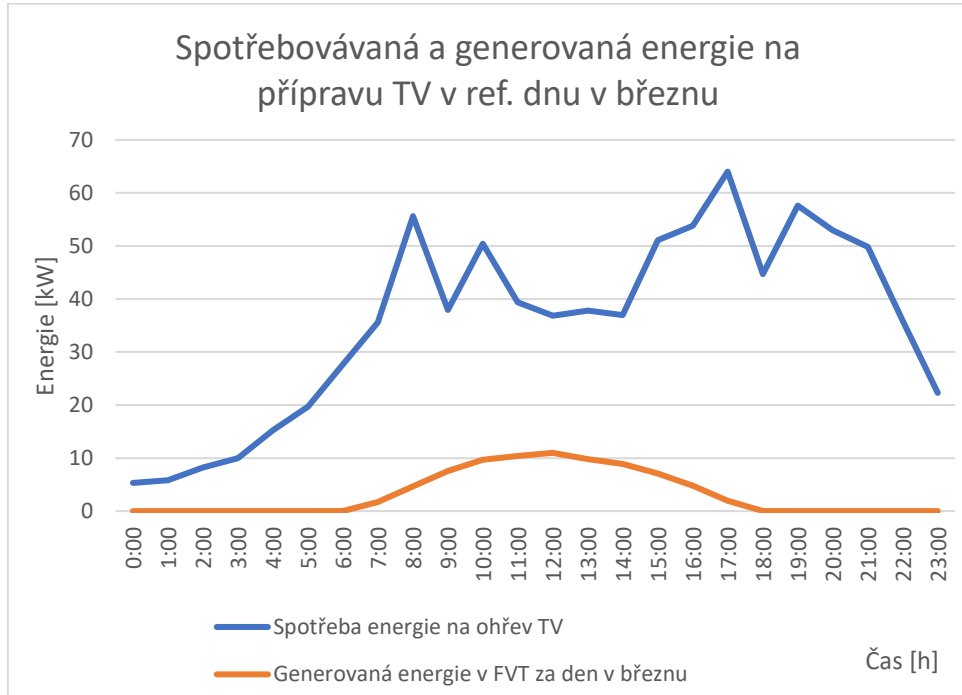
2. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v lednu



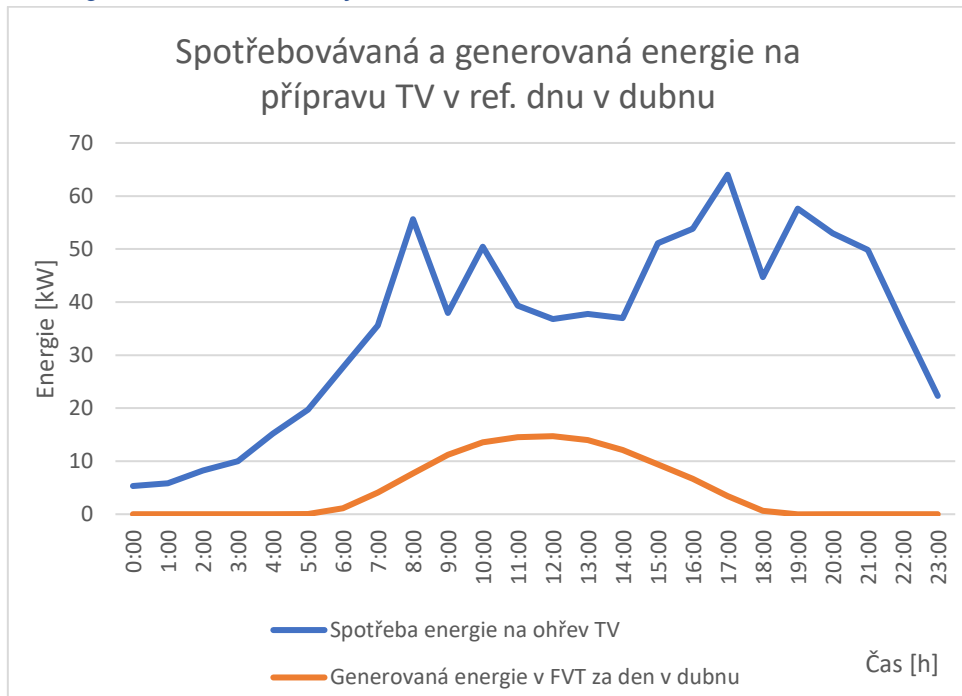
3. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v únoru



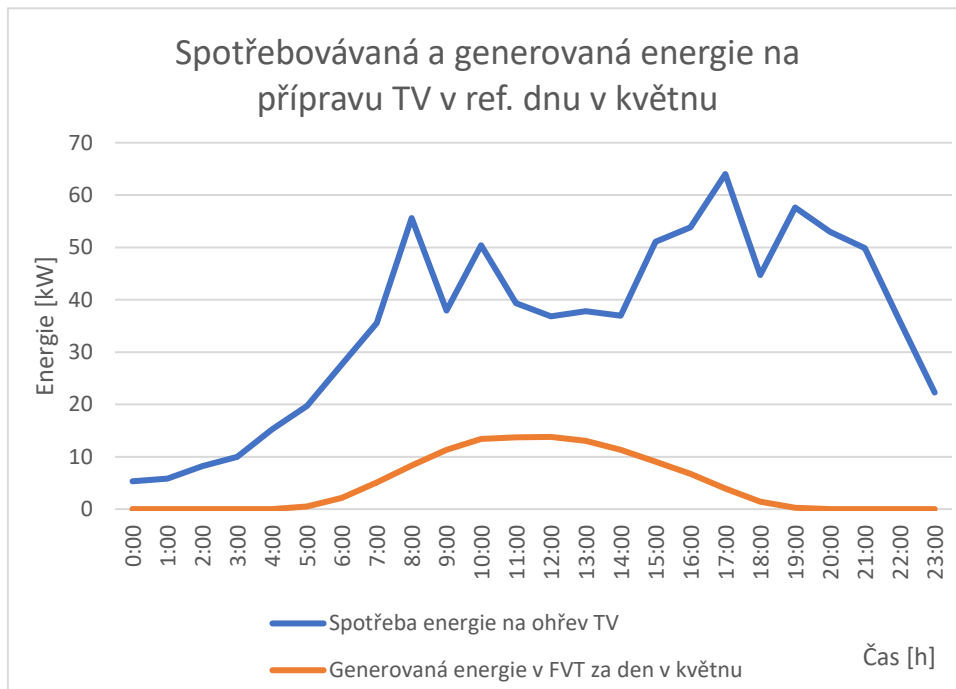
4. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v březnu



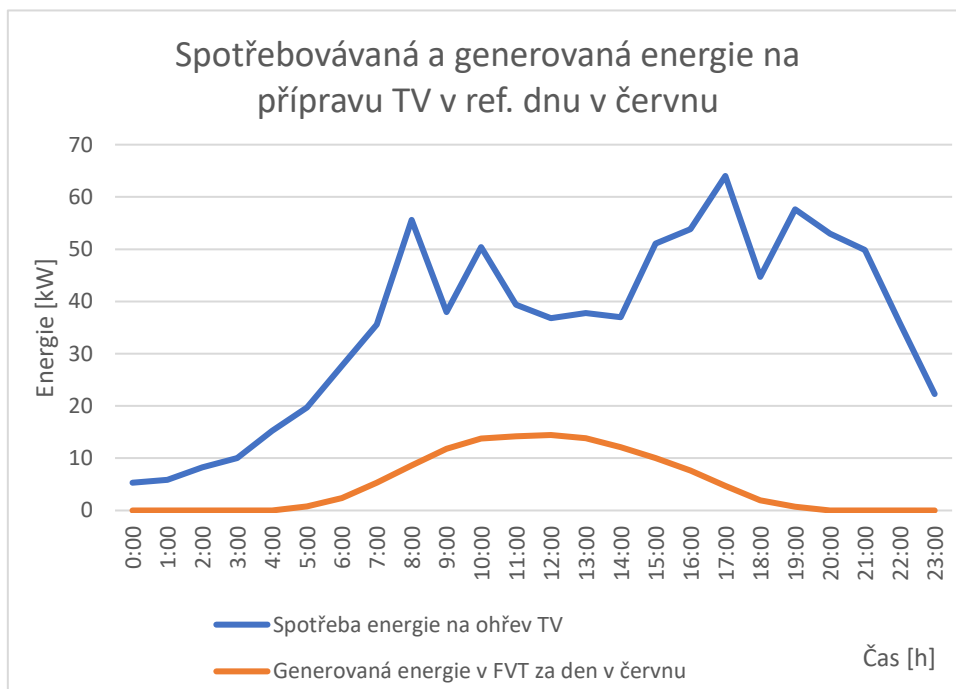
5. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v dubnu



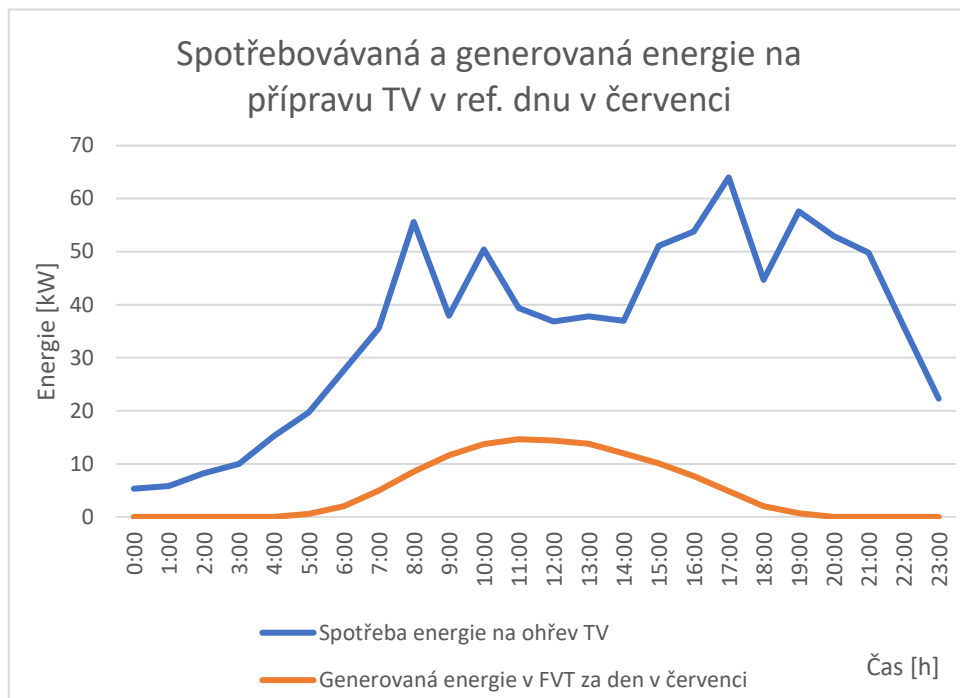
6. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v květnu



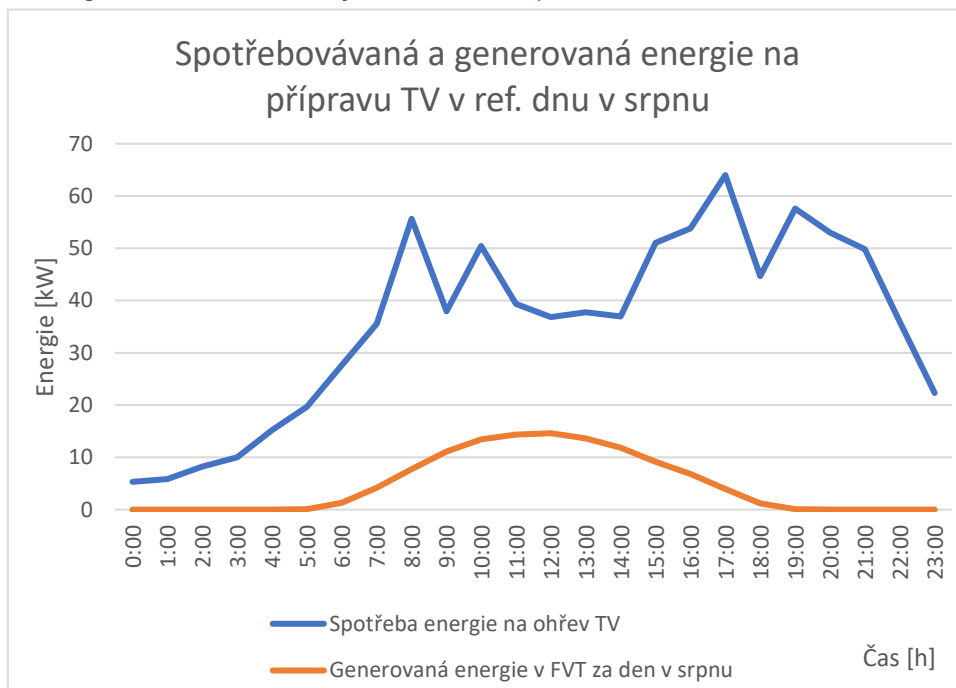
7. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v červnu



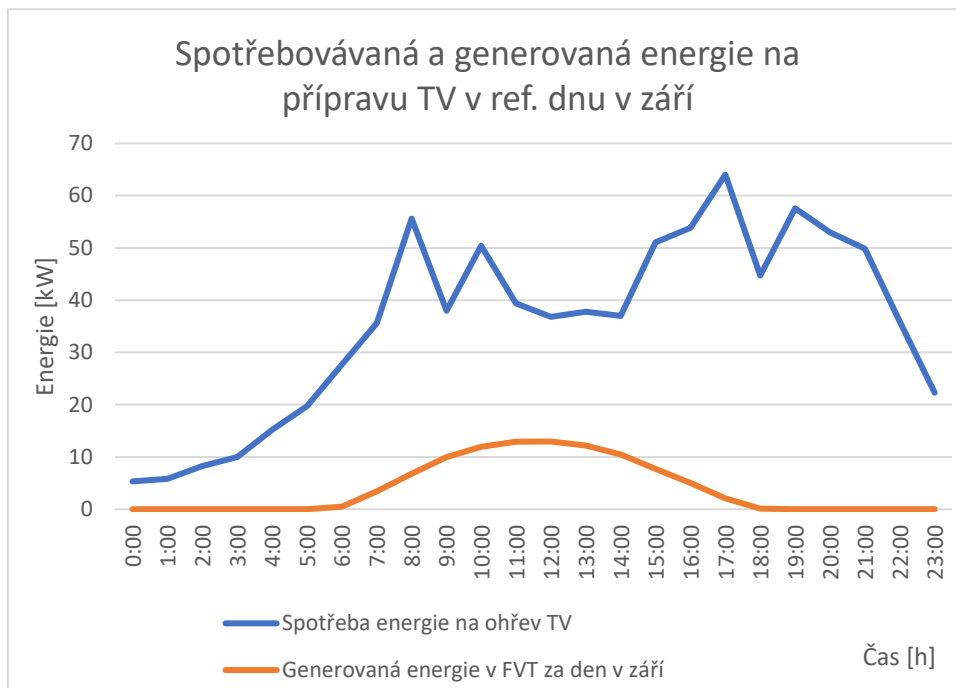
8. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v červenci



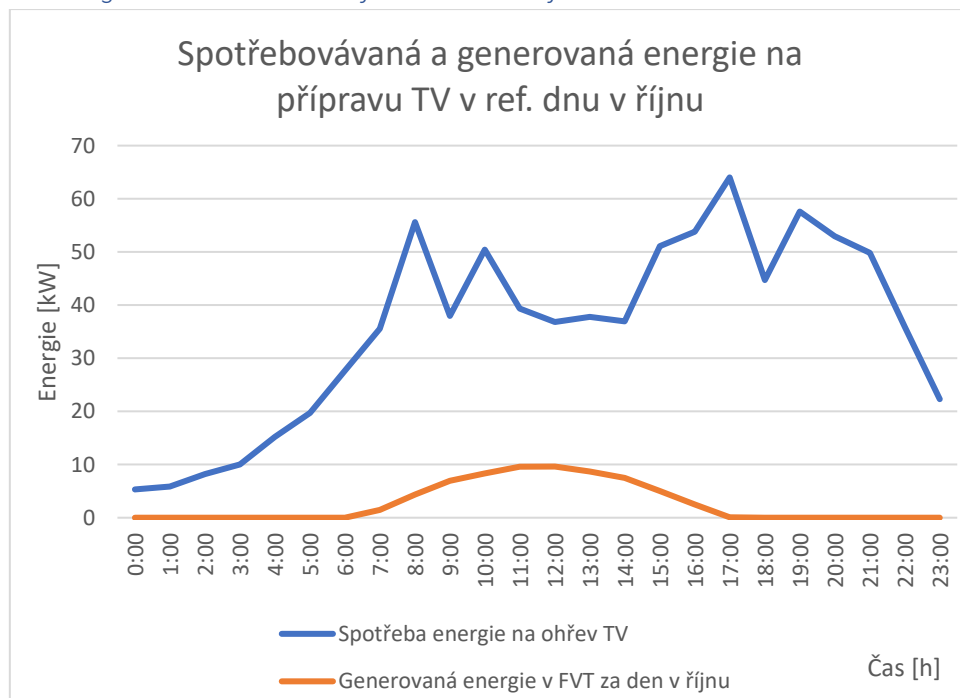
9. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v srpnu



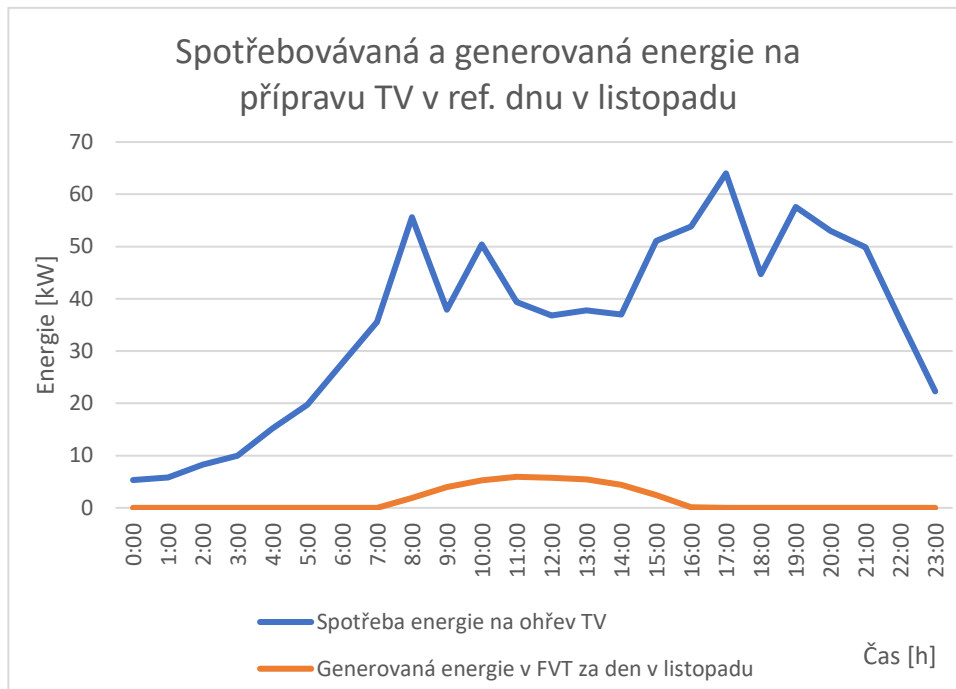
10. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v zálí



11. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v říjnu



12. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v listopadu



13. Příloha – Energetická bilance TV v referenční den v prosinci

