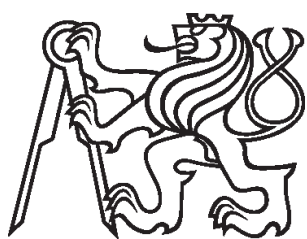


Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

Náhrada zdroje energie v bytovém domě

Bc. David ČERNÝ

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Černý** Jméno: **David** Osobní číslo: **439547**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Náhrada zdroje energie v bytovém domě

Název diplomové práce anglicky:

The Energy Source Replacement in the Apartment Building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Analýza stávajícího stavu.
- 2) Možnosti zásobování domu energií.
- 3) Variantní řešení zdroje energie.
- 4) Ekonomické hodnocení variant.
- 5) Závěrečná doporučení.

Seznam doporučené literatury:

1. BERANOVSKÝ, Jiří, Karel SRDEČNÝ a Petr VOGEL. Pasivní panelák? A to myslíte vážně?. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011. ISBN 978-80-87333-07-5.
2. TINTĚRA, Ladislav. Úsporná domácnost: praktický rádce jak využívat energii efektivně. Brno: ERA, 2002. Edice 21. století. ISBN 80-86517-16-0.
3. Vyhláška MPO č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími a registrujícími dodávku tepelné energie.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **21.08.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2022**

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

_____ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou 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 11. 5. 2021

Bc. David Černý

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, jeho cenné rady a drahocenný čas, který mi věnoval. Další velký dík patří Ing. Jakubovi Maščuchovi z Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT za odbornou pomoc a konzultace, dále Okresnímu bytovému družstvu Kladno za podnět k zadání a za poskytnuté podklady. Adéle Vojíkové pak děkuji za architektonicko-stavební pomoc. V neposlední řadě pak děkuji své rodině a přátelům za veškerou podporu při studiu a při psaní této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na instalaci domácí kotelny pro účely vytápění a přípravu teplé vody v bytovém domě ve Slaném a na následné energeticko-ekonomické vyhodnocení provozu.

Na začátku práce je shrnuta platná legislativa v souvislosti s hodnocením energetické náročnosti budov s návazností na analýzu stávajícího stavu hodnoceného bytového domu. Jsou zde hodnoceny použité stavební konstrukce z hlediska šíření tepla, vypočtena tepelná ztráta a potřeba tepla na vytápění. Dále jsou popsány stávající systémy TZB a vypočtena potřeba tepla na přípravu teplé vody. Vypočtené hodnoty jsou srovnány s hodnotami skutečných spotřeb z předchozích let.

V další kapitole jsou představeny různé možnosti zásobování bytového domu tepelnou energií. Je popsána stávající dodávka tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií a problémy, se kterými se teplárenství potýká. Následující podkapitoly jsou věnovány možným technologiím vlastní kotelny v bytovém domě.

Následovně jsou navrženy konkrétní varianty domácích kotelen na základě vypočtených energetických potřeb hodnoceného bytového domu. V první variantě je navržena kaskáda plynových kondenzačních kotlů, ve variantě druhé kaskáda tepelných čerpadel vzduch – voda a ve variantě poslední dvě kogenerační jednotky. Pro všechny varianty byla zpracována roční energetická bilance.

V závěrečné kapitole jsou navržené varianty srovnány po stránce ekonomické se stávajícím stavem a následně mezi sebou. Pro srovnání jsou použity citlivostní analýzy.

Klíčová slova

Energetická náročnost budov, bytový dům, T 06 B, tepelná ztráta, potřeba tepla na vytápění, potřeba tepla na přípravu teplé vody, soustava zásobování tepelnou energií, plynový kondenzační kotel, tepelné čerpadlo, kogenerační jednotka, citlivostní analýza

Abstract

The diploma thesis is focused on the installation of a boiler room for the purposes of heating and hot water preparation in an apartment building in Slaný and on the subsequent energy-economic evaluation of the operation.

At the beginning of the thesis the current legislation is summarized in connection with the evaluation of energy performance of buildings in connection with the analysis of the present condition of the evaluated apartment building. The used building structures are evaluated in terms of heat dissipation. Then heat loss and heat demand for heating are calculated. Furthermore, the existing HVAC systems are described and the heat demand for hot water preparation is calculated. The calculated values are compared with the values of actual consumption from previous years.

In the next chapter, various possibilities of supplying the apartment building with thermal energy are presented. The current heat supply from the heat supply system and the problems faced by the heating industry are described. Other subchapters are devoted to the possible technologies of the boiler room in the apartment building.

Then specific variants of boiler rooms are processed based on the calculated energy needs of the evaluated apartment building. In the first variant, a cascade of gas condensing boilers is proposed. In the second variant, a cascade of air-water heat pumps is proposed; and in the last variant, two cogeneration units are designed. An annual energy balance was prepared for all variants.

In the final chapter, the proposed variants are compared in economic terms with the current state and subsequently with each other. Sensitivity analyses are used for comparison.

Keywords

Energy performance of buildings, apartment building, T 06 B, heat loss, heat demand, hot water preparation, heat energy supply system, gas condensing boiler, heat pump, cogeneration unit, sensitivity analysis

Obsah

1. ÚVOD.....	1
2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	3
2.1. Hodnocení energetické náročnosti budov	3
2.2. Zákony a právní předpisy	3
2.2.1. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.....	3
2.2.2. Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov	7
2.3. Základní údaje o hodnoceném objektu.....	11
2.3.1. Panelová soustava	13
2.3.2. Konstrukční systém.....	13
2.3.3. Zónování objektu	14
2.3.4. Vlastnosti konstrukcí z hlediska šíření tepla.....	15
2.4. Systémy TZB a spotřeba energie objektu	19
2.4.1. Vytápění objektu a příprava teplé vody	19
2.4.2. Spotřeba tepla a teplé vody	20
2.4.3. Ostatní systémy TZB	20
2.5. Výpočet potřeby tepla na vytápění.....	21
2.6. Kontrolní výpočet nejnižší střední teploty otopného tělesa	27
2.7. Výpočet potřeby tepla na ohřev teplé vody.....	28
2.7.1. Potřeba teplé vody.....	28
2.7.2. Výpočet potřeby tepla pro ohřev TV a krytí ztrát.....	30
2.7.3. Tepelný výkon pro ohřev vody a návrh zásobníku.....	31
2.8. Návrh výkonu zdroje tepla	37
3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ	39
3.1. Soustava zásobování tepelnou energií.....	39
3.1.1. Princip výroby a rozvodu tepla ze SZTE.....	40
3.1.2. Rozvod a měření tepla	42
3.1.3. Emisní povolenky a dopad pro teplárny	42
3.1.4. Vývoj cen tepelné energie ze SZTE.....	44
3.1.5. Odpojení od SZTE	45
3.2. Vlastní zdroj tepla	46

3.2.1.	Plynová kotelna	46
3.2.2.	Kotelna s tepelnými čerpadly	48
3.2.3.	Kotelna s kogenerační jednotkou	52
4.	VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE	56
4.1.	Plynová kotelna	56
4.1.1.	Navrhovaná technologie	56
4.1.2.	Energetická bilance	58
4.1.3.	Položkový rozpočet	59
4.2.	Kotelna s tepelnými čerpadly	60
4.2.1.	Navrhovaná technologie	60
4.2.2.	Energetická bilance	64
4.2.3.	Položkový rozpočet	65
4.3.	Kotelna s kogenerační jednotkou.....	67
4.3.1.	Navrhovaná technologie.....	67
4.3.2.	Energetická bilance	69
4.3.3.	Položkový rozpočet	71
5.	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT	73
5.1.	Kritéria ekonomické efektivity	73
5.1.1.	Čistá současná hodnota	73
5.1.2.	Vnitřní výnosové procento	74
5.1.3.	Prostá doba návratnosti	74
5.1.4.	Reálná doba návratnosti	74
5.2.	Stávající spotřeba tepla a ceny za teplo	75
5.3.	Výchozí předpoklady pro ekonomické výpočty	76
5.3.1.	Obecné předpoklady.....	76
5.3.2.	Přepočet spotřeby zemního plynu	77
5.4.	Kotelna s plynovými kotli	78
5.5.	Kotelna s tepelnými čerpadly	80
5.6.	Kotelna s kogeneračními jednotkami	83
6.	ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ	86
6.1.	Srovnání na základě výchozích předpokladů	86

6.2.	Srovnání na základě citlivostních analýz	88
6.3.	Další doporučení	94
7.	ZÁVĚR.....	97
7.1.	Závěrečné shrnutí	97
7.2.	Přínosy diplomové práce	100
	SEZNAM LITERATURY	102
8.	SEZNAM PŘÍLOH	106

Obrázky

Obr. 2.1 Rozdělení budov dle celkové spotřeby energie	10
Obr. 2.2 Hodnocený panelový bytový dům	12
Obr. 2.3 Situace objektu.....	12
Obr. 2.4 Rozdělení hodnoceného objektu do zón	14
Obr. 2.5 Ukázka výpočtu tepelně technických vlastností konstrukcí	16
Obr. 2.6 Snímek objektu pořízený termokamerou při venkovní teplotě -10 °C	17
Obr. 2.7 Měsíční bilance tepelných zisků a tepla potřebného na vytápění.....	26
Obr. 2.8 Průměrná spotřeba tepla z let 2011-2019 v porovnání s výpočtem.....	26
Obr. 2.9 Roční měrný profil spotřeby TV.....	30
Obr. 2.10 Denní profily spotřeby TV graficky	33
Obr. 2.11 Křivky odběru a dodávky tepla s nepřerušovanou dodávkou tepla.....	34
Obr. 2.12 Přednostní ohřev TV se společným zdrojem tepla pro vytápění	36
Obr. 3.1 Rozvod tepla ze SZTE	40
Obr. 3.2 Turbína s generátorem, teplárna Mydlovary	41
Obr. 3.3 Plynová kotelna s kaskádou tří plynových kondenzačních kotlů	48
Obr. 3.4 Princip TČ s elektrickým pohonem	49
Obr. 3.5 Princip KJ s plynovým spalovacím motorem.....	53
Obr. 4.1 Konstrukce navrhovaného plynového kondenzačního kotle	58
Obr. 4.2 Roční energetická bilance provozu plynové kotelny.....	59
Obr. 4.3 Výkonové křivky navržené kaskády TČ.....	63
Obr. 4.4 Venkovní a vnitřní jednotky TČ spol. AC Heating.....	64
Obr. 4.5 Kompaktní kogenerační jednotka TEDOM Micro 50.....	69
Obr. 5.1 Vývoj ceny za 1 GJ tepla	75
Obr. 5.2 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti PK.....	79
Obr. 5.3 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – PK.....	79
Obr. 5.4 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti TČ	82
Obr. 5.5 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – TČ.....	82
Obr. 5.6 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti KJ.....	85
Obr. 5.7 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – KJ	85
Obr. 6.1 Vývoj cen za GJ tepla z navrhovaných variant a ze SZTE.....	87
Obr. 6.2 Kumulovaný DCF pro navržené varianty a pro SZTE	88

Obr. 6.3 Citlivostní analýza na změnu ceny primárního paliva	91
Obr. 6.4 Citlivostní analýza na změnu investičních nákladů	92
Obr. 6.5 Citlivostní analýza na míru růstu ceny primárního paliva	93

Tabulky

Tab. 2.1 Konstrukční parametry objektu	14
Tab. 2.2 Parametry zón	15
Tab. 2.3 Parametry obálky zóny 1	18
Tab. 2.4 Tepelně technické parametry obálky zóny 1	19
Tab. 2.5 Spotřeby tepla a TV	20
Tab. 2.6 Vypočtené hodnoty tepelných ztrát a zisků	25
Tab. 2.7 Profily spotřeby TV během dne.....	32
Tab. 3.1 Ceny tepelné energie od r. 2012 pro hodnocený BD.....	45
Tab. 4.1 Technické parametry kotle Vaillant VU 1006/5-5	57
Tab. 4.2 Položkový rozpočet PK	59
Tab. 4.3 Technické parametry navrhovaných TČ.....	62
Tab. 4.4 Roční energetická bilance kotelny s TČ	65
Tab. 4.5 Položkový rozpočet TČ	66
Tab. 4.6 Technické parametry KJ TEDOM Micro 50	67
Tab. 4.7 Roční energetická bilance provozu obou KJ	70
Tab. 4.8 Indikativní nabídka dodavatele KJ	71
Tab. 5.1 Vývoj celkové spotřeby tepla a nákladů na teplo v letech 2014-2019	75
Tab. 5.2 Shrnutí ekonomických výpočtů pro PK.....	78
Tab. 5.3 Shrnutí ekonomických výpočtů pro TČ.....	81
Tab. 5.4 Shrnutí ekonomických výpočtů pro KJ	84
Tab. 6.1 Srovnání navržených variant	86

Seznam zkratek

COP	Topný faktor tepelného čerpadla
CZT	Centrální zdroj tepla
DS	Distribuční soustava
EA	Energetický audit
EIA	Posouzení vlivů na životní prostředí
ENB	Energetická náročnost budovy
EP	Energetický posudek
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HUP	Hlavní uzávěr plynu
IRR	Vnitřní výnosové procento
KJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LDS	Lokální distribuční soustava
NPV	Čistá současná hodnota
NT	Nízký tarif
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PD	Projektová dokumentace
PENB	Průkaz energetické náročnosti budov
PPDS	Pravidla provozu distribučních soustav
SCOP	Sezónní topný faktor tepelného čerpadla
SV	Studené voda
SVJ	Společenství vlastníků jednotek
SZTE	Soustava zásobování tepelnou energií
TČ	Tepelné čerpadlo
TV	Teplá voda
VT	Vysoký tarif
ZP	Zemní plyn
ZTI	Zdravotně technická instalace

Seznam použitých technických norem

- I. ČSN EN ISO 52016-1 (říjen 2019) - Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy
- II. ČSN 73 0540-2 (listopad 2011) - Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- III. ČSN 73 0540-3 (prosinec 2005) - Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- IV. ČSN 73 0542 (říjen 1995) - Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov
- V. ČSN EN 12831-3 (leden 2019) - Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb
- VI. ČSN 73 0331-1 (listopad 2020) - Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data
- VII. ČSN EN 12831-1 (říjen 2018) - Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3
- VIII. ČSN EN 14511-1 (leden 2019) – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru a procesní chladiče, s elektricky poháněnými kompresory – Část 1+2: Termíny a definice, zkušební podmínky
- IX. ČSN EN 15459-1 (květen 2018) - Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14
- X. ČSN 06 0320 (říjen 2006) - Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování
- XI. ČSN EN 12831-3 (leden 2019) - Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3
- XII. ČSN EN 15316-3-1 (zrušena k 1.3.2018) Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody)

1. ÚVOD

V současné době většina bytových domů v České republice využívá pro zajištění tepelné pohody soustavu zásobování tepelnou energií, dříve označovanou jako CZT. S nárůstem cen emisních povolenek na trhu rostou teplárnám náklady na vyrobenou tepelnou energii, což se promítá i do cen pro koncové spotřebitele. Řada bytových družstev a společenství vlastníků jednotek si tak začala klást otázku, zdali by nebylo ekonomicky výhodnější pořízení a provoz vlastní kotelny přímo v bytovém domě. Na vzestupu však není jen cena emisních povolenek, ale i cena zemního plynu a elektrické energie. Investiční záměr v podobě vybudování vlastní domovní kotelny se tak doporučuje z energeticko-ekonomického hlediska důkladně zvážit a patřičně vyhodnotit.

Předkládaná diplomová práce řeší různé varianty zásobování bytového domu tepelnou energií se snahou nalézt ekonomicky a provozně optimální řešení. Cílem práce je zpracování nezávislé energeticko-ekonomické studie pro konkrétní bytový dům ve Slaném, která bude sloužit jako výchozí podklad pro investiční rozhodování Okresního bytového družstva Kladno.

V práci bude detailně analyzován stávající stav spotřeby tepelné energie pro vytápění s ohledem na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a bude analyzována spotřeba teplé vody. S ohledem na výslednou spotřebu energie objektu budou navrženy konkrétní varianty zdroje tepla, které je technicky možné v bytovém domě instalovat. Cílem je následné zpracování ekonomického modelu, který bude zohledňovat veškeré investiční a provozní náklady spojené s vybudováním a dlouhodobým provozem domácí kotelny, přičemž pro vyhodnocení budou použity dvě metody. První metoda vyhodnocení bude zohledňovat pevně určené vstupní předpoklady na základě aktuálních tržních cen s respektováním jejich vývoje. Druhá metoda hodnocení pak bude používat citlivostní analýzy, kdy jsou výsledky řešení zkoumány v závislosti na změnách cen vstupů. Výsledky pak budou detailně analyzovány a posléze budou investorovi doporučeny kroky vedoucí ke správnému rozhodnutí a k dosažení úspor.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

2.1. Hodnocení energetické náročnosti budov

Před každou plánovanou rekonstrukcí jednotlivých částí budovy za účelem energetických úspor je klíčový soubor vstupních informací sloužící jako výchozí podklad pro správný návrh jednotlivých opatření. Tyto informace lze vytěžit z hodnocení energetické náročnosti budov. Na problematiku energetického hodnocení budov je nutno nahlížeti dvojím pohledem, a to fyzikálním a legislativním. První jmenovaný je pevně dán fyzikálními zákony, popřípadě z nich plynoucími empirickými vztahy. Druhý je pak nezbytný pro sjednocení přístupů různých energetických specialistů či auditorů, aby hodnocení vycházelo ze stejných výchozích podmínek a výpočetních postupů a interpretace zpracovaných posudků tak byla srovnatelná. Energetické hodnocení vyžaduje znalosti napříč mnoha obory, jako jsou např. stavební fyzika, systémy vytápění, vzduchotechniky, zdravotnické, elektroinstalace, dále ekologie a v neposlední řadě ekonomie.

2.2. Zákony a právní předpisy

2.2.1. Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

Nadřazeným právním předpisem pro energetické hodnocení budov je v České republice zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Ten se odkazuje na další zákony, vyhlášky a technické normy, které jsou už často harmonizovány a mají tak platnost v rámci celé EU. Pokud je pak norma uvedena v prováděcí vyhlášce, stává se závaznou. Předmětem zákona č. 406/2000 Sb. jsou opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti osob při nakládání s energiemi. Dále jsou to pravidla pro tvorbu Státní a Územní energetické koncepce a Státního programu na podporu úspor energie a využití OZE. Zákon dále určuje požadavky na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie a požadavky pro štitkování těchto spotřebičů, dále požadavky na informování a vzdělávání v oblasti úspor a využití energie a některá pravidla pro poskytování energetických služeb.¹

¹ ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií*. In: .

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Vzhledem k obsáhlosti zákona zde nebudou popsány všechny dílčí paragrafy, ale pro návaznost na problematiku řešenou v této práci bude vybrán jen nejdůležitější výčet paragrafů a pojmů.

Paragraf 7 „Snižování energetické náročnosti budov“ stanovuje, za jakých podmínek je nutné plnit požadavky na energetickou náročnost pro budovy nové a pro budovy dokončené podstupující větší změnu. Jako motivující a příkladné ze strany státu lze brát fakt, že nové budovy orgánů veřejné moci musí plnit standard budov s téměř nulovou spotřebou energie již od r. 2018, zatímco pro ostatní nabývá stejný požadavek platnosti až počátkem roku 2020. Ve smyslu tohoto zákona je za budovu s téměř nulovou spotřebou energie považována „*budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.*“² Pro nové budovy je dále nutné posoudit proveditelnost alternativního systému dodávek energie (OZE, TČ apod.). Splnění těchto požadavků dokládá průkaz energetické náročnosti (PENB), jež je podrobněji popsán v samostatném paragrafu. Pro již dokončené budovy, které projdou větší změnou (tj. změna více než 25 % celkové plochy obálky budovy) platí splnění požadavků ENB na nákladově optimální úrovni, tzn. „stanovené požadavky vedoucí k nejnižším nákladům na investice v oblasti užití energií, na údržbu, provoz a likvidaci budov nebo jejich prvků v průběhu odhadovaného ekonomického životního cyklu“. Těmto požadavkům musí vyhovovat buď celá budova, nebo jen měněné konstrukce a systémy TZB. Proveditelnost alternativního systému dodávek energie zde platí stejně jako pro budovy nové. Dále jsou zde uvedeny další povinnosti vlastníků a správců v souvislosti s provozem systémů TZB a také výjimky pro budovy, na něž se požadavky ENB nevztahují (kulturní památky, budovy s energeticky vztažnou plochou menší než 50 m² atd.).³

Pro energetické hodnocení budov, ve smyslu tohoto zákona, slouží tři základní energetické dokumenty, a to průkaz energetické náročnosti budov (§ 7a), energetický audit (§ 9) a energetický posudek (§ 9a). Průkaz energetické náročnosti budov (PENB) je dokument obsahující stanovené informace o energetické náročnosti budovy nebo její ucelené části. Prokazuje splnění podmínek pro nové budovy, budovy podstupující větší změny,

² § 2 odst. 1 písm. w) zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

³ ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií.* In: .

budovy užívaných orgánem veřejné moci či pro budovy určených pro prodej nebo pronájem. Platnost průkazu je 10 let od jeho vyhotovení nebo do doby, kdy dojde k větší změně objektu či jeho systémů TZB (zateplení obálky budovy, změna vytápění atp.). Průkaz není potřeba zpracovávat v případě prodeje nebo pronájmu budovy (či její ucelené části), pokud se na tom obě strany dohodnou a výstavba nebo větší změna proběhla před rokem 1947. V případě prodeje nebo pronájmu lze taktéž nahradit vyúčtováním spotřeb energií za uplynulé tři roky. Průkaz zpracovaný např. pro celý bytový dům pak platí i pro jednotlivé byty v domě. Platí tedy, že v případě prodeje či pronájmu bytové jednotky není nutné zpracovávat průkaz zvlášť, ale lze použít průkaz platný pro celý dům, což není z fyzikálního hlediska úplně správný přístup, neboť některé byty mají větší ochlazovanou plochu než byty v jiném místě dispozice. Metodika hodnocení budovy je dána prováděcí vyhláškou č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov (viz další kapitola 2.2.2).⁴

Energetický audit (EA) je kontrola a analýza spotřeb energií v budově, jejímž výstupem je zpráva obsahující informace o stávajícím nakládání s energií v energetickém hospodářství a popis technickoekonomicky a ekologicky přijatelných návrhů na zvýšení úspor energie a energetické účinnosti. Na rozdíl od PENB přináší skutečné údaje o spotřebě energie odečtené např. z vyúčtování za teplo, el. energii apod., tzn. ze skutečných okrajových podmínek, neboť v PENB jsou roční dodané energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, nucené větrání, úpravu vlhkosti vnitřního vzduchu a osvětlení vypočteny v souladu s EN ISO 52016-1 - Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy, a podle principů vyhlášky MPO ČR č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov.⁵

Celý rozsah a obsah EA je stanoven prováděcí vyhláškou č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku⁶, ve znění pozdějších předpisů, odkud mj. plyne, jaké subjekty a za jakých podmínek mají povinnost EA zpracovávat. Bytových domů, resp. jejich vlastníků, se taková povinnost týká, pokud je spotřeba energie jednotlivých

⁴ ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií*. In: .

⁵ Tamtéž.

⁶ K 1. 4. 2021 zrušena a nahrazena Vyhláškou č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu, vzhledem k době psaní této kapitoly nebyl dostupný obsah této nové vyhlášky a uvedené informace tak nejsou aktuální.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

budov nebo energetických hospodářství vyšší než 700 GJ za rok. Tato povinnost dále vzniká fyzickým nebo právnickým osobám, které vlastní více budov či energetických hospodářství a jejichž celková spotřeba přesahuje 35 000 GJ. Energetický audit je také nutné doložit v případě výjimky z povinnosti na plnění požadavků ENB (např. při větší změně budovy), kdy EA prokáže, že to není ekonomicky nebo technicky vhodné s ohledem na životnost budovy.⁷

Poslední z vyjmenovaných dokumentů je energetický posudek (EP). Rozumí se jím „*písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení.*“⁸ EP je třeba zajistit např. pro posouzení nákladů a přínosů v případech související s výrobou elektřiny, kombinovanou výrobou elektřiny a tepla, a pro využívání odpadního tepla v určitých případech. Dále pro posouzení proveditelnosti projektů týkající se snižování ENB, zvyšování účinnosti užití energie, snižování emisí a využívání OZ nebo kombinované výroby elektřiny a tepla, které mají být financovány z dotačních programů státu, EU nebo z prostředků pocházejících z prodeje emisních povolenek. Pro účely dotačních titulů je EP prováděn před rekonstrukcí objektu, kdy dokument prokazuje splnění podmínek a následně po uplynutí stanovené doby proběhne vyhodnocení úspor určených vnitřním výnosovým procentem projektu. Vždy je však třeba respektovat podmínky konkrétní dotace (např. Nová zelená úsporám).⁹

Pro plánované rekonstrukce BD je klíčový zejména § 9a odst. 2 vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, který říká, že EP je možné zajistit také pro:

a) posouzení ekonomické přijatelnosti využití tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje energie, který není stacionárním zdrojem, v souladu se zvláštním právním předpisem (Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší),

⁷ ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku.* In: .

⁸ § 2 odst. 1 písm. o) zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

⁹ ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií.* In: .

- b) doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budovy při větší změně dokončené budovy,
- c) podklad v oblasti zvyšování účinnosti energie, snižování emisí ze spalovacích zdrojů znečištění nebo využití obnovitelných nebo druhotných zdrojů nebo kombinované výroby elektřiny a tepla,
- d) vyhodnocení provedených opatření navržených v energetickém auditu.¹⁰

V praxi to pak znamená, že je takový posudek nutné opatřit v případě, kdy si BD chce vybudovat vlastní plynovou kotelnu a odpojit se od soustavy zásobování tepelnou energií, neboť „*právníká a fyzická osoba je povinná, je-li to technicky možné, u nových staveb nebo při změnách stávajících staveb využít pro vytápění teplo ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje, který není stacionárním zdrojem. Tato povinnost se nevztahuje na rodinné domy a stavby pro rodinnou rekreaci a na případy, kdy energetický posudek prokáže, že využití tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje energie, který není stacionárním zdrojem, není pro povinnou osobu ekonomicky přijatelné.*“¹¹ Do celkových nákladů na plánovanou investici je pak nutné zahrnout i náklady na zpracování EP. Celý rozsah a obsah EP je stejně jako EA stanoven prováděcí vyhláškou č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku.

Všechny z výše vyjmenovaných energetických dokumentů mohou být zpracovány pouze příslušným energetickým specialistou nebo jinou oprávněnou osobou z členského státu EU dle právních předpisů daného státu. Oprávnění energetického specialisty a jeho získání popisuje § 10 zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.

2.2.2. Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov

Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov je prováděcím předpisem zákona o hospodaření energií. Stanovuje nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budov, metou výpočtu ENB, vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, vzor stanovení doporučených opatření pro snížení ENB a vzorový PENB a jeho umístění v budově.¹²

¹⁰ § 9a odst. 2 zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

¹¹ § 16 odst. 7 zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší

¹² ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov*. In: .

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Ukazateli energetické náročnosti ve smyslu této vyhlášky jsou primární energie z neobnovitelných zdrojů (energie, která neprošla žádným procesem přeměny; dle jednotlivých energonositelů vypočtena přes příslušný koeficient z tabulky v příloze č. 3 této vyhlášky) vztažená na m² energeticky vztažené plochy, dále celková dodaná energie za rok vztažená na m², dílčí dodané energie pro technické systémy, průměrný součinitel prostupu tepla, součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a účinnosti technických systémů.¹³

Datem 1.9.2020 nahradila původní vyhlášku č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov a přivedla s sebou řadu změn. Novelizace byla vyvolána požadavky směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 (EPBBD III). Cílem novely je vyšší efektivita a kvalita hodnocení ENB a zvýšení přehlednosti průkazů. Souhrn změn je následující:

- a) Úprava parametrů referenční budovy zpřesněním definice požadavku na neobnovitelnou primární energii.
- b) Aktualizace faktorů neobnovitelné primární energie.
- c) Úprava definice budovy s téměř nulovou spotřebou energie
- d) Stanovení jednotné metodiky pro hodnocení ENB.
- e) Zjednodušení obsahu protokolu a grafické části PENB.¹⁴

Hodnocení ENB se provádí přes tzv. referenční budovu, jež je budova stejné geometrie a velikosti, polohy, vnitřního uspořádání, se stejnými prosklenými plochami a se stejným profilem užívání jako je hodnocená budova, ale s referenčními parametry konstrukcí a technických systémů. Parametry jsou pak srovnány a pakliže jsou ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pod hodnotami budovy referenční, budova legislativně vyhovuje. Úprava parametrů referenční budovy se dotkla změny ukazatelů energetické náročnosti, a to celkové a dílčí dodané energie a neobnovitelné primární energie. Většina nových budov se však tato změna příliš nedotkne a nebude tak nutné

¹³ ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov*. In: .

¹⁴ Šafránek, J. *Nová vyhláška o energetické náročnosti budov od 1. září 2020. Zprávy a informace ČKAIT* [online]. [cit. 2020-12-17].

navrhovat více úsporných opatření, než tomu bylo při návrhu dle vyhlášky předchozí. Pro budovy procházejících větší změny se novela dotknout může nutností realizace úspornějších opatření, zejména v případech budov, jež jsou vybaveny zdrojem tepla a otopnou soustavou s nízkou účinností.¹⁵

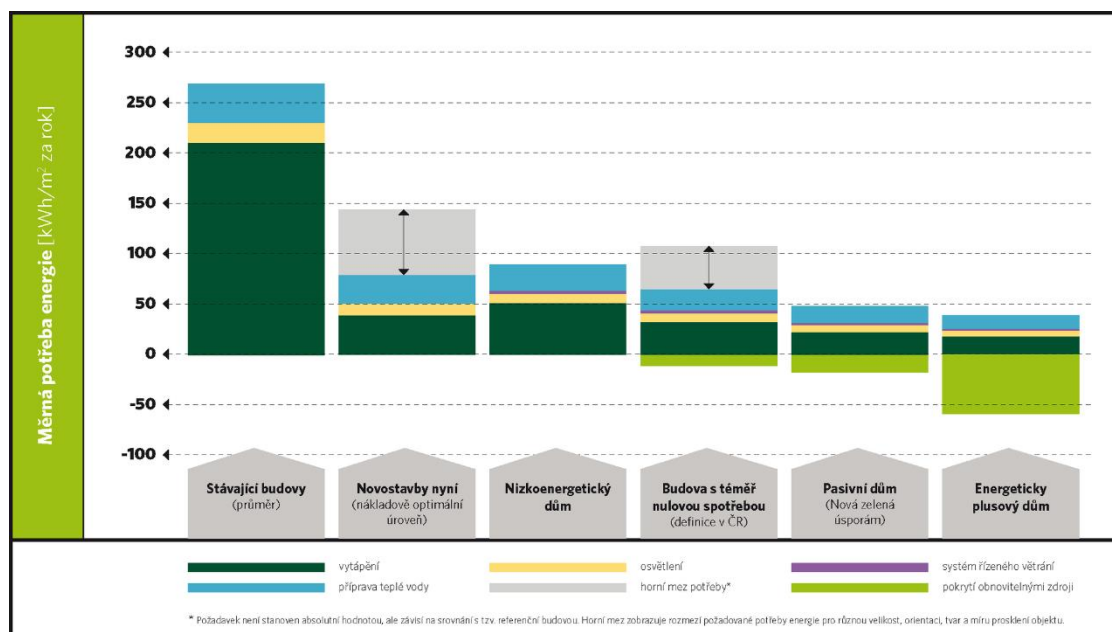
Faktory neobnovitelné primární energie vyjadřují efektivitu využití energie z pohledu účinnosti od její výroby cestou ke konečnému spotřebiteli. U elektřiny je to tak např. cesta od samotné těžby primárního paliva, k přeměně energie v elektrárně, dopravu přes přenosovou a distribuční soustavu až k samotné budově, kde je elektřina spotřebována. V předchozí vyhlášce byla hodnota faktoru pro elektrickou energii $f = 3$, ale vzhledem ke změně energetického mixu s navýšením podílu OZE na výrobě elektřiny byla novou tato hodnota upravena na $f = 2,6$. Snížení tohoto faktoru tak o trochu více z hlediska hodnocení ENB nahrává třeba elektrokotlům, elektrickým topným rohožím a jiným zařízením využívajících elektrickou energii pro vytápění. Změny se nedotkly pouze elektřiny, ale i dalších energonositelů.

Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB) je budova s velmi nízkou spotřebou energie, která je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, kdy je energie z OZE vyráběna přímo v daném místě nebo blízkém okolí. Toť udává směrnice EU a vlastní výklad je pak v kompetenci členských zemí, v ČR definovaný právě vyhláškou č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, kde jsou uvedeny technické parametry. Samotný název je však zavádějící, neboť nulová budova má spotřebu neobnovitelné primární energie rovnou nule. Rozdělení budov dle spotřeby energie je přiblíženo na Obr. 2.1. Oproti vyhlášce předchozí došlo k úpravě požadavků na NZEB z důvodu korelace s ostatními změnami, a to na základě konkrétních případových studií a výpočtů. Nově je pro obytné zóny nastaven odpočet spotřeby neobnovitelné primární energie na základě měrné potřeby tepla na vytápění referenční budovy se zohledněním tvaru a orientace ke světovým stranám. Pro budovy ostatní je odečet neobnovitelné primární ener-

¹⁵ Čejka, M. Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 1: základní přehled změn. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-12-17].

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

gie nezávislý na měrné potřebě tepla na vytápění. Splnění požadavků je tak možné dosáhnout širokou škálou energeticky úsporných opatření, což značně otevírá prostor projektantům a energetickým specialistům.¹⁶



Obr. 2.1 Rozdělení budov dle celkové spotřeby energie¹⁷

Novela vyhlášky dále přinesla jednotnou metodiku pro hodnocení ENB. Předchozí vyhláška umožňovala širokou volbu metodických přístupů a otevírala tak prostor k možné manipulaci se vstupními daty k dosažení požadovaných výsledků dle předem daného zadání. PENB pro stejnou budovu zpracovaný různými specialisty tak ve výsledku mohl podávat jiné výstupní informace o zónování, profilech užívání, dodané energii a následnému zařazení do klasifikační třídy. Nástrojem ke sjednocení slouží nová Příloha č. 5, která je pro výpočet ENB závazná a upřesňuje vstupní hodnoty a okrajové podmínky v souladu s ČSN 730331-1, jež se také stává nově závaznou. Příloha definuje např. využití klimatických dat, zónování budov, využití typických profilů užívání, stanovení parametrů obálky budovy, stanovení dílčích dodaných energií a pravidla pro výpočet ENB umístěných v areálu s lokální SZTE.¹⁸

¹⁶ Čejka, M. Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 1: základní přehled změn. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-12-17].

¹⁷ Tamtéž.

¹⁸ Tamtéž.

Poslední z vyjmenovaných změn se týká změny grafické podoby a obsahu protokolu PENB. Cílem je větší přehlednost a zjednodušení, neboť je průkaz primárně určen laické veřejnosti. Nově obsahuje jen jednu stranu, kde je stejně jako v přechozím případě uvedena klasifikační třída dle množství spotřebované neobnovitelné primární energie, dále kruhový diagram znázorňující dodanou energii dle druhu a dále tabulku s ukazateli energetické náročnosti, kde je nově uvedena měrná potřeba tepla na vytápění. Celý protokol pak obsahuje podstatné informace o budově sloužící jako podklad pro projektanta či energetickému specialistovi k optimalizaci a analýzám spotřeb.¹⁹

2.3. Základní údaje o hodnoceném objektu

Předmětem hodnocení je bytový dům v ulici Pražská č. p. 481–484 ve Slaném spadající pod správu Okresního bytového družstva Kladno. Jako podklad pro účely této diplomové práce byla použita původní projektová dokumentace spolu s údaji o spotřebě tepla a teplé a studené vody za posledních šest let. Další podklady a fotografie byly získány z osobních prohlídek.

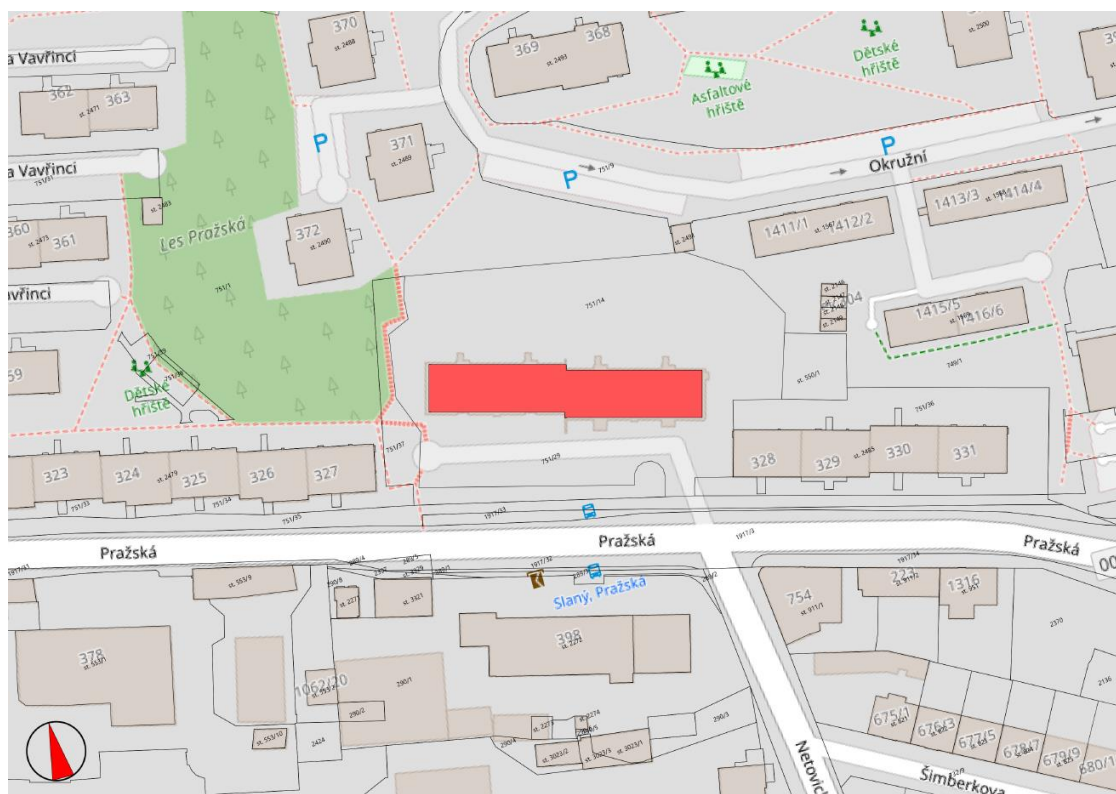
Objekt je rozdělen primárně na dvě hlavní hmoty, které jsou od sebe vzájemně odsazeny, jak výškově, tak horizontálně ve směru jih-sever; odsazení činí v obou případech cca 1,5 m. Každá z těchto částí obsahuje dvě schodišťové sekce. Bytový dům má celkem 7 nadzemních podlaží, v přízemí se nachází skladové prostory bytů, technické a domovní vybavení. V dalších šesti podlažích se nacházejí byty s dispozicemi 2+kk orientované na jih, 2+1 a 3+1 orientované jih-sever. Celkem se v objektu nachází 72 bytových jednotek, kde je oficiálně nahlášeno 125 obyvatel. Střecha je nepobytová, nachází se tu pouze strojovny výtahů a vývody technického zařízení. Výstavba objektu byla dokončena po roce 1990. Situace objektu je znázorněna na Obr. 2.3. Zbylé stavební výkresy a 3D model jsou obsaženy v Příloze 1.

¹⁹ Šafránek, J. Nová vyhláška o energetické náročnosti budov od 1. září 2020. *Zprávy a informace ČKAIT* [online]. [cit. 2020-12-17].

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU



Obr. 2.2 Hodnocený panelový bytový dům



Obr. 2.3 Situace objektu

2.3.1. Panelová soustava

Jedná se o panelovou soustavu T 06 B – typ KV (Karlovarská varianta), konkrétně o zmodernizovanou prolongovanou variantu, která se stavěla od roku 1981 na území středních Čech a Karlovarska až do Sametové revoluce. Oproti svému předchůdci tato varianta prošla velkou tepelně technickou revizí. Nejvýznamnější změnou bylo použití keramzitbetonových panelových dílců na obvodový plášť místo typických železobetonových panelů. Oproti železobetonu jsou cca dvakrát lehčí a vykazují dvakrát až třikrát lepší tepelně izolační vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti λ).²⁰

Dalším rozpoznávacím prvkem, viditelném na první pohled, jsou částečně zapuštěné lodžie s typickým provedením zábradlí, sestávající z betonového dílce osazeného na vykonzolované panelové bočnice lodžie. Typická je také povrchová úprava průčelních i štítových panelů ze zatlačovaného kačírku.²¹

2.3.2. Konstrukční systém

Konstrukční systém objektu je příčný nosný s předsazeným obvodovým pláštěm. Dvě hmoty panelového domu tvoří celkem 20 (2 x 10) modulů o rozponu 3,6 m. Konstrukční výška všech podlaží je 2,8 m.

Obvodový plášť je tvořen na severní a jižní fasádě keramzitbetonovými panely o tloušťce 320 mm, štítové stěny na východní a západní straně o celkové tloušťce 485 mm se potom skládají z nosného železobetonu tl. 150 mm, uzavřené vzduchové mezery tl. 15 mm a vnější vrstvy keramzitbetonu tl. 320 mm. Nosné příčné stěny stejně jako ztužující podélné jsou taktéž železobetonové tl. 150 mm. Stropní konstrukci tvoří železobetonové panely tl. 150 mm. Střecha je dvouplášťová, dřevěná na nosných stropních panelech s přídatnou tepelnou izolací z čedičové plsti tl. 120 mm. Detailnější konstrukční parametry budovy jsou uvedeny v Tab. 2.1. Obvodový plášť je zateplen izolací o mocnosti 100 mm typu EPS, který byl instalován již při výstavbě. Původní okna a vchodové dveře byly vyměněny za plastové s dvojsklem.

²⁰ Konstrukční soustava T06-B - přehled krajských variant. *PANELAKY.INFO* [online]. Marian Lipták, 2020 [cit. 2020-11-12].

²¹ Tamtéž.

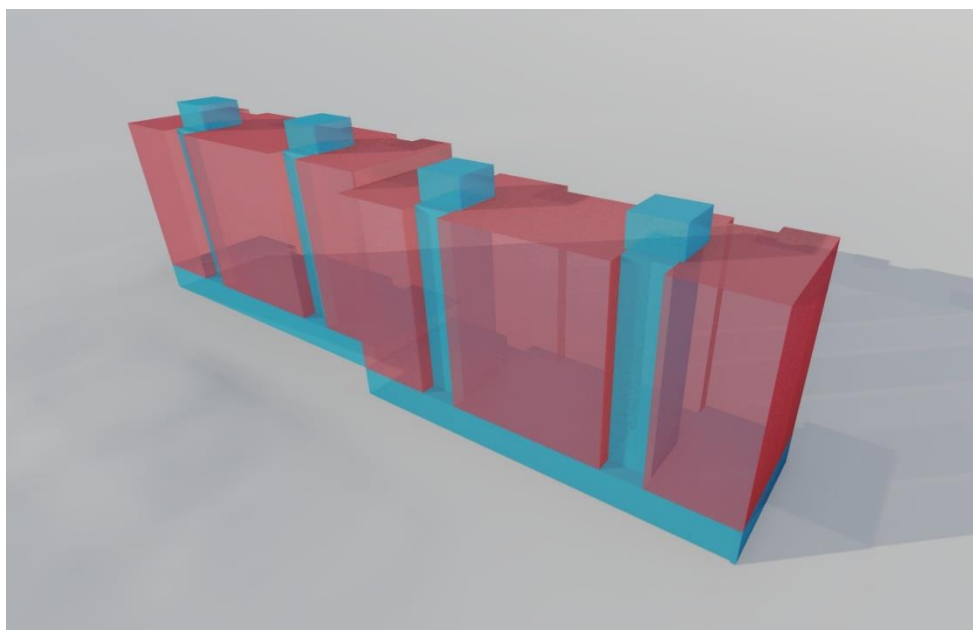
2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Počet nadzemních podlaží [-]	7,0
Konstrukční výška podlaží [m]	2,8
Celková délka objektu [m]	72,4
Celková šířka objektu [m]	14,1
Výška objektu [m]	22,4
Zastavěná plocha objektu [m ²]	893,0
Podlahová plocha všech prostorů v budově [m ²]	5 439,0
Obestavěný prostor [m ³]	15 184,0
Plocha výplní otvorů [m ²]	929,0
Plocha střechy [m ²]	893,0

Tab. 2.1 Konstrukční parametry objektu

2.3.3. Zónování objektu

Energetická náročnost budovy a hodnocení její obálky se počítá jako celek, jež se však může členit do jednotlivých zón. Budova je členěna na zóny s upravovaným vnitřním prostředím (vytápěné a klimatizované prostory) s definovanou vnitřní výpočtovou teplotou a na zóny nevytápěné. Zónám je přiřazen profil typického užívání, podle kterého je určena návrhová vnitřní teplota pro vytápění. Na Obr. 2.4 je znázorněno rozdělení hodnoceného objektu do dvou zón. Červená barva reprezentuje vytápěné prostory, tedy vnitřní prostory bytů s výpočtovou vnitřní teplotou 20 °C (dále označené jako zóna 1). Modrou barvou jsou ohraničeny vnitřní nevytápěné společné a komunikační prostory, tedy schodiště, chodby, prostory výtahu a skladové prostory v suterénu (dále jako zóna 2).



Obr. 2.4 Rozdělení hodnoceného objektu do zón

Pro geometrické určení se používá objemový faktor tvaru budovy A/V , kde A je plocha obálky budovy a V je objem touto plochou ohraničený. Tento parametr se vztahuje pouze k vytápěným prostorům, přičemž se při výpočtu se zohledňují pouze konstrukce sousedící s exteriérem, zeminou nebo plochy sousedící se zónami nevytápěnými. Vnitřní konstrukce nejsou zohledněny. V Tab. 2.2 jsou uvedeny parametry jednotlivých zón. Čistý objem zóny je důležitým parametrem pro určení objemu vzduchu, se kterým se dále počítá.²²

	červená zóna 1	modrá zóna 2	celkem
Plocha obálky (vnější rozměry) [m ²]	5 605,8	3 579,5	-
Objem obálky (vnější rozměry) [m ³]	12 913,8	3 870,8	-
Podlahová plocha (vnitřní rozměry) [m ²]	4 179,1	1 260,2	5 439,3
Obestavěný objem (vnitřní rozměry) [m ³]	11 701,5	3 482,7	15 184,2
Energeticky vztažná plocha [m ²]	4 612,1	1 281,8	5 893,9
Čistý objem zóny [m ³]	10 865,7	3 238,9	14 104,6
A/V [-]	0,43	-	-

Tab. 2.2 Parametry zón

2.3.4. Vlastnosti konstrukcí z hlediska šíření tepla

Aby bylo možné vypočítat tepelnou ztrátu objektu a potřebu tepla na vytápění, je potřeba určit tepelně technické vlastnosti konstrukcí ohraničující jednotlivé zóny. Z původní stavební projektové dokumentace byly převzaty skladby jednotlivých konstrukcí a následně zadány do programu Teplo 2017 EDU od tvůrce K-CAD, spol. s r.o. Ukázka práce se softwarem je znázorněna na Obr. 2.5. Výstupem je protokol komplexního posouzení skladby z hlediska šíření tepla a vodní páry (viz Příloha 2).

²² Staněk, K. ČVUT V PRAZE - FAKULTA STAVEBNÍ. *Průměrný součinitel prostupu tepla*. 2010.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Popis konstrukce a okrajových podmínek: Stěna štítová

Úpravy Formulář Pomůcky Rychlé posuny Konec práce s daty

Skladba konstrukce Okrajové podmínky výpočtu Doplnující parametry výpočtu

Obecné údaje:
 Konstrukce: Stěna štítová Zakázka: S
 Zpracovatel: David Černý Datum: 29. 10. 20
 Typ konstrukce: Stěna vnější jednoplášťová (tepelný tok vodorovně)
 výpočet souč. prostupu tepla, tepl. faktoru a bilance vlhkosti
 Korekce souč. prostupu tepla na vliv systematických tep. mostů DeltaU: 0,000 W/(m2K) při výpočtu uvažovat redistribuci vlhkosti

Základní parametry konstrukce Doplnující parametry

Vrstva	Název	D [m]	Lambda	M.teplo	Q.hmotnost	Mi,w	Mi,s	Výpočet U
1	Železobeton 3	0,1500	1,740	1020,0	2500,0	32,0		ano
2	Uzavřená vzduch. du	0,0150	0,094	1010,0	1,2	0,667		ano
3	Keramzitbeton 1	0,3200	0,280	880,0	700,0	8,0		ano
4	Isover EPS 70	0,1000	0,039	1270,0	16,0	30,0		ano
5		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
6		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
7		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
8		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
9		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
10		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
11		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
12		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
13		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
14		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano
15		0,0000	0,000	0,0	0,0	0,0		ano

Verze EDU umožňuje posouzení skladby stavební konstrukce o maximálně 7 vrstvách.

konstrukci zahrnout do výpočtu

Schéma skladby:
 exteriér
 0,59 m
 4
 3
 2
 1
 interiéř

Formulář:
 ● Střecha
 ● Základová deska
 ● Deska nad suterénem
 ● Průčelní stěna
 ● Stěna štítová
 ● Příčná nosná

Otočit schéma
 Otočit skladbu ve formuláři
 Import skladby

Parametry zadané skladby:
 0,5850 m
 600,6 kg/m2
 0,243 W/m2K
 3,953 m2K/W

Formulář č. 5
 Blok 1- 1

Akt. pomůcky:

Obr. 2.5 Ukázka výpočtu tepelně technických vlastností konstrukcí

Pro další výpočty jsou však klíčové zejména součinitele prostupu tepla konstrukcí, který je hlavním hodnotícím parametrem kvality obálky konstrukce. Obecný vztah pro výpočet měrného tepelného toku prostupem tepla je:

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k \cdot b_k + \sum_j \chi_j \cdot b_j \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (2.1)$$

kde

$A_i [m^2]$ je plocha i-té konstrukce,

$U_i [W \cdot m^{-2} K^{-1}]$ součinitel prostupu tepla i-té konstrukce,

$l_k [m]$ délka k-té lineární tepelné vazby,

$\Psi_k [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ lineární činitel prostupu tepla k-té lineární vazby,

$\chi_j [W \cdot K^{-1}]$ bodový činitel prostupu tepla j-té bodové tepelné vazby.

První člen se sumou tak reprezentuje plošné konstrukce, druhý lineární tepelné mosty a třetí bodové tepelné mosty.²³ Členy b jsou činitele teplotní redukce, které zohledňují jinou, vyšší, teplotu prostředí na vnější straně konstrukce, než je teplota venkovního vzduchu.

²³ Staněk, K. ČVUT V PRAZE - FAKULTA STAVEBNÍ. *Průměrný součinitel prostupu tepla*. 2010.

Obecně lze činitel teplotní redukce stanovit jako:

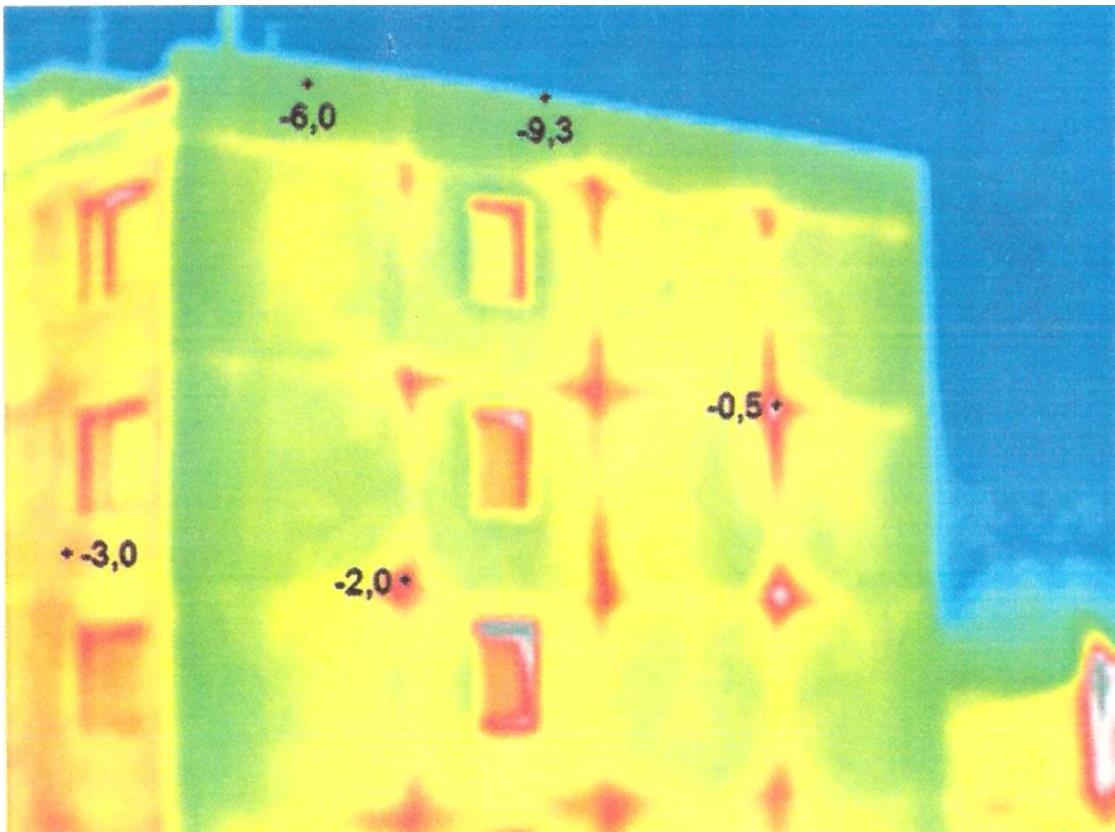
$$b = \frac{\theta_i - \theta_x}{\theta_i - \theta_e} \quad [-] \quad (2.2)$$

kde θ_i představuje vnitřní teplotu zóny, θ_x teplotu v sousedící zóně a θ_e pak teplotu venkovního vzduchu. Může tak nabývat maximálně hodnoty 1.²⁴

Jelikož neznáme přesné hodnoty pro výpočet tepelných mostů, použijeme zjednodušený vztah:

$$H_T = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + A \cdot \Delta U_{tb} \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2.3)$$

$\Delta U_{tb} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}]$ reprezentuje průměrný vliv tepelných vazeb na systémové hranici a jeho hodnota je volena empiricky. V případě hodnoceného panelového domu dochází k tepelným mostům zejména ve spárách mezi panely, jak ukazuje snímek z termokamery na Obr. 2.6. Pro ΔU_{tb} byla zvolena hodnota $0,10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.²⁵



Obr. 2.6 Snímek objektu pořízený termokamerou při venkovní teplotě $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

²⁴ Staněk, K. ČVUT V PRAZE - FAKULTA STAVEBNÍ. *Průměrný součinitel prostupu tepla*. 2010.

²⁵ Tamtéž.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Parametry konstrukcí obálky pro zónu 1 jsou uvedeny v Tab. 2.3. Plochy jsou rozděleny podle orientace na světové strany, neboť budou dále počítány solární zisky, jež orientaci zohledňují. Pro okna a dveře byl určen celkový součinitel prostupu tepla zohledňující zasklení, prostup tepla rámem a prostup tepla zasklívací spáry.

ZÓNA 1 - BYTY					
plocha	orientace	plocha celá [m ²]	plocha otvorů [m ²]	plocha plná A _i [m ²]	B _i [-]
stěna – fasáda	západní	243,9	9,0	234,9	1
stěna – fasáda	východní	236,5	9,0	227,5	1
stěna – fasáda	jižní	1518,7	447,4	1071,4	1
stěna – fasáda	severní	1221,9	243,0	978,9	1
stěna – vnitřní	na chodbu	847,4	144,0	703,4	0,65
deska nad suterénem				768,7	0,65
střecha				768,7	1
okna	západní			9,0	1
okna	východní			9,0	1
okna	jižní			447,4	1
okna	severní			243,0	1
dveře	jižní				1
dveře	severní				1
dveře	na chodbu			144,0	0,65

Tab. 2.3 Parametry obálky zóny 1

Jak již bylo řečeno v popisu konstrukčního systému, obálka budovy je zateplena izolací o mocnosti 100 mm typu EPS již z období výstavby. Současné trendy zateplování směřují k použití silnějších vrstev zateplení, než bylo používáno v minulosti, a to cca od tloušťky 150 mm tepelně izolačního materiálu výše. V programu Teplo 2017 EDU byly napočítané skladby konstrukcí s fasádním polystyrenem Isover EPS 70 o tloušťce 180 mm pro srovnání, jak by se změnila tepelná ztráta, pokud by se stávající zateplení izolací o tloušťce 100 mm typu EPS dodatečně zateplilo izolací o tloušťce 80 mm typu EPS, či bylo zcela nahrazeno zateplením novým o celkové tloušťce izolace 180 mm. Z důvodu požární bezpečnosti musí být v pasech nad okny po celém obvodu instalována minerální vata, neboť polystyren nemá požadovanou požární odolnost. Pro zjednodušení výpočtu nebude ve skladbách vata uvažována, protože má takřka totožné tepelně-izolační vlastnosti jako EPS. Součinitel prostupu tepla pro štítové stěny (západní a východní) se zateplením sníží na hodnotu $0,162 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, pro stěny průčelní pak na hodnotu $0,169 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Všechny skladby se zateplením jsou komplexně posouzeny z hlediska šíření tepla a vodní páry v protokolech v Příloze 2. V Tab. 2.4 je znázorněno srovnání průměrného součinitele prostupu tepla a celkového měrného tepelného toku pro variantu původní a po zateplení izolací o tloušťce 180 mm typu EPS.

	ZATEPLENO 100 mm EPS	ZATELPENO 180 mm EPS
U_{em} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,70	0,66
H_i [W·K ⁻¹]	3 335,89	3 115,96
U_{tb} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,10	0,10
H_{tb} [W·K ⁻¹]	560,58	560,58
H_T [W·K ⁻¹]	3 896,45	3 676,54

Tab. 2.4 Tepelně technické parametry obálky zóny 1

2.4. Systémy TZB a spotřeba energie objektu

2.4.1. Vytápění objektu a příprava teplé vody

Vytápění objektu je zajištěno ze soustavy zásobování tepelnou energií (SZTE) a stejně tak je řešena příprava teplé vody. Výrobcem a distributorem tepla a TV je firma RDK servis, s.r.o. Tepelná energie a TV je připravována v nedaleké kotelně umístěné v samostatném objektu na parcele č. 2498, jež byla po roce 1990 dovybavena dle potřeb hodnoceného objektu vzniklého ve stejné době.

Plynová teplovodní nízkotlaká kotelná je vybavena dvěma teplovodními plynovými kotli Danstoker TVB 6 o výkonu 2 x 1,4 MW a jedním teplovodním plynovým kotlem Danstoker TVB 2 o výkonu 1 x 0,5 MW s nejvyšší pracovní teplotou vody do 115 °C. Chod kotelný je řízen řídicím modulem CPU 6611 Trovis s dálkovým ovládním a přenosem dat na dispečink. Jako záložní nebo špičkový zdroj pro kotelnu lze použít uhelný kotel ARK 1000 o celkovém výkonu kotle 1160 kW. Celkový instalovaný výkon kotelný bez rezervy je 3,3 MW. Teplotní spád je 90/70 °C, provozní přetlak topné vody 220 kPa. Teplá voda je ohřívána na maximální teplotu 60 °C přes dva deskové výměníky o celkovém výkonu 150 kW ve dvou akumulčních nádržích po 6 m³. Minimální teplota TV při vstupu do objektu je smluvně stanovena na 48 °C mimo dobu odběrových špiček. Účinnost výroby tepla a TV je 95 %, účinnost rozvodu tepla a teplé vody je 93 %.

Rozvod otopné a teplé vody je čtyřtrubkový, průměr potrubí pro otopnou vodu je 65 mm pro přívod i zpátečku, pro TV je průměr přívodního potrubí 51 mm a zpátečky 37,5 mm. Potrubí je na patu domu přivedeno cca 400 m dlouhým topným kanálem a dále vede do technické místnosti suterénu, kde je umístěn rozdělovač a sběrač TV. Odtud jsou vedeny 2 větve rozvodů pro každou sekci – severní a jižní. Rozvod potrubí pro jednotlivé sekce je veden pod stropem suterénu k jednotlivým stupačkám. Stoupací potrubí je vedeno volně v místnostech vytápěných podlaží. Otopná tělesa jsou původní

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

litinové článkové radiátory KALOR 500/110 mm nebo KALOR 500/160 mm (celkem 228 ks), opatřené termostatickými hlavicemi a systémem měření tepla VIPA. Rozvodné potrubí v suterénu budovy je izolováno proti tepelným ztrátám izolací z čedičové vlny. Otopná soustava je regulována ekvitermní regulací Samson Trovis 6611. Cirkulační čerpadla jsou umístěna v objektu kotelny a průtok je regulován podle požadavků na odběr tepla a teplé vody.

2.4.2. Spotřeba tepla a teplé vody

V Tab. 2.5 jsou uvedeny spotřeby tepla na vytápění a tepla spotřebovaného na přípravu a TV za posledních 6 let. V roce 2019 lze pozorovat nárůst spotřeby tepla, neboť byla navýšena teplotní křivka z důvodu stížností ze strany odběratele na nedostatečnou tepelnou pohodu. Dohodu o sjednání odběrového diagramu, záloh a stanovení ceny tepelné energie uzavírá odběratel (OBD Kladno) s dodavatelem (RDK Servis s.r.o.) každoročně. V Příloze 3 v listu “srovnání – teplo“ jsou uvedeny spotřeby tepla v jednotlivých měsících až do roku 2011 a náklady, které odběratel za dodané teplo zaplatil.

Rok	Spotřeba tepla [GJ]	Spotřeba tepla na TV [GJ]	Spotřeba TV [m ³]
2019	1 203	800	1 749
2018	1 015	700	1 662
2017	1 031	819	1 819
2016	988	752	1 873
2015	937	795	2 009
2014	971	849	2 153
PRŮMĚR	1 024	786	1 878

Tab. 2.5 Spotřeby tepla a TV

2.4.3. Ostatní systémy TZB

Mezi ostatní systémy TZB lze dále zahrnout větrání, chlazení, rozvody plynu, zdravotnickou a elektroinstalaci. Nucené větrání je v objektu zajištěno pouze původními odtahovými ventilátory v koupelnách vyústěných do stoupaček, takže pro přívod čerstvého vzduchu je uvažováno pouze s přirozeným větráním okny. Chlazení není v objektu zřízeno. Plynová přípojka je k dispozici na patě domu. Všechny ostatní rozvody zdravotnické a silnoproudé elektroinstalace jsou původní.

2.5. Výpočet potřeby tepla na vytápění

V předchozí kapitole byly uvedeny skutečné spotřeby tepla a teplé vody za předchozí roky. Výchozí stav pro dimenzování zdroje tepla by však měl vycházet z vypočtené potřeby tepla na vytápění, neboť průběh teplot v zimním období se v budoucnu může lišit od průměrných teplot za poslední roky vzhledem k mírnějším zimám, a tím i spotřeba tepla. Pro výpočet bude použita zjednodušená měsíční metoda.

V kapitole 2.3.4 byl vypočítán celkový měrný tepelný tok obálkou budovy H_T . Do celkových ztrát je pak nutné ještě zahrnout ztráty větráním. Obecný vztah pro měrný tepelný tok větráním je:²⁶

$$H_V = \rho_a \cdot c_a (\sum b_{ve} \cdot V_{ve,mn}) \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde

ρ_a [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je měrná hustota vzduchu (1,188 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ při 20 °C),
 c_a [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] měrná tepelná kapacita vzduchu (1 010 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při 20 °C),
 b_{ve} [–] součinitel teplotní korekce (podobné jako z rovnice (2.2)) a

$$V_{ve,mn} = f_{ve} \cdot V_{ve} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.5)$$

kde

f_{ve} [–] je časový podíl větrání (roven 1 pro 24 hod., 0,5 pro 12 hod. apod.) a
 V_{ve} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] průměrný objemový tok vzduchu.

Pro výpočet budeme uvažovat, že se vzduch v bytech celkem za hodinu vymění pouze 0,3krát vzhledem k dobrým těsnícím vlastnostem plastových oken a k přípustné hodnotě z hygienického hlediska. Za V_{ve} tedy dosadíme čistý objem zóny 1.

Po dosazení dostáváme

$$H_V = 1,188 \cdot 1,01 \cdot 0,3 \cdot 10\,865,7 = 1\,086,46 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

Je vidět, že v porovnání s měrným tepelným tokem obálkou tvoří měrný tepelný tok větráním více jak 20 %. Větrání se tak podstatným způsobem podílí na celkové tepelné ztrátě objektu. Tu lze určit jako:

$$Q_L = (H_T + H_V) \cdot (t_i - t_{evyp}) \quad [\text{W}] \quad (2.6)$$

²⁶ Energetické hodnocení budov. Brno: Vysoké učení technické, 2015.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

kde

t_i je vnitřní výpočtová teplota (pro zónu 1 je návrhová vnitřní výpočtová teplota 20 °C, hodnota byla převzata z Tab. I.1 v ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin),

$t_{evýp}$ je výpočtová venkovní teplota (pro lokalitu Kladno je rovna -15 °C, zvoleno dle čl. 7.1.1 v ČSN 73 0540-3).

Po dosažení dostáváme tepelnou ztrátu objektu se stávajícím zateplením o tloušťce 100 mm typu EPS:

$$Q_{Ln} = (3\,896,45 \cdot 1086,46) \cdot (20 + 15) = 174 \text{ kW}$$

A po navrhovaném zateplení o tloušťce 180 mm typu EPS:

$$Q_{Lz} = (3\,676,54 \cdot 1086,46) \cdot (20 + 15) = 167 \text{ kW}$$

Na základě průměrných měsíčních hodnot teplot venkovního prostředí ve smyslu ČSN EN ISO 13788 - Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody, a hodnot převzatých z knihy²⁷ lze vypočítat měsíční bilanci potřeby tepelné energie na krytí ztrát prostupem:

$$Q_{TR} = H_T \cdot (t_i - t_{eměs}) \frac{24 \cdot d_{měs}}{1000} \quad [\text{kWh} \cdot \text{měs}^{-1}] \quad (2.7)$$

a na krytí ztrát větráním:

$$Q_{VE} = H_V \cdot (t_e - t_{eměs}) \frac{24 \cdot d_{měs}}{1000} \quad [\text{kWh} \cdot \text{měs}^{-1}] \quad (2.8)$$

kde $t_{eměs}$ reprezentuje průměrnou měsíční teplotu v daném měsíci a $d_{měs}$ počet dní v daném měsíci. Součet ztrát označíme jako Q_Z .

Potřeba tepelné energie na krytí ztrát prostupem a větráním je ve skutečnosti ponížena o energii získanou ze slunečního záření, od metabolického tepla osob a tepelného výkonu spotřebičů v interiéru. Solární zisky infiltrací slunečního záření výplněmi otvorů spočteme přes součet zisků z jednotlivých světových stran dle zjednodušeného vztahu

²⁷ Květoň, V. *Normální teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2001. Národní klimatický program České republiky.

z ČSN 73 0542 - Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov:²⁸

$$Q_{Sol} = \sum E_{gm} \cdot A_{ok,p} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot c_m \cdot c_n \quad [\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}] \quad (2.9)$$

kde

$Q_{Sol} [\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$ je průměrný tepelný zisk zasklení ze slunečního záření za měsíc,

$E_{gm} [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}]$ globální sluneční záření, převzato z dat ČHMÚ,

$A_{ok,p} [\text{m}^2]$ plocha průsvitné části okna, hodnoty viz Tab. 2.3,

$T_1 [-]$ propustnost slunečního záření zasklení, pro dvojsklo hodnota 0,81,

$T_2 [-]$ znečištění zasklení, uvažuje se hodnota 0,9,

$T_3 [-]$ činitel stínění okna, pro dvojsklo se uvažuje hodnota 0,9,

$c_m [-]$ činitel využití slunečního záření, převzato z ČSN 73 0542,

$c_n [-]$ činitel korigující dopad paprsků, jež není kolmý, volí se 0,9.

Pasivní tepelné zisky od osob a vybavení lze zjednodušeně vypočítat vztahem:²⁹

$$Q_H = (q_{oc} \cdot A_p \frac{24 \cdot f_{oc}}{1000} + q_{ap} \cdot A_p \frac{24 \cdot f_{ap}}{1000}) \cdot d_{m\acute{e}s} \quad [\text{kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}] \quad (2.10)$$

kde

$q_{oc} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ jsou měrné zisky od osob, volíme hodnotu $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$q_{ap} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ měrné zisky od spotřebičů, volíme hodnotu $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,

$f_{oc} [-]$ časový podíl přítomnosti osob, volíme hodnotu 1,

$f_{ap} [-]$ časový podíl doby provozu spotřebičů, volíme hodnotu 0,2,

$A_p [\text{m}^2]$ podlahová plocha.

Hodnoty q_{oc} , q_{ap} , f_{oc} a f_{ap} byly zvoleny dle Tab.B.11 z metodické příručky³⁰.

²⁸ Ambrožová, I., Horák, P. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-01-28].

²⁹ *Energetické hodnocení budov*. Brno: Vysoké učení technické, 2015.

³⁰ Urban, M., Svoboda, Z., Kabele, K., Adamovský, D., Kabrhel, M. *Metodika bilančního výpočtu energetické náročnosti budov*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov Thákurova 7 166 29 Praha 6, 2009.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Pro zohlednění tepelných zisků ve výpočtu je nutné stanovit stupeň využití tepelných zisků. Pro výpočet potřebujeme podíl tepelných zisků a tepelných ztrát:

$$\gamma = \frac{Q_{Sol} + Q_H}{|Q_{TR} + Q_{VE}|} \quad [-] \quad (2.11)$$

Dále časovou konstantu budovy:

$$\tau = \frac{C/3600}{H_T + H_V} \quad [\text{hod}] \quad (2.12)$$

Kde C [$\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$] je vnitřní tepelná kapacita budovy. Lze jí stanovit zjednodušeně podle plošné tepelné kapacity použitého materiálu konstrukcí C_m [$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]:

$$C = C_m \cdot A \quad [\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2.13)$$

C_m volíme $500 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro beton bez povrchových úprav.

Dále spočteme faktor setrvačnosti budovy jako:

$$a = \frac{\tau}{15} \quad [\text{hod}] \quad (2.14)$$

A nakonec stupeň využití tepelných zisků:

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma^a}{\gamma^{a+1}} \quad [-] \quad (2.15)$$

Měsíční potřeba tepla na vytápění se se zohledněním zisků a jejich stupněm využití se vypočte jako:

$$Q_{C,m} = [(Q_{TR} + Q_{VE}) - \eta_H \cdot (Q_{Sol} + Q_H)] \cdot f_H \quad [\text{kWh}] \quad (2.16)$$

kde f_H zohledňuje otopnou sezónu (např. leden $f_H = 0$, červenec $f_H = 1$).³¹

Přehled vypočtených ročních hodnot tepelných zisků a tepla potřebného na vytápění je znázorněn v Tab. 2.6, měsíční bilanci ukazuje Obr. 2.7, srovnání vypočtených hodnot tepla potřebného na vytápění s hodnotami průměrnými z předchozích let je na Obr. 2.8. Kompletní podrobný výpočet je uveden v Příloze 3 v listu “zatepleno 100 mm“. Skutečná průměrná spotřeba tepla za posledních 11 let je $1042,3 \text{ GJ}$, což je ve srovnání s vypočtenou potřebou tepla hodnota nižší o pouhé 1 %. Skutečná spotřeba tepla se odvíjí zejména od průběhu zimy v daném roce a také chováním uživatelů. Těžko odhadnout, jaký podíl mají na skutečné celkové spotřebě tepla ztráty větráním a ztráty prostu-

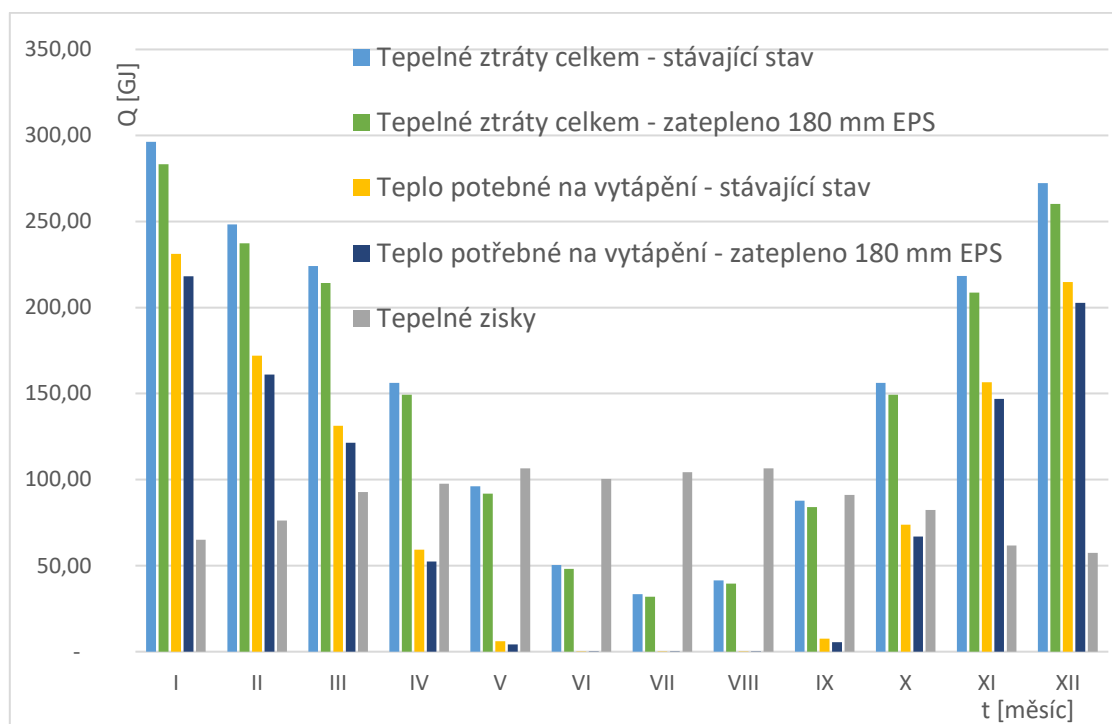
³¹ *Energetické hodnocení budov*. Brno: Vysoké učení technické, 2015.

pem. Ve výpočtu se počítá s obměnou třetiny objemu vzduchu za hodinu, což by znamenalo časté větrání ze strany obyvatel domu, neboť vyměněná plastová okna mají dobré těsnící vlastnosti. Praxe však dokazuje, že obyvatelé v zimních měsících v rámci úspor větrají nedostatečně, což vede k nadměrné vlhkosti v obytných místnostech a ke vzniku plísní. „Uspořené“ teplo větráním může být vykompenzováno větší tepelnou ztrátou prostupem vzhledem k stavebním vadám obálky, které ukazuje snímek z termokamery na Obr. 2.6.

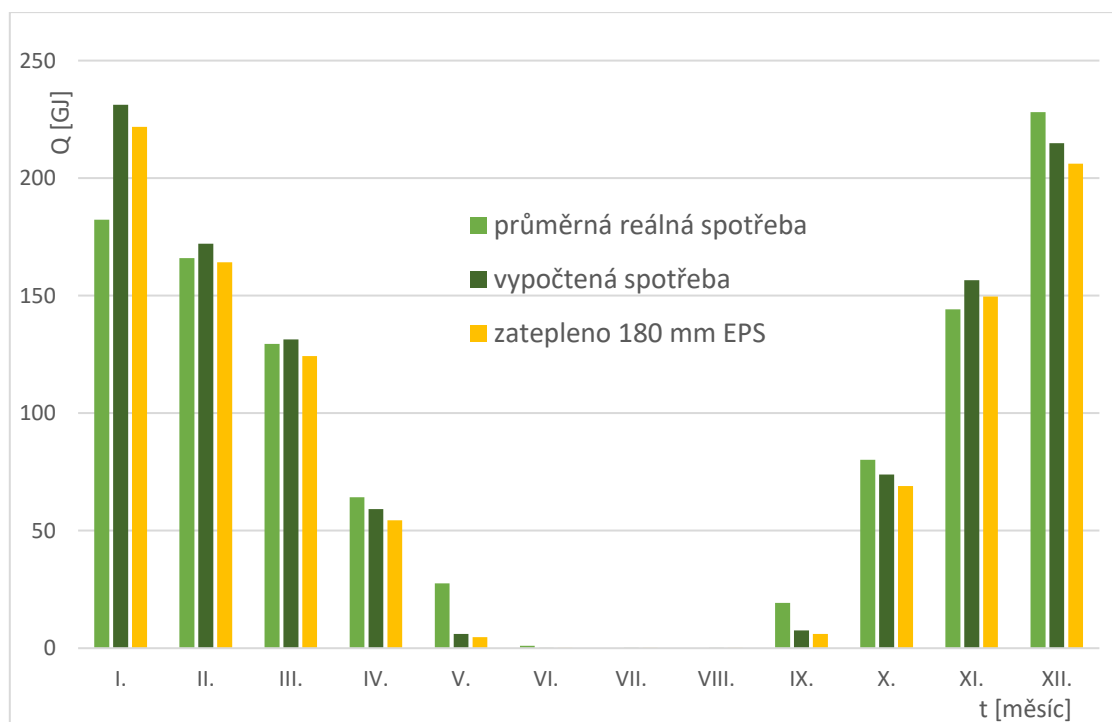
	ZATEPLENO 100 mm EPS		ZATEPLENO 180 mm EPS	
	celkem v kWh	celkem v GJ	celkem v kWh	celkem v GJ
Q_{TR}	408 534	1 471	385 481	1 387,73
Q_{VE}	113 914	410	113 914	410,09
Q_Z	522 454	1 881	499 395	1 797,82
Q_H	131 793	474	131 793	474
$Q_{Sol S}$	36 638	132	36 638	132
$Q_{Sol J}$	116 751	420	116 751	420
$Q_{Sol V}$	2 184	8	2 184	8
$Q_{Sol Z}$	2 183	8	2 183	8
Q_G	289 548	1 042	289 548	1 042
$Q_{c,m}$	292 477	1 053	272 161	980
τ	116,5	[hod]	121,9	[hod]
C	2 089 560	[kJ·K ⁻¹]	2 089 560	[kJ·K ⁻¹]
a	8,8	[hod]	9,1	[hod]

Tab. 2.6 Vypočtené hodnoty tepelných ztrát a zisků

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU



Obr. 2.7 Měsíční bilance tepelných zisků a tepla potřebného na vytápění



Obr. 2.8 Průměrná spotřeba tepla z let 2011-2019 v porovnání s výpočtem

2.6. Kontrolní výpočet nejnižší střední teploty otopného tělesa

Protože stávající otopná tělesa KALOR 500/110 mm a KALOR 500/160 mm byla dimenzována podle původní tepelné ztráty objektu, jsou oproti současné tepelné ztrátě po výměně oken předdimenzované. Jmenovitý teplotní spád stávajících otopných těles je 90/70 °C, avšak v současnosti se pro vytápění používá co nejnižší možná teplota otopné vody z důvodu dosažitelných úspor. U tepelných čerpadel se např. pro podlahové vytápění používá otopná voda o teplotě 35 °C. Výpočtem bude ověřeno, jakého tepelného spádu lze u stávajících otopných těles dosáhnout při stávající tepelné ztrátě.

Pro vedení tepla platí obecně Fourierův zákon:³²

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} = -\lambda \cdot \text{grad } t \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.17)$$

Kde

\mathbf{q} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je hustota tepelného toku; vyjadřuje množství tepla proteklého jednotkou ploch, kolmou na směr proudění za jednotku času,

λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti materiálu,

$\frac{dt}{dx} = \text{grad } t$ [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$] je teplotní gradient; vyjadřuje poměr přírůstku teploty dt ke vzdálenosti dx mezi izotermickými plochami ve směru rovnováhy. Představuje míru změny teploty v daném místě (neboli teplotní spád) a ve směru poklesu teploty t se označuje záporným znaménkem (tepelný tok proudí proti směru teplotního gradientu).

Po vynásobení rovnice (2.17) plochou S dostáváme tepelný tok:

$$\dot{Q} = \mathbf{q} \cdot S = \lambda \cdot \frac{dt}{dx} \cdot S \quad [\text{W}] \quad (2.18)$$

Pro kontrolní výpočet nejnižší střední teploty otopného tělesa zanedbáme tloušťku stěny a rovnici přepíšeme do tvaru:

$$\dot{Q} = S \cdot \lambda \cdot \Delta T \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2.19)$$

Kde člen ΔT je teplotní spád.

³² Kupilík, V. *Termodynamika*. Praha, 1987.

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

Z projektové dokumentace víme, že otopná soustava byla dimenzována na tepelný výkon 400 kW a tepelný spád 20 K, materiál otopných těles je litina (součinitel tepelné vodivosti pro litinu se pohybuje v rozmezí 42–63 W.m⁻¹.K⁻¹, volíme $\lambda = 50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Vypočteme si tedy otopnou plochu instalovaných otopných těles:

$$S = \frac{\dot{Q}_{\text{přívodní}}}{\lambda \cdot \Delta T} = \frac{400 \cdot 10^3}{50 \cdot 20} = 400 \text{ m}^2$$

Po dosazení stávající teplotní ztráty dostáváme nový teplotní spád:

$$\Delta T_{\text{stávající}} = \frac{\dot{Q}_{\text{stávající}}}{\lambda \cdot S} = \frac{174 \cdot 10^3}{50 \cdot 400} = 8,7 \text{ K}$$

A po dosazení tepelné ztráty po zateplení izolací o tloušťce 180 mm EPS dostáváme:

$$\Delta T_{\text{zatepleno}} = \frac{\dot{Q}_{\text{zatepleno}}}{\lambda \cdot S} = \frac{169 \cdot 10^3}{50 \cdot 400} = 8,3 \text{ K}$$

Kontrolním výpočtem je tedy ověřeno, že stávajícími otopná tělesa jsou schopna předat požadovaný tepelný výkon i při teplotním spádu pod hodnotou 9 K.

2.7. Výpočet potřeby tepla na ohřev teplé vody

Příprava TV se významně podílí na spotřebě energie budovy, a tedy i na celkové energetické náročnosti. U budov, které neprošly výměnou oken a zateplením obvodového pláště, je podíl energie spotřebované na přípravu TV na celkovém spotřebovaném teple asi 20 %, u budov po rekonstrukci až 50 %. Podle potřeby tepla pro přípravu TV a tepla pro krytí ztrát se dimenzuje celkový zdroj tepla. Pro správný návrh zdroje je tak nezbytné správné určení potřebného množství TV, volba odběrových křivek TV, určení ztrát při přípravě a rozvodu a v neposlední řadě návrh zásobníku TV.³³

2.7.1. Potřeba teplé vody

Na rozdíl od potřeby tepla na vytápění není potřeba tepla na přípravu TV příliš vázána na klimatické podmínky a v jednotlivých letech se tak křivky spotřeby příliš neliší (tedy za předpokladu, že obsazenost objektu je v průběhu let konstantní). Potřeba TV a tepla na její ohřev se dá stanovit několika způsoby, nejpoužívanější metody jsou dle ČSN 06 0320 - Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a

³³ Vavříčka, R., Mazur, M. Příprava teplé vody v obytných budovách. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-02-12].

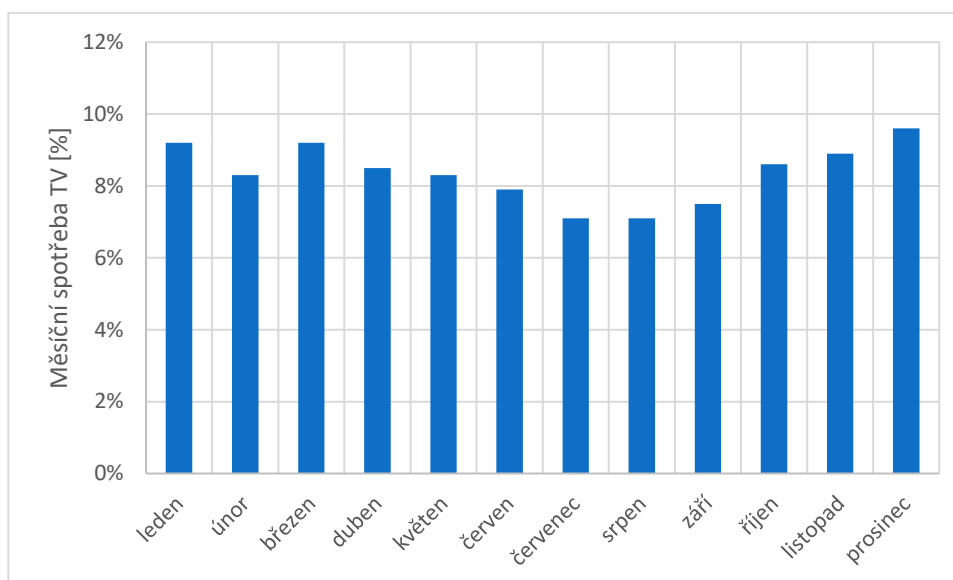
projektování, a podle ČSN EN 15316-3 - Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody). Klíčové je určení potřebného objemu TV na obyvatele na den. Zatímco první jmenovaná norma počítá s hodnotou pro bytové domy $0,083 \text{ m}^3 \text{ TV osoba} \cdot \text{den}$, metoda druhá uvádí hodnotu zhruba poloviční ($0,04 \text{ m}^3 \text{ na osoba} \cdot \text{den}$). Pro účely této práce bude použita metodika dle ČSN EN 15316-3, neboť dle dlouhodobých měření metodika dle ČSN 06 0320 vykazuje značně předimenzované hodnoty a je určena spíše pro návrh objemu a tepelného příkonu ohřívače. Nutno však podotknout, že ČSN EN 15316-3 byla roku 2019 zrušena a nahrazena normou ČSN EN 12831-3 - Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, ale vzhledem k náročnosti výpočtu na vstupní hodnoty nebude pro účely této práce použita.³⁴

Při znalosti obsazenosti hodnoceného objektu 125 osobami dostáváme teoretickou denní potřebu TV v objektu $V_{\text{TVden}} = 5 \text{ m}^3/\text{den}$, roční pak $V_{\text{TVrok}} = 1825 \text{ m}^3/\text{rok}$. Od průměrné skutečné roční spotřeby TV z posledních 6 let uvedené v Tab. 2.5 se tak hodnota teoretická příliš neliší. Na Obr. 2.9 je roční měrný profil spotřeby TV po jednotlivých měsících. V letních měsících je patrný pokles spotřeby o cca 25 % vlivem letních dovolených, vyšší teplotou studené vody a změnou chování uživatelů (letní sprcha namísto horké vany).³⁵

³⁴ Tamtéž.

³⁵ *Energeticky vědomá rekonstrukce systémů TZB v bytových domech* [online]. TZB-info, 2017 [cit. 2021-02-26].

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU



Obr. 2.9 Roční měrný profil spotřeby TV

2.7.2. Výpočet potřeby tepla pro ohřev TV a krytí ztrát

Celková potřeba tepla na ohřev teplé vody se skládá jednak z tepla potřebného na ohřev samotného objemu vstupní studené vody na požadovanou teplotu a dále z tepla potřebného na krytí ztrát. V hodnoceném objektu se jedná zejména o ztráty v rozvodech a ztráty cirkulační, jež nejsou známé. Známe však průměrné roční hodnoty spotřeby TV v m^3 a celkové spotřebované teplo na její přípravu měřené na samém začátku procesu výroby, tzn. teplo vč. ztrát, za které zaplatí odběratel (viz Tab. 2.5). Dále známe hodnoty účinnosti výroby TV a účinnost rozvodu k patě domu, které byly poskytnuty vlastníkem a provozovatelem kotelny RDK servis, s.r.o. Lze tedy inverzně vypočítat ztráty v rozvodech v domě (cirkulační + v armaturách). Z kalorimetrické rovnice lze vypočítat teplo spotřebované na ohřev TV:

$$Q_{sTVrok} = V_{sTVrok} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{2kTV} - t_{1sV}) \quad [\text{kJ}] \quad (2.20)$$

Kde

$V_{sTVrok} [m^3]$ je průměrný roční objem spotřebované TV v předchozích 6 letech (1878 m^3),

$\rho [kg \cdot m^{-3}]$ je měrná hmotnost vody (1000 $kg \cdot m^{-3}$),

$c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ je měrná tepelná kapacita vody (4,18 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$),

$t_{2kTV} [^{\circ}C]$ teplota TV (v kotelně ohřívána na 60 $^{\circ}C$),

$t_{1sV} [^{\circ}C]$ teplota studené vody (roční průměr cca 10 $^{\circ}C$).

Po dosazení dostáváme $Q_{sTVrok} = 392,5 \text{ GJ}$

Celkové spotřebované na přípravu stejného objemu TV v kotelně je však $Q_{kTVrok} = 786 \text{ GJ}$. Celková účinnost přípravy TV a rozvodu je tak:

$$\eta_{celk} = \frac{Q_{sTVrok}}{Q_{kTVrok}} = \frac{392,5}{786} = 0,499$$

Účinnost ohřevu tepla v kotelně $\eta_{ohřev}$ je 0,95, účinnost distribuce k patě domu η_{dis} je 0,93. Z těchto známých hodnot lze vypočítat účinnost rozvodů v objektu:

$$\eta_{rozvod} = \frac{\eta_{celk}}{\eta_{ohřev} \cdot \eta_{dis}} = 0,565$$

Převrácená hodnota účinnosti nám dává poměrnou ztrátu v rozvodech $z_{rozvod} = 1,77$.

Nyní lze vypočítat potřebné teplo na ohřev TV za předpokladu, že by byla TV připravována přímo v objektu (tzn. odpadly by ztráty v úseku kotelna – pata domu), a to na teplotu $t_{2TV} = 55 \text{ °C}$. Po modifikaci kalorimetrické rovnice (2.20) o ztráty v rozvodu dostáváme:

$$Q_{2p\ den} = V_{TVden} \cdot \rho \cdot c \cdot z_{rozvod} \cdot (t_{2TV} - t_{1SV}) = 1,66 \text{ GJ}$$

pro teoretickou denní potřebu teplé vody $V_{TVden} = 5 \text{ m}^3$ a dále

$$Q_{s2p\ den} = V_{sTVden} \cdot \rho \cdot c \cdot z_{rozvod} \cdot (t_{2TV} - t_{1SV}) = 1,71 \text{ GJ}$$

pro průměrnou skutečnou denní potřebu TV z posledních 6 let $V_{sTVden} = 5,15 \text{ m}^3$.

$$Q_{2p\ rok} = V_{TVrok} \cdot \rho \cdot c \cdot z_{rozvod} \cdot (t_{2TV} - t_{1SV}) = 607,6 \text{ GJ}$$

pro teoretickou roční potřebu teplé vody $V_{TVrok} = 1825 \text{ m}^3$ a dále

$$Q_{s2p\ rok} = V_{sTVrok} \cdot \rho \cdot c \cdot z_{rozvod} \cdot (t_{2TV} - t_{1SV}) = 625,3 \text{ GJ}$$

pro průměrnou skutečnou roční potřebu TV z posledních 6 let $V_{sTVrok} = 1878 \text{ m}^3$.

Jak je vidět, hodnoty se od sebe liší jen minimálně, a tak bude dále počítáno s hodnotou vyšší, tedy s teplem na ohřev TV vycházejícím ze skutečných průměrných ročních hodnot.

2.7.3. Tepelný výkon pro ohřev vody a návrh zásobníku

Pro určení tepelného výkonu zdroje pro ohřev TV je nejprve nutné znát profil odběru TV v objektu během dne. Dle dlouhodobých měření se odběry TV převedou do kumulativní křivky, kde je odběr TV procentuálně rozdělen dle četnosti odběru TV v dané hodině. V Tab. 2.7 jsou uvedeny kumulativní křivky (křivky odběru tepla) určené třemi různými metodami. Jejich grafické znázornění je pak v Obr. 2.10. Křivka dle ČSN 06 0320 odpovídá spíše víkendovému provozu BD, křivka dle ČSN EN 15 316-3 pak běžnému pracovnímu dnu. Křivka vycházející z měření je poté průměr spotřeby

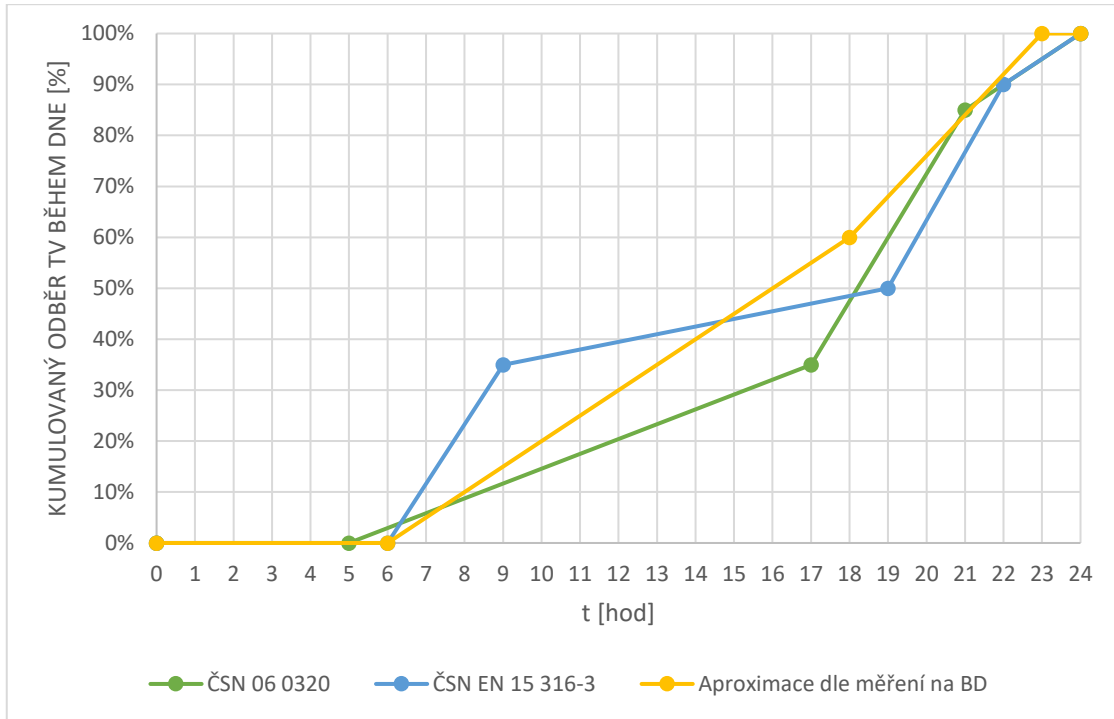
2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

napříč celým týdnem. V průběhu běžného dne jsou největší odběrové špičky v ranních hodinách způsobenou ranní hygienou uživatelů a v hodinách večerních zahrnující např. sprchování, koupel, ústní hygienu atp. Během dne dochází k menším odběrům např. pro mytí rukou, nádobí úklid. Po 22. hodině dochází k útlumu. Rozdílný profil spotřeby pak bude o víkendech či svátcích, kdy je během dne v domě větší počet obyvatel a špičková spotřeba TV pak bude větší. Dlouhodobá měření v různých objektech také prokázala, že s nárůstem počtu obyvatel se vyhlazuje a odběrové špičky nejsou tak patrné.³⁶

Křivka odběru teplé vody	Čas odběru tepla pro přípravu TV	Podíl z celkově odebraného tepla pro přípravu TV [%]
ČSN 06 0320	0:00 až 5:00	0
	5:00 až 17:00	35
	17:00 až 21:00	50
	21:00 až 24:00	15
	0:00 až 6:00	0
ČSN EN 15 316-3	6:00 až 9:00	35
	9:00 až 19:00	15
	19:00 až 22:00	40
	22:00 až 24:00	10
	0:00 až 6:00	0
Aproximace dle měření na BD	6:00 až 18:00	60
	18:00 až 23:00	40
	23:00 až 24:00	0

Tab. 2.7 Profily spotřeby TV během dne

³⁶ Energeticky vědomá rekonstrukce systémů TZB v bytových domech [online]. TZB-info, 2017 [cit. 2021-02-26].



Obr. 2.10 Denní profily spotřeby TV graficky

Dle ročního měrného profilu spotřeby TV z Obr. 2.9 si rozdělíme celkovou spotřebu TV rovné 625,3 GJ do jednotlivých měsíců. Vydělíme-li jednotlivé měsíční spotřeby tepla na přípravu TV počtem dnů v měsíci, dostáváme nejvyšší průměrnou denní spotřebu tepla pro přípravu TV pro měsíc prosinec, a to 1,94 GJ (538,9 kWh). Tato hodnota je rovna teplu odebraného z ohříváče TV. Procentuálně se pak rozloží dle denního profilu spotřeby TV (použijeme křivku dle ČSN EN 15 316-3) a vznikne tak křivka odběru tepla během dne Q_{2p} .

Pro návrh zásobníku TV budou uvažovány dvě metody. Pro první metodu bude použita kumulativní křivka odběru tepla a bude uvažován konstantní tepelný výkon vyhrazený pro ohřev vody (tedy odděleně od tepelného výkonu určeného pro vytápění domu). Odečet se provádí graficky, a to tak, že se nad odběrovou křivkou Q_{2p} sestrojí přímka, představující křivku dodávky tepla Q_{1p} , neboť předpokládáme, že dodávka tepla do zásobníku TV je během jedné časové periody trvalá. Vychází se z počátečního stavu, kdy není v zásobníku naakumulováno žádné teplo a ohříváme tak SV. Mezi křivkou Q_{1p} a Q_{2p} se

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

pak určí maximální rozdíl tepla ΔQ_{\max} (viz Obr. 2.11). Pak se vypočte objem zásobníku podle vztahu:³⁷

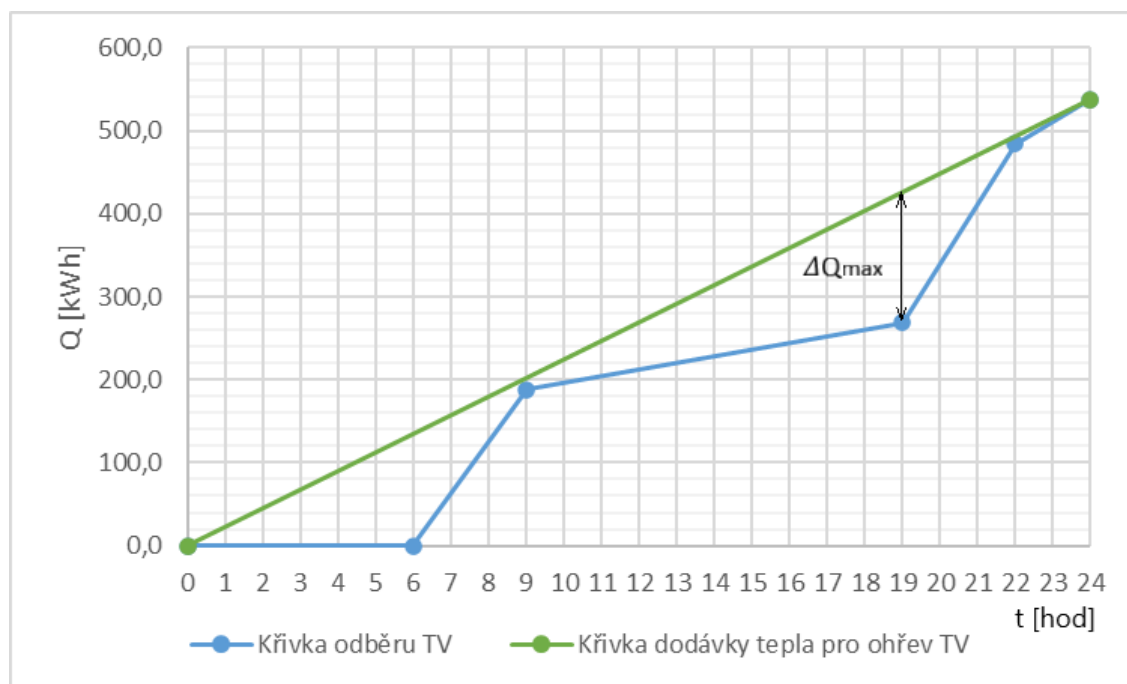
$$V_Z = \frac{\Delta Q_{\max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \cdot 1000 \quad [\text{m}^3] \quad (2.21)$$

Po dosazení dostáváme objem zásobníku:

$$V_Z = \frac{152}{1000 \cdot 4,18 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 = 2,9 \text{ m}^3$$

Výpočet tepelného výkonu zdroje pak lze vyjádřit z celkového dodaného tepla do zásobníku a času provozu zdroje. V případě konstantního provozu uvažujeme nepřetržitou dobu provozu, tedy 24 hodin denně. Pak dostáváme, že potřebný trvalý výkon zdroje tepla pro ohřev TV je:

$$P_{Ztv} = \frac{Q_1}{\tau_{\text{provoz}}} = \frac{538,9}{24} = 22,5 \text{ kW}$$



Obr. 2.11 Křivky odběru a dodávky tepla s nepřerušovanou dodávkou tepla

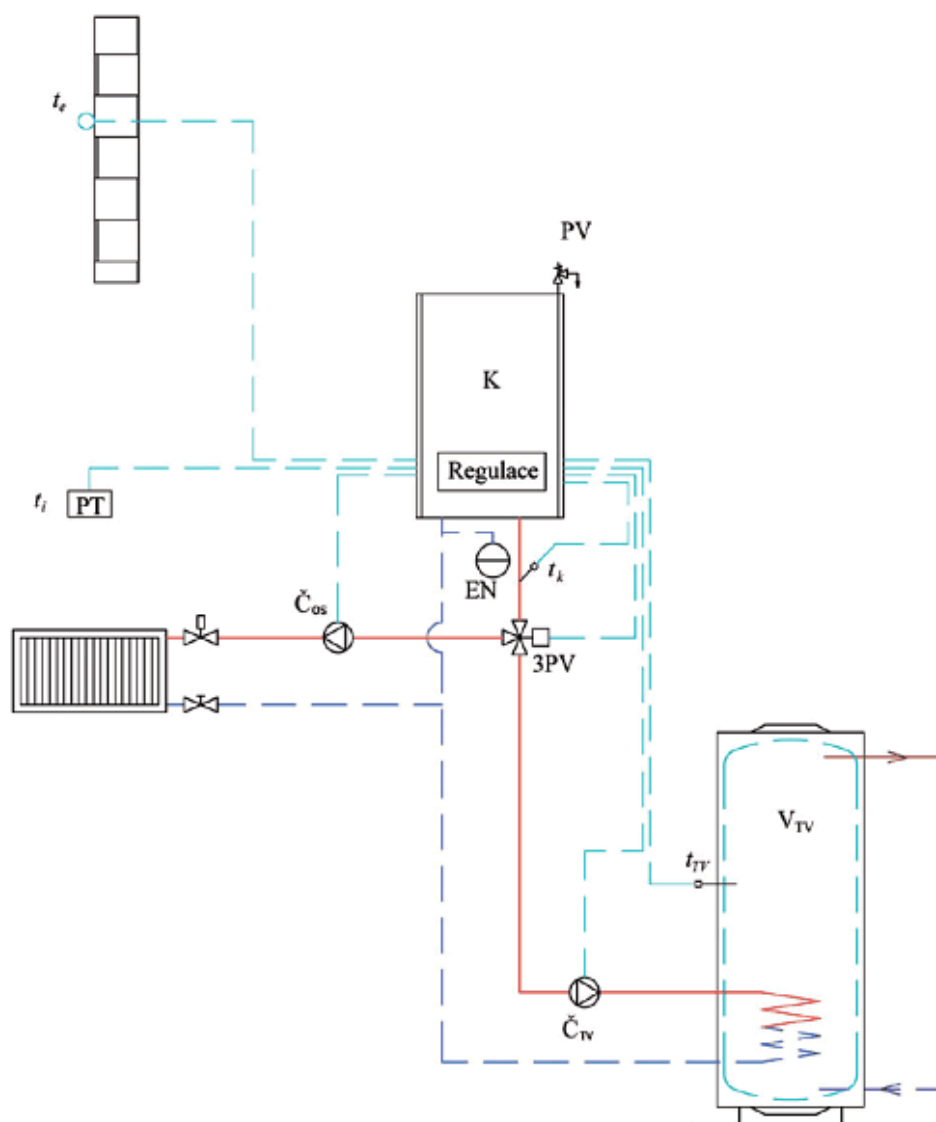
Druhá metoda vychází z principu společného zdroje tepla jak pro vytápění, tak pro přípravu TV. Využívá se tzv. přednostní přípravy TV, tzn. že při poklesu teploty TV v zásobníku o danou teplotní diferenci je celý tepelný výkon zdroje přepnut pro dohřev TV. Zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou TV je znázorněno na Obr. 2.12.

³⁷ Vavříčka, R., Mazur, M. Příprava teplé vody v obytných budovách. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-02-12].

Vychází se z předpokladu, že potřeba tepla pro otopnou soustavu je zpravidla vyšší než potřeba tepla pro přípravu TV. Pokud je ze zásobníku odebírána TV, automaticky se doplňuje jeho hladina dopouštěním SV. Teplota v zásobníku t_{TV} tedy začne klesat. Po dosažení minimální teploty vody t_{TVmin} v zásobníku se vypne oběhové čerpadlo pro otopnou soustavu a přepne se trojcestný přepínací ventil pro nabíjení zásobníku TV. Současně je zdrojem tepla navýšena teplota kotlové vody přibližně na 80 °C a nabíjecím čerpadlem je hnána do výměníku zásobníku TV. V okamžiku, kdy je v zásobníku dosaženo požadované teploty TV, se systém přepne zpět do režimu vytápění. Spínací diference $\Delta t_{T\zeta}$ se volí v rozsahu 5–10 K podle typu zásobníku. S rostoucí diferencí roste čas dobití zásobníku τ_a , který by neměl být příliš dlouhý, aby nedošlo k poklesu teploty ve vytápěných prostorách a ovlivnění tepelné pohody. U staveb s menší akumulací schopností stavebních konstrukcí by doba potřebná k dohřátí TV v zásobníku neměla přesáhnout 10 minut, u staveb s větší akumulací schopností stavebních konstrukcí by pak neměla být větší než 20 minut.³⁸

³⁸ Vavříčka, R., Mazur, M. Příprava teplé vody v obytných budovách. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-02-12].

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU



Obr. 2.12 Přednostní ohřev TV se společným zdrojem tepla pro vytápění³⁹

Pozn. Legenda k Obr. 2.12: Č_{OS} – oběhové čerpadlo otopného systému, Č_{TV} – nabíjecí čerpadlo zásobníku TV, EN – expanzní nádoba, K – kotel, PT – dálkové ovládání s čidlem vnitřní teploty, PV – pojistný ventil, 3PV – trojcestný přepínací ventil, V_{TV} – zásobník TV, t_e – venkovní teplota, t_i – vnitřní teplota, t_k – teplota kotlové vody, t_{TV} – teplota vody v zásobníku TV.

³⁹ Tamtéž.

Při návrhu zásobníku se tedy vychází z předpokladu, že tepelný výkon zdroje Q_k je větší nebo roven požadovanému tepelnému výkonu pro přípravu TV Q_{TV} . Zásobník na TV je však ohříván nepřímo pomocí integrovaného spirálního výměníku, pro jehož maximální tepelný výkon je rozhodující teplosměnná plocha trubek a střední rozdíl teplot. S ohledem na výkon zdroje tepla Q_k je třeba ověřit, zdali výměník v navrženém zásobníku TV je schopen předat požadovaný tepelný výkon. Upravenou kalorimetrickou rovnicí určíme tepelný výkon Q_{kTV} , který je dostačující pro dohřev TV za požadovanou dobu:⁴⁰

$$Q_{kTV} = \frac{V_{TV} \cdot \gamma \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \quad [\text{kW}] \quad (2.22)$$

kde

$V_{TV} [m^3]$ je navrhovaný objem zásobníku, volíme $2,9 m^3$ dle výpočtu z rovnice (2.21),

$\gamma [-]$ je korekční faktor odběru tepla ze zásobníku, pro dobu dohřevu $\tau_a < 20$ minut a pro vertikální zásobník zvoleno $0,89$,

$X_p [K]$ je spínací diference pro dohřev TV, zvoleno $5 K$,

$\tau_a [s]$ doba ohřevu, vzhledem k vysoké akumulaci schopnosti budovy volíme 15 min tedy 900 s .

Po dosazení dostáváme, že dostačující tepelný výkon dodaný zdrojem pro dohřev je:

$$Q_{kTV} = \frac{2,9 \cdot 0,9 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 5}{900} = 60 \text{ kW}$$

Pro požadované parametry dohřevu tak nemusíme využít maximální tepelný výkon zdroje tepla a výměník v zásobníku lze dimenzovat na nižší tepelný výkon. Pokud bychom uvažovali tepelný výkon zdroje roven tepelné ztrátě objektu, tedy 174 kW a jeho plné využití pro dohřev TV v zásobníku, zkrátila by se doba dohřevu τ_a přibližně na 5 minut . S tím by však souviselo patričné dimenzování výměníku v zásobníku TV. Všechny provedené výpočty ohledně TV jsou v listu "potřeba TV" Přílohy 3.

2.8. Návrh výkonu zdroje tepla

Celkový navrhovaný tepelný výkon zdroje musí pokrýt celkovou tepelnou ztrátu objektu a teplo potřebné na přípravu TV. Jako výchozí pro návrh jednotlivých variant budeme vycházet z předpokladu, že pro vytápění a přípravu TV bude instalován jeden

⁴⁰ Vavříčka, R., Mazur, M. Příprava teplé vody v obytných budovách. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-02-12].

2. ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU

společný zdroj tepla s tím, že TV bude připravována přednostně (výpočet viz předchozí kapitola 2.7.3). Navrhovaný tepelný výkon zdroje Q_{zdroj} tedy bude roven tepelné ztrátě objektu Q_L , vypočítanou podle vztahu (2.6).

$$Q_{zdrojN} = Q_{LN} = 174 \text{ kW pro stávající stav,}$$

$$Q_{zdrojZ} = Q_{LZ} = 167 \text{ kW pro objekt zateplený izolací o tl. 180 mm typu EPS.}$$

U nezateplených objektů se investorovi před investicí do nového zdroje tepla takřka vždy nejprve doporučuje snížit tepelnou ztrátu na minimum (zateplením obálky budovy, výměnou oken apod.) a poté teprve dimenzovat zdroj na sníženou tepelnou ztrátu, neboť cena zdroje tepla je zpravidla přímo úměrná jeho instalovanému výkonu. Tepelná ztráta hodnoceného objektu a spolu s tím potřebný výkon zdroje tepla by se se novým zateplením izolací o tloušťce 180 mm typu EPS snížily jen nepatrně o cca 4 %. Investici do nového zateplení tak nelze doporučit, protože vzhledem k výši investičních nákladů by dosažená úspora nákladů na vytápění byla minimální a prakticky by ani neovlivnila instalovaný výkon nového zdroje tepla. V souvislosti s obálkou budovy však bude investorovi doporučena investice do odstranění vad stavebních konstrukcí v oblasti spár mezi panely, které odhalily snímky pořízené termokamerou (viz Obr. 2.6). Hlavním důvodem není nejen snížení tepelné ztráty, ale i snaha o zamezení kondenzace vodní páry způsobující vlhkost na vnitřních stěnách vytápěných prostorů a následný vznik plísní.

3. MOŽNOSTI ZÁSBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

3.1. Soustava zásobování tepelnou energií

Většina bytových domů v ČR využívá k zajištění tepelné pohody zásobování teplem z tepláren a jejich soustav. Z tepláren, výtopen, elektráren, závodních energetik, blokových a domovních kotelen, tedy ze zdrojů mimo byt je v České republice podle dat Teplárenského sdružení ČR zásobováno tepelnou energií téměř 1,5 miliónu domácností, což tvoří skoro 40 % z celkového počtu. Mimo domácnosti teplárny dále dodávají teplo i pro další odběratele, jako jsou společnosti, provozovny, školy, obchody, úřady, nemocnice a další, které jsou v dosahu tepelné sítě. Zhruba 55 % tepla pro tuzemské byty se v teplárnách vyrábí z uhlí, třetina ze zemního plynu. Přibližně 7 % tvoří biomasa a 4 % připadají na teplo ze zařízení pro energetické využití odpadů, druhotných zdrojů energie a ostatních paliv. Ze zmíněných čísel je patrné, že se na výrobě tepla v ČR nejvýznamněji podílí fosilní paliva. S jejich spalováním je však spojeno mnoho úskalí zejména ekologického charakteru. S důrazem na ekologii a ochranu klimatu jsou legislativně zaváděna různá opatření, která zvyšují náklady na provoz tepláren a velké zdroje tepla tak mohou být ekonomicky diskriminovány. Jedná se zejména o růst cen emisních povolenek, zdražování uhlí a jiných paliv.⁴¹

Zmínit lze samozřejmě výhody centrální výroby tepelné energie jako je vyšší účinnost výroby tepla, kvalitnější spalování a kvalitnější technologie čištění spalin oproti lokálním zdrojům v případě spalování fosilních paliv. Z hlediska uživatelského komfortu je výhodou zejména spolehlivost dodávky a odpadající starost spojená s údržbou a provozem zařízení pro výrobu a rozvod tepelné energie.⁴²

⁴¹ Teplárenské sdružení: Cena tepla vzroste, hlavním důvodem jsou vyšší ceny povolenek. *OEnergetice.cz* [online]. [cit. 2021-04-23].

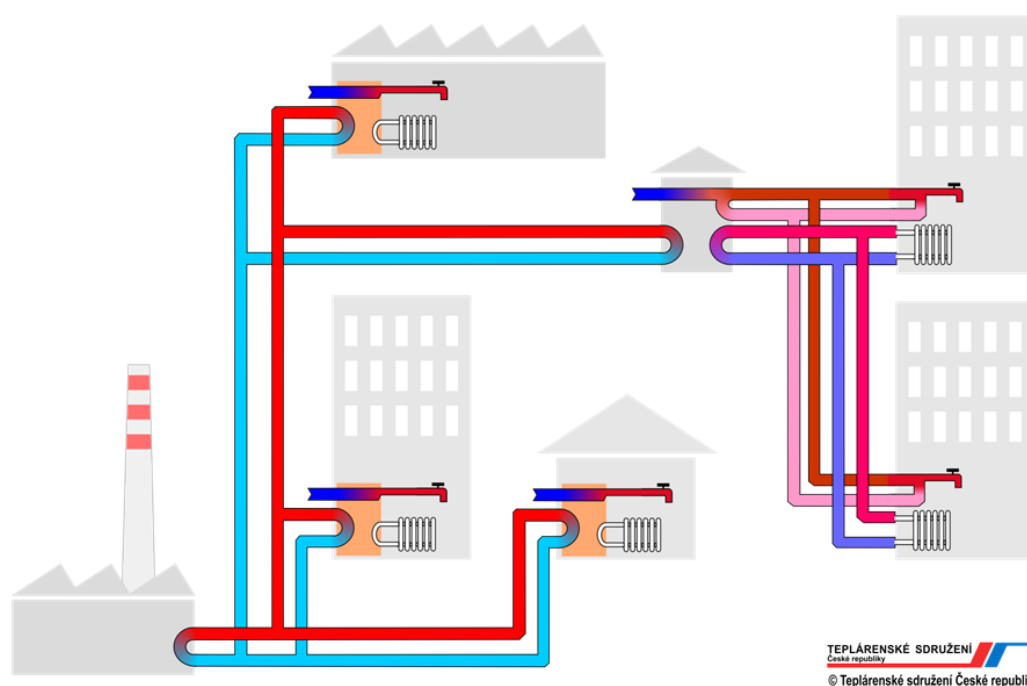
⁴² Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011.

3. MOŽNOSTI ZÁSBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

3.1.1. Princip výroby a rozvodu tepla ze SZTE

Soustava zásobování tepelnou energií (SZTE) je systém výroby a rozvodu tepla, kdy je v jednom nebo více zdrojích vyráběno teplo a tepelnými sítěmi je následně rozvedeno odběratelům ve větších územních celcích (města, obce, sídliště, průmyslové a obchodní zóny). Princip rozvodu tepla a TV je schematicky znázorněno na Obr. 3.1. Mezi základní zdroje tepla patří:

- výtopny,
- teplárny,
- paroplynové teplárny,
- kogenerační motory.



Obr. 3.1 Rozvod tepla ze SZTE⁴³

Výtopna je nejjednodušším zdrojem tepla používaným v SZTE. Palivo je spáleno v kotli, v němž je předána tepelná energie teplonosnému médiu (horká voda nebo pára). To pak přes výměník předá svou energii do rozvodné soustavy, za pomoci které je dopraveno ke konečnému spotřebiteli. Jako palivo se zde využívá uhlí, zemní plyn, topné oleje apod. Celý proces má až 90 % účinnost. Nevýhodou je zde pouze jednoúčelové využití energie oproti dále zmíněným způsobům, kdy je mimo tepelnou energii vyráběna ještě energie elektrická.

⁴³ *Našeteplo.cz* [online]. [cit. 2021-04-23].

V teplárně se na rozdíl od výtopny využívá kombinované výroby tepla a elektrické energie. Největší zastoupení v ČR mají teplárny s kondenzační turbínou. V kotli je spálením paliva přeměněna voda na páru o vysokém tlaku a ta je dále hnána na turbínu. Turbína je mechanicky spojená s generátorem přeměňující mechanickou energii na energii elektrickou. Ne všechna energie páry je však využita pro přeměnu na mechanickou energii v turbíně. Její část totiž putuje do výměníku, kde dochází k předání tepla do SZTE. Zhruba čtvrtina energie páry je využita pro výrobu elektřiny, zbytek pro výrobu tepla. Nespornou výhodou je zde efektivnější využití paliva vedoucí k vyšší účinnosti až 65 %. Kombinovanou výrobu využívají zejména velké tepelné elektrárny, kdy je využívána emisní pára na odbočkách z kondenzační turbíny.⁴⁴



Obr. 3.2 Turbína s generátorem, teplárna Mydlovary⁴⁵

Dalším typem je paroplynová teplárna využívající jako palivo zemní plyn. Ten je spolu se vzduchem zapálen ve spalovací komoře, čímž dochází ke zvětšení jeho objemu. Plyn tak roztáčí plynovou turbínu s generátorem. Teplo vzniklé spalováním dále ohřívá vodu,

⁴⁴ Našetepllo.cz [online]. [cit. 2021-04-23].

⁴⁵ Vlastní zdroj.

3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

kteřá se ve spalínovém kotli mění na páru. Ta dále pohání druhou – parní turbínu, taktéž osazenou generátorem na společné hřídeli. Zbylou energii pak odevzdá pára ve výměníku soustavě CZT. Celková účinnost dosahuje až 85 %.

Nejmodernější typ technologie používaný pro kombinovanou výrobu tepelné a elektrické energie reprezentuje kogenerační motor. Je to speciální typ pístového spalovacího motoru využívající plyn jako palivo. Mechanická energie motoru je využita pro otáčení generátorem na společné hřídeli, kde je přeměněna na elektrickou energii. Teplo se získává chlazením spalín, oleje a chladící vody. Přes systém výměníků je teplo dodáváno do SZTE. Při ideálním odběrovém diagramu se na elektřinu přemění až 40 % energie, na teplo až 57 % energie a pouhá 3 % reprezentují ztráty. Využívají se do výkonu 5 MW. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je detailněji popsána v kapitole 3.2.3.⁴⁶

3.1.2. Rozvod a měření tepla

Jako teplonosné médium pro rozvod tepla se používá voda nebo pára. Od zdroje je médium dopraveno teplovodem do předávací stanice v blízkosti vytápěných objektů odkud se teplo rozvede dále. Zde přivedené teplo ohřívá vodu a ta jsou zpravidla dvou okruhy rozvedena do samotných objektů. Jeden okruh je určen pro radiátory a druhý je využit pro teplou užitkovou vodu. V případě blokových kotelen např. na sídlištích jsou objekty napojeny přímo bez předávací stanice, kdy je topná voda a TV cirkulována rovnou z kotelny do otopné soustavy objektu.

Měření dodaného tepla je zpravidla měřeno kalorimetrem na přívodním potrubím do objektu. V případě bytových jednotek se pak teplo měří v jednotlivých místnostech pro přesnější fakturaci. Rozúčtování nákladů na teplo a TV musí být provedeno v souladu s vyhláškou č. 269/2015 Sb. o rozúčtování nákladů na vytápění a společnou přípravu teplé vody pro dům, ve znění pozdějších předpisů.

3.1.3. Emisní povolenky a dopad pro teplárny

Princip obchodování s emisními povolenkami je takový, že EU stanoví roční limit CO₂, který může být vypuštěn do ovzduší. Každá společnost vlastníci zařízení produkující

⁴⁶ *Teplárenské sdružení České republiky* [online]. [cit. 2021-04-23].

CO₂ by si pak měla opatřit takové množství povolenek, aby příslušné emise povolenkami pokryli (povolenka/tunu CO₂). Společnosti pak mají 2 způsoby, jak si povolenky opatřit. Buď je bezplatně získají od státu (množství stanoveno dle charakteru výroby), nebo je mohou nakoupit či prodat na trhu od jiných subjektů. Pokud subjekt nesplní nakoupený emisní limit, zaplatí za každou tunu CO₂ zhruba 100 EUR navíc. Motivace by měla být taková, aby podniky investovali do čistších technologií a nepotřebné „ušetřené“ povolenky dále prodali. Nedokonalým odhadem optimálního množství povolenek na trhu však došlo už v druhém obchodovacím období ke vzniku přebytku emisních povolenek na volném trhu. Cena jedné povolenky tak klesla pod hodnotu 3 EUR (pozn. průměrná cena ke květnu 2021 byla více jak 49 EUR za tunu CO₂). Neudržitelná situace si tedy žádala reformu trhu s emisními povolenkami.

Prvním nástrojem použitým pro reformu byl tzv. backloading. Princip spočívá v tom, že aukce 900 mil. povolenek z let 2014 - 2016 byla odložena na roky 2019 - 2020. Dalším nástrojem optimalizace trhu je tzv. Market stability reserve (MSR, neboli rezerva tržní stability). Funguje na podobném principu jako výše zmíněný backloading, akorát na rozdíl od pevného stanovení počtu povolenek stažených z trhu se nástroj MSR chová „samoregulačně“. Pokud počet povolenek klesne pod hranici 400 mil. povolenek, bude na trh vypuštěno dalších 100 mil. povolenek. Při přebytku větším než 833 mil. pak bude 100 mil. povolenek staženo. Mělo by se tak předejít extrémním situacím na trhu. Koncem r. 2017 začalo docházet k prudkému nárůstu cen emisních povolenek, kdy cena povolenky během jednoho roku vzrostla více jak třikrát. Důvodem vzrůstu bylo právě zavedení nástroje MSR, jež množství povolenek na trhu pro rok 2019 snížil. Nárůst těchto cen se promítl do ceny silové elektřiny a také zvyšuje náklady průmyslových firem, čímž zhoršuje jejich konkurenceschopnost ve srovnání se zbožím exportovaným mimo EU. Dle analytiků bude mít cena emisních povolenek vzrůstající tendenci i nadále vzhledem ke stále se zpřísňující politice EU v oblasti změny klimatu.⁴⁷

Problémy se tak týkají i českých tepláren. Většinu povolenek si totiž musí nakupovat na trhu. Teplárny, jež mají zařízení s instalovaným tepelným příkonem nad 20 MW využí-

⁴⁷ Voříšek, M. Obchodování s povolenkami a Market stability reserve. *OEnergetice* [online]. [cit. 2021-04-23].

3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

vající fosilní paliva mají povinnost krýt emise povolenkami a takových uhelných tepláren je v ČR většina. Plynové teplárny s povinností nákupu povolenek pak tvoří 60 %. Bezplatný přiděl pokrývá zhruba 15 % potřebných povolenek v případě uhelných tepláren a 30 % v případě tepláren plynových.

Dle Teplárenského sdružení ČR jsou tak menší a střední teplárny tímto nárůstem ohroženy a pomalu se propadají do minusu i přes to, že v předchozích letech 2013-2017 investovaly více jak 20 miliard Kč do snížení emisí oxidu síry, dusíku a prachových částic. K r. 2021 však začaly platit přísnější emisní požadavky pro nový emisní cíl EU pro rok 2030, kterým je snížení emisí skleníkových plynů o 55 % oproti r. 1990. Pro některé již modernizované teplárny to znamená, že budou nuceny vynaložit dodatečné investice. I když se v r. 2017 zdálo, že nadějí může být rostoucí cena elektřiny, tak stále docházelo k prudkému nárůstu cen povolenek. Dalším nepříznivým faktorem pro teplárny jsou mírnější zimy a s tím související kratší topná sezóna. Spotřeba tepla objektů je navíc nižší v souvislosti se zateplováním. Vytápění předdimenzovaných potrubních sítí se tak rok od roku stává nevýhodným.⁴⁸

3.1.4. Vývoj cen tepelné energie ze SZTE

Cena tepelné energie pro konečné spotřebitele v období předchozích deseti let (2009 až 2018) rostla, stagnovala i klesala. Do roku 2014 ceny meziročně rostly bez ohledu na použité palivo při výrobě tepelné energie. Mezi lety 2015 až 2017 ceny tepelné energie vyrobené z uhlí stagnovaly, přičemž ceny tepelné energie získané z ostatních paliv klesaly a došlo tak k postupnému srovnání cen tepelné energie získané z uhlí a z paliv ostatních. Od roku 2018 mají ceny tepelné energie opět rostoucí trend, a to bez ohledu na použité palivo k výrobě tepelné energie. Podobný výše popsany trend lze pozorovat i na cenách tepelné energie pro hodnocený bytový dům ve Slaném (dodavatelem tepla je RDK servis, s.r.o.), viz Tab. 3.1. Ceny v tabulce jsou uvedeny vč. 15 % DPH kromě ceny v r. 2020, na kterou už je vztaženo pouze 10 % DPH.

⁴⁸ Teplárny: Situace v oboru je vážná, teplárenství čelí ekonomické diskriminaci. *OEnergetice.cz* [online]. [cit. 2021-04-23].

Rok	Konečná cena tepla vč. DPH [Kč]
2012	714,36
2013	715,57
2014	720,62
2015	720,62
2016	715,10
2017	679,78
2018	686,76
2019	699,20
2020	662,20

Tab. 3.1 Ceny tepelné energie od r. 2012 pro hodnocený BD

Vývoj cen tepelné energie bude přímo závislý na vývoji nákladů na nákup emisních povolenek pro ty dodavatele tepla, jež jsou zapojeny do Evropského systému obchodování. Nákup bude ovlivněn jak cenou emisní povolenky na trhu, tak množstvím bezplatně alokovaných emisních povolenek, které se čím dále snižuje. Výrobci tepelné energie, jejichž výroba je založena na uhelných zdrojích tak pomalu ztrácí svou cenovou výhodu na trhu. Pozitivní vliv na cenu tepla pro konečného spotřebitele by mohlo mít snížení sazby DPH z 15 % na 10 % k 1. 1. 2020, což je trend, který lze pozorovat v případě hodnoceného domu. Dlouhodobě se však dá předpokládat postupný růst cen tepelné energie ze SZTE.⁴⁹

3.1.5. Odpojení od SZTE

Vzhledem k vývoji cen tepla ze SZTE se tak dá očekávat, že podstatná část bytových domů a dalších objektů dříve či později přistoupí k vybudování vlastního zdroje tepla a odpojí se od SZTE. Podle teplárenského sdružení ČR je hranice ke zvážení odpojení od SZTE cena tepla za GJ zhruba 650 Kč vč. DPH. U některých dobře navrhnutých a realizovaných plynových kotelen lze dosáhnout návratnosti pouhých čtyř let. V případě bytových domů však odpojení není zcela jednoduchou záležitostí. Je třeba souhlas všech vlastníků bytových jednotek a dále nelze zanedbat náklady, jež s odpojením od SZTE souvisí, neboť v případě odpojení si veškeré náklady hradí žadatel dle zákona

⁴⁹ *Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1. lednu 2020* [online]. Jihlava: Oddělení regulace teplárenství ERÚ, 2020, 2020 [cit. 2021-03-12].

3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tyto náklady mohou představovat položku v řádech statisíců korun.

Při změně zásobování teplem se SZTE na domovní kotelnu je třeba splnit požadavky zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. V § 16 odstavci 7 tohoto zákona je uvedeno: „Právnická a fyzická osoba je povinná, je-li to technicky možné, u nových staveb nebo při změnách stávajících staveb využít pro vytápění teplo ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje, který není stacionárním zdrojem. To neplatí, pokud energetický posudek prokáže, že využití tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje energie, který není stacionárním zdrojem, není pro povinnou osobu ekonomicky přijatelné.“ Ekonomická proveditelnost se pak posuzuje dle § 7 odst. 3 písm. b) vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů⁵⁰, kde hlavním rozhodovacím kritériem pro výběr optimální varianty je čistá současná hodnota (NPV), doplňujícími kritérii pro je vnitřní výnosové procento (IRR) a reálná doba návratnosti (T_{sd}). Detailnější informace k ekonomickému vyhodnocení a metodám výpočtu jednotlivých kritérií jsou uvedeny v kapitole 5. Rozhodující budou zejména nižší cena za 1 GJ tepla z vlastního zdroje oproti stávající ceně 1 GJ tepla ze SZTE, a to po započítání provozních nákladů a reinvestic spojených s provozem vlastní kotelny.

3.2. Vlastní zdroj tepla

3.2.1. Plynová kotelna

V případě, že je možné u objektu zřídit plynovou přípojku a zajistit dostatečné množství dodávky zemního plynu, přichází v úvahu, jako jedna z variant, kotelna s kaskádou kotlů na zemní plyn. Pro hodnocený bytový dům je tato podmínka splněna, neboť v minulosti byla přípojka na zemní plyn k patě objektu přivedena.

V současné době se takřka výhradně používají kondenzační kotle, kde se využívá odpadní teplo spalin. Teplota spalin se pohybuje mezi 0 až 70 °C. Jejich ochlazením pod

⁵⁰ K 1. 4. 2021 zrušena a nahrazena Vyhláškou č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu, vzhledem k době psaní této kapitoly nebyl dostupný obsah této nové vyhlášky a uvedené informace tak nejsou aktuální.

teplotu bodu rosného páry dojde k její kondenzaci ve výměníku a k dodatečnému ohřátí teplonosného média přiváděného do kotle. Využitím kondenzačního tepla je spotřeba plynu snížena až o 3 %. Pro kotelnu je třeba vyřešit přívod čerstvého vzduchu, odtah spalin a odvod kondenzátu, tudíž se umístění kotle v objektu vodí podle konkrétní dispozice (na střechu, do techn. místnosti apod.). Z hlediska investičních nákladů se jedná o nejlevnější variantu ze zdrojů tepla vyjmenovaných v této kapitole, avšak na provozních nákladech (tedy spotřebě plynu) přinese menší úsporu financí.⁵¹

Dle přílohy č. 15 vyhlášky č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie, ve znění pozdějších předpisů, jsou stanoveny minimální účinnosti výroby tepelné energie pro palivové kotle. Tabulka v části a) této přílohy uvádí účinnosti palivových kotlů využívající neobnovitelné zdroje energie. Pro nově budované zdroje na zemní plyn do 0,5 MW je stanovena minimální účinnost 85 %, což kondenzační kotle, kde je dosahováno účinnosti až 98 %, bez problému naplňují. U kondenzačních kotlů bývá často uváděna hodnota účinnosti vyšší jak 100 %. Nejedná se však o účinnost počítanou z tzv. spáleného tepla, kde se nepočítá s teplem uvolněným při kondenzaci vodní páry, nýbrž o hodnotu účinnosti získané z výhřevnosti paliva. Nutno také podotknout, že při přerušovaném provozu plynového kotle je účinnost kotle nižší a při častém zapalování plamene je produkováno větší množství emisí. Proto se v případě kaskády kondenzačních kotlů většinou nespínají kotle podle požadovaného topného výkonu jeden po druhém, ale udržují se v provozu najednou při přibližně stejném výkonu.

⁵¹ Účinnost a výkon plynového kotle. *Viessmann, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2021-03-25].

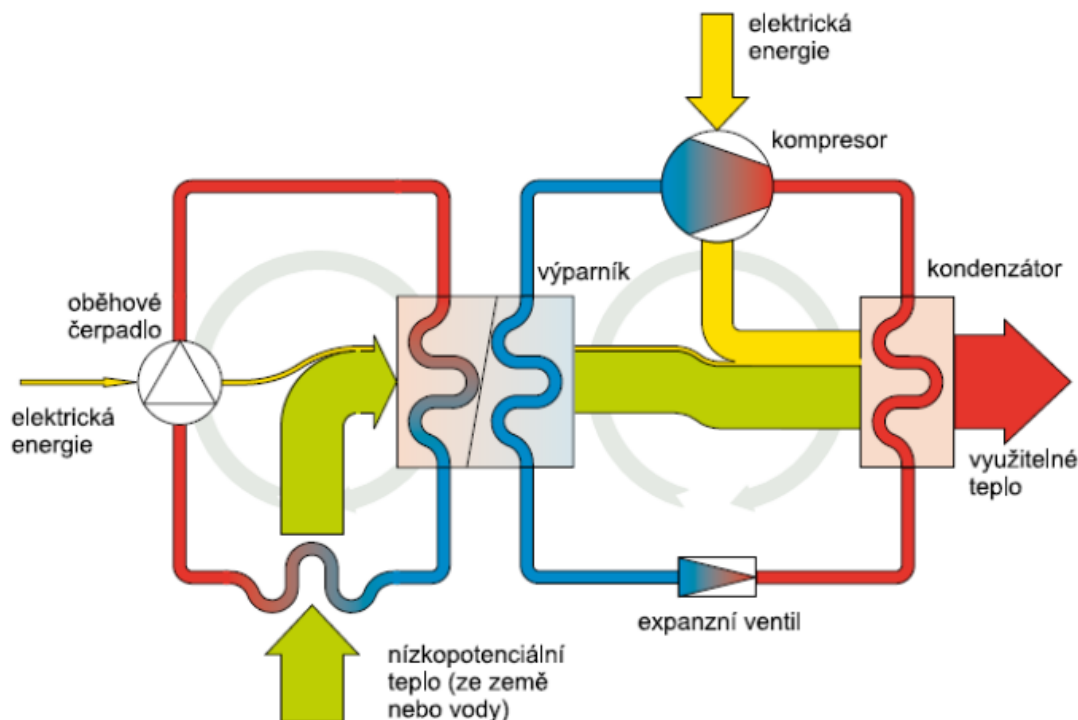


Obr. 3.3 Plynová kotelna s kaskádou tří plynových kondenzačních kotlů⁵²

3.2.2. Kotelna s tepelnými čerpadly

Trendem ve vytápění jsou v současnosti tepelná čerpadla (TČ) vzhledem k jejich čím dál tím větší cenové dostupnosti a také díky jejich dobrým technickým parametrům. Pro vytápění a ohřev TV využívají nízko potenciální energii okolního prostředí – vody, země či vzduchu a řadí se tak mezi OZE. Využívají vlastností speciálních kapalin s nízkým bodem varu – chladiv, které se za nízkých teplot odpařují a přechází do plynného stavu. Teplo okolního prostředí se přes výměník předá chladivu, které je za použití pomocné vnější energie v kompresoru stlačeno a přečerpáno na vyšší teplotní úroveň. Za pomoci výměníků je energie přehřátých par předána teplonosnému médiu, které je pak použito pro vytápění či ohřev TV. Po předání energie chladivo přechází do kapalného stavu a přes expanzní ventil se dostává do pracovního bodu jako na začátku cyklu. Cyklus TČ v ideálním bezztrátovém stavu odpovídá levotočivému parnímu oběhu známého jako Clausiův-Rankinův cyklus. Princip TČ s elektrickým pohonem je znázorněn na Obr. 3.4.

⁵² Čepička, M. Jak funguje kaskádová kotelna a kdy je výhodné ji instalovat?. *ESTAV.cz* [online]. 2014 [cit. 2021-04-23].

Obr. 3.4 Princip TČ s elektrickým pohonem⁵³

Pro vyjádření účinnosti TČ se zavádí tzv. „topný faktor“ (COP) známý také jako výkonnové číslo“. Vyjadřuje poměr tepelné energie, které je možné z TČ odebrat a dodané energie, která je spotřebovávána pro jeho pohon. Největší část dodané energie je spotřebována pohonem kompresoru, další energie je využita např. na odtávání výparníku. Výpočet topného faktoru se provádí dle ČSN EN 14511-1 – Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru a procesní chladiče, s elektricky poháněnými kompresory – Část 1: Termíny a definice. Výpočet ovšem uvažuje konkrétní okrajové podmínky pro danou teplotu kondenzátu a výparníku. Ve skutečnosti nejsou tyto podmínky konstantní a mění se v závislosti na okolním prostředí. Proto se zavádí ještě tzv. „sezónní topný faktor“ (SCOP), který změnu okrajových podmínek zohledňuje. S rostoucí teplotou topné vody topný faktor klesá, a z toho důvodu se topné médium ohřívá maximálně na hodnotu cca 55 °C. Výpočet SCOP je uveden v technické normě TNI 73 0351 - Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup, a byl stanoven na základě hodnot topných faktorů a výkonů uváděných výrobcem zařízení. Dodavatelé obvykle udávají topný faktor pro různé teploty vstupního a výstupního média. Další důležitou klíčovou hodnotou udávanou výrobcem je topný výkon. Ten se udává vždy při určité venkovní

⁵³ Tepelná čerpadla. In: *E-Sea s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2021-03-31].

3. MOŽNOSTI ZÁSBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

teplotě a teplotě teplé vody. Označení např. A2/W35 znamená, že udávaný výkon TČ platí pro teplotu venkovního vzduchu 2 °C a teplotu vody 35 °C.⁵⁴

TČ se dělí konstrukčně podle toho, odkud získávají energii okolního prostředí. Pro bytové domy se nejčastěji používá provedení vzduch – voda, neboť v okolí domu většinou nebývá prostor pro instalaci zemního kolektoru či hlubinného vrtu a také z důvodu nižších investičních nákladů ve srovnání s typem země – voda. Teplo je získáváno ze vzduchu a je předáváno do otopné soustavy nebo do zásobníku TV. Z konstrukčního hlediska je k dostání v kompaktním nebo splitovém provedení. Kompaktní provedení má výměník a chladicí okruh v jednom zařízení, kdežto splitové provedení je rozděleno na venkovní a vnitřní jednotku. Kompakt je vhodnější pro menší objekty vzhledem k větším nárokům na prostor a množství přiváděného vzduchu. Umisťuje se většinou do prostorů bývalých prádelen, či jiných technických prostorů v suterénu domu. U splitu je třeba řešit trasa propojení mezi venkovní a vnitřní jednotkou. Venkovní jednotka bývá zpravidla umísťována na střechu, kde je dále možné tyto jednotky řadit kaskádovitě a dosáhnout tak navýšení výkonu. Konkrétní provedení je vždy závislé na dispozici daného domu.⁵⁵

Další hledisko dělení je podle typu pohonu kompresoru. Největší zastoupení na trhu mají TČ s kompresorem poháněným elektromotorem. SCOP se u TČ poháněných elektromotorem pohybuje okolo hodnot 3. Nutno se však podotknout, že faktor neobnovitelné primární energie v ČR je pro elektrickou energii 2,6. Velmi zjednodušeně to znamená, že při stejné hodnotě SCOP odpovídá spotřebovaná elektrická energie energii obsažené v primárním palivu na vstupu do elektrárny. Z komplexního hlediska se tak nejedná o úplně ryze ekologické řešení, jak by se mohlo na první pohled zdát. Vždy proto bude hrát roli energetický mix zdrojů, z nichž je elektrická energie získávána.

S instalací elektrického tepelného čerpadla je zpravidla spojeno navýšení příkonu stávající elektrické přípojky, což znamená dostatečnou rezervu ze strany distributora elektrické energie. V případě instalace je tak třeba počítat s navýšením sazby za rezervovaný

⁵⁴ COP tepelného čerpadla. *STIEBEL ELTRON spol. s r. o.* [online]. [cit. 2021-03-25].

⁵⁵ *Časopis Svazu českých a moravských bytových družstev a moravských bytových družstev*. 2019, (52019), s. 24-25.

příkon a dalšími investičními náklady spojenými s posílením elektrické přípojky (výměna kabelového vedení, výkopové práce atp.).

Dalším často využívaným pohonem kompresoru bývá plynový spalovací motor. Tato varianta může být vhodnou alternativou tam, kde není dostatečná kapacita elektrické přípojky a zároveň je u objektu zřízena plynová přípojka s dostatečnou kapacitou. Pro plynovou jednotku je nutné zajistit dostatečný přívod kyslíku pro spalování a odtah spalin. Při provozu spalovacího motoru vzniká odpadní teplo, které se v tomto případě využívá pro přehřívání topné vody pro navýšení teplotního spádu, než je teplotní spád získaný z kondenzačního okruhu TČ. Tyto dva okruhy s rozdílnými teplotními spády je možné mezi sebou směšovat a dosáhnout tak požadovaného teplotního spádu. Díky teplu získaného rekuperací odpadního tepla ze spalovacího motoru je možný provoz při teplotách venkovního vzduchu až $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z hlediska využití neobnovitelné primární energie je na tom tento typ TČ lépe než TČ s elektrickým pohonem kompresoru, neboť faktor neobnovitelné primární energie má např. pro zemní plyn hodnotu 1. Není vhodné pro objekty, kde jsou požadované nižší výkony (např. rodinné domy) a tam, kde z hlediska hlučnosti a produkovaných vibrací není jeho umístění možné.

Kompresor bývá nejslabším článkem TČ, a je potřeba počítat s jeho výměnou v horizontu 10 až 15 let provozu. Investičně se nejedná o malou částku, a proto je tuto servisní položku nutné zahrnout do ekonomického vyhodnocení.

Mimo kompresorové typy existují sorpční TČ. Ke zužitkování tepelné energie okolního prostředí se využívá principu vypuzování směsí (roztoků) různých kapalin, kdy není potřeba kompresorem kapalinu stlačovat pro přechod na vyšší teplotní hladinu. Podmínky jejich instalace jsou podobné jako u TČ s kompresorem poháněným plynovým spalovacím motorem. SCOP u těchto typů TČ dosahuje hodnot přibližně 1,2 – 1,4.⁵⁶

TČ se obvykle nedimenzují na plnou tepelnou ztrátu, neboť by byla zbytečně investičně nákladná a jejich plný výkon by byl využit jen po zlomek času během roku. V projekční praxi se běžně volí výkon zdroje pokrývající 70 % tepelné ztráty objektu. Při návrhu TČ

⁵⁶ Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011, s. 66-67.

3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

je takřka v každém případě nutné počítat se záložním (bivalentním) zdrojem na pokrytí výroby tepla v případě nízkých teplot, kdy TČ ztrácí na účinnosti. Jako bivalentní zdroj může posloužit elektrokotel nebo plynový kotel, který musí být dimenzován na tepelnou ztrátu při odpovídající výpočtové teplotě. Bod bivalence se většinou určuje v rozmezí -4 až -10 °C. Bivalentní zdroj by neměl pokrýt více jak 10 % celkové roční spotřeby tepla, aby bylo dosaženo efektivního provozu TČ.⁵⁷

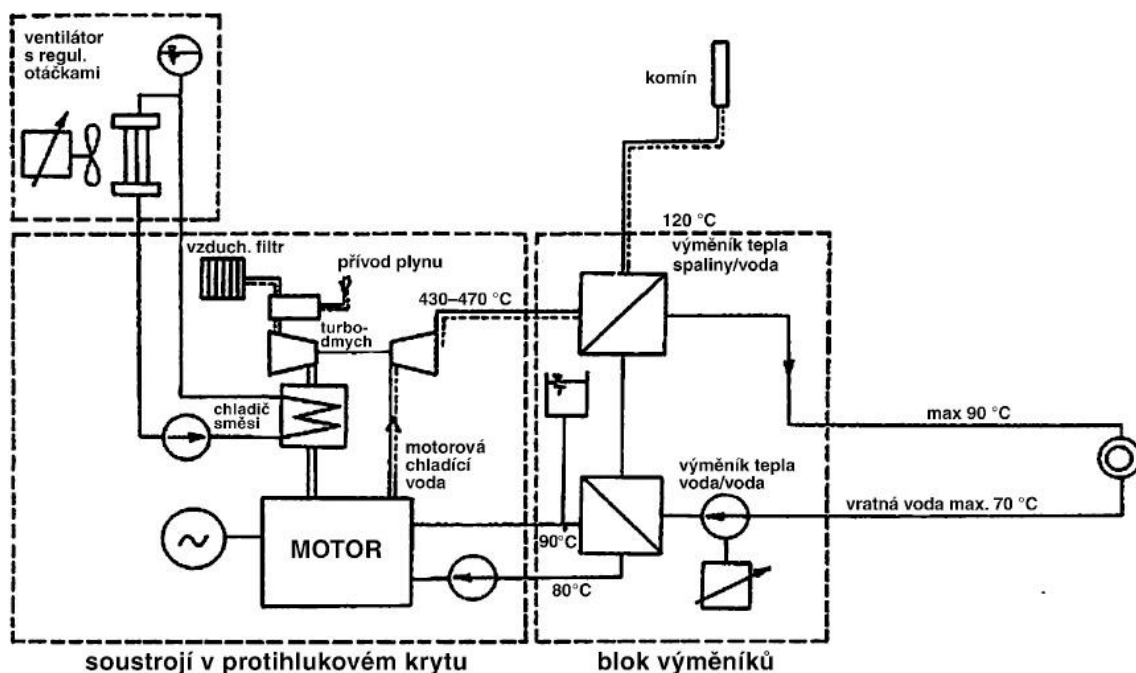
3.2.3. Kotelna s kogenerační jednotkou

Kogenerace je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET), kdy jsou využity obě formy vyprodukované energie. Tato technologie kombinované výroby se již běžně využívá v teplárnách větších výkonů, kde se využívá parní kotel a soustrojí s potitlakou či odběrovou turbínou (Rankinův cyklus). Až v posledním desetiletí se KVET aplikuje na tzv. mikrokogenerační jednotky. Mikrokogenerační jednotky jsou dostupné v provedení s plynovým spalovacím motorem (Ottův cyklus) nebo plynovou spalovací turbínou (Braytnův cyklus) pro výkony stovek kW až jednotek MW. Pro menší pro menší objekty, jako jsou malé BD nebo RD se také hodí KJ s plynovým motorem. Stirlingův motor, pracující na principu roztažnosti plynu, může být vhodnou alternativou jako pohon pro ty nejmenší výkony do 10 kW. Princip KJ s plynovým spalovacím motorem je znázorněn na Obr. 3.5.

Dalším používaným zdrojem KVET jsou KJ pracující na principu organického Rankinova cyklu (ORC). Principiálně se jedná o Rankinův cyklus využívající jako pracovní médium látku s nižší teplotou varu, zpravidla kapaliny organického původu (silikonové oleje, chladivo R245fa). Teplo je předáváno pracovnímu médiu ze spalin v kotli, které se vypařuje. Páry pak roztáčejí turbínu (expandér) a mechanická energie je v generátoru přeměňována na energii elektrickou. Po expanzi se páry přivedou do kondenzátoru, kde předají své zbytkové teplo teplé vodě, která je pak využita pro vytápění objektu. Kondenzát je napájecím čerpadlem znovu čerpán do kotle a cyklus se opakuje. Jako primární zdroj se pro kogeneraci s ORC cyklem nejčastěji využívá biomasa řadící se mezi obnovitelné zdroje energie. Výhodou je zde skutečnost, že se jedná o technologii s vnějším

⁵⁷ Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011.

přívodem tepla a lze tak použít i méně kvalitní paliva nebo je různě kombinovat, narozdíl od cyklů s vnitřním spalováním.⁵⁸



Obr. 3.5 Princip KJ s plynovým spalovacím motorem⁵⁹

Volba vhodného druhu KJ se vždy volí podle požadovaného instalovaného výkonu a možností zásobování objektu primárním palivem. Vyrábějí se v kompaktním provedení, kdy je veškerá technologie umístěna v jedné skříni nebo kontejneru a velikostně tak zabírají jen pár m². Uplatnění najdou zejména tam, kde se očekává jejich stálé využití. Výkon lze dimenzovat pouze na přípravu TV, kdy je zdroj provozován celoročně, avšak s nutností využití jiného zdroje tepla pro vytápění objektu. Další možností je dimenzování zdroje pro pokrytí potřeby tepla jak pro přípravu TV, tak pro vytápění. V tomto případě bude mít v teplejších obdobích roku jednotka menší využití, přičemž je možné zdroj spínat podle potřeby výroby elektrické energie, kdy lze např. využívat vyšší výkupní ceny elektrické energie v době vyššího tarifu.⁶⁰

⁵⁸ Budín, J. Kogenerace - princip, technologie a výhody. In: *OEnergetice.cz* [online]. [cit. 2021-04-02].

⁵⁹ Tamtéž.

⁶⁰ Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011.

3. MOŽNOSTI ZÁSOBOVÁNÍ DOMU ENERGIÍ

Výhodou KVET je velmi vysoká účinnost využití primárního paliva (až 90 %), protože odpadní teplo ze spalin, chladicí kapaliny a oleje motoru je využíváno pro účely vytápění a ohřev TV. Neobnovitelná primární energie je tedy využívána s maximální efektivností, což vede ke globálnímu snižování emisí CO₂. Účinnost ovšem značně klesá při přerušovaném provozu, kdy dochází k opakovaným startům zařízení. Neoptimálnějšího provozu je dosaženo, pokud je tepelná i elektrická energie zcela využita, což je stav nastávající v chladnějších ročních obdobích. Instalací KJ se přispívá k rozvoji decentralizované výroby tepla a elektrické energie, což vede ke snižování přenosových a distribučních ztrát a zvýšení konkurenceschopnosti mezi výrobcí a dodavateli elektrické i tepelné energie. Nevýhodou jsou vysoké investiční náklady, které jsou v porovnání např. s klasickou plynovou kotelnou několikanásobně vyšší.⁶¹

Nemalým problémem instalace KVET v bytových domech je vyvedení elektřiny do distribuční soustavy NN. Z hlediska právního se jedná o otázku licence na výrobu elektřiny. Dle § 3 odst. 3 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), se licence vyžaduje na výrobu elektřiny ve výrobnách elektřiny s instalovaným výkonem nad 10 kW určené pro vlastní spotřebu zákazníka, pokud je výroba elektřiny propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou. V případě zdrojů do 10 kW vč. (tzv. mikrozdrojů) lze provozovat zdroj bez licence, pokud není v odběrném místě připojena jiná výroba. Podmínky připojení určuje vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů. Z hlediska technického je nutné respektovat pravidla připojení k distribuční soustavě (PPDS), která jsou upravena provozovatelem distribuční soustavy (DS) v místě připojení zdroje. Další otázka nastává v souvislosti s nakládáním s vyrobenou elektrickou energií. Ta je primárně určená pro pokrytí společné spotřeby, popřípadě pro spotřebu v jednotlivých bytech nebo k akumulaci do baterií, jsou-li instalovány. Pokud je elektrické energie přebytek, dodává se do distribuční sítě. Variantou je zřízení sdruženého odběrného místa pro SVJ nebo družstvo, kdy je pro celý objekt instalován jeden fakturační elektroměr a spotřeba v bytech je měřena podružně. Výhodou je zde úspora na fixní platbě za jistič (neboli za rezervovaný příkon), neboť suma poplatků za odběrná místa jednotlivých

⁶¹ Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011.

bytů značně převyšuje jednotnou platbu za jeden jistič s vyšší proudovou hodnotou. Z hlediska distribuční sazby se zde dá očekávat levnější cena elektrické energie vzhledem k zařazení odběratele do kategorie „C“, tedy sazby určené pro podnikatelské subjekty. Přebytečná elektrická energie je pak prodávána do distribuční sítě přes smluvního obchodníka a zisk z prodeje může být vkládán např. na účet fondu oprav. Pro možnost využití vyrobené elektrické energie pro spotřebu v bytech by pak bylo potřeba zažádat o zřízení lokální distribuční soustavy (LDS), zřídit jeden hlavní elektroměr, který by měřil vyrobenou elektřinu a např. zřídit subjekt s.r.o., se kterým by bytové jednotky uzavřely smlouvu na odběr (nákup) elektrické energie. Obdobná situace nastává např. při instalaci FVE v bytovém domě. Ze všech možných variant zdroje energie pro bytový dům se tak z administrativního hlediska jedná o nejkomplicovanější řešení.⁶²

⁶² Volná parafráze slov Ing. Jakuba Maščucha, Ph.D. na základě osobní konzultace v UCEEB ČVUT.

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

Na základě zpracovaných podkladů k hodnocenému bytovému domu bylo osloveno několik dodavatelů různých technologií kotlen ke zpracování konkrétních nabídek. Byli osloveni různí dodavatelé kondenzačních kotlů a tepelných čerpadel; pro variantu s kogeneračními jednotkami byl osloven pouze jeden dodavatel. V následujícím textu bude od každé poptané technologie představena jedna vybraná nabídka a bude proveden jejich rozbor z hlediska použité technologie, energetické bilance a položkového rozpočtu. V další navazující kapitole pak budou nabídky mezi sebou porovnány a vyhodnoceny po stránce ekonomické. Nabídky pro účely této práce byly vybrány na základě kvality dodaných podkladů, ceny a konzultace s vedoucím této práce Ing. Vítem Kleinem, Ph.D.

4.1. Plynová kotelna

4.1.1. Navrhovaná technologie

Pro návrh kotelny s plynovými kondenzačními kotli byla vybrána nabídka od společnosti Vaillant Group Czech s.r.o. Nabídku v elektronické podobě obsahuje Příloha 4, stejně jako technologické schéma zapojení jednotlivých prvků kotelny a katalogový list. Navrhovanou technologií je kaskáda dvou plynových kondenzačních kotlů Vaillant VU 1006/5-5 eco TEC plus, každý s rozsahem tepelného výkonu 20–100 kW. Navržené kotle budou současně obsluhovat vytápění objektu a ohřev TV. TV bude připravována přednostně v nepřímo ohřívaných zásobnících o objemu 3 x 500 l, které jsou dle dodavatele svým objemem dostačující⁶³. Umístění veškeré technologie se předpokládá v jedné vyhrazené místnosti v technickém suterénu. Nominální navrhovaný teplotní spád otopné soustavy je 60/40 °C, TV bude ohřívána na 55 °C. Technické parametry navrhovaného plynového kondenzačního kotle jsou uvedeny v Tab. 4.1.

⁶³ Navrhovaný objem zásobníku na základě výpočtů z rovnice (2.18) je 2 900 l, proto musí být dostatečně dimenzován výměník pro zajištění přenosu maximálního tepelného výkonu z kotlů do TV.

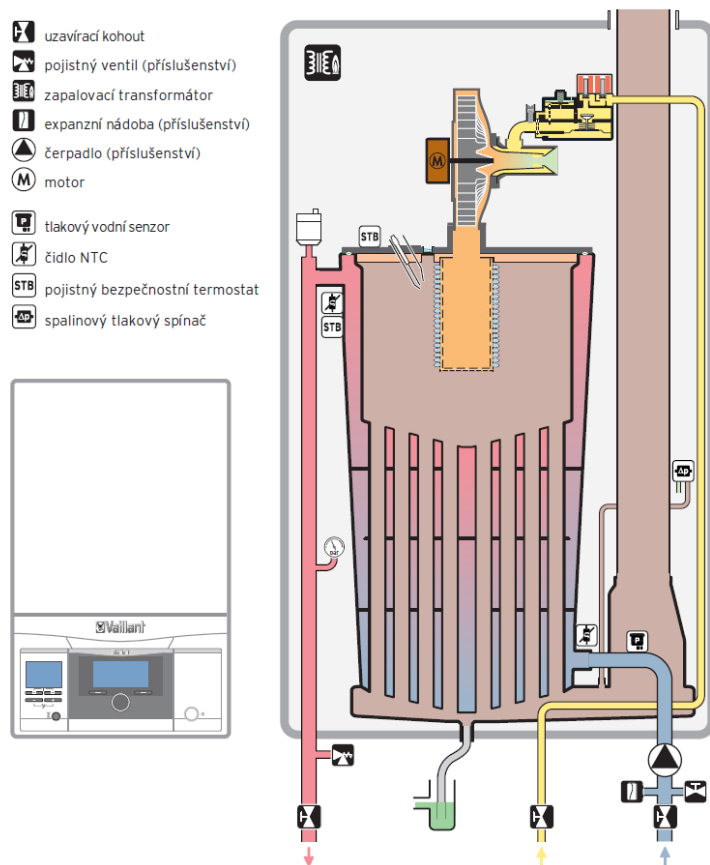
	VU 1006/5-5		Jednotky
Rozsah jmenovitého tepelného výkonu	80/60 °C	18,7 - 93,3	kW
	60/40 °C	20,0 - 100,0	kW
	50/30 °C	20,7 - 102,8	kW
Max. jmenovitý tepelný výkon		95,2	kW
Min. jmenovitý tepelný výkon		19,2	kW
Teplota spalin	min.	40	°C
	max.	85	°C
Jmenovitá účinnost	80/60 °C	98	%
	60/40 °C	105	%
	50/30 °C	108	%
	40/30 °C	108	%
Max. výstupní teplota		90	°C
Nastavitelná výstupní teplota		30-85	°C
Jmenovitá spotřeba zemního plynu		10,1	m ³ /hod

Tab. 4.1 Technické parametry kotle Vaillant VU 1006/5-5

Odkouření spalin je navrženo z komponentů od společnosti ALMEVA EAST EUROPE s.r.o. Pro spalinovou cestu je navržen koncentrický kouřovod LIL Ø 160/225 mm, dlouhý cca 6 m, kdy je vnitřní průměr kouřovodu využit pro odvod spalin a meziprostor mezi pláštěm a vnitřním kouřovodem je určen pro přívod spalovacího vzduchu. Komín LAB Ø 200/300 mm povede zvenku po fasádě objektu a bude vysoký 22,4 m. Kotel je již vybaven kouřovým ventilátorem a elektrickou zpětnou klapkou. Technická zpráva o výpočtu odkouření a samostatný položkový rozpočet je v Příloze 5.

Protože se jedná o kotelnu třetí kategorie, musí být vybavena zabezpečením poruchových stavů. To zajišťuje navržená sada poruchové signalizace Siemens Kotelník. Systém hlídá provozní teploty, úniky plynu, dále je vybaven záplavovým čidlem a v případě potřeby ovládá HUP. Kotelna je řízena ekvitermním systémovým regulátorem multi-MATIC 700, který reguluje výkon kotle v závislosti na venkovní teplotě a přizpůsobuje ho podmínkám topného systému a teplotám v místnostech dle zvolené křivky. Dálkový dispečink kotelny není navržen. Konstrukce navrhovaného plynového kondenzačního kotle je na Obr. 4.1.

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE



Obr. 4.1 Konstrukce navrhovaného plynového kondenzačního kotle

4.1.2. Energetická bilance

V Tab. 4.4 je roční energetická bilance provozu plynové kotelny. Uvedená skutečná spotřeba zemního plynu se může lišit na základě provozního režimu během roku, neboť jmenovitá účinnost je při nižším výkonu kotle o několik desetín procent nižší. V přepočtené spotřebě zemního plynu je zahrnuto kondenzační teplo a hodnota spotřeby je proto nižší, než jmenovitá spotřeba zemního plynu.

ENERGETICKÁ BILANCE	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKY
Potřeba tepla na vytápění	1 052,9	GJ
Potřeba tepla na přípravu TV	626,6	GJ
Potřeba tepla pro termickou desinfekci	4,4	GJ
Potřeba tepla celkem	1 684	GJ
Doba provozu při 100 % výkonu	2 457	hodin
Doba provozu při 75 % výkonu	3 275	hodin
Doba provozu při 50 % výkonu	4 913	hodin
Jmenovitá spotřeba zemního plynu	10,1	m3/hod
Spotřeba plynu při jmenovitém výkonu	49 623,8	m3
Výhřevnost plynu	34,6	MJ/m3
Teplo uvolněné ze spáleného paliva	1 716,2	GJ
Jmenovitá účinnost	105,0	%
Přepočtená spotřeba zemního plynu při jmen. v.	47 260,7	m3

Obr. 4.2 Roční energetická bilance provozu plynové kotelny

4.1.3. Položkový rozpočet

Položka č.	Popis položky	Množství (mj)	Cena/mj v Kč bez DPH	Cena v Kč bez DPH
1	VU 1006/5-5 eco TEC plus	2	136 600,00 Kč	273 200,00 Kč
2	Montážní sada pro 2 kotle v řadě	1	92 500,00 Kč	92 500,00 Kč
3	Ekvitermní systémový regulátor multiMATIC 700	1	5 290,00 Kč	5 290,00 Kč
4	VR 32 eBus kaskádový modul pro multiMATIC 700 (plynové kotle, rekuperace, tč geoTHERM)	1	2 240,00 Kč	2 240,00 Kč
5	VR 71 - přídatný modul pro multiMATIC 700 (VRC), ovládání solárního čerpadla nebo třetí směšovací okruh	1	6 780,00 Kč	6 780,00 Kč
6	VR 70 - směšovací modul pro multiMATIC 700 (VRC) pro druhý topný okruh	1	5 190,00 Kč	5 190,00 Kč
7	Zásobník TV VIH R 500/3 BR, nepřímotopný	3	49 000,00 Kč	147 000,00 Kč
8	Přípojovací skupina bez regulace tlaku vody pro VIH 300–500	3	2 800,00 Kč	8 400,00 Kč
9	Elektrická zpětná klapka pro spalínovod Ø 110 mm	2	10 930,00 Kč	21 860,00 Kč
10	VR 40 přídatný el.modul pro odvod spalin (2 ze 7 funkcí)	2	2 240,00 Kč	4 480,00 Kč
11	Základní sada pro 2 kotle v řadě, Ø 160 mm vč. odvaděče kondenzátu	1	8 890,00 Kč	8 890,00 Kč
	CELKOVÁ CENA BEZ DPH			575 930,00 Kč
	CELKOVÁ CENA VČ. 15 % DPH			662 319,50 Kč

Tab. 4.2 Položkový rozpočet PK

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

Součástí dodávky kotle jsou připojovací ventily, pojišťovací ventil pro přetlak 6 bar a vysoce účinné čerpadlo s připojovací armaturou. Montážní sada pro kotle obsahuje montážní stojan, plynové připojení, hydraulickou výhybku, rozdělovač a sběrač vč. izolace. Pro zabezpečení kotelny (zabezpečení poruchových stavů) a odkouření byly zpracovány cenové nabídky zvlášť. **Cena zabezpečovacího systému je 55 000,- Kč bez DPH, cena odkouření je 148 006,- Kč bez DPH.**

Součástí celkové cenové nabídky není:

- demineralizační úpravna topné vody,
- přídatná čerpadla (cirkulační čerpadlo)
- instalace plynového potrubí od přípojky,
- instalaci kotlů do kotelny – vyvedení tepelného výkonu,
- montážní práce, stavební práce a úpravy,
- připojení zařízení a jeho uvedení do provozu
- dopravu
- dokumentaci pro stavební povolení, PBŘ, statický posudek,
- rozptylovou studii na komín, hlukovou studii, energetický posudek apod.

Odhad celkové ceny těchto položek je **1 076 064,- Kč bez DPH (1 237 474,- Kč vč 15 % DPH)**, což je po sečtení s ostatními položkami **1 855 000,- Kč (2 133 250 vč 15 % DPH)**. Mezi položky dále nebylo zahrnuto odpojení od SZTE – to bude zahrnuto až v ekonomickém vyhodnocení, stejně jako režijní, provozní a servisní náklady. Náklady na plynovou přípojku v tomto případě odpadají, neboť byly v minulosti plynové přípojky již zřízeny (jedna na každý vchod) a dimenzí vyhovují požadavkům na zásobování kotelny plynem.

4.2. Kotelna s tepelnými čerpadly

4.2.1. Navrhovaná technologie

Pro návrh varianty kotelny s tepelnými čerpadly byla vybrána nabídka od společnosti AC Heating (KUFI INT, s.r.o.). Se zástupcem společnosti proběhlo v sídle společnosti v Plzni osobní setkání, kde byly upřesněny technické parametry zařízení, předána cenová nabídka a dále zde proběhla prohlídka kotelny s instalovanými TČ. Nabídka v elektronické podobě je v Příloze 6. Navrhovanou technologií je kaskáda celkem 7 tepelných čerpadel vzduch voda ve splitovém provedení o celkovém maximálním výkonu

175 kW (při A7/W35). Umístění venkovních jednotek (výparník + kompresor) se předpokládá na střeše objektu, konkrétně na stěnách strojovny výtahu, kde budou zavěšeny na speciálním rámu zabraňujícím šíření hluku a vibrací. Ve stejném místě bude také zajištěn odvod kondenzátu a bude instalováno opatření proti jeho namrzání v zimním období. Vnitřní jednotky by byly umístěny ve společné technické místnosti v suterénu objektu (min. výměra 16 m²). Ve stejné technické místnosti budou krom výše zmíněné technologie umístěny 4 elektrokotle o výkonu 4 x 30 kW plnící funkci bivalentního zdroje. Propojení vnitřních a venkovních jednotek se provádí potrubím o průměru 2 x 120 mm, vedoucím mezi patry v prostoru společných chodeb. Potrubí se opláštěje SDK v protipožární úpravě, neboť vzniklá potrubní šachta tvoří samostatný požární úsek.

Kaskáda je sestavena ze dvou typů tepelných čerpadel. Prvním typem je čtveřice TČ Convert AW28-3P určených primárně pro vytápění, druhým typem je trojice TČ Convert AW16, které jsou primárně určené pro ohřev TV. V případě potřeby se však dá trojice TČ určených pro ohřev TV přepnout trojcestným ventilem ke zbylé kaskádě čtyř čerpadel a lze tak využít plný výkon všech 7 jednotek pro účely vytápění objektu. Pro TV dodavatel navrhuje nepřímotopné zásobníky 4 x 1000 l.⁶⁴ Teplota otopné vody je stanovena na maximální hodnotu 55 °C, teplotu TV je doporučeno udržovat na přibližně 48 °C. Konečná teplota TV se ladí po napojení na stávající rozvody, aby byly zohledněny ztráty stávajících rozvodů a na konci větve byla požadovaná teplota TV. Dále je nutné navýšit stávající rezervovaný příkon elektrické přípojky (pro každý vchod jedna samostatná zvlášť) nebo zřídit zcela nové přípojky. Pro společné prostory je v každém vchodě vyhrazena přípojka 3 x 20 A, navrhované navýšení pro každý vchod je na hodnotu 3 x 63 A s distribuční sazbou D56d pro elektrické vytápění (nebo TČ). Stávající kabelové vedení AYKY 3 x 120 + 70 vedoucí z přípojkové skříně do elektroměrového rozvaděče vyhovuje novým energetickým nárokům objektu, doporučuje se však jeho celková revize nebo výměna za nový kabel CYKY-J 4 x 70. Technické parametry jednotek jsou uvedeny v Tab. 4.3, schéma zapojení celého systému je pak v samostatně v Příloze 6.

⁶⁴ Navržený objem zásobníku TV dle výpočtů v kapitole 2.7.3 je 2900 l, po diskuzi s dodavatelem by mohla být dodávka upravena na tři zásobníky 3 x 1000 l.

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

		CONVERT AW16 SVT 3633	CONVERT AW28-3P SVT 661
Technické parametry		A+++	A++
Max. topný výkon (A7/W35)	kW	16,4	29,2
Min. topný výkon	kW	4,2	8,7
Nominální topný výkon (A2/W35)	kW	16,1	27,9
Max. příkon	kW	4,6	9,3
COP (A7/W35)*	-	4,98	4,66
COP (A2/W35)*	-	3,85	3,59
Elektrické parametry			
Napájení	V/f/Hz	230/1/50	400/3/50
Požadovaný jistič	char., A/f	B20/1	B20/3
Max. proud	A	19,9	17,0
Rozběhový proud	A	5,0	6,0
Hlukové parametry (venkovní jednotka)			
Hodnota hladiny akustického tlaku při průměrném topném výkonu ve vzdálenosti 3 m**	dB(A)	35	44
Hodnota hladiny akustického tlaku při průměrném topném výkonu ve vzdálenosti 5 m**	dB(A)	32	40
Sezonní topný faktor SCOP		35 °C / 55 °C	35 °C / 55 °C
SCOP	-	4,62 / 3,49	3,92 / 3,02
Energetická třída	-	A+++ / A++	A++ / A+
T _{bivalent} (venkovní teplota spínání bivalentního zdroje)	° C	-10/-8	-4 / -3
P _{design} (venkovní tepelná ztráta objektu)	kW	10,1 / 9,8	27,8 / 27,2
T _{design} (venkovní teplota příslušná hodnotě P _{design})	° C	-10 / -10	-10 / -10

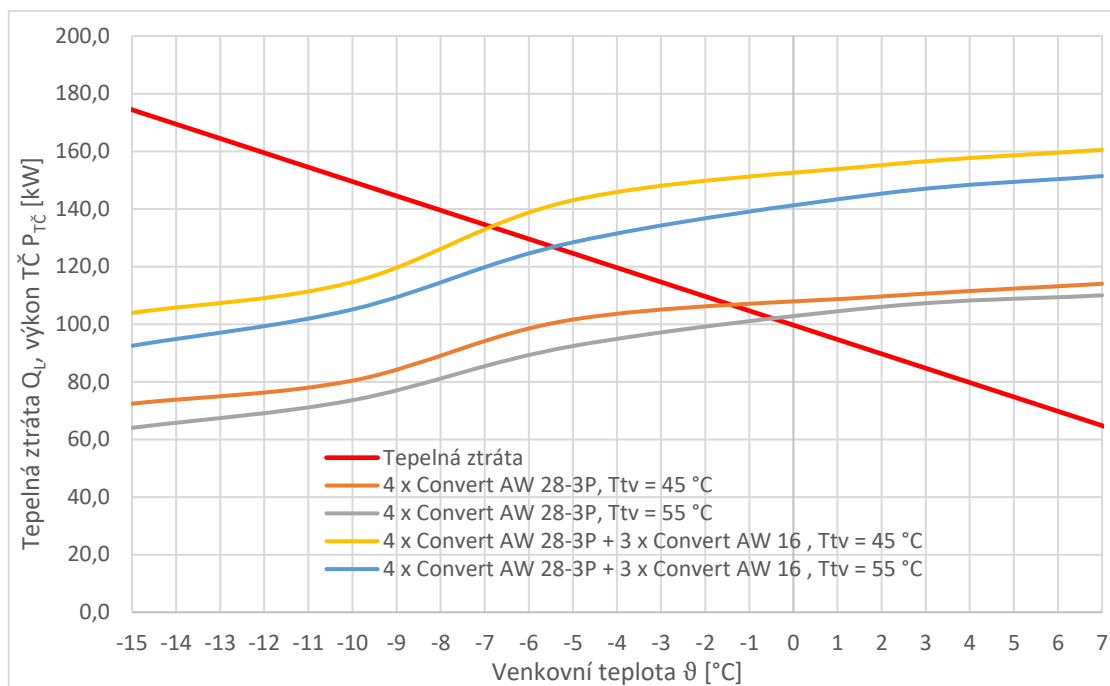
* Dle normy ČSN EN 14511 (měřeno ve strojírenském zkušebním ústavu s.p., Brno, registrovaném centru EHPA při 43 % výkonu)

** Průměrná hodnota akustického tlaku ve všech směrech od venkovní jednotky, při parametrech A7W35 a při 40 % zatížení

Tab. 4.3 Technické parametry navrhovaných TČ

Na Obr. 4.3 je v jednom grafu vynesena závislost tepelné ztráty objektu (tedy potřebného tepelného výkonu zdroje) na venkovní teplotě a výkonové křivky navržené kaskády tepelných čerpadel při teplotách vody 45 a 55 ° C. Ze závislostí je možné odečíst bod bivalence, který leží v průsečíku závislosti tepelné ztráty objektu a dané výkonové křivky kaskády TČ. Při teplotě otopné vody 55 ° C odpovídá bod bivalence přibližně hodnotě -5,5 ° C pro celou kaskádu sedmi TČ. Při venkovní teplotě nižší než 5,5 ° C není kaskáda schopna dodat dostatečný tepelný výkon pro krytí tepelné ztráty objektu a je nutné zapojit bivalentní zdroj - elektrokotel. Ten při dané venkovní teplotě dodává výkon rovný rozdílu mezi křivkou tepelné ztráty a výkonovou křivkou TČ. Pro

samotnou kaskádu čtyř tepelných čerpadel Convert AW28-3P je pak bod bivalence nad hodnotou $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Znamená to tedy, že zmíněná čtveřice TČ je do této teploty schopna zajistit potřebný tepelný výkon pro účely vytápění objektu.



Obr. 4.3 Výkonové křivky navržené kaskády TČ

Dle klimatologických dat Českého hydrometeorologického ústavu z let 1983–2020⁶⁵ by počet dní s průměrnými denními teplotami nižšími než $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ neměl být větší než 3,81 % z celkového počtu dní v roce. Lze tedy říci, že se bivalentní zdroj bude na provozu podílet maximálně ze 4 % z celkové doby provozu v roce. Výrobce však na základě zkušeností z ostatních instalací udává 13 % podíl bivalentního zdroje na výrobě tepla a v bilanci tak bude počítáno s touto hodnotou.

Řízení jednotek se provádí plynule automaticky a vždy pracuje více jednotek najednou, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení jednoho tepelného čerpadla v celé kaskádě v obdobích, kdy je potřeba nižší tepelný výkon (tzn., že by vždy spínalo např. pouze první čerpadlo z celé kaskády). Systém také zahrnuje monitoring motohodin jednotlivých jednotek a optimalizuje provoz všech jednotek tak, aby byly využívány stejně a opotřebení bylo rovnoměrné pro všechny. Řídicí systém je dále vybaven predikcí tep-

⁶⁵ Průměrná denní teplota vzduchu ve Středočeském kraji. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2021-04-12].

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

lot dle online monitoringu s vazbou na předpověď počasí. Pokud se předpokládá skokový příliv mrazů, systém tuto predikci vyhodnotí a začne budovu natápět s předstihem, aby došlo k akumulaci tepla do stavebních hmot.



Obr. 4.4 Venkovní a vnitřní jednotky TČ spol. AC Heating⁶⁶

4.2.2. Energetická bilance

Původní výpočet potřeby tepla pro ohřev TV byl proveden pro teplotu TV 55 °C, proto je nutné hodnotu přepočítat. Novou výpočetní hodnotu teploty TV stanovíme na 50 °C (rozdíl 2 °C budeme od teploty 48 °C uvažovat jako rezervu) a odpovídající hodnota potřebného tepla na ohřev TV je 555,8 GJ. Roční energetická bilance je uvedena v Tab. 4.4.⁶⁷

⁶⁶ Vlastní fotografie pořízené v sídle společnosti KUFÍ INT, s.r.o., Staroplzenecká 177, 326 00 Plzeň – Letkov

⁶⁷ Pro výpočet byly použity vstupní hodnoty dodavatele, které jsou interním materiálem společnosti AC Heating. Energetická bilance z nabídky výrobce byla přepočítána na hodnoty figuruující v této práci.

VYTÁPĚNÍ				
Potřeba tepla na vytápění	1052,9	GJ	292,48	MWh
Podíl TČ na výrobě tepla			87 %	
Podíl elektrokotle na výrobě tepla			13 %	
Teplo pro vytápění vyrobené TČ	916,0	GJ	254,45	MWh
Teplo pro vytápění vyrobené elektrokotli	136,9	GJ	38,02	MWh
El. energie spotřebovaná TČ (SCOP 3)	305,3	GJ	84,82	MWh
El. energie spotřebovaná elektrokotli (účinnost 98 %)	139,6	GJ	38,78	MWh
OHŘEV TV				
Potřeba tepla na ohřev TV o teplotě 50 °C	555,8	GJ	154,38	MWh
Podíl TČ na přípravě TV			97 %	
Podíl elektrokotle na přípravě TV a sanitaci zásobníku			3 %	
Teplo pro ohřev TV vyrobené TČ	539,1	GJ	149,75	MWh
Teplo pro ohřev TV vyrobené elektrokotli	16,7	GJ	4,63	MWh
El. energie spotřebovaná TČ pro přípravu TV (SCOP 2,8)	192,5	GJ	53,48	MWh
El. energie spotřebovaná elektrokotli pro přípravu TV (účinnost 98 %)	17,0	GJ	4,72	MWh
El. energie spotřebovaná pro sanitaci zásobníků TV při teplotě 68 °C	4,4	GJ	1,21	MWh
CELKOVÉ VYROBENÉ TEPLLO TČ	1455,1	GJ	404,21	MWh
CELKOVÁ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	658,9	GJ	183,0	MWh

Tab. 4.4 Roční energetická bilance kotelny s TČ

4.2.3. Položkový rozpočet

	Popis položky	Množství (mj)	Cena/mj bez DPH	Cena v bez DPH
1	TČ vzduch-voda Convert AW28-3P, A++, 27,9 kW (A2/W35), plynulá regulace výkonu, SVT 661	4	272 900,00 Kč	1 091 600,00 Kč
2	TČ vzduch-voda Convert AW16, A+++, 16,1 kW (A2/W35), plynulá regulace výkonu, SVT 3633	3	164 900,00 Kč	494 700,00 Kč
3	Regulace xCC 7.02-11	1	279 900,00 Kč	279 900,00 Kč
4	Montážní sada AW22-28	4	3 680,00 Kč	14 720,00 Kč
5	Montážní sada AW6-19	3	1 480,00 Kč	4 440,00 Kč
6	Konzole pod venkovní jednotku – na střechu, úprava proti vibracím	7	8 300,00 Kč	58 100,00 Kč
7	Propojovací vedení AW22-28 (bude účtováno dle skutečnosti)	144	799,00 Kč	115 056,00 Kč
8	Propojovací vedení AW6-19 (bude účtováno dle skutečnosti)	108	699,00 Kč	75 492,00 Kč
9	Montáž propojovacího vedení	252	590,00 Kč	148 680,00 Kč
10	Zakrytování a držáky propojovacího vedení (protipožární SDK konstrukce na chodbách, montáž)	7	13 200,00 Kč	92 400,00 Kč
11	Montáž kaskády TČ	1	192 700,00 Kč	192 700,00 Kč

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

12	Elektrokotel - 30 kW, oběhové čerpadlo	4	31 800,00 Kč	127 200,00 Kč
13	Zásobník TV – R2BC 1000, nepřímotopný, stacionární, smalt, izolace	4	58 750,00 Kč	235 000,00 Kč
14	Měřič tepla ultrazvukový, Qp 15 m3/h, DN 50	1	21 500,00 Kč	21 500,00 Kč
15	Měřič tepla ultrazvukový, Qp 10 m3/h, DN 40	1	18 300,00 Kč	18 300,00 Kč
16	Vystrojení technické místnosti/kotelny (vyrovnávací a expanzní nádoba, hlavní oběhové čerpadlo, potrubí, armatury, filtry, řízené ventily, tvarovky, montáž)	1	498 600,00 Kč	498 600,00 Kč
17	Sestava pro automatické dopouštění topné vody do otopného systému (automatické udržování pracovního tlaku topné vody v soustavě)	1	19 800,00 Kč	19 800,00 Kč
18	Elektroinstalační práce – materiál, montáž (technologický rozvaděč, elektroinstalace silové části a MaR v rámci topného zdroje)	1	263 500,00 Kč	263 500,00 Kč
19	ZTI (expanzní nádoby TV, cirkulační čerpadlo TV, potrubí PPR, přívod SV, vodoměr SV, armatury, filtry, řízené ventily, tvarovky, montáž)	1	256 400,00 Kč	256 400,00 Kč
20	Stavební práce – materiál, montáž (stavební úpravy, jádrové vrtání, zednické práce, malířské práce, protipožární ucpávky prostupů)	1	216 300,00 Kč	216 300,00 Kč
21	Manipulační technika	1	21 000,00 Kč	21 000,00 Kč
22	Přesun hmot	1	22 000,00 Kč	22 000,00 Kč
23	Zaregulování topného zdroje, optimalizace nastavení, zaškolení	1	25 000,00 Kč	25 000,00 Kč
24	Dopravné	1	9 200,00 Kč	9 200,00 Kč
25	Projektová dokumentace pro stavební povolení, vyřízení stavebního povolení (vč. hlukové studie, energetického posudku, PBR, statického posudku, zajištění stanovisek dotčených orgánů, jednání se stavebním úřadem)	1	130 000,00 Kč	130 000,00 Kč
26	Měření hluku ke kolaudaci (v závislosti na počtu měřících bodů)	1	19 000,00 Kč	19 000,00 Kč
27	Zajištění kolaudačního souhlasu (souhlasná stanoviska dotčených orgánů, jednání se stavebním úřadem)	1	15 000,00 Kč	15 000,00 Kč
	CELKOVÁ CENA BEZ DPH			4 465 588,00 Kč
	CELKOVÁ CENA VČ. 15 % DPH			5 135 426,20 Kč

Tab. 4.5 Položkový rozpočet TČ

Rozpočet je pouze informativní, nezahrnuje náklady na odpojení od SZTE a náklady spojené s posílením elektrického odběrného místa. Obojí si objednatel hradí sám.

4.3. Kotelna s kogenerační jednotkou

4.3.1. Navrhovaná technologie

Pro návrh kotelny s kogeneračními jednotkami a následné zpracování nabídky byla oslovena společnost TEDOM a.s. Nabídka vč. technických listů v elektronické podobě je obsažena v Příloze 7. Navrhovanou technologií jsou dvě kogenerační jednotky TEDOM Micro 50 MAN NG SE ST 50 Hz s instalovaným elektrickým výkonem 2 x 50 kW a s tepelným výkonem 2 x 88,5 kW. Pro pohon každé jednotky je použit čtyřválcový plynový spalovací motor o zdvihovém objemu 4 580 cm³ a maximálním výkonu 54 kW při 1 500 otáčkách za minutu. Ten je připojen na jedné hřídeli s trojfázovým synchronním generátorem 400 V/50 Hz o výkonu 58 kW. Umístění technologie se předpokládá v technickém suterénu objektu, celkové vnější rozměry jedné jednotky jsou 1730 x 1780 x 2400 mm (V x Š x H), pro umístění a servis je pak potřeba prostor pro jednu jednotku o rozměrech alespoň 2480 x 2450 x 3700 mm. Podrobnější technické jedné KJ parametry uvedené výrobcem jsou v Tab. 4.6.

	STANDARD			S KONDENZAČNÍM VÝMĚNÍKEM	
	100	75	50	100	%
Zatížení	100	75	50	100	%
Jmenovitý elektrický výkon	50,0	37,5	25,0	50	kW
Maximální tepelný výkon	88,5*	75,4	62,3	101,5	kW
Příkon v palivu	146,0	119,0	92,0	146	kW
Účinnost elektrická	34,2	31,5	27,2	34,2	%
Účinnost tepelná	60,6	63,4	67,7	69,5	%
Účinnost celková (využití paliva)	94,8	94,9	94,9	103,7**	%
Spotřeba plynu	15,5	12,6	9,8	15,5	m ³ /hod

Minimální výhřevnost plynu je 34 MJ/m³

Požadovaný min. trvalý elektrický výkon je 50 % jmenovitého výkonu

Spotřeba plynu je uvedena při fakturačních podmínkách (15 °C, 101,325 kPa)

Technické údaje jsou specifikovány pro teploty hydraulického okruhu 65/85 °C

Tolerance spotřeby plynu, respektive příkonu v palivu, pro 100 % zatížení je +5 %.

* Max. tepelný výkon je tvořen výkonem sekundárního okruhu při vychlazení spalin na 120°C.

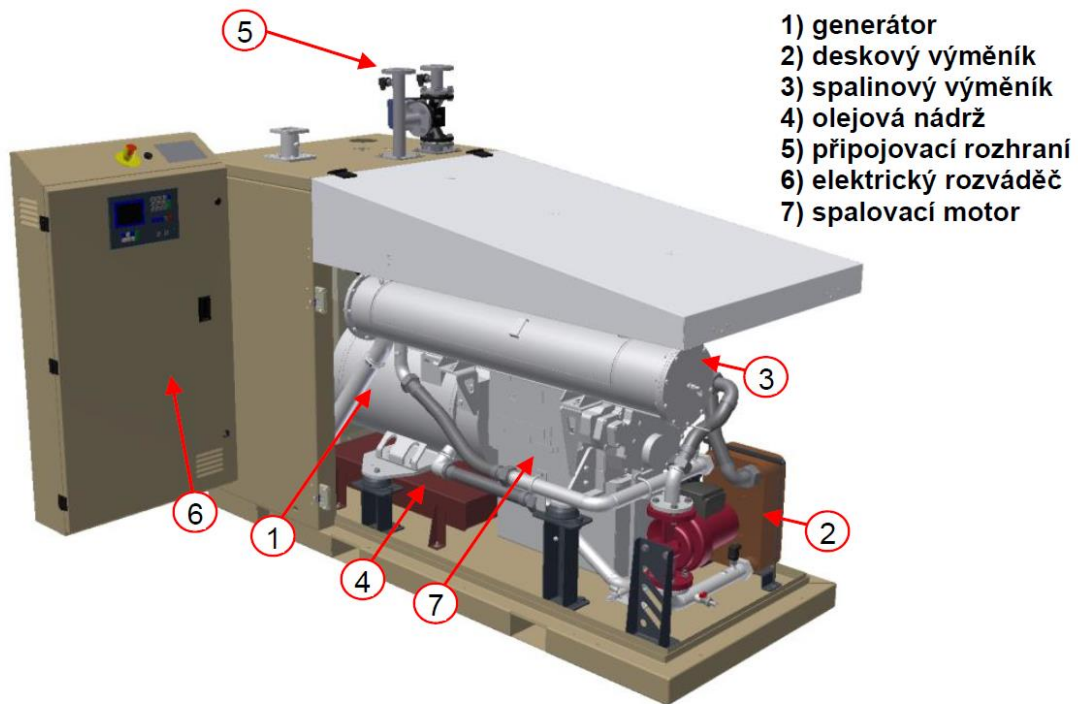
** Platí pro teplotu vratné vody 35°C.

Tab. 4.6 Technické parametry KJ TEDOM Micro 50

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

Tepelný systém kogenerační jednotky je z hlediska odběru tepelného výkonu (získaného chlazením spalovacího motoru, spalín a generátoru) tvořen hydraulickým okruhem, kterým je zajištěno vyvedení tepelného výkonu jednotky do otopné soustavy domu. Jednotka umožňuje provoz v různých teplotních režimech, přičemž maximální teplota vratné vody je 70 °C a minimální teplota vratné vody je 40 °C. Jmenovitý teplotní spád je 20 °C. Spalovací vzduch je nasáván ze studeného prostoru KJ. Spaliny jsou z jednotky odváděny potrubím (spalinovodem) napojeným na přírubu jednotky a případně vzniklý kondenzát je při provozu jednotky odpařován a odchází společně se spalínami. Materiál spalinovodu a tepelná izolace spalinovodu ve strojovně musí být odolná teplotám do 200°C. Jeho trasa se předpokládá zvenku po fasádě objektu. Konstrukce stroje nevyžaduje nucenou ventilaci. Pro správný provoz kogenerační jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu. Pro bytový dům byly v minulosti plynové přípojky zřízeny (jedna na každý vchod) a dimenzí vyhovují požadavkům na zásobování KJ plynem. Dalším požadavkem je zřízení sdruženého odběrného místa pro vyvedení elektrického výkonu o distribuční soustavy. Maximální trojfázový elektrický výkon obou jednotek pracujících současně je 100 kW, čemuž odpovídá maximální proudové zatížení 145 A. S ohledem na tyto požadavky je nutné dimenzovat elektrickou přípojku. Součástí dodávky je řídicí systém KJ, který umožňuje lokální i dálkový dohled a diagnostiku výrobce a důležitá data lze posílat do lokální MaR kotelny.

Nabídka nezahrnuje technologii na přípravu TV, avšak za pomoci trojcestného ventilu je přednostně možné topný výkon KJ přepnout do zásobníků TV s integrovaným výměníkem. Dále se doporučuje instalovat záložní zdroj tepla o tepelném výkonu rovném tepelnému výkonu jedné KJ (cca 90 kW) pro případ poruchy nebo servisu jedné z jednotek. Nejlevnějším investičním řešením je elektrokotel či jejich kaskáda.



Obr. 4.5 Kompaktní kogenerační jednotka TEDOM Micro 50

4.3.2. Energetická bilance

Roční dobu provozu kogeneračních jednotek budeme uvažovat podle pokrytí potřebného tepla na vytápění a ohřev TV. KJ mohou být provozovány v rozsahu výkonu 50–100 %, přičemž spotřeba plynu není v tomto regulačním rozsahu lineární. V Příloze 3 je v listu “KJ-Tedom“ zpracována provozní tabulka KJ pro jednotlivé měsíce dle měsíčních potřeb tepla na vytápění a přípravu TV (vzhledem k jejím rozměrům není vložena do tohoto dokumentu). Z provozní tabulky jsou výstupem provozní hodiny, ze kterých je spočítána spotřeba plynu a vyrobená elektrická energie. Velmi zjednodušeně lze říci, že při 100 % KJ bude tepelná energie 1679, GJ dodána potřebná na vytápění a ohřev TV za 2636 hodin provozu, při 75 % pak stejnou tepelnou energii dodají za 3514 hodin. Úvaha je platná za předpokladu, že budou obě jednotky v provozu současně. V rámci skutečné okamžité potřeby tepla mohou být jednotky provozovány samostatně. Zejména v letních měsících, kdy je potřeba pouze tepelná energie na ohřev TV, pokryje spotřebu jedna KJ při 50 % výkonu. Provoz na plný výkon v letních měsících čistě za účelem výroby elektrické energie nebude uvažován, neboť by bylo vyrobené teplo zbytečně mařeno. Průměrná spotřeba plynu je brána jako průměr hodnot spotřeb plynu při ročním provozu na 50, 75 a 100 % výkonu. Uvedená roční průměrná spotřeba plynu je tak orientační, neboť není předem znát přesný provozní diagram během roku. Bilance dále

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

neuvažuje provoz bivalentního zdroje v případě odstávky některé z jednotek. Roční energetická bilance je v Tab. 4.7.

ENERGETICKÁ BILANCE	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKY
Potřeba tepla na vytápění	1 052,9	GJ
Potřeba tepla na přípravu TV	626,6	GJ
Potřeba tepla celkem	1 679,5	GJ
Vyrobena elektrická energie	263,6	MWh
Využitelná elektrická energie (2 % vl. spotřeba)	258,3	MWh
Doba provozu při 50 % výkonu	5 271,4	hodin
Doba provozu při 75 % výkonu	3 514,3	hodin
Doba provozu při 100 % výkonu	2 635,7	hodin
Spotřeba plynu při 50 % výkonu	103 319,4	m ³
Spotřeba plynu při 75 % výkonu	88 559,5	m ³
Spotřeba plynu při 100 % výkonu	81 706,7	m ³
Průměrná spotřeba plynu	91 195,2	m ³
Výhřevnost plynu ⁶⁸	34,6	MJ/m ³
Teplo uvolněné ze spáleného paliva	3 154,0	GJ
Účinnost celková	83,4	%

Tab. 4.7 Roční energetická bilance provozu obou KJ

Z energetické bilance je patrné, že provoz KJ při sníženém výkonu vede ke snížení celkové účinnosti. Účinnost byla vypočítána dle Přílohy č. 1 k vyhlášce č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů, v platném znění. Celková dosažená účinnosti je vyšší než 75 % a je tak splněn požadavek na minimální účinnost podle této vyhlášky.

Kogenerace patří mezi podporované zdroje energie ze strany státu a za určitých podmínek je možné na každou vyrobenou MWh získat tzv. zelený bonus. Podmínky získání zeleného bonusu pro rok 2021 jsou stanoveny v cenovém rozhodnutí č. 5/2020 ERÚ ze dne 29. září 2020, kterým se stanovují cena za činnost povinně vykupujícího a ceny spojené se zárukami původu.⁶⁹ U KJ do 5 MW instalovaného elektrického výkonu je pro získání zeleného bonusu potřebné provozovat zdroj alespoň po dobu 3000 h ročně, což navržené řešení splňuje. Zelený bonus proto bude zahrnut do ekonomického vyhodnocení v následující kapitole.

⁶⁸ Kvalita plynu. *GasNet, s.r.o.* [online]. 2021 [cit. 2021-04-15].

⁶⁹ *Energetický regulační věstník* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2020, **2020**(5), s. 45-46 [cit. 2021-04-15].

4.3.3. Položkový rozpočet

V následující Tab. 4.8 je zpracován rozpočet na dodávku KJ a příslušné technologie poskytnutá dodavatelem TEDOM a.s. Nutno podotknout, že se nejedná o standardní nabídku a že položky a ceny v rozpočtu jsou pouze orientační.

	Popis položky	Množství (mj)	Cena/mj v Kč bez DPH	Cena v Kč bez DPH
1	KJ TEDOM Micro 50 MAN NG SE ST 50 Hz S	2	2 003 000,00 Kč	4 006 000,00 Kč
2	Fakturační elektroměr pro měření vyrobené elektřiny na svorkách generátoru	2	20 188,00 Kč	40 376,00 Kč
3	Kompenzátor SO (500 mm) – volně dodaný	2	3 634,00 Kč	7 268,00 Kč
4	Kompenzátor výfuku – volně dodané	2	4 711,00 Kč	9 422,00 Kč
5	Odvod kondenzátu – volně dodané	2	5 330,00 Kč	10 660,00 Kč
6	Vytisknutí papírové dokumentace	1	5 384,00 Kč	5 384,00 Kč
7	Doprava před kotelnu bez vykládky jeřábem a bez ustavení na místo instalace	1	v ceně KJ	- Kč
8	Uvedení do zkušebního provozu (bez paliva pro KJ)	1	v ceně KJ	- Kč
9	První naplnění provozními náplněmi (olej do motoru, nemrznoucí směs do TO)	2	v ceně KJ	- Kč
10	Motorgenerátor s pružnou spojkou uložený na společném rámu na odpružených podložkách v odhlučňené kapotě	2	v ceně KJ	- Kč
11	Spalinový výměník včetně vnitřního propojení s KJ	2	v ceně KJ	- Kč
12	Rozvaděče NN a silový rozvaděč zabudovaný do kapoty KJ	2	v ceně KJ	- Kč
13	Plynová regulační řada pro motor	2	v ceně KJ	- Kč
14	Čerpadlo sekundárního okruhu	2	v ceně KJ	- Kč
15	Třícestný regulační ventil sekundárního okruhu	2	v ceně KJ	- Kč
16	Řídicí systém KJ	1	v ceně KJ	- Kč
17	Zaškolení obsluhy	1	v ceně KJ	- Kč
	CELKOVÁ CENA BEZ DPH			4 079 110,00 Kč
	CELKOVÁ CENA VČ. 15 % DPH			4 690 976,50 Kč

Tab. 4.8 Indikativní nabídka dodavatele KJ

4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE

Výše uvedená nabídka dále nezahrnuje:

- vybudování el. přípojky,
- instalace plynového potrubí od přípojky,
- instalaci KJ do kotelny – vyvedení elektrického a tepelného výkonu, připojení na plyn, vzduchotechniku,
- odvod spalin,
- bivalentní elektrokotel,
- zásobníky TV s výměníky, expanzní nádoby, přívod SV, propojovací armatury, a další prvky spojené se zařízením na ohřev TV,
- stavební práce a úpravy,
- dokumentaci pro stavební povolení, PBŘ, statický posudek, hlukovou studii, energetický posudek apod.

Odhad celkové ceny těchto položek je 2 720 000,- Kč bez DPH (3 128 000 Kč vč 15 % DPH), což po sečtení s částkou v nabídce je **6 799 110,- Kč (7 818 976,50 Kč vč 15 % DPH)**. V navrhovaném řešení není počítáno se zařízením pro akumulaci elektrické energie. Mezi položky dále nebylo zahrnuto odpojení od SZTE – to bude zahrnuto až v ekonomickém vyhodnocení, stejně jako režijní, provozní a servisní náklady.

K nabídce byl zpracován podrobný plán údržby (viz Příloha 7), kde jsou podrobně rozepsány doporučené servisní úkony pro jednotlivé části instalované technologie. Interval provedení je dán podle počtu provozních hodin od předchozí údržby. Řídicí systém KJ upozorňuje na aktuální proběh provozních hodin do následné údržby. Dále podle uplynulé kalendářní doby. To tehdy, nedojde-li dle předchozího bodu za určité kalendářní období k proběhu příslušných provozních hodin. Krátké pravidelné servisní odstávky zahrnují výměnu provozních kapalin a kompletní kontrolu funkčnosti. V topné sezoně se pravidelný servis provádí cca jednou za 5 měsíců. Střední oprava KJ je plánována po 32 000 provozních hodinách, což je při provozu 3000 hodin ročně necelých 11 let. Představuje druh celkové opravy, při níž se provádí kontrola stavu jednotlivých uzlů jednotky, zjištění stupně opotřebení všech dílů a jejich případná oprava (např. výměna pístů, ojnic, hlav válců, čerpadla primárního okruhu, snímačů apod.). Generální oprava zařízení je doporučena po 64 000 provozních hodinách. Rozsah opravy částí KJ je určen dle aktuálního stavu opotřebení jednotlivých komponent KJ.

5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT

5.1. Kritéria ekonomické efektivity

Pro porovnání navržených variant z hlediska investičních a provozních nákladů budou použita kritéria ekonomické efektivity dané přílohou č. 7 k vyhlášce č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu.⁷⁰ Hlavním rozhodovacím kritériem pro výběr optimální varianty je čistá současná hodnota (NPV), doplňujícími kritérii je vnitřní výnosové procento (IRR) a reálná doba návratnosti (T_{sd}). Pro úplnost bude jako doplňující kritérium použita prostá doba návratnosti (T_s).

5.1.1. Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota je součet diskontovaných hotovostních toků, které jsou tvořeny investičními výdaji, výdaji provozními a příjmy vzniklými např. prodejem elektrické energie. Zahrnují se hotovostní toky v jednotlivých letech po celou předpokládanou dobu životnosti projektu. Hotovostní toky jsou pak upraveny dle zvolené diskontní sazby představující cenu ušlé příležitosti neboli očekávaný minimální výnos v případě, že by byly finanční prostředky investovány jinde. Diskont by dále měl zohledňovat časovou hodnotu peněz i míru rizika. Doba trvání projektu se u technických zařízení se určuje dle doby jejich životnosti, v případě variant navrhovaných v této práci byla zvolena životnost 20 let. NPV se vypočte následujícím vztahem:

$$NPV = \sum_{t=1}^T CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN \quad [\text{Kč}] \quad (5.1)$$

Kde

CF_t [Kč]	je tok hotovosti v čase t (v daném roce),
T [roky]	je doba trvání projektu,
r [–]	je diskontní sazba,
IN [Kč]	jsou investiční náklady.

⁷⁰ Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu nabyla účinnosti 1. 4. 2021 v průběhu tvorby této DP

5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT

NPV jednotlivých investic jsou posléze porovnány a volí se taková, jejíž kladná čistá současná hodnota je maximální nebo jejíž záporná hodnota je nejvyšší. Podmínka použití NPV jako hodnotícího kritéria je stejná doba životnosti srovnávaných projektů.⁷¹

5.1.2. Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento je taková diskontní sazba, při níž je čistá současná hodnota rovna nule. Projekt se doporučuje k realizaci tehdy, je-li vnitřní výnosové procento větší, než očekávaný výnos (tedy diskontní sazba). Někdy nelze IRR najít, nebo existuje více hodnot. Platí vztah:

$$\sum_{t=1}^T CF_T \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad [\text{Kč}] \quad (5.2)$$

5.1.3. Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší, ale často užívané ekonomické kritérium, které je však nejméně vhodné, neboť neuvažuje s vývojem hotovostních toků v čase. Ukazuje, za jak dlouho pokryje každoroční konstantní CF počáteční investiční náklady. Vztah pro výpočet je:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [\text{roky}] \quad (5.3)$$

5.1.4. Reálná doba návratnosti

Reálná doba návratnosti (taktéž diskontovaná doba návratnosti) je taková doba, kdy tok diskontovaných hotovostních toků přinese hodnotu rovnající se původním investičním výdajům. Pokud jsou hotovostní toky po celou dobu investice konstantní, pak je vztah pro výpočet prosté doby návratnosti:

$$T_{sd} = \frac{IN}{DCF} \quad [\text{roky}] \quad (5.4)$$

Kde

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^{-t}} \quad [\text{Kč}] \quad \text{je diskontovaný hotovostní tok v roce } t.$$

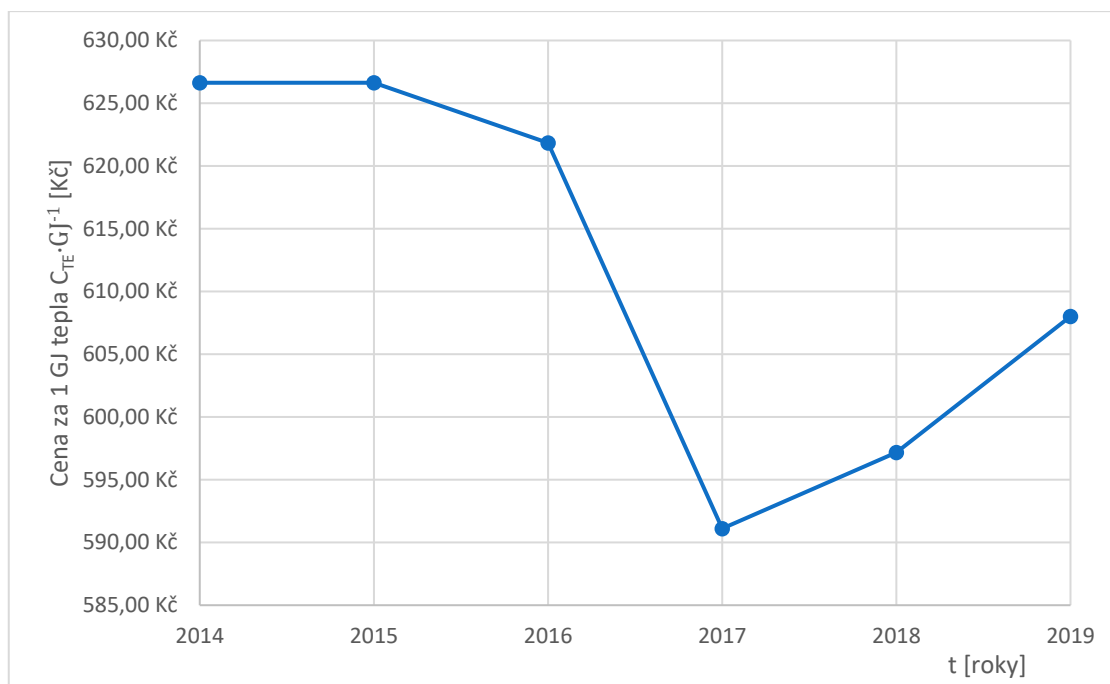
⁷¹ ČVUT V PRAZE - FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD, K13116. *Kritéria ekonomické efektivity*. Praha, 2018.

5.2. Stávající spotřeba tepla a ceny za teplo

Vývoj celkové spotřeby tepla na vytápění a ohřev TV ze SZTE a vývoj nákladů zaplacených za teplo v letech 2014 - 2019 jsou uvedeny v Tab. 5.1. Trend vývoje ceny za 1 GJ tepla je znázorněn na Obr. 5.1. V ekonomických výpočtech bude brána jako výchozí cena za 1 GJ tepla hodnota z roku 2019 a referenční dlouhodobý meziroční růst cen tepla ze SZTE bude uvažován 2 %. Uvedené ceny jsou bez DPH.⁷²

Rok	Celková spotřeba tepla [GJ]	Celková cena za teplo [Kč]	Cena za 1 GJ tepla [Kč]	Meziroční ná-růst/pokles cen [%]
2014	1820,3	1 140 654,95	626,63	0,7
2015	1732,0	1 085 322,21	626,63	0,0
2016	1740,2	1 082 108,34	621,83	-0,8
2017	1850,1	1 078 597,41	591,11	-4,9
2018	1714,9	1 024 104,23	597,18	1,0
2019	2002,5	1 217 519,41	608,00	1,8

Tab. 5.1 Vývoj celkové spotřeby tepla a nákladů na teplo v letech 2014-2019



Obr. 5.1 Vývoj ceny za 1 GJ tepla⁷³

⁷² K 1. 1. 2020 došlo ke snížení sazby DPH na teplo z 15 na 10 %.

⁷³ S uvažovaným růstem cen tepelné energie ze SZTE o 2 % ročně by cena za 1 GJ tepla za 20 let k r. 2041 byla 903,50 Kč bez DPH.

5.3. Výchozí předpoklady pro ekonomické výpočty

5.3.1. Obecné předpoklady

Pro srovnání navržených variant je nutné stanovit stejné výchozí podmínky pro ekonomické výpočty. Všechny provedené ekonomické výpočty jsou v Příloze 8. Okresní bytové družstvo Kladno je plátcem DPH a všechny ekonomické výpočty tak budou provedeny s cenami bez DPH. Z pohledu investora byla stanovena diskontní sazba 6 %. Hodnota v sobě nese meziroční inflaci⁷⁴, riziko a očekávaný výnos. Jako alternativní investiční příležitosti využívá OBD Kladno podílové fondy a akcie s odhadovaným průměrným výnosem 3 %. Zvolená hodnota diskontu je tedy odpovídající.

V ekonomických výpočtech není uvažováno financování úvěrem nebo jinou půjčkou, neboť je ve fondu oprav hodnoceného BD dostatek finančních prostředků pro pokrytí investičních a provozních nákladů všech navržených variant.

Ceny energií byly stanoveny na základě nejaktuálnějších dat k dubnu 2021 následovně:

Cena el. energie – NT ⁷⁵	2,31	Kč/kWh
Cena el. energie – VT	2,43	Kč/kWh
Cena el. energie – distribuční složka	933,91	Kč/měsíc
Výkupní cena el. energie	1,50	Kč/kWh
Zelený bonus z KVET	1,477	Kč/kWh
Cena zemního plynu	1,2405	Kč/kWh
Sazba za rezervované množství ZP	111 834,15	Kč/rok

Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Do 31. 12. 2021 je základní sazba zeleného bonusu 1 022,- Kč za vyrobenou MWh el. energie a doplňková sazba 455 Kč za vyrobenou MWh el. energie.

Cena za rezervovaný elektrický příkon činí 413 Kč bez DPH za každý Ampér.

⁷⁴ K březnu 2021 byla hodnota meziroční inflace 2,3 %.

⁷⁵ Distribuční sazba D56d – Dvoutarifová sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. dubna 2005 a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin.

Dle informací stavebního úřadu ve Slaném město nepožaduje na pozemcích v jeho vlastnictví po provozovateli teplovodu (RDK Servis, s.r.o.) vykopání teplovodního potrubí v případě, že se bytový dům odpojí a teplovod nemá další využití. Stavební úřad požaduje pouze vyjádření od provozovatele teplovodu. Přípojku teplovodu tak stačí zaslepit u paty domu a popřípadě se demontuje výměňiková stanice, což není případ hodnoceného BD. Náklady na odpojení od SZTE byly po konzultaci s Ing. Jakubem Maščuchem, Ph.D., z UCEEB ČVUT, stanoveny na 150 tis. Kč bez DPH. Částka zahrnuje náklady provozovatele teplovodu na zaslepení potrubí a vyregulování soustavy.

Ekonomická životnost všech variant byla stanovena na 20 let, dlouhodobý růst ceny tepelné energie ze SZTE byl stanoven na 2 %. Růst ceny elektrické energie je uvažován 5 % pro nákup i prodej a růst ceny plynu 3 % s respektováním aktuálního vývoje cen na trhu. V kapitole 6.2 jsou pak zpracovány citlivostní analýzy na různé scénáře vývoje cen.

5.3.2. Přepočet spotřeby zemního plynu

Přepočet spotřeby zemního plynu ze spotřebovaného objemu na množství dodané energie se provede podle vzorce:

$$Q_{ZP} = V_p \cdot k \cdot H_s \quad [\text{kWh}] \quad (5.5)$$

kde:

- Q_{ZP} [kWh] je spalné teplo,
- V_p [m³] je objem spáleného plynu,
- k [-] je přepočtový objemový součinitel; závisí na provozní teplotě a tlaku plynu, volíme hodnotu 1,
- H_s [kWh·m⁻³] je objemové spalné teplo, dle protokolu o jakosti dodavatele zemního plynu 10,662 kWh·m⁻³.⁷⁶

⁷⁶ Kvalita plynu. *GasNet, s.r.o.* [online]. 2021 [cit. 2021-04-15].

5.4. Kotelna s plynovými kotli

V Tab. 5.2 jsou shrnuty výsledky ekonomických výpočtů pro navrhovanou variantu kotelny s plynovými kotli. Provozní náklady jsou převážně tvořeny spotřebovaným zemním plynem. Další náklady na provoz jsou spojeny se servisními úkony, pravidelnými revizními prohlídkami, dozorem kotelny, čištěním a údržba spalinových cest, pojištění, pohotovostní a havarijní služby atd. Roční částka na tyto provozní náklady byla stanovena na 2 % z celkové ceny investice a ve výpočtech nebyl uvažován její růst v čase. Spotřeba elektrické energie v kotelně byla ve výpočtech zanedbána, neboť je primárně tvořena spotřebou oběhových čerpadel a její zahrnutí do výpočtů by výsledek takřka neovlivnilo. V 15. roce je preventivně počítáno s reinvesticí ve výši 50 % z celkové ceny investice do technologické části kotelny, a to s částkou 288 000,- Kč.

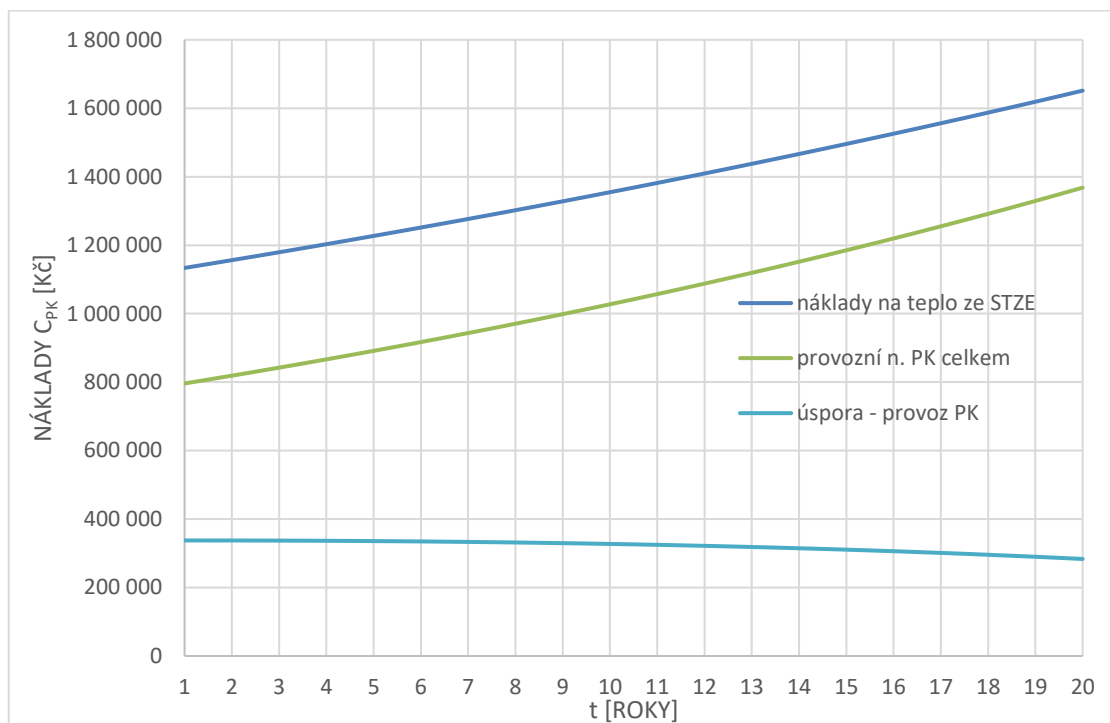
VLASTNÍ KOTELNA S PLYNOVÝMI KOTLI		
Celková spotřeba tepla z PK	1 679,51	GJ
Celková spotřeba el. energie PK	-	MWh
Spotřeba plynu	47 260,70	m ³
Objemové spalné teplo	10,66	kWh·m ⁻³
Spotřeba plynu	503,89	MWh
Investice kotelna	1 855 000,00	Kč
Odpojení od SZTE	150 000,00	Kč
Spotřeba zemního plynu	736 932,88	Kč
Obsluha, údržba, opravy, revize	37 100,00	Kč
Náklady na teplo ze SZTE	1 111 428,05	Kč
Roční úspora na nákladech z domácí kotelny	337 395,17	Kč
NPV _{PK} – vlastní kotelna	-13 603 504,76	Kč
NPV _{SZTE} – setrvání u SZTE	- 16 321 545,18	Kč
Cena za 1 GJ tepla z PK v 1. roce	474,03	Kč
Cena za 1 GJ tepla z PK ve 20. roce (diskontovaná)	814,57	Kč
Cena 1 GJ tepla ze SZTE, aby NPV _{PK} = NPV _{SZTE}	506,75	Kč

Tab. 5.2 Shrnutí ekonomických výpočtů pro PK

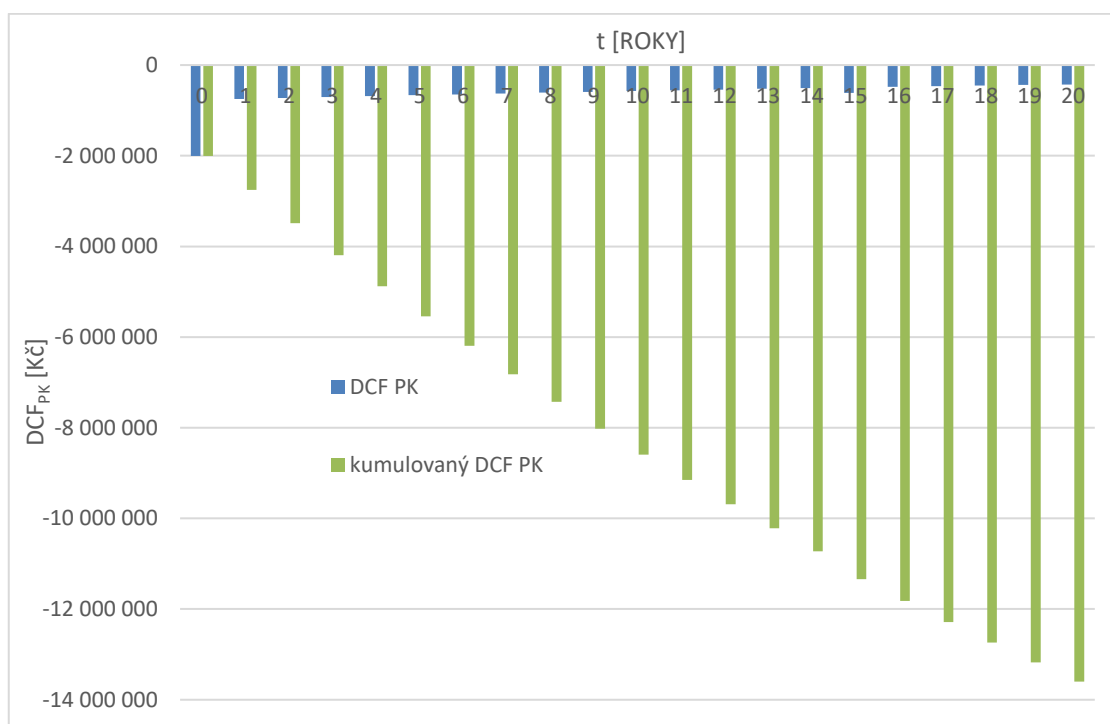
Vzhledem zápornému CF po celou dobu životnosti nelze vnitřní výnosové procento vypočítat. V tomto případě IRR nemá řešení. Totéž platí pro reálnou a prostou dobu návratnosti.

Na Obr. 5.2 je znázorněn vývoj provozních nákladů plynové kotelny po dobu předpokládané doby provozu v porovnání s vývojem nákladů na teplo odebírané ze SZTE. Vzhledem k tomu, že je uvažovaný růst ceny plynu vyšší než růst ceny tepla ze SZTE, úspora dosažená provozem PK mírně klesá. Úspora na provozních nákladech vlastní

kotelny je oproti SZTE necelých 30 % na začátku provozu a cca 17 % na konci plánované životnosti. NPV je pro kotelnu s PK vyšší než NPV pro SZTE a je tedy ekonomicky výhodnější. Z vzniklé roční úspory na provozních nákladech by se investice do domácí kotelny zaplatila za necelých 6 let. Vývoj diskontovaných hotovostních toků po celou dobu životnosti domácí kotelny s PK je zobrazen na Obr. 5.3.



Obr. 5.2 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti PK



Obr. 5.3 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – PK

5.5. Kotelna s tepelnými čerpadly

Shrnutí výsledků ekonomických výpočtů pro variantu kotelny s tepelnými čerpadly obsahuje Tab. 5.3. Do investičních nákladů jsou mimo investice do samotné technologie a nákladů na odpojení od SZTE zahrnuty náklady na čtyři 63 A přípojky. Náklady na spotřebovanou elektrickou energii byly vypočteny v poměru 22/24 pro nízký tarif a 2/24 pro vysoký tarif, tzn. že bylo zanedbáno spínání HDO.

Nabídka dodavatele TČ obsahovala mj. čtyři možnosti servisu během doby životnosti. První možnost byla, že si revize a údržbu zajišťuje zákazník svépomocí. Ve druhém případě by dodavatel zajišťoval pouze povinné revize chladiva za částku 25 946,28 Kč ročně. Jednou ročně by byla provedena revize úniku chladiva, kontrola nastavení topného zdroje a vyčištění filtrů. Ve třetím případě by dodavatel zajišťoval povinné revize, kontrolní činnost a údržbu, kdy dvakrát ročně by proběhla fyzická kontrola celého zařízení, revize úniku chladiva, revize el. zařízení, revize tlakových nádob, revize a kontrola hasících přístrojů, online dispečink vč. internetového připojení a vedení provozního deníku. Náklady na tuto variantu jsou 106 104,13 Kč ročně. Poslední variantou by byla garance ze strany dodavatele po dobu 20 let, kdy dodavatel přebírá veškeré náklady na revize, údržbu a servis, tzn. vše co obsahuje varianta tři plus zajištění oprav, servisu vč. všech náhradních dílů. Náklady na variantu č. 4 jsou 212 207,44 Kč ročně. V našem případě byla do ekonomických výpočtů zahrnuta možnost servisu č. 3. V 15. roce je pak počítáno s reinvesticí 7 x 70 000 Kč bez DPH na výměnu kompresorů všech jednotek TČ v kaskádě, nebo na jinou případnou reinvestici do technologické části kotelny.

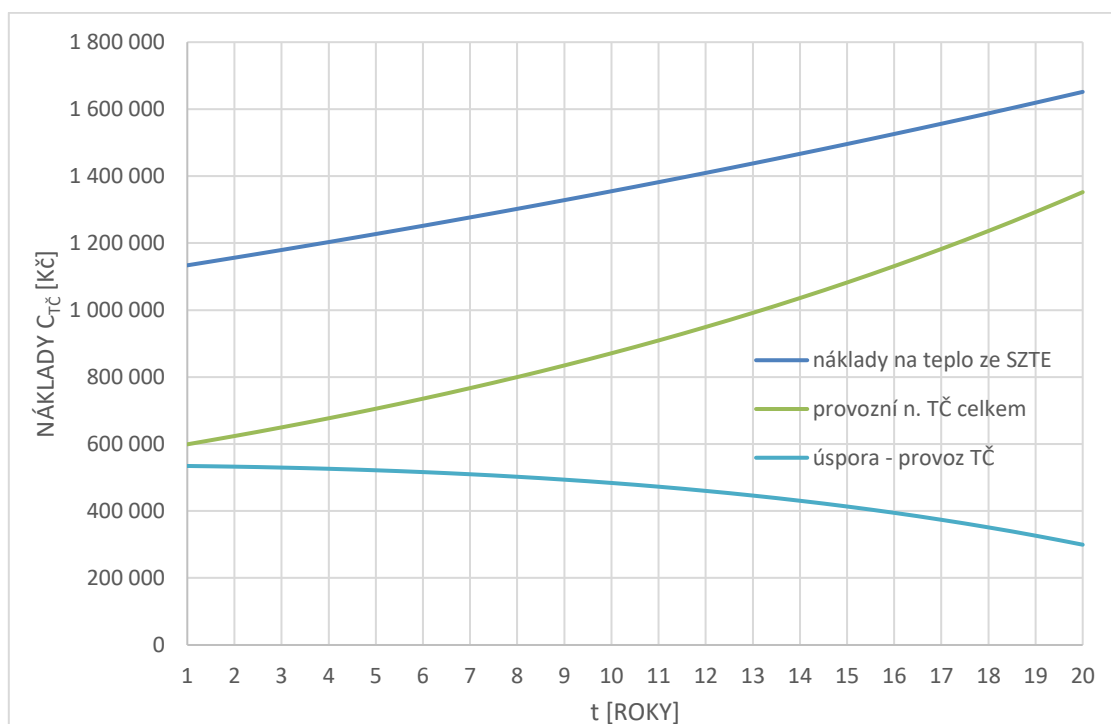
VLASTNÍ KOTELNA S TEPELNÝMI ČERPADLY		
Celková spotřeba tepla z TČ	1 608,71	GJ
Celková spotřeba el. energie TČ	183,00	MWh
Investice kotelna	4 465 588,00	Kč
Přípojka 4x63 A	104 132,23	Kč
Odpojení od SZTE	150 000,00	Kč
Spotřeba el. energie	469 605,80	Kč
Obsluha, údržba, opravy, revize	106 104,13	Kč
Náklady na teplo ze SZTE	1 111 428,05	Kč
Roční úspora na nákladech z domácí kotelny	513 436,25	Kč
NPV _{TČ} – vlastní kotelna	- 14 656 252,04	Kč
NPV _{SZTE} – setrvání u SZTE	- 16 321 545,18	Kč
Cena za 1 GJ tepla z TČ v 1. roce	372,47	Kč
Cena za 1 GJ tepla z TČ ve 20. roce (diskontovaná)	840,49	Kč
Cena 1 GJ tepla ze SZTE, aby NPV _{TČ} = NPV _{SZTE}	545,97	Kč

Tab. 5.3 Shrnutí ekonomických výpočtů pro TČ

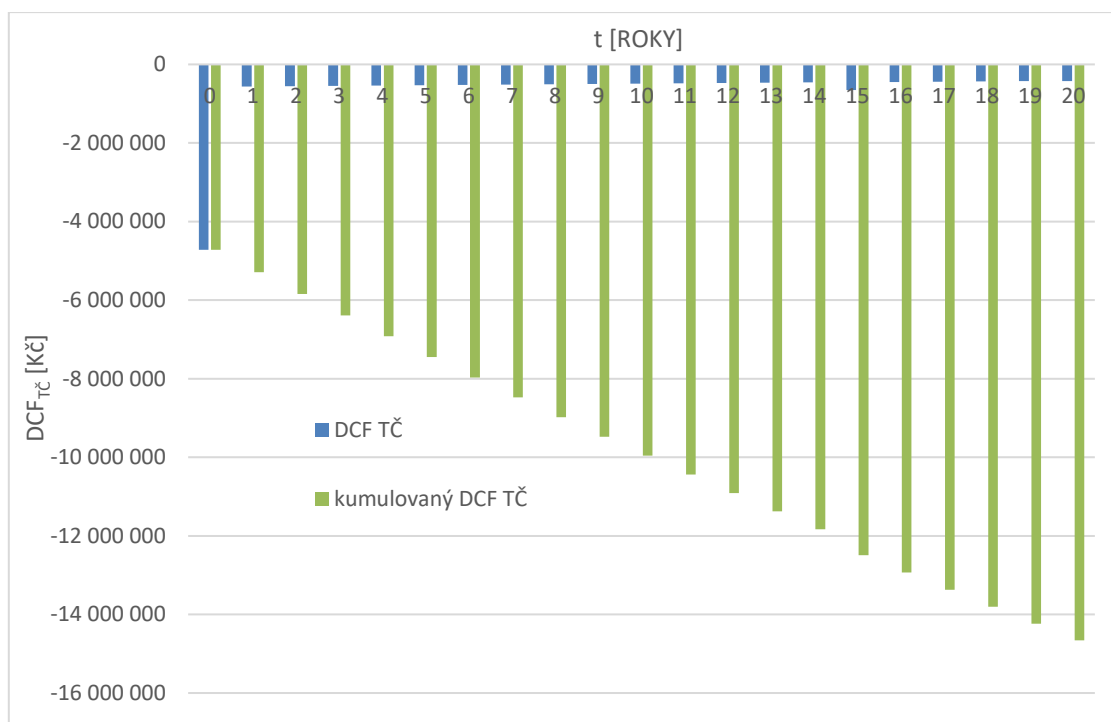
Vzhledem zápornému CF po celou dobu životnosti nelze vnitřní výnosové procento vypočítat. V tomto případě IRR nemá řešení, stejně tak prostá a reálná doba návratnosti.

Na Obr. 5.4 je znázorněn vývoj celkových provozních nákladů kotelny s tepelnými čerpadly během předpokládané doby provozu v porovnání s vývojem nákladů na teplo odebírané ze SZTE. Vzhledem k prudšímu růstu ceny elektrické energie oproti růstu ceny tepla ze SZTE se dosažená úspora na nákladech na teplo postupně zmenšuje. V počátku provozu vlastní kotelny je úspora na provozních nákladech cca 47 % oproti SZTE. Na konci plánované životnosti pak úspora klesá na cca 18 %. NPV je pro kotelnu s TČ vyšší než NPV pro SZTE a je tedy ekonomicky výhodnější. Z vzniklé roční úspory na provozních nákladech by se investice do domácí kotelny zaplatila za necelých 9 let. Vývoj diskontovaných hotovostních toků pro domácí kotelnu s TČ po celou dobu životnosti je zobrazen na Obr. 5.5.

5. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANT



Obr. 5.4 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti TČ



Obr. 5.5 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – TČ

5.6. Kotelna s kogeneračními jednotkami

Výsledky ekonomických výpočtů pro vlastní kotelnu se dvěma kogeneračními jednotkami shrnuje Tab. 5.4. Ze všech tří navrhovaných variant se jedná o investičně nejvýhodnější řešení, na druhou stranu se zde oproti předchozím variantám počítá se ziskem vzniklým z prodeje vyrobené elektrické energie. Pro jednoduchost bylo ve výpočtech uvažováno, že veškerá vyrobená elektrická energie bude prodána do distribuční sítě. Další variantou pro výpočet by mohla být úvaha, že by byla pokryta spotřeba elektrické energie společných prostor domu (odhad 18,5 MWh ročně), popř. spotřeba el. energie v samotných bytech (pro 72 b.j. odhad 250 - 275 MWh ročně). Zde však nastává problém s určením bilance mezi aktuální výrobou a spotřebou, protože nemáme k dispozici naměřené údaje spotřeby el. energie v čase. Znamená to, že ne všechna vyrobená elektrická energie by byla bez akumulace spotřebována v objektu, a ne všechna energie by byla prodána. Možnou metodou odhadu spotřeby by bylo použití normalizovaných typových diagramů dodávek elektřiny dostupných na webu OTE, a.s.

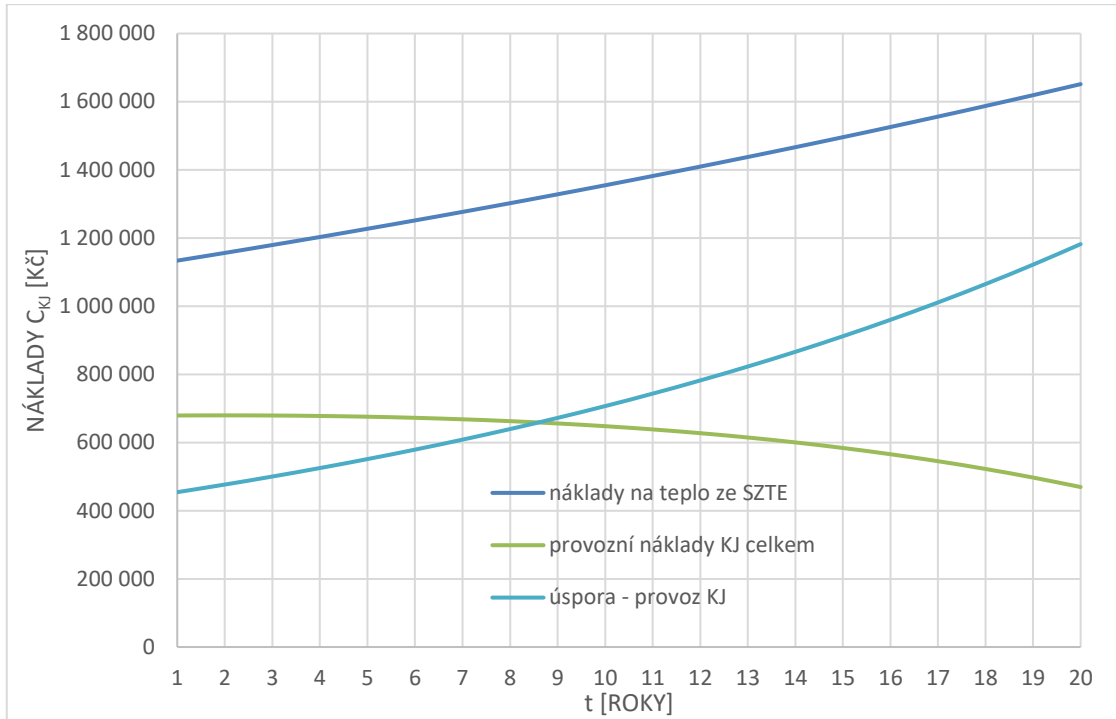
Náklady na spotřebované palivo jsou pro kotelnu s KJ značně vyšší než u předchozích dvou variant, avšak příjmy z prodeje el. energie vylepšují ekonomickou bilanci. Náklady na obsluhu, servis, údržbu a revize jsou stanoveny výrobcem na 0,50 Kč na vyrobenou kWh elektrické energie. V 10. roce je počítáno se střední opravou, což zahrnuje reinvestici ve výši 50 % původní částky vynaložené na technologii kotelny.

VLASTNÍ KOTELNA S KOGENERAČNÍMI JEDNOTKAMI		
Celková spotřeba tepla z KJ	1 679,51	GJ
Celková výroba el. energie KJ	258,30	MWh
Spotřeba plynu	91 195,20	m ³
Objemové spalné teplo	10,66	kWh·m ⁻³
Spotřeba plynu	972,32	MWh
Investice kotelna	6 799 110,00	Kč
Odpojení od SZTE	150 000,00	Kč
Přípojka 150 A	61 983,47	Kč
Spotřeba zemního plynu	1 318 037,27	Kč
Obsluha, údržba, opravy, revize	129 150,00	Kč
Příjem z prodeje el. energie	768 959,10	Kč
Náklady na teplo ze SZTE	1 111 428,05	Kč
Roční úspora na nákladech z domácí kotelny	433 199,89	Kč
NPV _{KJ} – vlastní kotelna	- 15 456 682,08	Kč
NPV _{SZTE} – setrvání u SZTE	- 16 321 545,18	Kč
Cena za 1 GJ tepla z KJ v 1. roce	404,48	Kč
Cena za 1 GJ tepla z KJ ve 20. roce (diskontovaná)	279,48	Kč
Cena 1 GJ tepla ze SZTE, aby NPV _{KJ} = NPV _{SZTE}	575,78	Kč

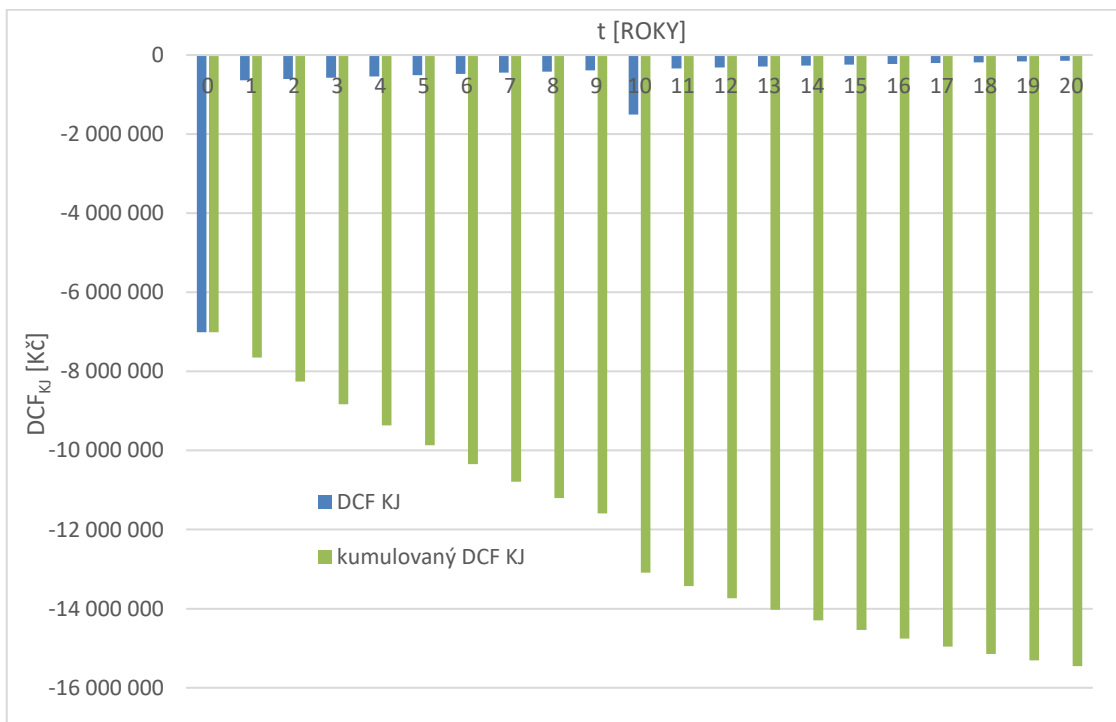
Tab. 5.4 Shrnutí ekonomických výpočtů pro KJ

CF je po celou dobu životnosti záporné stejně jako u předchozích dvou variant a nelze tak vypočítat ani vnitřní výnosové procento, ani prostou a reálnou dobu návratnosti.

Na Obr. 5.6 je znázorněn vývoj celkových provozních nákladů kotelny s kogeneračními jednotkami po hodnocenou dobu životnosti v porovnání s vývojem nákladů na teplo odebírané ze SZTE. Provozní náklady se postupem času snižují a dosažená úspora roste. Je to způsobeno větším meziročním nárůstem ceny elektrické energie oproti meziročnímu nárůstu plynu. Příjem z prodeje elektrické energie tedy roste rychleji než náklady na spotřebovávaný zemní plyn. Na počátku provozu kogeneračních jednotek je úspora na provozních nákladech cca 40 % oproti SZTE a na konci plánované životnosti pak úspora vzrůstá na hodnotu 72 %. I přes nejvyšší investiční náklady a vysokou reinvestici v 10. roce vychází NPV pro kotelnu s KJ těsně vyšší než NPV pro SZTE a je tedy ekonomicky výhodné. Vývoj diskontovaných hotovostních toků pro domácí kotelnu s KJ po celou dobu životnosti je zobrazen na Obr. 5.7.



Obr. 5.6 Vývoj provozních nákladů a úspory po dobu životnosti KJ



Obr. 5.7 Diskontovaný CF v jednotlivých letech a kumulovaný DCF – KJ

6. ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ

6.1. Srovnání na základě výchozích předpokladů

V Tab. 6.1 jsou shrnuty výsledky ekonomických výpočtů navržených variant vypočtené na základě výchozích předpokladů uvedených v kapitole 5.3. Z hlediska investičních nákladů vychází jako nejlevnější řešení zásobování BD tepelnou energií pořízení plynové kotelny. Kotelna s tepelnými čerpadly je téměř 2,5 x nákladnější na pořízení než varianta kotelny s PK, kotelna s kogeneračními jednotkami pak dokonce 3,5 x nákladnější. Naopak z hlediska provozních nákladů vychází PK nejhůře a TČ nejlépe, kdy jsou roční provozní náklady PK téměř o 200 tis. vyšší oproti TČ a o 100 tis. vyšší oproti KJ. Nejnižší cenu za GJ tepla tak dostaneme z kotelny s TČ.

Klíčovým rozhodovacím kritériem je v tomto případě NPV, neboť zohledňuje veškeré provozní výdaje a příjmy během celé doby životnosti navrhovaných variant. Nejnižší hodnoty nabývá pro kotelnu s PK a z hlediska dlouhodobého provozu se proto jedná o ekonomicky nejlepší řešení. NPV pro kotelny s TČ a KJ taktéž nabývají vyšší hodnoty než NPV pro SZTE a oba návrhy jsou tak ekonomicky rentabilní. Všechny navržené varianty lze tedy za uvažovaných výchozích předpokladů doporučit investorovi k realizaci, a to v pořadí PK, TČ a KJ.

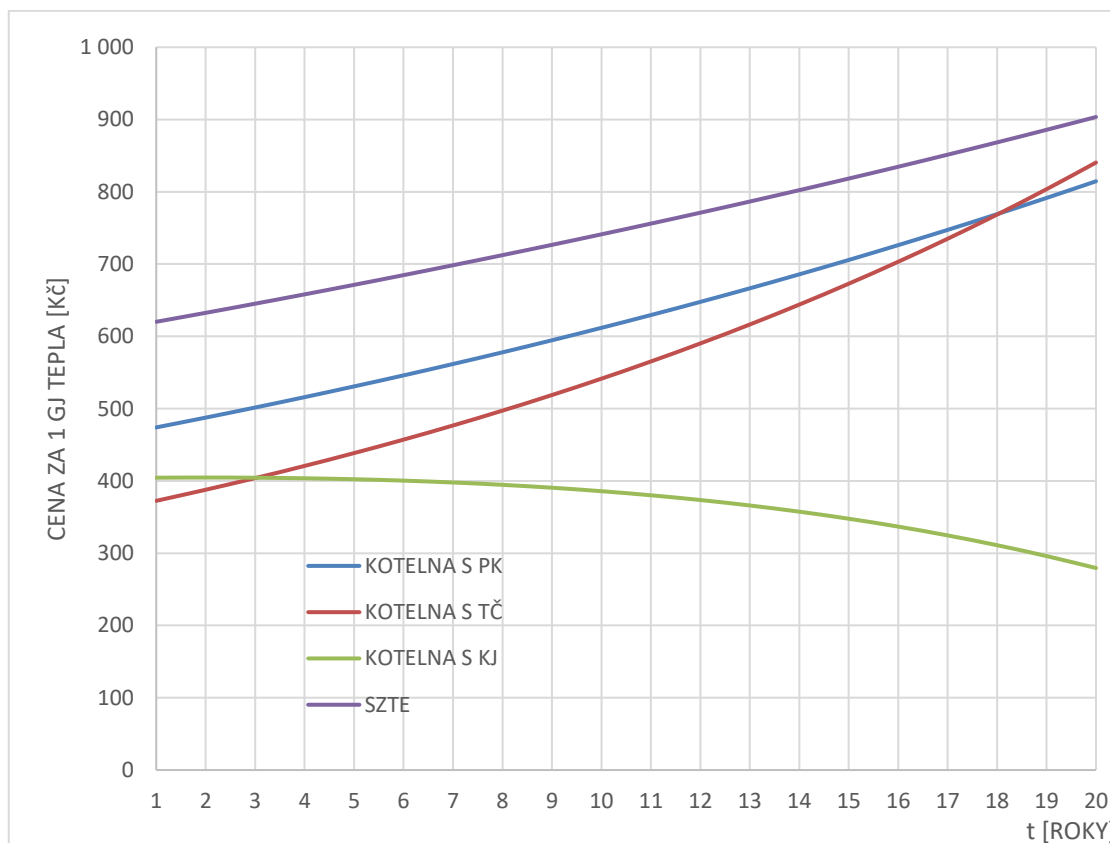
	PK	TČ	KJ
Investiční náklady	2 005 000,00 Kč	4 719 720,23 Kč	7 011 093,47 Kč
Provozní náklady	774 032,88 Kč	575 709,93 Kč	678 228,17 Kč
Roční úspora oproti SZTE	337 395,17 Kč	513 436,25 Kč	433 199,89 Kč
Cena za 1 GJ tepla v nul-tém roce	460,87 Kč	357,87 Kč	403,82 Kč
Cena za 1 GJ tepla, aby $NPV_{SZTE} = NPV_{PK, TČ, KJ}$	506,75 Kč	545,97 Kč	575,78 Kč
$NPV_{PK, TČ, KJ}$	- 13 603 504,76 Kč	- 14 656 252,04 Kč	- 15 456 682,08 Kč
NPV_{SZTE}		- 16 321 545,18 Kč	

Tab. 6.1 Srovnání navržených variant

Dále byla vypočtena cena za 1 GJ tepelné energie, při které by se NPV navržených variant rovnala NPV pro SZTE. Jinými slovy se jedná o cenu za 1 GJ nakupovaného tepla, při které by se vyplatilo setrvat u SZTE. Výchozí cena tepla ze SZTE, se kterou bylo počítáno, je 608,- Kč za 1 GJ tepla. Za předpokladu, že by dodavatel snížil cenu za 1 GJ tepla pod ceny uvedené v 5. řádce Tab. 6.1, by bylo setrvání u SZTE ekonomicky

výhodné. Nutno také podotknout, že vybudováním domácí kotelny dojde i ke snížení celkové roční spotřeby tepelné energie o cca 10 % vzhledem k eliminaci ztrát v přivodním potrubí SZTE. I tato skutečnost je ve výpočtech NPV zohledněna.

Na Obr. 6.1 je graf vývoje cen za 1 GJ tepelné energie během hodnocené doby. Nejprudší růst ceny tepla je u kotelny s TČ, neboť je předpokládán rychlejší růst ceny elektrické energie než růst ceny plynu a ceny tepla ze SZTE. V 18. roce pak cena za 1 GJ tepla z kotelny s TČ vyrovná cenu za 1 GJ tepla z PK. Jediný pokles ceny za 1 GJ tepla v čase je u kotelny s KJ, což je způsobeno rostoucím příjmem za prodanou elektrickou energii do sítě. Po celou dobu životnosti navržených variant je cena za 1 GJ tepla ze SZTE nejvyšší.

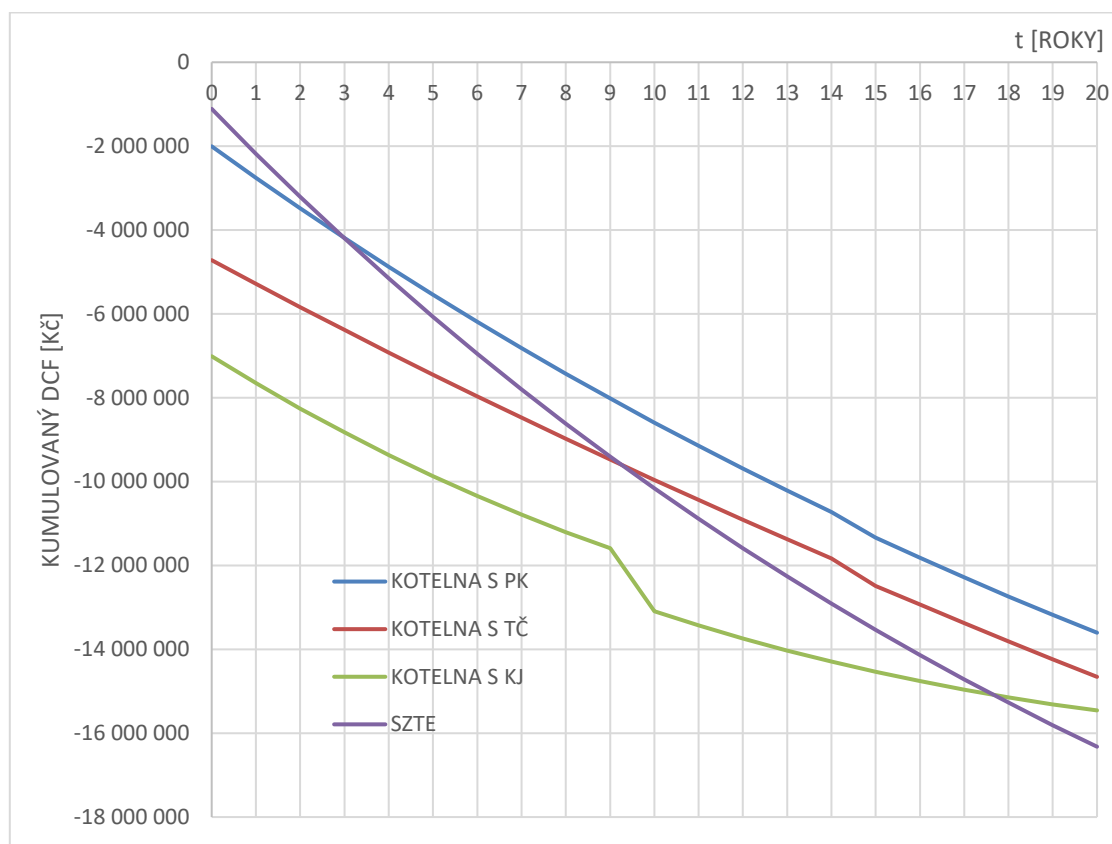


Obr. 6.1 Vývoj cen za GJ tepla z navrhovaných variant a ze SZTE

Na Obr. 6.2 je vykreslen vývoj kumulovaného DCF po celou dobu životnosti všech hodnocených zdrojů tepla. Průsečíky křivky kumulovaného DCF pro SZTE s křivkami DCF navrhovaných variant značí časový okamžik, kdy se dosaženou kumulovanou úsporou pokryjí investiční náklady na vlastní kotelnu. V případě PK leží tento průsečík kolem časového okamžiku 3 let od začátku provozu, u TČ je to pak bod kolem 9 let a v případě KJ je to cca 17,5 roku. U křivky KJ je patrný skok DCF v 10. roce, což je

6. ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ

způsobeno značnou plánovanou reinvesticí do technologické části zařízení (u PK a TČ je též patrný mírný skok DCF v 15 roce).



Obr. 6.2 Kumulovaný DCF pro navržené varianty a pro SZTE

6.2.Srovnání na základě citlivostních analýz

Výsledky ekonomických výpočtů v předchozí kapitole vycházejí z konstantních vstupních předpokladů, které se však mohou časem měnit. Proto byly zpracovány citlivostní analýzy respektující různé scénáře vývoje. První citlivostní analýza (viz graf na Obr. 6.3) sleduje změnu NPV v závislosti na změně ceny primárního paliva, tedy zemního plynu v případě PK a KJ a elektrické energie v případě TČ. Druhá citlivostní analýza (viz graf na Obr. 6.4) sleduje změnu NPV v závislosti na změně vstupních investičních nákladů na vybudování vlastní kotelny. Poslední, třetí citlivostní analýza (viz graf na Obr. 6.5) pak sleduje vývoj NPV v závislosti na míře meziročního růstu ceny primárního paliva. Ve všech třech zmíněných případech byla ve společném grafu vynesena NPV pro různé scénáře vývoje cen ze SZTE. Výsledky tak lze srovnat v závislosti na dvou různých proměnných (vícedimenzionální citlivostní analýza). Průsečík křivky NPV dané varianty s přímkou NPV SZTE značí bod, kdy se daná NPV rovnají. Průsečík křivek s osou y pak značí referenční hodnotu NPV, kdy jsou vstupní hodnoty neměnné.

Tabulkové hodnoty výše zmíněných citlivostních analýz, z nichž jsou grafické závislosti sestaveny, jsou v Příloze 8.

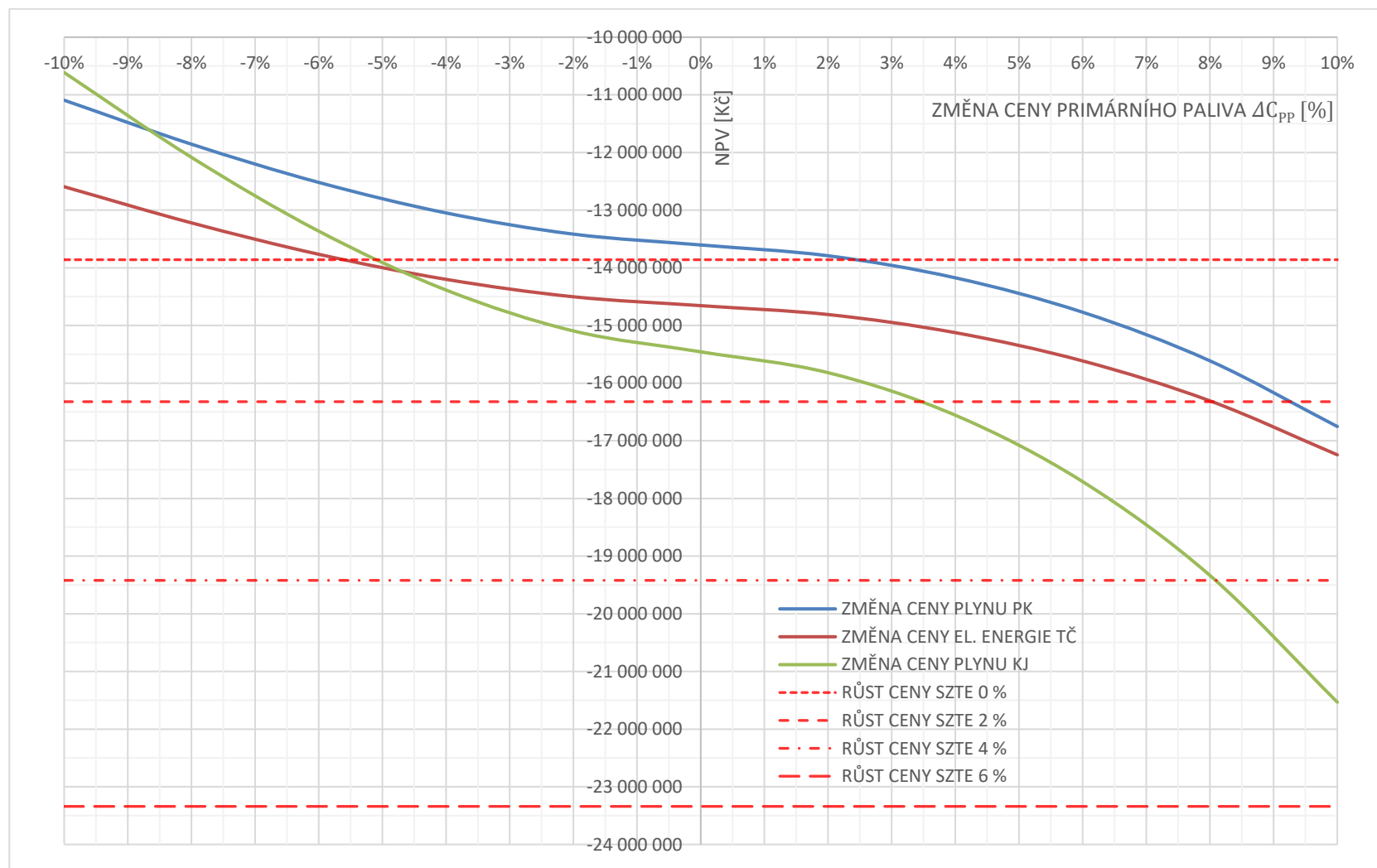
Cena primárního paliva pro domácí kotelnu se může lišit nejen vzhledem k časovému okamžiku, kdy by mohl být projekt realizován, ale také vzhledem k různým tarifním a smluvním podmínkám mezi dodavatelem paliva a zákazníkem. Proto byla zpracována citlivostní analýza sledující změnu NPV v závislosti na ceně paliva v době realizace. Z grafické závislosti na Obr. 6.3 lze odečíst průsečíky přímek SZTE pro různé vývoje cen tepla s křivkami NPV navrhovaných variant. Tento bod značí, o kolik procent může být v okamžiku realizace dražší (popř. levnější) primární palivo pro domácí kotelnu, aby bylo setrvání u SZTE stejně výhodné, jako pořízení a provoz domácí kotelny (tedy aby byla NPV rovna). Pokud bude např. uvažovaný meziroční růst ceny tepla ze SZTE 2 %, tak cena el. energie spotřebovávaná TČ v nultém roce může oproti referenční částce vzrůst o 8 % z referenční částky 2,32 Kč/kWh na částku 2,52 Kč/kWh. Pak bude setrvání u SZTE stejně ekonomicky výhodné, jako vybudování vlastní kotelny s TČ. Navržené tři varianty lze v grafu srovnávat i mezi sebou. Křivky NPV reagují na změnu ceny paliva u každé varianty jinak. V případě zlevňování primárního paliva v době realizace nejcitlivěji reaguje NPV pro variantu s KJ, kdy její ekonomická výhoda se zlevňováním plynu prudce roste. I při stejném zlevnění primárního paliva ostatních variant vychází jako ekonomicky nejrentabilnější právě varianta s KJ. S nárůstem počáteční ceny primárního paliva je však efekt zcela opačný. V případě KJ by bylo pro zcela správný přístup navíc vhodné zohlednit ještě výkupní cenu elektřiny v době realizace, což by ovlivnilo výsledný průběh NPV.

Citlivostní analýza na výši investičních nákladů byla zpracována z důvodu, že ve skutečnosti investor může poptat několik dodavatelů stejné technologie, jejichž cenové nabídky se liší nebo z důvodu, že může mít zpracovaný rozpočet pouze omezenou dobu platnosti. V této práci jsou srovnávány pouze tři nabídky využívající odlišné technologie výroby tepelné energie a není mezi sebou srovnáno více nabídek stejné technologie. V grafu na Obr. 6.4 lze sledovat, za jakých investičních podmínek je varianta s danou technologií ještě výhodná. Pokud např. budeme uvažovat dlouhodobý meziroční růst ceny tepla ze SZTE 2 %, tak se varianta PK ekonomicky vyplatí i při nárůstu investičních nákladů o 17 %, což je více jak o 300 tis. Kč více oproti původní částce. Pro variantu TČ je za stejných podmínek růstu cen ze SZTE tento rovnostní bod kolem hodnoty 10,5 % a představuje částku zhruba o 470 tis. Kč vyšší, než je částka referenční. Do

6. ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ

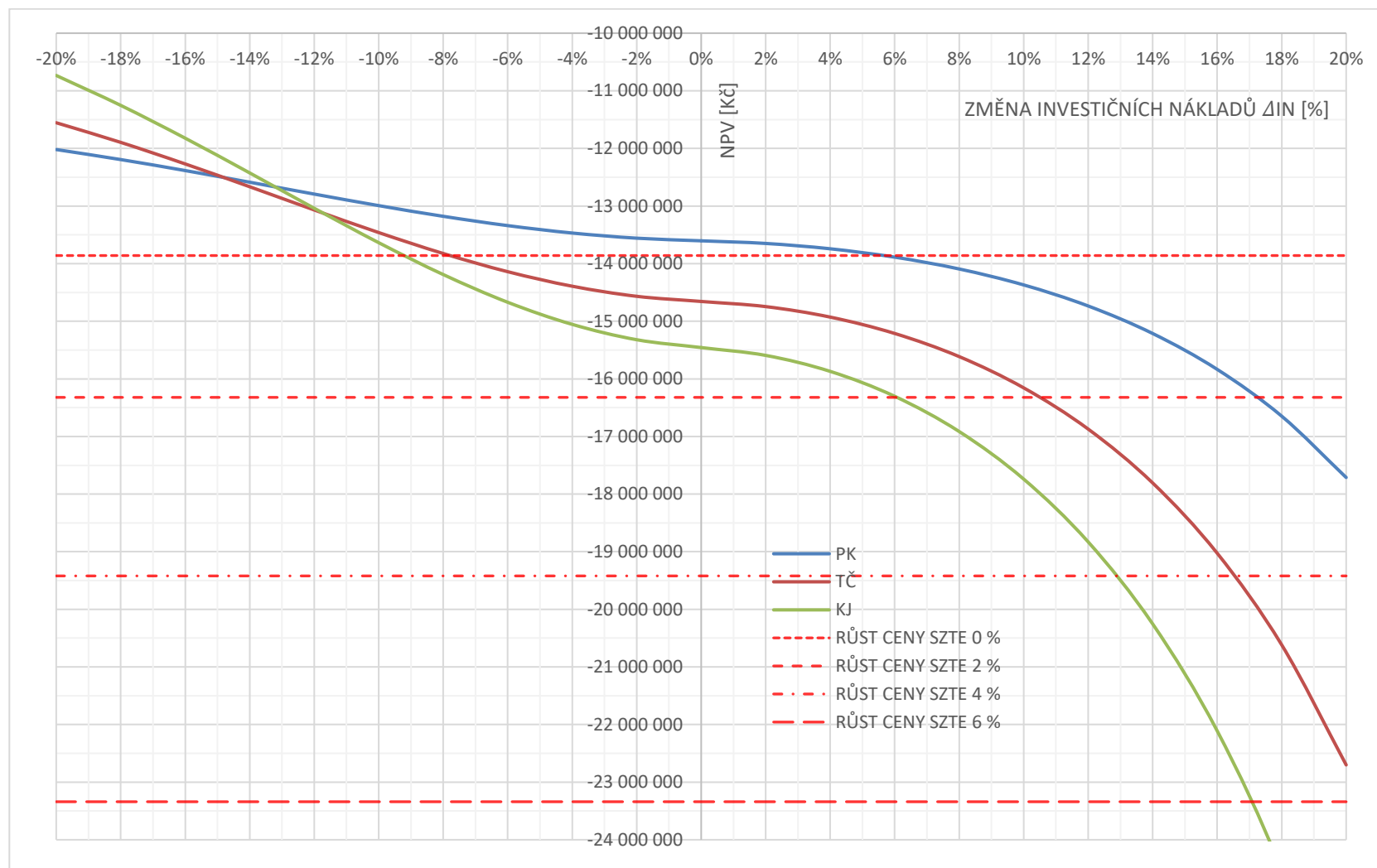
třetice si totéž uvedme i pro variantu KJ, která se ekonomicky vyplatí i v případě vzrůstu investičních nákladů o 6 % odpovídající nárůstu původní částky o 408 tis. Kč. Stejným způsobem lze mezi sebou srovnávat i navržené varianty, protože např. můžeme mít levnější nabídku na TČ, než je nabídka referenční a zároveň investičně nákladnější nabídku na PK. Pak mezi sebou stačí srovnat NPV odpovídající novým investičním nákladům. Pokud by třeba investiční náklady na vybudování vlastní kotelny s KJ byly nižší o více jak 13 %, stala by se varianta s KJ ekonomicky nejvýhodnější ze všech tří navržených variant. Nutno však podotknout, že graf není pro jiné nabídky obecně použitelný, neboť reflektuje pouze stejnou použitou technologii, jako je technologie v navržených referenčních variantách.

Protože je vývoj cen na dvacet let dopředu jen stěží přesně predikovatelný, byla zpracována citlivostní analýza pro různé scénáře růstu cen zemního plynu a elektrické energie. Dlouhodobá míra růstu cen zásadně ovlivňuje ekonomickou výhodnost investic a je proto nezbytné této skutečnosti věnovat pozornost. Míra meziročního růstu cen byla referenčně stanovena na 3 % pro zemní plyn, 5 % pro elektrickou energii a 2 % pro SZTE. V grafu na Obr. 6.5 jsou na ose x vyneseny pouze kladné procentuální hodnoty v rozmezí od 0 do 10 %, neboť se nepředpokládá, že by ceny dlouhodobě klesaly. Stejně jako v předchozích případech lze z grafu určit průsečíky přímek NPV SZTE pro různé vývoje cen tepla s křivkami NPV navrhovaných variant. Pokud budeme např. uvažovat dlouhodobý meziroční růst ceny tepla ze SZTE referenční hodnotu 2 %, bude průsečík s křivkou PK odpovídat hodnotě 5,3 %. Znamená to, že dlouhodobá míra růstu ceny zemního plynu může být maximálně 5,3 %, aby bylo stejně ekonomicky výhodné vybudování vlastní kotelny s PK, jako setrvání u SZTE. Pokud by eskalace ceny plynu byla větší, nebyl by projekt s vlastní plynovou kotelnou ekonomicky rentabilní. Stejný bod nalezneme pro míru růstu ceny zemního plynu 3,4 % v případě vlastní kotelny s KJ a pro míru růstu elektrické energie 6,8 % pro kotelnou s TČ. Opět lze srovnávat i varianty mezi sebou, ať už bude míra růstu ceny primárních paliv odlišná či stejná. Nejstrměji na změnu míry růstu ceny primárního paliva reaguje křivka KJ, nejméně pak křivka TČ.

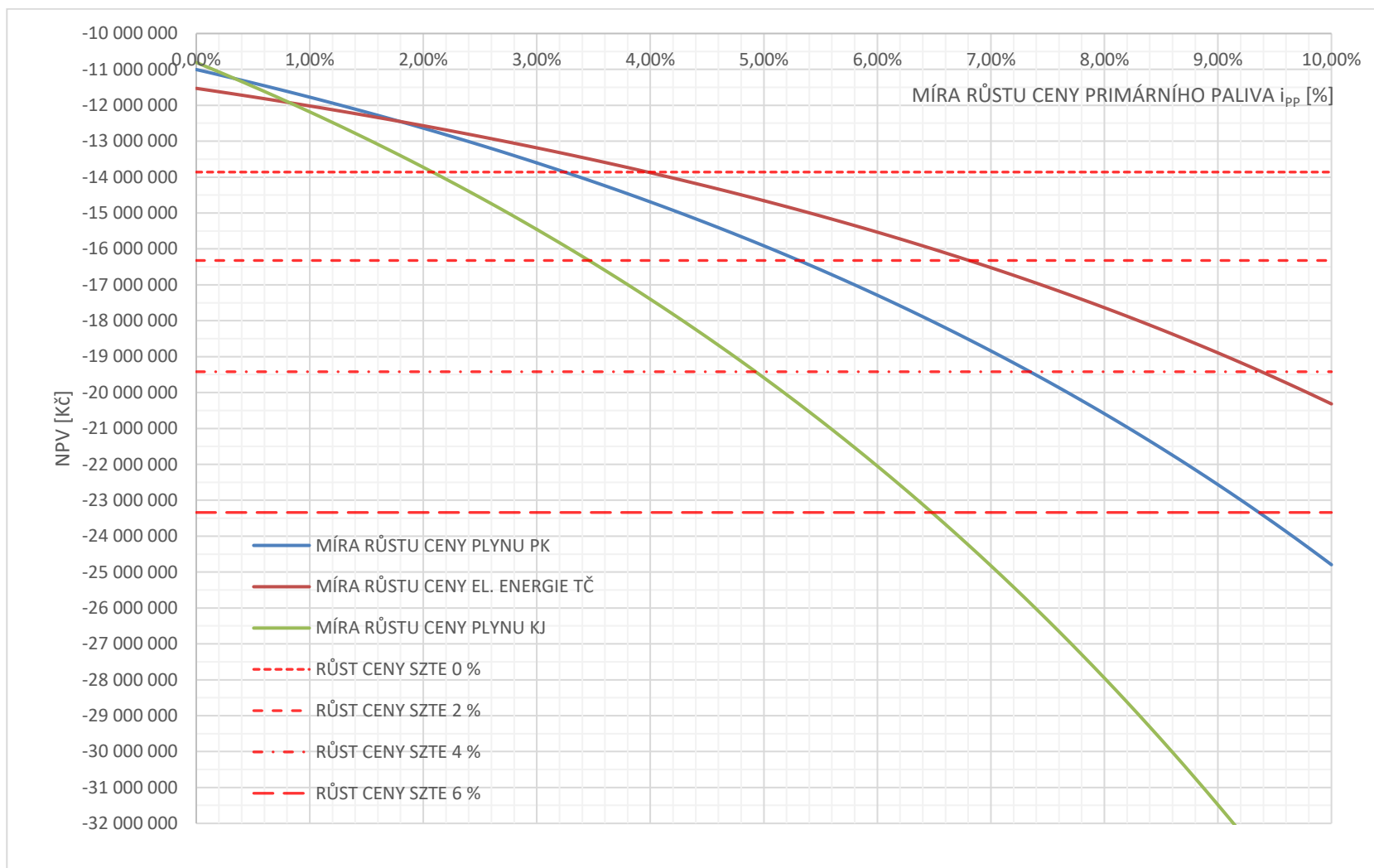


Obr. 6.3 Citlivostní analýza na změnu ceny primárního paliva

6. ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ



Obr. 6.4 Citlivostní analýza na změnu investičních nákladů



Obr. 6.5 Citlivostní analýza na míru růstu ceny primárního paliva

6.3. Další doporučení

Ačkoliv výše uvedené energeticko-ekonomické výsledky výpočtů hrají jednoznačně ve prospěch vybudování vlastní kotelny a odpojení od SZTE, je třeba zmínit další skutečnosti, které je nutno brát v úvahu a které by měly mít vliv na konečné rozhodování.

Z energeticko-ekonomického hlediska by instalaci vlastní kotelny mělo předcházet snížení tepelné ztráty objektu na minimum zateplením obvodového pláště budovy a výměnou oken. Pak může být výkon nového zdroje tepla v kotelně dimenzován na novou, menší, tepelnou ztrátu. Snížená tepelná ztráta odpovídá nižšímu instalovanému výkonu zdroje tepla a tím i nižším nákladům na jeho pořízení. V případě hodnoceného BD toto odpadá, neboť původní okna byla již vyměněna na okna plastová a výpočtem bylo ověřeno, že další dodatečné zateplení by nevedlo k úspoře, která by měla ekonomický význam.

Další pozornost je třeba věnovat stávající topné soustavě. Aby byl provoz vlastní kotelny napojené na stávající rozvody optimální, záleží na jejich technickém stavu. Zanesená potrubí a otopná tělesa vedou k teplotním anomáliím, nefunkční regulaci, hlučnosti a dalším problémům. Proto se doporučuje provést servisní zásahy pro optimální průtok topné vody a hydraulické vyvážení topné soustavy. O dlouhodobém bezproblémovém provozu rozhoduje taktéž kvalita topné vody. Rozhodně se nedoporučuje napustit topnou soustavu běžnou pitnou vodou, neboť je chemicky tvrdá a vede k rychlé tvorbě usazenin a vodního kamene.

Dodávka tepla ze SZTE je z hlediska odběratele nejspolehlivějším, nejpohodlnějším a bezstarostným řešením. Odběratel se nemusí takřka o nic starat a veškerá agenda spojená s dodávkou tepla je v rukou provozovatele SZTE. Subjekt spravující objekt každoročně zajistí odečet a rozúčtování nákladů na teplo a TV, které obyvatelé zaplatí nebo v případě placených záloh je dorovnán rozdíl v nákladech. S vybudováním vlastní bezproblémové a plně funkční kotelny souvisí mnoho kroků a starostí, jež je třeba podstoupit. Na samém začátku je nezbytná společná motivace a iniciativa ke změně ze strany samotných obyvatel domu. Najít společnou řeč však nebývá jednoduché, neboť mezi obyvateli bývají zástupci všech možných skupin napříč různými profesemi. Investiční záměr ze strany SVJ nebo bytového družstva je pak třeba předložit a schválit na společném shromáždění. Po upřesnění zadání se teprve mohou začít poptávat zhotovitelé.

V každém případě se doporučuje zpracování nezávislé studie pro důvěryhodnější podklady k zadání a posléze k samotnému rozhodování. Prodejci a dodavatelé kotelen často ke svým nabídkám dodávají svou vlastní studii úspor, kde často nejsou zohledněny všechny náklady vynaložené s investicí a provozem a uváděná návratnost tak bývá daleko od skutečnosti. Do studií úspor nebývají zahrnuty náklady s odpojením od SZTE, není zohledněn růst cen energií nebo není počítáno s dalšími náklady vynaloženými na provoz a servis domácí kotelny. Může být též poddimenzován výkon zdroje tepla za účelem snížení ceny technologie. Seriózní dodavatelé by všechny zmíněné skutečnosti měli ve svých studiích zmiňovat nebo o nich alespoň zákazníka informovat.

Po schválení investičního záměru je poté nutné vyřídit nezbytnou administrativu, jako je energetický posudek, rozptylová studie pro případný komín, projektová dokumentace, požárně bezpečnostní řešení stavby, stavební povolení, ukončení smlouvy se stávajícím dodavatelem tepla a další jednání s úřady. Pro kotelnu s kogeneračními jednotkami je pak navíc třeba zajistit licenci na výrobu el. energie, splnit připojovací podmínky k distribuční soustavě nebo zažádat o zřízení lokální distribuční soustavy. V případě, že dodavatel zajišťuje dodávku kotelny na klíč, výše zmíněné úkony zařizuje po udělení plné moci většinou on. Nezbytná je kvalitní smlouva o dílo mezi investorem a dodavatelem. V některých lokalitách pak může nastat problém se získáním stavebního povolení. Dle informací z OBD Kladno se některým BD usilujícím o vlastní plynovou kotelnu v lokalitě Slaný nepodařilo získat stavební povolení. Tutéž informaci jsem obdržel od jednoho z dodavatelů plynových kotelen. I s touto skutečností je třeba počítat a doporučuje se neupínat pouze na jednu technologii a je dobré být otevřený i alternativním variantám.

Po samotném vybudování domácí kotelny a jejím uvedení do provozu cesta za úsporou nekončí. Zejména v prvních letech provozu je důležité neusnout na vavřínech a sledovat novou skutečnou spotřebu. Pro optimální chod a dosažení kýžené úspory na provozních nákladech je naprosto klíčové správné nastavení a vyregulování nového zdroje tepla, jinak bude zdroj pracovat neefektivně a vyráběné teplo bude za vyšší náklady, než bylo předpokládáno. Možnou volbou je zde vzdálený dispečink, který provoz kotelny monitoruje a dokáže včas odhalit neoptimální chod či poruchy. Samozřejmě pak nesmíme zapomenout částku za takovou službu započítat do provozních nákladů ve studii úspor.

6. ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ A DOPORUČENÍ

Na některá úsporná opatření lze čerpat finanční prostředky různých dotačních programů, např. program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR “Nová zelená úsporám“. Na výměnu zdroje tepla se však dotace vztahuje pouze za předpokladu, že se nahrazuje starý zdroj zdrojem novým, úspornějším. V případě odpojení od SZTE nevzniká subjektu pro nárok na čerpání dotace. Dotaci pro bytové domy je dále možné získat na zateplení obvodových stěn, zateplení střechy a podlahy na terénu, výměnu oken a dveří, termické a fotovoltaické systémy nebo systémy pro využívání odpadního tepla. V případě hodnoceného BD by byly investiční náklady spojené s výstavbou vlastní kotelny hrazeny ze společného fondu oprav. Žádné jiné financování by využito nebylo.

7. ZÁVĚR

7.1. Závěrečné shrnutí

Impulzem ke zpracování diplomové práce pro mě byla cenová nabídka na dodávku tepelných čerpadel pro vytápění a ohřev TV bytového domu ve Slaném, kterou jsem k nahlédnutí obdržel od Okresního bytového družstva v Kladně. Nabídka obsahovala mj. studii úspor slibující návratnost investice v řádu několika málo let. Po podrobnějším prozkoumání jsem objevil několik nejasností a dalších skutečností, které nabídka a příložená studie nezohledňovaly. Cílem práce tak bylo zpracování zcela nezávislé energetické studie pro zmíněný bytový dům a návrh a srovnání různých zdrojů tepla pro účely zásobování domu tepelnou energií.

Na samém počátku jsem se věnoval problematice hodnocení energetické náročnosti budov z hlediska platné legislativy. V úvodu první kapitoly jsou proto popsány klíčové části zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a vyhlášky č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, a to se zaměřením na bytové domy.

V dalším kroku bylo nutné provést kompletní analýzu stávajícího stavu budovy a její spotřebu energie. Od OBD Kladno jsem obdržel podklady v podobě původní stavební dokumentace a data o spotřebách tepla pro vytápění a spotřeby TV z minulých let. Objekt jsem taktéž navštívil osobně, abych pořídil fotodokumentaci a zaznamenal si další potřebné údaje. Dále jsem od společnosti RDK servis, s.r.o. obdržel technické informace o blokové kotelně a rozvodech tepla zásobující hodnocený objekt a přilehlé sídliště. Na základě získaných podkladů jsem si vytvořil 3D model budovy, odkud jsem odečetl plochy stavebních konstrukcí a rozdělil si objekt do zón. Skladby stavebních konstrukcí z hlediska šíření tepla a vodní páry byly posouzeny v programu Teplo 2017 EDU od K-CAD, spol. s r.o. Do výpočtů jsem rovnou zahrnul i variantu s případným dodatečným zateplením o celkové tloušťce 180 mm, aby bylo k dispozici pozdější srovnání se stávajícím stavem. Pak už bylo možné vypočítat potřebné teplo na vytápění se zohledněním tepelné ztráty budovy, ztrát větráním, solárních a pasivních tepelných zisků. Dle nejčastěji používaných metodik jsem vypočítal potřebu TV a množství tepelné energie na její přípravu, vypočítal tepelný výkon pro ohřev TV a navrhl doporučenou velikost zásobníku TV dle denního profilu spotřeby TV. Provedené výsledky výpočtů jsem posléze

srovnal s hodnotami skutečných spotřeb, abych optimalizoval následný návrh tepelného výkonu zdroje tepla. Jelikož se hodnoty lišily v jednotkách procent, nebylo nutné hodnoty pro výpočet dále korigovat. Taktéž jsem zohlednil snížení tepla potřebného na ohřev TV v případě, že by byla voda ohřívána v domácí kotelně, neboť by zde oproti stávajícímu stavu odpadly ztráty v rozvodu mezi blokovou kotelnou a patou domu. Dodatečné zateplení domu se ukázalo jako ekonomicky nevýhodné a výchozí navrhovaný tepelný výkon zdroje tepla pro vytápění a ohřev TV je 174 kW, což je hodnota rovna tepelné ztrátě objektu.

Ve druhé kapitole čtenáře seznamuji s možnostmi zásobování bytového domu tepelnou energií vzhledem k současným trendům. Kapitola je podrobně věnována soustavě zásobování tepelnou energií a nastiňuji problémy, se kterými se teplárenství dnes setkává vč. vývoje cen. Dále jsem představil technologie pro výrobu tepelné energie nejčastěji používané v kotelnách v bytových domů. Těmi jsou plynové kondenzační kotle, tepelná čerpadla a méně obvyklé kogenerační jednotky. U každé technologie jsem popsal základní princip, účinnost a možnosti instalace v bytovém domě. Na základě získaných a vypočtených energetických potřeb BD jsem poté poptal několik společností pro zpracování cenových nabídek na dodávku technologií pro domovní kotelnu. Vybrány byly nabídky od společnosti Vaillant Group Czech s.r.o. pro dodávku technologie pro plynovou kotelnu, společnost AC Heating (KUFÍ INT, s.r.o.) pro kotelnu s tepelnými čerpadly vzduch – voda a společnost TEDOM a.s. pro dodávku dvou kogeneračních jednotek. Na základě technických parametrů navrhovaných zařízení a jejich režimu provozu jsem si spočítal roční energetickou bilanci. Kde to bylo nutné, doplnil jsem a nacenil položky, které v původním pokožkovém rozpočtu chyběly. U kogenerační jednotky je dále konkrétně řešena problematika ohledně prodeje vyrobené elektrické energie do distribuční soustavy v souvislosti s legislativními možnostmi.

Následovala kapitola, kde jsem navržené varianty vyhodnotil po ekonomické stránce. Představil jsem použitou metodiku a sestavil ekonomický model. Popsal jsem trend vývoje cen za teplo, které hodnocený BD v minulosti nakoupil a podrobně jsem definoval výchozí vstupní předpoklady pro ekonomické výpočty. U jednotlivých variant jsem pak vykalkuloval investiční a provozní náklady po uvažovaných 20 let životnosti, započítal plánované servisní úkony a reinvestice, spočetl čistou současnou hodnotu, vzniklou úsporu a cenu za GJ z vlastní kotelny. Dále jsem graficky sestavil vývoj provozních

nákladů z domácí kotelny pro každou variantu a pro SZTE a vývoj kumulovaného cash flow. Poté bylo varianty možné srovnat mezi sebou.

Srovnání navržených variant se věnuji v poslední kapitole této práce. Zde jsem zvolil dvě metody srovnání. První srovnání jsem provedl na základě výchozích zvolených předpokladů, kdy jsem uvažoval pevnou výši investičních nákladů na kotelnu, pevný růst cen energií a pevně stanovený vývoj cen tepla ze SZTE. Z hlediska investičních nákladů a výsledného NPV po 20 letech provozu vychází jako ekonomicky nejoptimálnější varianta kotelny s plynovými kondenzačními kotli. Na provozních nákladech pak vychází nejlépe kotelná s tepelnými čerpadly, nicméně i nejdražší varianta s kogeneračními jednotkami vychází po 20 letech provozu lépe než setrvání u SZTE. Všechny navržené varianty tak stojí v neprospěch SZTE a jsou ekonomicky životaschopné. Investorovi je doporučuji k realizaci v pořadí PK, TČ a KJ. Druhou metodu srovnání jsem pak provedl za pomoci sestavených citlivostních analýz. Citlivostní analýzy jsem sestavil jako funkce NPV v závislosti na změně ceny primárního paliva, změně počátečních investičních nákladů a změně míry růstu ceny primárního paliva. Do všech tří vynesených grafických závislostí jsem vynesl NPV pro různé míry růstu ceny tepla ze SZTE, aby bylo možné navržené varianty domácích kotel srovnat jak mezi sebou, tak s variantou setrvání u SZTE. Zpracované citlivostní analýzy je možné použít v případě, že by se investor pro realizaci vlastní kotelny rozhodl až za nějaký čas, za který by se počáteční investiční a palivové náklady změnily. Z grafických závislostí pak lze odečíst body, za kterých by se realizace dané varianty ještě vyplatila a která z variant je za změněných cenových podmínek nejvýhodnější. Ekonomická výhodnost navržených variant je velice závislá na vývoji cen primárních paliv, jež je obtížné předvídat. Pro elektrickou energii spotřebovávanou v domácí kotelně tepelnými čerpadly je maximální akceptovatelná eskalace ceny pod 7 %, pro cenu zemního plynu v plynové kotelně je pak maximální meziroční míra růstu 5,3 % a pro cenu zemního plynu v kotelně s kogeneračními jednotkami je maximální možná eskalace 3,4 %. Je tedy vidět, že stačí jen nepatrně prudší růst cen energií a ekonomická výhodnost navržených variant se ztrácí. Proto je doporučeno investorovi důkladné prozkoumání aktuálního vývoje cen na trhu v době rozhodování. Nepříznivý vliv na ekonomickou výhodnost provozu domácí kotelny spalující jako primární palivo zemní plyn může mít zavedení povinnosti nákupu emisních povolenek i pro malé domovní zdroje. S touto hrozící legislativní změnou se doporučuje při rozhodování počítat a popř. částku za emisní povolenky zahrnout do energeticko-ekonomické studie s odpovídající eskalací ceny emisních povolenek.

Závěrem se pak čtenář dočetl další doporučení pro snadnější rozhodování o investici do vlastní kotelny. Jsou zde zmíněny úkony spojené se snížením tepelné ztráty na minimum, které by měly vlastní instalaci předcházet a dále doporučení ke kontrole topné soustavy a regulaci. Na konci popisují další doporučené kroky pro případ, že se investor pro realizaci vlastní kotelny rozhodne. Ty jsou spojeny s administrativními úkony, s možnostmi financování z programů a s následným výběrem zhotovitele. Další doporučení jsou mířena na samotný provoz domácí kotelny, aby bylo dosaženo požadovaných úspor.

7.2. Přínosy diplomové práce

Osobním přínosem této diplomové práce pro mě bylo získání širokého spektra znalostí napříč různými obory. Získal jsem zcela nové poznatky z oboru stavebnictví a energetiky budov při zpracování původní projektové dokumentace a výpočtech tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a seznámil se s nezbytnou legislativou této problematiky. Dále jsem si rozšířil a aplikoval své stávající znalosti z tepla a termodynamiky při zpracování energetických bilancí navržených technologií pro vytápění a ohřev teplé vody. V souvislosti s navrhovanou kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách jsem si rozšířil své znalosti v elektroenergetice, a to ve směru technickém, legislativním i ekonomickém. Pro vyhodnocení navržených variant jsem pak použil své znalosti a výpočetní aparát získané z předmětů ekonomika energetiky a ekonomika užití energie. Práce tak přináší komplexní mezioborový přehled související s návrhem zdroje tepla pro bytový dům.

Přínosná pro mne byla i jednání a konzultace, kterých jsem se zúčastnil. Svou práci jsem konzultoval s Ing. Jakubem Maščuchem, Ph.D. v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT, kde mi byly poskytnuty cenné rady a informace z nejnovějších poznatků o energetice budov a trendech ve vytápění. Dalšího jednání jsem se zúčastnil v sídle společnosti KUFİ INT, s.r.o. (AC Heating) zabývající se výrobou tepelných čerpadel a jejich dodávkou na klíč. Zde jsem viděl v provozu technologii, která je navržena v této práci. Komunikace s dalšími dodavateli technologií pro kotelny probíhala elektronicky nebo telefonicky. Se stavebním úřadem ve Slaném jsem pak konzultoval náležitosti ohledně případného odpojení bytového domu od SZTE.

Ekonomickým přínosem této práce je zpracování zcela nezávislé energetické studie, která bude sloužit Okresnímu bytovému družstvu Kladno jako výchozí podklad pro rozhodování o investici do vlastní domovní kotelny. Diplomová práce přináší skutečný obraz o možných finančních úsporách, kterých je možné instalací vlastní domovní kotelny dosáhnout. Investor tak nebude čelit rozhodování pouze na základě podkladů obdržených od samotného dodavatele a bude mít možnost kriticky zhodnotit danou nabídku na základě aspektů, které v práci zmiňuji a na které upozorňuji. Prodejci a dodavatelé kotelny často ke svým nabídkám dodávají svou vlastní studii úspor, kde často nejsou zohledněny všechny náklady vynaložené s investicí a provozem kotelny. Uváděná návratnost pak bývá daleko od skutečnosti. Do studie úspor ze strany dodavatele nebývají zahrnuty náklady s odpojením od SZTE, není zohledněn růst cen energií nebo není počítáno s dalšími náklady vynaloženými na provoz a servis domácí kotelny. Výkon zdroje tepla může být poddimenzován za účelem snížení ceny technologie.

Matematické modely pro technickoekonomické výpočty byly vytvořeny pro konkrétní bytový dům, ale po změně vstupních hodnot je lze aplikovat i pro použití jinde nebo je lze alespoň použít jako výchozí vzory. Na problematiku řešenou v diplomové práci by se dalo navázat rozšířením studie o kombinaci navrhovaných variant s fotovoltaickými články. Zde se nabízí spousta možností, jak FVE systém využít. Možnostmi by např. byla spotřeba vyrobené el. energie přímo v domě, pomocný ohřev TV nebo akumulace el. energie do bateriového úložiště a jeho budoucí potenciál pro poskytování podpůrných služeb. Další možností rozšíření studie by mohly být solární termické kolektory.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Ambrožová, I., Horák, P. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. TZB-info [online]. [cit. 2021-1-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>.
- [2] Beranovský, J., Srdečný, K., Vogel, P. Pasivní panelák? A to myslíte vážně? Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011.
- [3] Brož, K. Zásobování teplem. Praha: České vysoké učení technické, 1997.
- [4] Budín, J. Kogenerace – princip, technologie a výhody. OEnergetice.cz [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/domains/oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/04/Gas-Engine-Cogeneration-iec-energy.by_.jpg.
- [5] Čejka, M. Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 1: základní přehled změn. TZB-info [online]. [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/20449-novela-vyhlasiky-c-78-2013-sb-cast-1-zakladni-prehled-zmen>.
- [6] Čepička, M. Jak funguje kaskádová kotelna a kdy je výhodné ji instalovat? ESTAV.cz [online]. 2014 [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6558.sdilene-kotelny-opet-ozivaji-kotle-na-uhli-stridaji-kondenzacni-kotle>.
- [7] Kabele, K. Energetická náročnost budov v souvislostech s platnou legislativou ČR. Praha: ABF – nakladatelství ARCH, 2008. Stavební právo.
- [8] Kulhánek, F. Tepelná ochrana a energetika budov: TP 1.8.1: technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2014.
- [9] Kupilík, V. Termodynamika. Praha, 1987.

- [10] Květoň, V. Normální teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000. Praha: Český hydro-meteorologický ústav, 2001. Národní klimatický program České republiky.
- [11] Matuška, T. Solární soustavy pro bytové domy. Praha: Grada, 2010.
- [12] Staněk, K. ČVUT V PRAZE – FAKULTA STAVEBNÍ. Průměrný součinitel prostupu tepla: SPJ1 – Podklady pro cvičení. 10/2010n. 1.
- [13] Šafránek, J. Nová vyhláška o energetické náročnosti budov od 1. září 2020. Zprávy a informace ČKAIT [online]. [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <http://zpravy.ckait.cz/vydani/2020-04/nova-vyhlaska-o-energeticke-narocnosti-budov-plati-od-1-zari-2020/>.
- [14] Urban, M., Svoboda, Z., Kabele, K., Adamovský, D., Kabrhel, M. Metodika bilančního výpočtu energetické náročnosti budov. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov Thákurova 7 166 29 Praha 6, leden 2009.
- [15] Vavříčka, R., Mazur, M. Příprava teplé vody v obytných budovách. TZB-info [online]. [cit. 2021-2-12]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14864-priprava-teple-vody-v-obytnych-budovach>.
- [16] Voříšek, M. Obchodování s povolenkami a Market stability reserve. OEnergetice [online]. [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/obchodovani-s-povolenkami-a-market-stability-reserve>.
- [17] COP tepelného čerpadla. STIEBEL ELTRON spol. s r. o. [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/cs/sluzby/slovník/cop-tepelneho-čerpadla.html>.
- [18] Energetické hodnocení budov. Brno: Vysoké učení technické, 2015.
- [19] Konstrukční soustava T06-B – přehled krajských variant. PANELAKY.INFO [online]. Marian Lipták, 2020 [cit. 2020-11-12]. Dostupné z: <http://panelaky.info/t06b/>.

- [20] Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1. lednu 2020 [online]. Jihlava: Oddělení regulace teplotnictví ERÚ, 2020, 2020 [cit. 2021-3-12]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/documents/10540/462928/Vyhodnoceni+cen+tepelne+energie+k+1.+1.+2020.pdf/799d63f0-2dee-495d-9fdd-16c8b5e9dde1>.
- [21] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: .
- [22] Časopis Svazu českých a moravských bytových družstev a moravských bytových družstev. 2019, XVI (5/2019).
- [23] Teplárny: Situace v oboru je vážná, teplotnictví čelí ekonomické diskriminaci. OEnergetice.cz [online]. [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarny-situace-v-oboru-je-vazna-teplarny-celi-ekonomicke-diskriminaci>.
- [24] Teplotářské sdružení České republiky [online]. [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz/>.
- [25] Našeteplo.cz [online]. [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://www.naseteplo.cz/>.
- [26] Teplotářské sdružení: Cena tepla vzroste, hlavním důvodem jsou vyšší ceny povolenek. OEnergetice.cz [online]. [cit. 2021-4-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarny-sdruzeni-cena-tepla-vzroste-hlavnim-duvodem-jsou-vyssi-ceny-povolenek>.
- [27] ČVUT V PRAZE – FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD, K13116. Kritéria ekonomické efektivity: Studijní materiál k předmětu Ekonomika elektroenergetiky (BD1M16EKE1). Praha, 2018.
- [28] Energetický regulační věstník: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2020 [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2020, 2020(5) [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/5890146/ERV5_2020.pdf/45de5af0-5089-46d2-b94a-ffa7c726847d.
- [29] Kvalita plynu: Hospozin 2. GasNet, s.r.o. [online]. 2021 [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://www.gasnet.cz/cs/kvalita-plynu/>.

- [30] Průměrná denní teplota vzduchu ve Středočeském kraji: Lány (okr. Kladno), 1983-2020. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>.
- [31] Tepelná čerpadla. E-Sea s.r.o. [online]. 2017 [cit. 2021-3-31]. Dostupné z: <https://www.e-sea.cz/img/princip.png>.
- [32] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku.
- [33] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov.
- [34] Energeticky vědomá rekonstrukce systémů TZB v bytových domech [online]. TZB-info, 2017 [cit. 2021-2-26]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/energeticky-vedoma-rekonstrukce-systemu-tzb-v-bytovych-domech.pdf>.
- [35] Účinnost a výkon plynového kotle. Viessmann, spol. s r.o. [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/ucinnost-a-vykon-plynoveho-kotle.html>.

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Stavební výkresy

Příloha 2: Protokoly – TEPLLO 2017

Příloha 3: Tepelně technické výpočty

Příloha 4: Nabídka – plynová kotelna

Příloha 5: Nabídka – odkouření spalin

Příloha 6: Nabídka – kotelna s TČ

Příloha 7: Nabídka – kotelna s KJ

Příloha 8: Ekonomické výpočty

Pozn.: Výše uvedené přílohy nejsou součástí tohoto dokumentu a jsou k dispozici pouze v elektronické podobě na přiloženém datovém nosiči.