

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



ZDROJE TEPLA V BYTOVÝCH DOMECH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. David Pařízek

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2019/2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pařízek Jméno: David Osobní číslo: 438475
Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov K125
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zdroje tepla v bytových domech
Název diplomové práce anglicky: Heat sources in residential buildings

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce bude zpracování ekologicko ekonomické porovnání variantního řešení vytápění pro zadaný bytový dům.

- Rešerše bude obsahovat rozbor několika variant zdroje tepla konkrétního objektu. Na základě rozboru budou stanoveny investiční náklady a provozní náklady systému v objektu. Bude provedeno posouzení technické, ekologické a ekonomické proveditelnosti.

- Na vybranou variantu bude zpracovaný projekt vytápění v rozsahu prováděcího projektu bez výkazu materiálu.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, Kabele - Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č. 1)

Trond Dahlsveen, Dušan Petráš, Jiří Hirš - Energetický audit budov

ČSN EN 15459 - Energetická náročnost budov - Postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách

Dušan Petráš a kol. - Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Jméno vedoucího diplomové práce: Miroslav Urban

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

 Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.9.19

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Jílovišti dne 3. 1. 2020

.....

Bc. David Pařízek

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za vedení mé práce, postřehy a dohled. Dále bych chtěl poděkovat všem svým blízkým, kteří mě už dlouhou dobu podporují a vytvářejí mi příjemné zázemí a pracovní prostředí.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na ekologické a ekonomické porovnání variantního řešení vytápění bytového domu. V textové části se budu zabývat výběrem vhodného zdroje tepla pro zadaný bytový dům ve dvou různých standardech. Na nejvhodnější variantu vypracuji projekt vytápění v rozsahu prováděcího projektu.

Klíčová slova

- Zdroje tepla
- Ekologické a ekonomické vyhodnocení
- Projekt vytápění

Abstract

The master's thesis is focused on ecological and economical comparison of a heating system within a residential building. In the text part, I will focus on the selection of suitable heat source for specified residential building built in two different standards. For the most appropriate option, I will elaborate heating project in the scope of a design documentation.

Key words

- Heat sources
- Ecological and economical evaluation
- Heating project

Obsah

1. Úvod	9
2. Energetické standardy budov	10
3. Neobnovitelná primární energie.....	10
3.1. Faktor neobnovitelné primární energie	11
4. Průkaz energetické náročnosti budovy.....	12
5. Ekonomické vyhodnocení	13
5.1. Čistá současná hodnota NPV	13
5.2. Celkové náklady	13
6. Vývoj cen energií v ČR.....	14
7. Specifikace posuzovaného objektu.....	15
7.1. Základní informace	15
7.2. Výkresová dokumentace	15
7.3. Základní geometrické údaje budovy.....	16
7.4. Provozní informace objektu	16
7.4.1. Obálka budovy	16
7.4.2. Vytápění	16
7.4.3. Chlazení.....	16
7.4.4. Větrání.....	17
7.4.5. Úprava vlhkosti	17
7.4.6. Teplá voda.....	17
7.4.7. Osvětlení	18
7.4.8. Spotřebičová potřeba energie	18
7.5. Energetické vstupy budovy.....	20
7.5.1. Nízkoenergetický standard (NE)	20
7.5.2. Pasivní standard (PAS)	22

8.	Varianty zdrojů tepla.....	24
8.1.	Soustava zásobování tepelnou energií – tlakově nezávislá předávací stanice	25
8.1.1.	Dodávka tepelné energie	25
8.1.2.	Předávací stanice	25
8.2.	Zemní plyn – kaskáda kondenzačních kotlů	27
8.2.1.	Dodávka zemního plynu.....	27
8.2.2.	Kaskáda kondenzačních kotlů	27
8.3.	Elektrina a energie okolního prostředí – Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	29
8.3.1.	Elektrická energie.....	29
8.3.2.	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	29
9.	Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant	32
9.1.	Nízkoenergetický standard (NE)	32
9.1.1.	SZTE	32
9.1.2.	Kaskáda kondenzačních kotlů	33
9.1.3.	Tepelná čerpadla vzduch-voda	35
9.1.4.	Porovnání variant.....	37
9.2.	Pasivní standard (PAS)	40
9.2.1.	SZTE	40
9.2.2.	Kaskáda kondenzačních kotlů	41
9.2.3.	Tepelná čerpadla vzduch-voda	42
9.2.4.	Porovnání variant.....	44
9.3.	Nízkoenergetický standard – vyhodnocení bez energie domácích spotřebičů.....	46
9.4.	Pasivní standard – vyhodnocení bez energie domácích spotřebičů	48
10.	Hodnocení neobnovitelné primární energie.....	50
10.1.	Nízkoenergetický standard	50
10.1.1.	SZTE	50

10.1.2.	Kaskáda kondenzačních kotlů	51
10.1.3.	Tepelná čerpadla vzduch-voda.....	51
10.1.4.	Porovnání variant	52
10.2.	Pasivní standard	53
10.2.1.	SZTE	53
10.2.2.	Kaskáda kondenzačních kotlů	53
10.2.3.	Tepelná čerpadla vzduch-voda.....	54
10.2.4.	Porovnání variant	55
11.	Závěr.....	56
11.1.	Vliv na životní prostředí	56
11.2.	Náročnost obsluhy	56
11.3.	Znečišťování ovzduší	56
11.4.	Cena	56
11.5.	Závěrečné shrnutí	57
	Literatura a zdroje	59
	Použité zkratky	62
	Seznam grafů.....	62
	Seznam obrázků	63
	Seznam tabulek	64

1. Úvod

V dnešní době se většina investorů snaží snížit energetickou náročnost svých budov. Jedním z důvodů může být, že přemýšlí ekologicky a přijde jim zbytečné spotřebovávat neobnovitelné zdroje energie. Dalším důvodem, o kterém si myslím, že je častější, je úspora financí. Proč by měli utrácet peníze za provoz budovy, když mohou postavit objekt s dobrými tepelnými vlastnostmi, úspornými technologiemi a uspořené finance investovat jinde. Při myšlence úspory peněz za provoz budovy je nutné si uvědomit i velikost investice, která nám tuto úsporu zajistí a jestli se nám tato investice vyplatí.

Cílem této práce je výběr vhodných zdrojů tepla pro vytápění a ohřev teplé vody pro dva různé standardy budov s ohledem na jejich ekologickou a ekonomickou stránku.

V první části práce se budu věnovat základním pojmům pro hodnocení budov, ekonomickým ukazatelům pro vyhodnocení investičního záměru a ukážu vám podrobněji tři varianty zdrojů tepla pro vybraný bytový dům.

V další části práce vyhodnotím varianty zdrojů tepla z ekologického a ekonomického hlediska. Vyhodnocení udělám pro oba standardy budov.

Na závěr své práce vypracuji projekt vytápění na nejvhodnější variantu zdrojů tepla.

2. Energetické standardy budov

Pro základní hodnocení budovy se již delší dobu nejvíce používá nízkoenergetický a pasivní standard. Požadavky pro splnění jejich kritérií jsou zobrazeny v následující tabulce.

Veličina	Nízkoenergetický standard	Pasivní standard
<i>Měrná potřeba tepla na vytápění E_A maximálně dle ČSN EN ISO 13790</i>	50 kWh/m ²	20 kWh/m ²
<i>Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí</i>	dle doporučených hodnot ČSN 73 0540-2	dle doporučených hodnot ČSN 73 0540-2
<i>Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} nejvýše</i>	0,35 W/m ²	0,22 W/m ²
<i>Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu minimálně</i>	70 %	70 %
<i>Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50}</i>	1,5 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
<i>Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy PEA maximálně</i>	x kWh/m ²	60 kWh/m ²

Tabulka 1 – Hodnotící veličiny standardů budov [1]

Vzhledem k novým požadavkům pro všechny nově postavené budovy po 1. 1. 2020 bude i pro nízkoenergetický standard uvažovaná maximální referenční hodnota potřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů.

3. Neobnovitelná primární energie

Primární energii si můžeme představit jako energii, která se vyskytuje ve své původní formě v přírodě. Primární energii rozlišujeme na obnovitelnou a neobnovitelnou. Mezi formy obnovitelné energie patří například energie slunce, větru, vody a biomasy. Délka obnovy těchto zdrojů je srovnatelná s délkou lidského života. Neobnovitelná energie je získávána ze zdrojů, jejichž doba obnovy několikanásobně přesahuje délku lidského života. Mezi neobnovitelné zdroje energie patří například zemní plyn, uhlí, ropa a jaderná energie. [8]

3.1. Faktor neobnovitelné primární energie

Pro vyhodnocení neobnovitelné primární energie (NPE) dodané do budovy se využívá faktor neobnovitelné primární energie neboli konverzní faktor, který se liší podle druhu použitého paliva nebo energie. Konverzní faktor také zohledňuje účinnost výroby jednotlivého druhu energie. Například elektrická energie je hodnocena vysokým konverzním faktorem. Je to způsobeno ztrátami energie během procesu její výroby zahrnující těžbu paliv, jejich dopravu, ztráty při spalování a ztráty rozvodné sítě, než se elektřina dostane ke spotřebiteli. V České republice je konverzní faktor elektrické energie vysoký vzhledem k většinovému podílu uhelných elektráren a nízkém podílu obnovitelných zdrojů energie. [8]

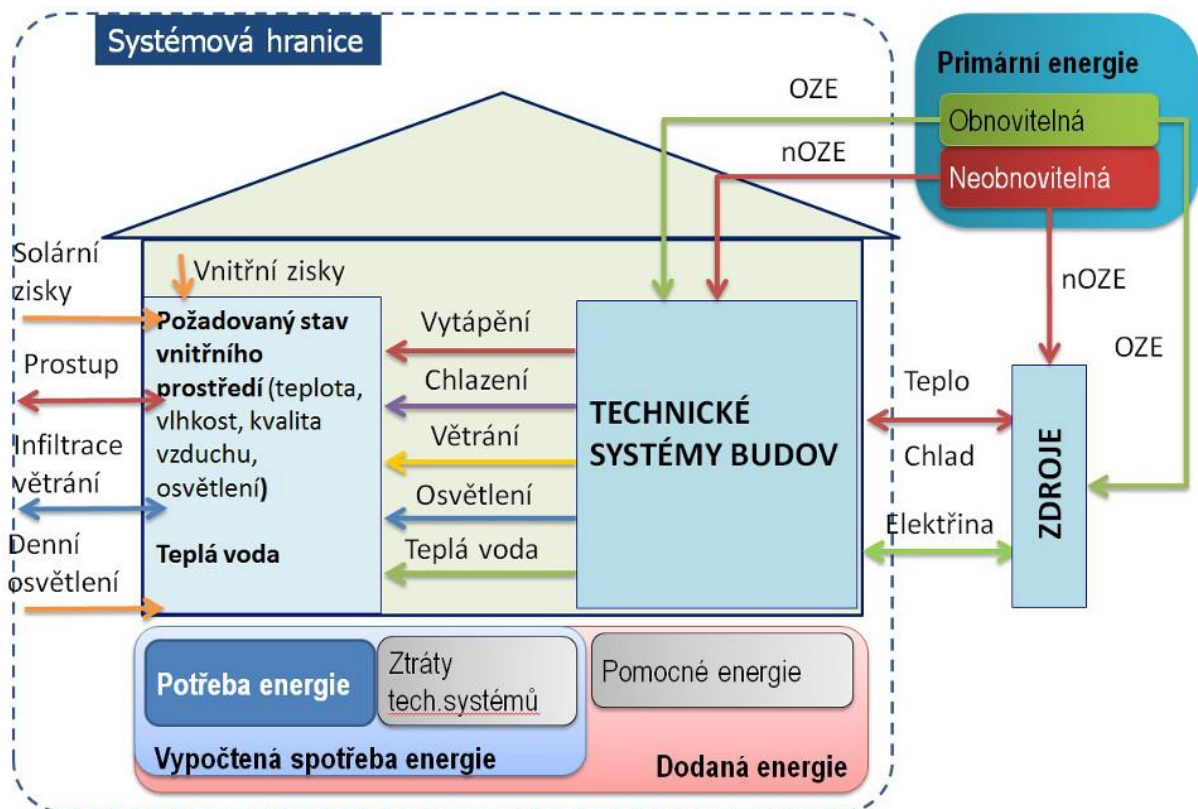
Palivo / energie	Faktor NPE
Zemní plyn	1,1
Černé uhlí	1,1
Hnědé uhlí	1,1
Propan-butan/LPG	1,2
Topný olej	1,2
Elektřina	3,0
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0,0
Elektřina – dodávka mimo budovu	-3,0
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80 % podílem obnovitelných zdrojů	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50 % a nejvýše 80 % podílem obnovitelných zdrojů	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50 % a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2

Tabulka 2 – Faktory neobnovitelné energie budovy [8]

4. Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti (PENB) se používá k vyhodnocení energetické náročnosti posuzované budovy. Průkaz hodnotí veškerou energetickou potřebu technických systémů budovy pro její provoz. V PENB je zahrnuta energie potřebná na vytápění, větrání, chlazení, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení. Spotřebičová potřeba energie se v průkazu nehodnotí. Průkaz má podobnou formu jako například energetický štítek spotřebiče, hodnocení A – G. Hlavní výhodou PENB je například základní představa nájemníků, případně kupujících o energetických potřebách budovy. [10]

V PENB hodnotíme tedy celkovou dodanou energii pro provoz budovy a neobnovitelnou primární energii.



Obr. 1 – Princip výpočtu energetické náročnosti budov [11]

Pro vyhodnocení posuzovaného objektu jsem použil NKN II (Národní Kalkulační nástroj II).

5. Ekonomické vyhodnocení

Pro výběr vhodného zdroje tepla posuzujeme i jeho ekonomickou stránku. Pro správné vyhodnocení je nutné uvažovat investiční náklady (náklady na pořízení, instalaci a zprovoznění) a náklady provozní (náklady za provoz, údržbu a revize součástí zařízení).

Pro ekonomické vyhodnocení zvolím výpočet čisté současné hodnoty a celkových nákladů.

5.1. Čistá současná hodnota NPV

Čistá současná hodnota (NPV = Net present value) nám udává, kolik projekt za určitou dobu hodnocení přinese, nebo sebere. V našem případě porovnáváme, která z variant bude v dlouhodobém měřítku nejlevnější. Nejlepší z variant má tedy nejnižší zápornou hodnotu.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN$$

NPV	čistá současná hodnota
CF_t	cash flow – roční náklady na provoz
r	diskontní sazba
TŽ	doba životnosti
IN	investice
t	hodnocený rok

5.2. Celkové náklady

Druhou možností vyhodnocení je porovnání celkových nákladů variant zdrojů tepla za zvolené období. Ekonomicky nejvhodnější varianta bude mít nejnižší celkové náklady.

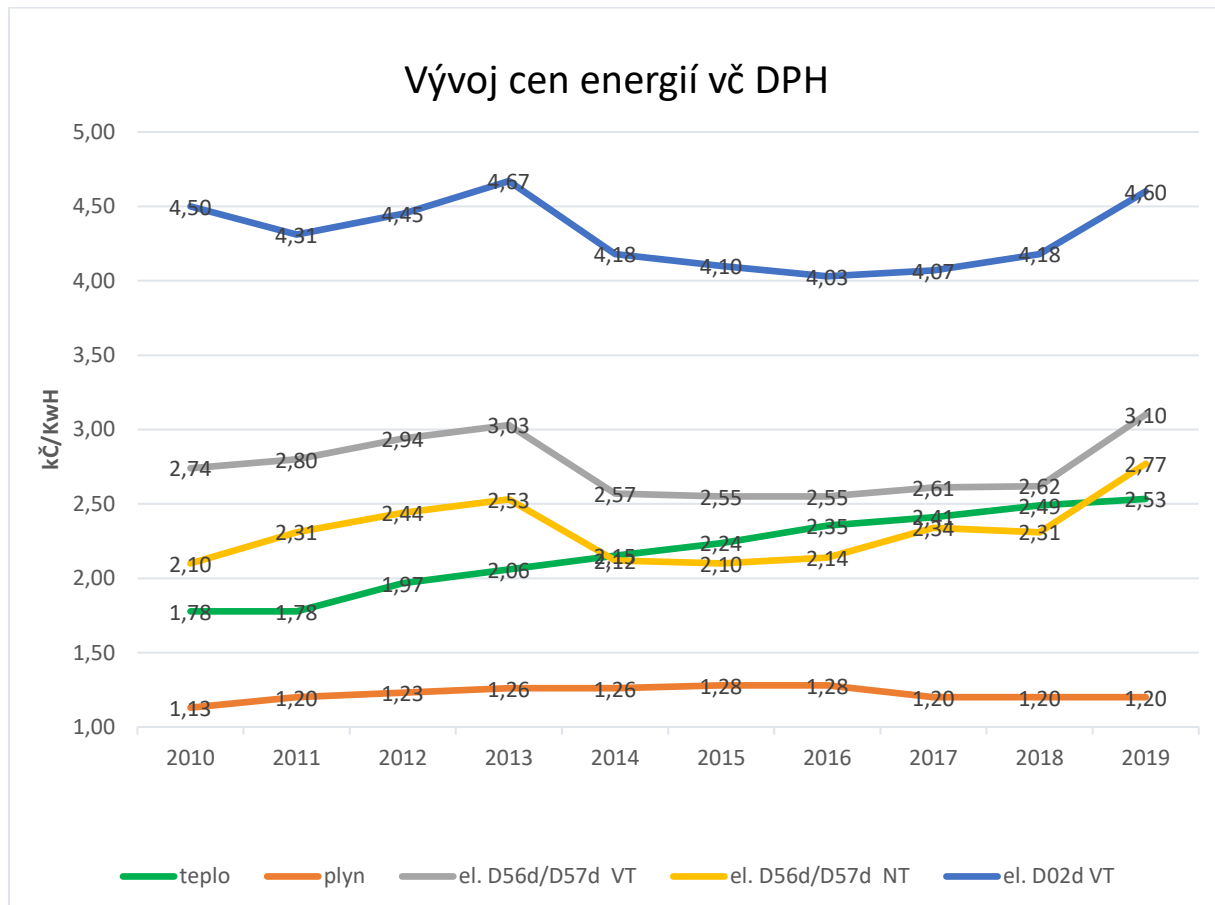
$$CG = IN + \sum_{t=1}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1 + r)^{-t}$$

CG	Celkové náklady za zvolenou dobu
CF_t	cash flow – roční náklady na provoz
r	diskontní sazba
TŽ	doba životnosti
IN	investice
t	hodnocený rok

6. Vývoj cen energií v ČR

Výběr vhodného zdroje tepla nám ovlivňuje i vývoj cen energií v budoucnu. Pro představu vývoje cen elektřiny, plynu a tepla jsem vytvořil graf z údajů dodavatelů energie pro Prahu od roku 2010 doposud.

Předpoklad výrazného zdražování jedné z energií může ovlivnit správný výběr zdroje tepla.



Graf 1 – vývoj cen energií za posledních 9 let [14,15]

Při pohledu na graf je jasně viditelné, že cena plynu je v průběhu posledních devíti let nejméně proměnlivá, naopak skoro lineárně se zdražuje dodané teplo. Elektřina má skokové změny, ale v průběhu devíti let její cena nijak zásadně nevzrostla.

7. Specifikace posuzovaného objektu

7.1. Základní informace

Pro vyhodnocení jsem si vybral bytový dům se čtyřmi nadzemními podlažími a jedním částečně podsklepeným. Objekt má čtvercový tvar, půdorysné rozměry 18x18 m a zastavěnou plochu 324 m². V částečně podsklepeném podlaží jsou umístěny garáže, technická místnost a sklepní kóje. Vjezd do podzemních garáží je řešen šikmou rampou umístěnou na SZ straně objektu. V prvním až čtvrtém nadzemním podlaží jsou umístěny byty a společná chodba se schodištěm a výtahem. Jednotlivé byty mají různé dispozice. Dva byty 4+KK, pět bytů 3+KK, šest bytů 2+KK a jeden byt 1+KK.

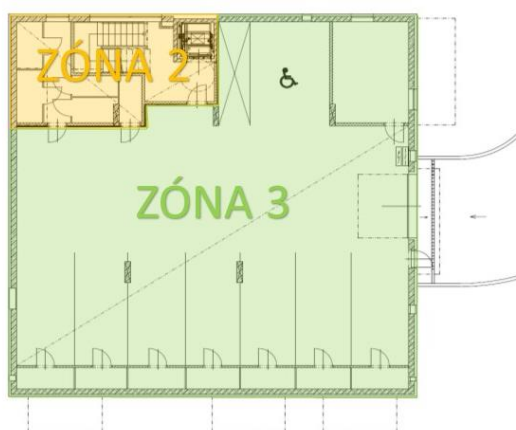
7.2. Výkresová dokumentace



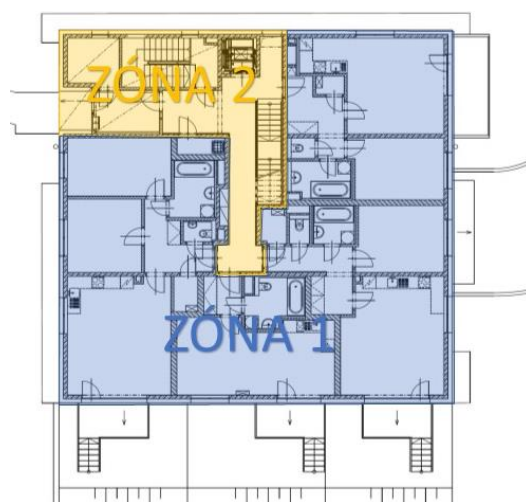
Obr. 2 – Pohled severní



Obr. 3 – Pohled východní



Obr. 4 – Půdorys 1.PP



Obr. 5 – Půdorys 1.NP

7.3. Základní geometrické údaje budovy

- Energeticky vztažná plocha 1283,6 m²
- Celkový vnější objem budovy 4643,5 m³
- Ochlazovaná plocha obálky budovy 1580,3 m²
- Objemový faktor tvaru budovy A/V 0,34 m²/ m³

Objekt je rozdělen na tři zóny. Dvě zóny jsou s upravovaným vnitřním prostředím a třetí zóna bez upravovaného vnitřního prostředí.

- Zóna 1 – Bytový dům – obytné prostory
- Zóna 2 – Bytový dům – společné prostory
- Zóna 3 – Bytový dům – ostatní prostory

7.4. Provozní informace objektu

Počet trvale žijících osob byl stanoven z typického profilu užívání – Bytové domy – obytné prostory dle ČSN 73 0331-1. [5] Z tohoto profilu užívání bylo stanoveno 32 trvale žijících osob pro řešený bytový dům.

7.4.1. Obálka budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla je rozdílný pro oba standardy budov.

- Nízkoenergetický standard $U_{em} = 0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Pasivní standard $U_{em} = 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

7.4.2. Vytápění

Pro porovnání zdrojů tepla uvažujeme účinnost distribuce a regulace identickou pro oba standardy budov.

7.4.3. Chlazení

Potřebu energie pro chlazení objektu uvažujeme nulovou. Hlavním předpokladem je, že objekt má dostatečnou ochranu proti solárním ziskům a následnému přehřívání budovy.

7.4.4. Větrání

V objektu je pro obytnou zónu uvažované nucené větrání rovnotlaké se zpětným získáváním tepla. Zpětné získávání tepla splňuje požadavek obou standardů, což je účinnost 70 %. Zóna garáží bude větrána podtlakově.

Pro výpočet objemového toku vzduchu pro zónu 1 a 2 byla použita vyšší z hodnot.

- Množství vzduchu na osobu 25 m³/h*os
- Intenzita výměny vzduchu 0,3 h⁻¹

Pro výpočet objemového toku vzduchu pro zónu 3 byla použita hodnota.

- Intenzita výměny vzduchu 0,5 h⁻¹

Měrný příkon ventilátorů

- Zóna 1 a 2 2400 W*s/m³
- Zóna 3 600 W*s/m³

7.4.5. Úprava vlhkosti

V bytovém domě není požadavek na úpravu vlhkosti. Pro snížení rizika nízké vlhkosti vzduchu v zimním období je vhodné instalovat regenerační výměník tepla.

7.4.6. Teplá voda

V objektu bude ohřev teplé vody (TV) řešen ústředně. Pro výpočet potřeby TV jsou použity tyto vstupní údaje.

- Počet osob 32 osob
- Potřeba teplé vody/osoba 40 l*os/den
- Roční potřeba teplé vody 467 m³/rok
- Studená voda 10 °C
- Teplá voda 55 °C
- Objem zásobníku 750 l
- Délka rozvodů TV 50 m
- Denní měrná ztráta tepla zásobníku 3,9 Wh/l*den
- Denní měrná ztráta rozvodů TV 150 Wh/m*den

7.4.7. Osvětlení

Pro výpočet potřeby energie pro osvětlení byla předpokládána instalace úsporného led osvětlení v celém objektu. Potřeba energie pro osvětlení byla stanovena z typického profilu užívání – Bytové domy – obytné prostory, společné prostory a ostatní prostory dle ČSN 73 0331-1. [5]

7.4.8. Spotřebičová potřeba energie

Spotřebičovou potřebu energie stanovuji pro zpřesnění vyhodnocení provozních nákladů budovy. I přes skutečnost, že průkaz energetické náročnosti stanovení této potřeby nevyžaduje, ani ji nijak nehodnotí dle tříd. Spotřebičová energie je velmi podstatná vzhledem k měsíčním platbám obyvatelů bytů. Promítnutí této potřeby nám může výrazně ovlivnit výběr vhodného zdroje tepla například díky výhodnější distribuční sazbě elektřiny.

Spotřebič	Příkon [kW]	Doba provozu denně [h]	Spotřeba cyklus [kWh]	Počet cyklů za den	Spotřeba za den [kWh]	Spotřeba za rok [kWh]
<i>Chladnička A++</i>	0,025	24	-	-	0,60	219,00
<i>Mýčka A++</i>	-	-	0,85	0,8	0,68	248,20
<i>Pračka A++</i>	-	-	0,7	0,3	0,21	76,65
<i>Sušička A++</i>	-	-	1,51	0,3	0,45	165,35
<i>Elektrická trouba</i>	1	0,8	-	-	0,80	292,00
<i>El. konvice</i>	1,6	0,05	-	-	0,08	29,20
<i>Indukční sporák</i>	2,1	0,7	-	-	1,47	536,55
<i>Mikrovlnná trouba</i>	1	0,05	-	-	0,05	18,25
<i>TV LED 100 cm</i>	0,065	5	-	-	0,33	118,63
<i>PC</i>	0,2	4	-	-	0,80	292,00
<i>Notebook</i>	0,03	4	-	-	0,12	43,80
<i>Audio</i>	0,02	5	-	-	0,10	36,50
<i>Nabíječka telefon</i>	0,004	2	-	-	0,01	2,92
<i>Vysavač</i>	1,2	0,14	-	-	0,17	61,32
<i>Fén</i>	1,2	0,03	-	-	0,04	13,14
<i>Stand-by režim zařízení</i>	0,03	24	-	-	0,72	262,80
Celkem					6,62	2416

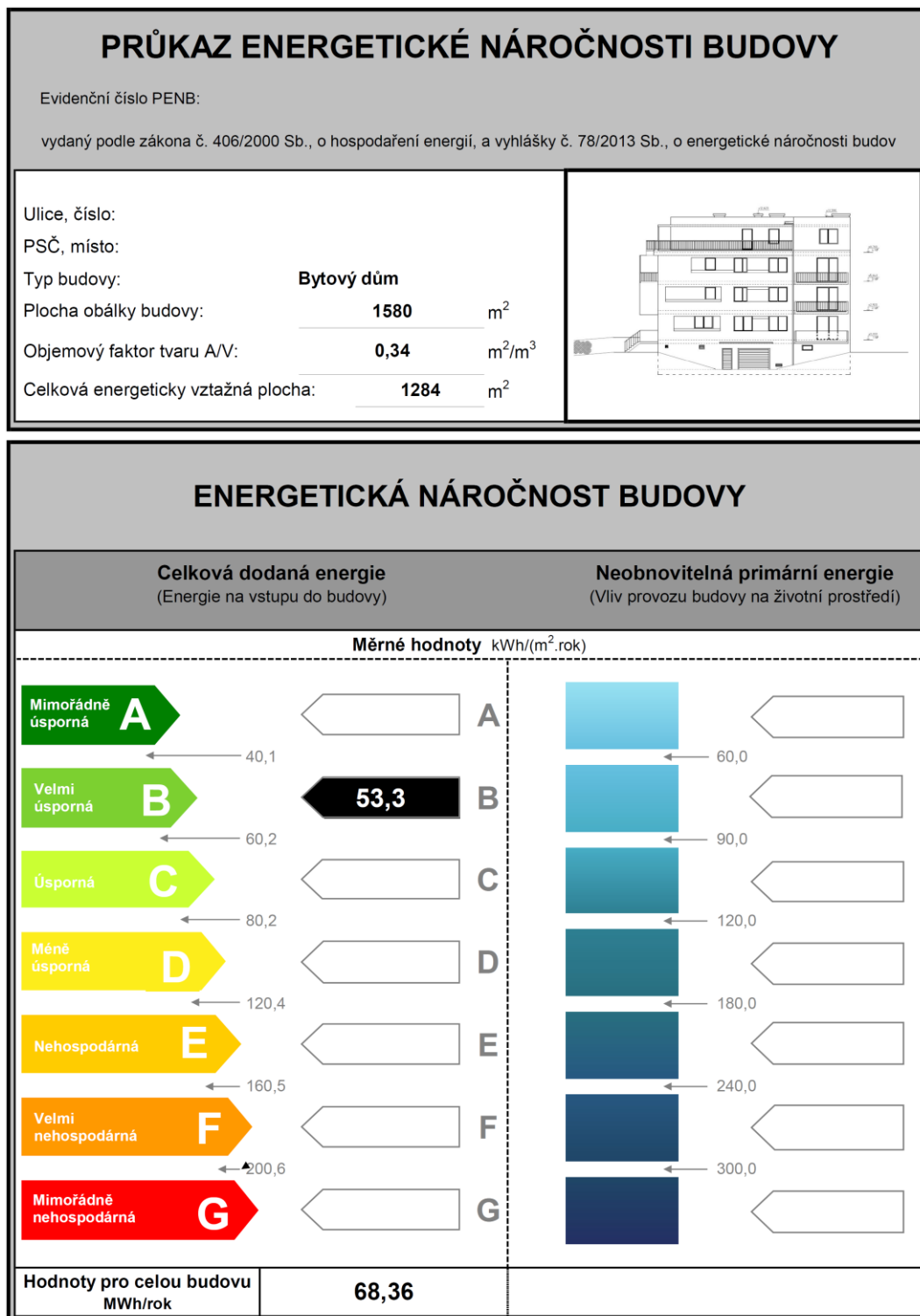
Tabulka 3 – Výpočet spotřebičové potřeby energie – byt [16]

Spotřebičová potřeba energie – bytový dům	
Spotřeba za rok byt [kWh]	2 416,3
Počet bytů	14
Spotřeba spotřebičů bytový dům [kWh]	33 828
Počet osob	32
Spotřeba spotřebičů na osobu [kWh]	1 057

Tabulka 4 – Spotřebičová potřeba energie – bytový dům

7.5. Energetické vstupy budovy

7.5.1. Nízkoenergetický standard (NE)



UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	$U_{em} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Dílčí dodaná energie				Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							2,0
A							
B	0,34	23,9					
C				4,6		22,8	
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		30,6	0,0	5,9	0,0	29,3	2,5

Obr. 7 – Ukazatele energetické náročnosti budovy – NE [12]

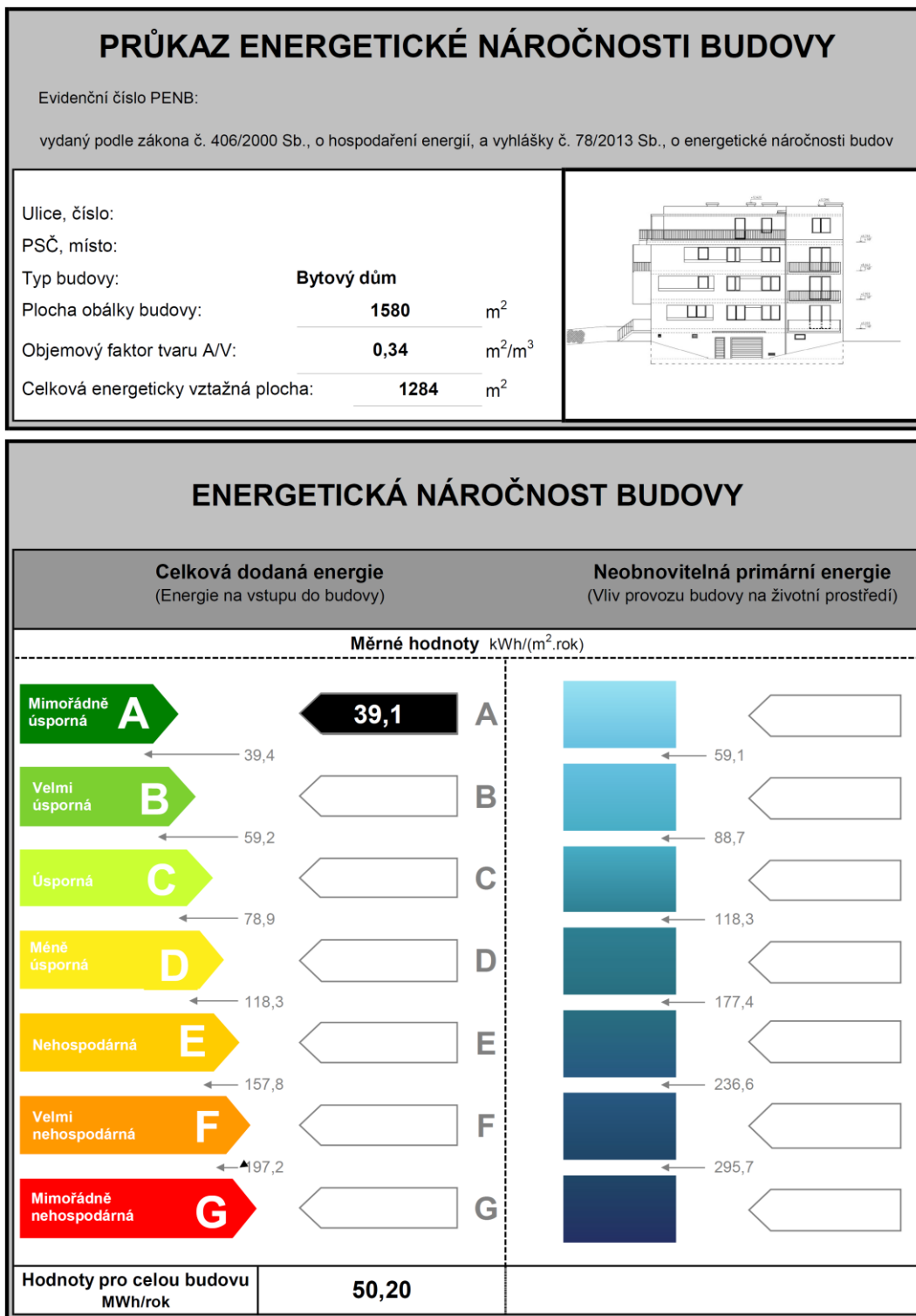
Nízkoenergetický standard	
Energeticky vztažná plocha [m ²]	1 284
Potřeba energie na vytápění [kWh]	30 600
Potřeba energie na větrání [kWh]	5 900
Potřeba energie na ohřev TV [kWh]	29 300
Potřeba energie na chlazení [kWh]	0
Potřeba energie pro osvětlení [kWh]	2 500
Potřeba energie pro spotřebiče [kWh]	33 828
Potřeba energie na vytápění [kWh/m ² *a]	23,9
Maximální potřeba energie na vytápění [kWh/m ² *a]	50
Požadavek na neobnovitelnou primární energii NPE [kWh/m ² *a]	91
Tepelná ztráta objektu -13 °C [kW]	24,5

Tabulka 5 – Energetické potřeby budovy – NE

Potřeba energie na vytápění ≤ Maximální potřeba energie na vytápění [kWh/m²*a]
 23,9 ≤ 50 [kWh/m²*a]








Požadavek splněn

7.5.2. Pasivní standard (PAS)



Obr. 8 – Průkaz energetické náročnosti budovy – PAS [12]

Neobnovitelná primární energie je hodnocena v další části práce.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	$U_{em} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Díleční dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mimořádně úsporná	 0,21	 9,8					 2,0
A							
B							
C				4,5		22,8	
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		12,6	0,0	5,8	0,0	29,3	2,5

Obr. 9 – Ukazatele energetické náročnosti budovy – PAS [12]

Pasivní standard	
Energeticky vztažná plocha [m ²]	1 284
Potřeba energie na vytápění [kWh]	12 600
Potřeba energie na větrání [kWh]	5 800
Potřeba energie na ohřev TV [kWh]	29 300
Potřeba energie na chlazení [kWh]	0
Potřeba energie pro osvětlení [kWh]	2 500
Potřeba energie pro spotřebiče [kWh]	33 828
Potřeba energie na vytápění [kWh/m ² *a]	9,8
Maximální potřeba energie na vytápění [kWh/m ² *a]	15
Požadavek na neobnovitelnou primární energii NPE [kWh/m ² *a]	60
Tepelná ztráta objektu -13 °C [kW]	16,5

Tabulka 6 – Energetické potřeby budovy – PAS

Potřeba energie na vytápění ≤ Maximální potřeba energie na vytápění [kWh/m²*a]
 9,8 ≤ 15 [kWh/m²*a]

Požadavek splněn

8. Varianty zdrojů tepla

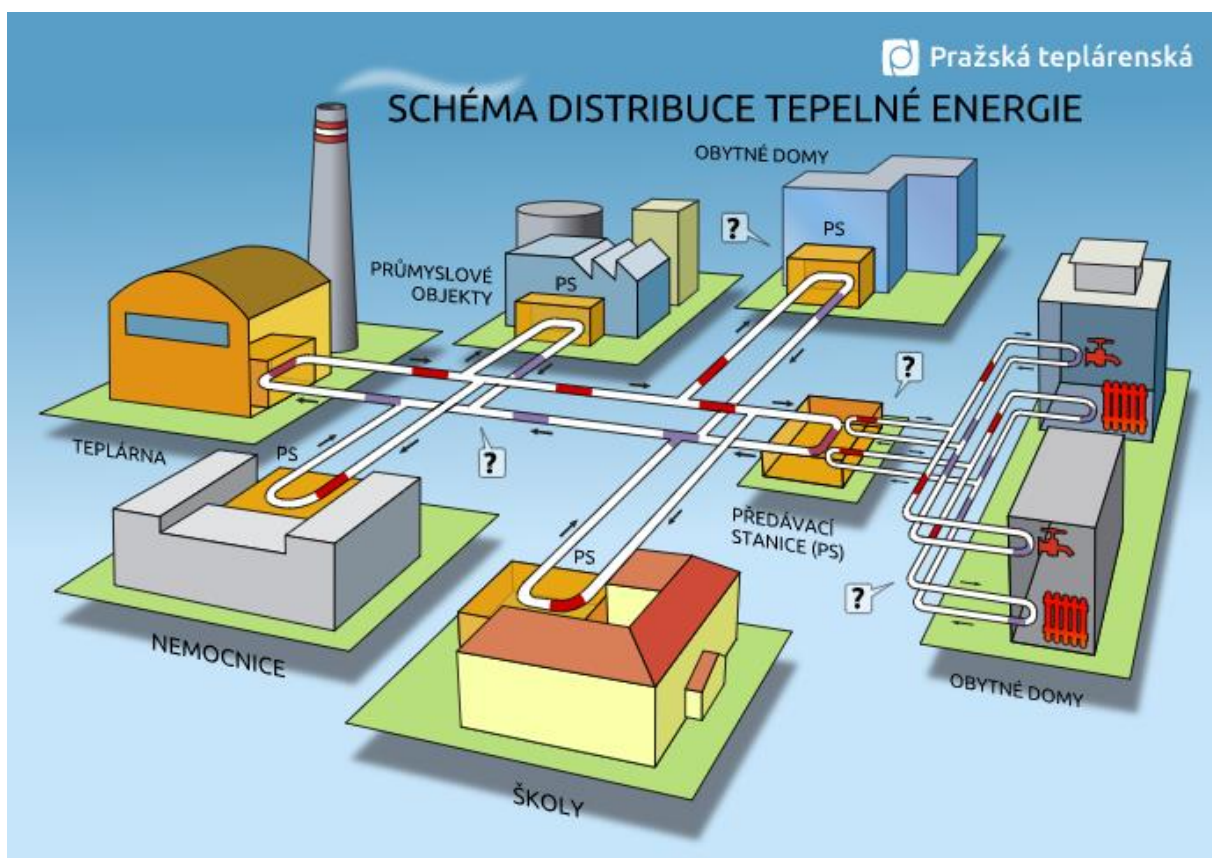
Při výběru vhodného zdroje tepla je nutné brát v úvahu více rozhodujících faktorů. Prioritou z hlediska stavebního zákona je volba zdroje tepla, který musí společně s ostatními technickými systémy budovy splnit požadavky z hlediska neobnovitelné primární energie. Vytápění pouze elektřinou například pomocí elektrokotlů a teplovodního systému je tedy možné pouze při instalaci fotovoltaického systému, který v roční bilanci dodá dostatečné množství energie pro splnění požadavků z hlediska NPE. Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům fotovoltaických systému jsem tuto variantu neposuzoval. Varianty se spalováním paliv jsem neuvažoval kvůli umístění bytového domu v Praze a vzhledem ke schválení nové závazně obecné vyhlášky č. 11/2019 Sb. HMP, která zakazuje od 1. 10. 2020 spalovat uhlí, uhelné brikety a koks ve spalovacích zdrojích o příkonu 300 kW a nižším. [17] Tato vyhláška nám sice nezakazuje spalovat dřevo nebo dřevěné pelety, ale z důvodů náročnosti dodávky paliva a obsluhy spalovacích zdrojů tato varianta není vhodná.

Po zvážení všech možností mi zbývají tři možné varianty zdrojů tepla pro řešený bytový dům. První variantou je připojení na soustavu zásobování tepelnou energií pomocí tlakově nezávislé předávací stanice. Druhou variantou je vytápění zemním plynem kondenzačními kotli zapojenými do kaskády. Třetí variantou je využití elektřiny v kombinaci s energií okolního prostředí pomocí tepelných čerpadel vzduch-voda.

8.1. Soustava zásobování tepelnou energií – tlakově nezávislá předávací stanice

8.1.1. Dodávka tepelné energie

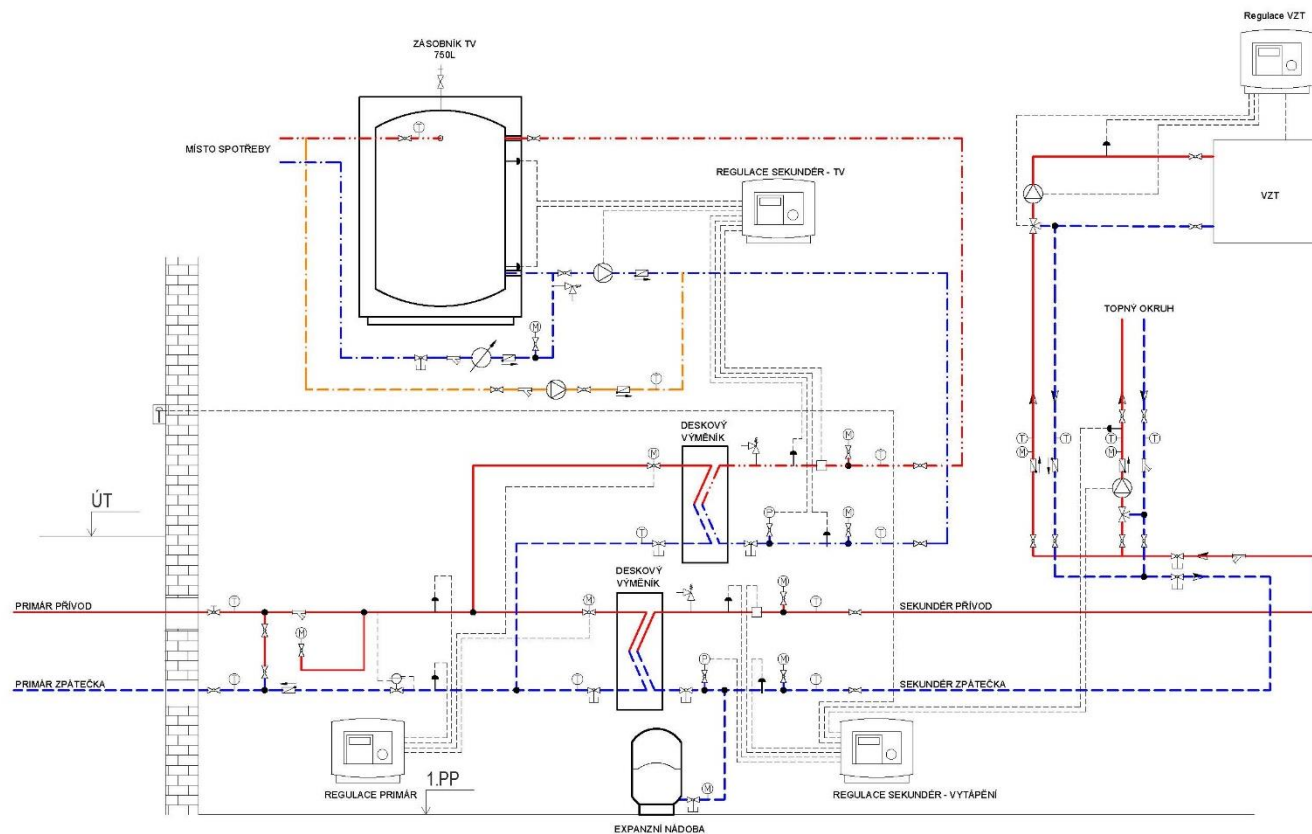
Soustava zásobování tepelné energie (SZTE) je systém dodávky tepelné energie, kdy výroba tepla je řešena centrálně v jednom nebo více zdrojích a teplo je dodáváno teplárenskými sítěmi do jednotlivých objektů pomocí předávacích stanic. [18] Teplárna vyrábí současně elektrickou energii a teplo. Odpadní teplo se distribuuje soustavou přímo k odběratelům ve formě horké vody nebo páry. Tepelná energie je v připojených objektech odebírána pomocí předávacích stanic.



Obr. 10 – Schéma SZTE [19]

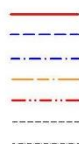
8.1.2. Předávací stanice

Jako jednu z variant jsem zvolil tlakově nezávislou předávací stanici, kdy se dodané teplo předává na dvou deskových výměnících tepla. První výměník je pro soustavu vytápění a druhý pro ohřev TV. Část připojení od teplárny (zdroje tepla) po předávací stanici je ve vlastnictví dodavatele energie. Předávací stanice a otopná soustava je ve vlastnictví objektu.



LEGENDA

PRÍVODNÍ POTRUBÍ
 VRATNÉ POTRUBÍ
 PRÍVOD STUDENÁ VODA
 CÍRKULAČNÍ VODA
 TEPLÁ VODA
 KABELÁŽ PRO REGULACI
 PROPOJENÍ REGULÁTORU DIF. TLAKU



KULOVÝ VENTIL
 ZPĚTNÁ KLAPKA
 FILTR
 OBĚHOVÉ ČERPADLO
 KULOVÝ VENTIL S VYPOUŠTĚNÍM
 TLAKOMĚR
 TEPLOMĚR



ODVZDUŠNĚNÍ
 TROJCESTNÝ VENTIL
 POJIŠŤOVACÍ VENTIL
 VYVAŽOVACÍ VENTIL
 VODOMĚR
 TEPLOTNÍ ČÍDLLO
 REGULÁTOR DIFERENČNÍHO TLAKU



HAVARIJNÍ TERMOSTAT
 MANOMETR S VENTILEM
 POJIŠŤOVACÍ VENTIL



Obr. 11 – Schéma systému – Předávací stanice tlakově nezávislá

8.2. Zemní plyn – kaskáda kondenzačních kotlů

8.2.1. Dodávka zemního plynu

Česká republika je závislá na dodávce zemního plynu ze zahraničí, což je jeho hlavní nevýhodou. Dodávka plynu do ČR je převážně z Ruska (75 %) a Norska (25 %). Česká produkce zemního plynu odpovídá cca 2 % roční potřeby naší republiky. Plyn je u nás dopravován plynovody, které jsou provozované v různých tlakových úrovních. Nízký tlak a střední tlak je využíván převážně pro distribuční soustavu a odběratele. Vysoký a velmi vysoký tlak je využíván hlavně pro dálkovou přepravu plynu. [20]

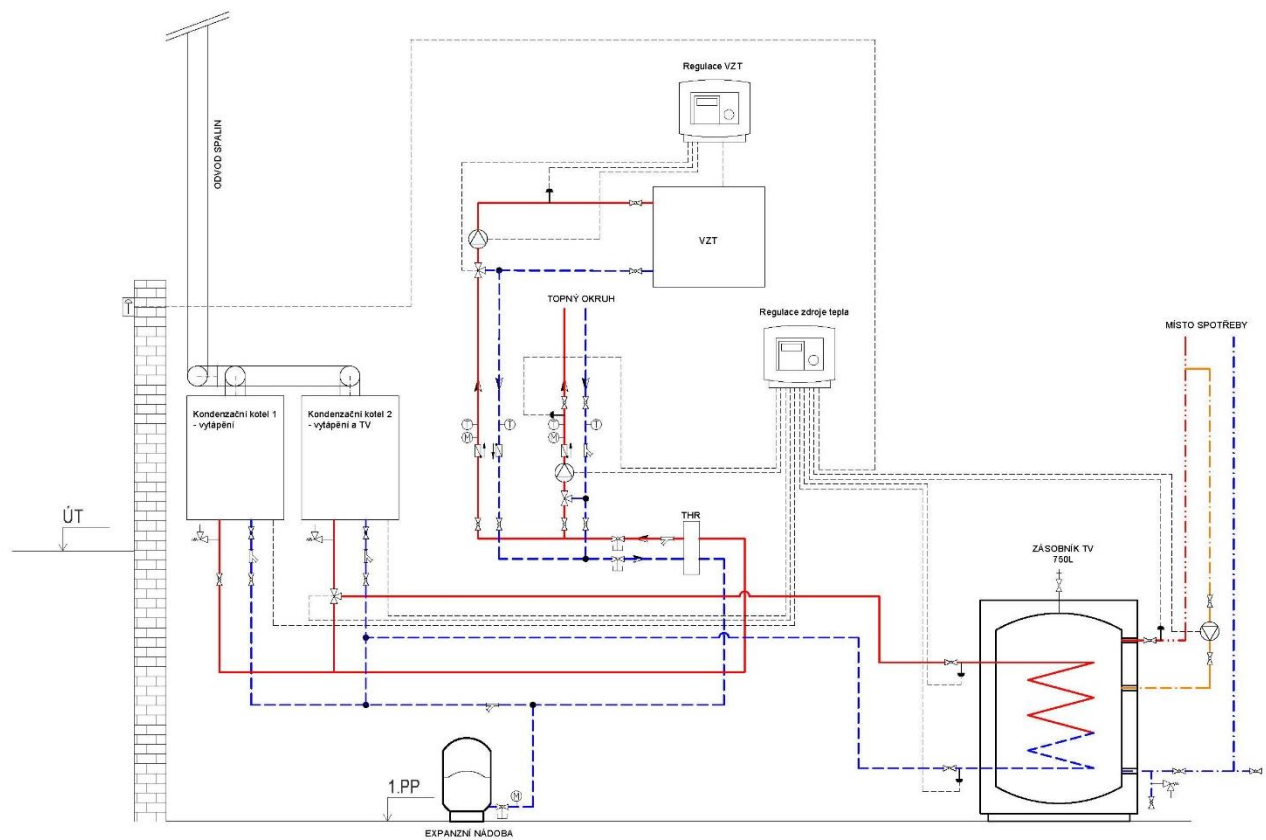


Obr. 12 – Plynovod v ČR [20]

8.2.2. Kaskáda kondenzačních kotlů

Pro maximální účinnost kondenzačních kotlů je zásadní teplota vratné vody. Pokud je teplota vratné vody pod 55 °C, tak dochází ke kondenzaci vodní páry, která je obsažená ve spalinách plynu. Využitím kondenzace zvyšujeme účinnost celého spalovacího procesu díky využití energie skupenské přeměny. Pro správnou funkci kondenzačního kotle je tedy nutné navrhnout otopnou soustavu na optimální teplotní spád. Ideální jsou otopné soustavy s teplotním spádem kolem 55/45 °C a nižším. U starších plynových kotlů byla zásadním problémem jejich regulace. Dnešní moderní kotle disponují regulací výkonu již od 10 % jejich jmenovitého výkonu. To je velmi důležité pro zajištění optimální dodávky tepla dle aktuálních potřeb objektu. [21]

V této variantě je navržena dvojice závěsných kondenzačních kotlů připojených do kaskády. Kotle se starají o vytápění a ohřev TV. Jeden z kotlů je vybaven externím trojcestným ventilem pro ohřev TV a je zapojen na nepřímo ohříváný zásobník o objemu 750 l.



LEGENDA

PRÍVODNÍ POTRUBÍ
 VRATNÉ POTRUBÍ
 PRÍVOD STUDENÁ VODA
 CÍRKULAČNÍ VODA
 TEPLÁ VODA
 KABELÁŽ PRO REGULACI

— KULOVÝ VEVNÍTL
 - - - ZPĚTNÁ Klapka
 - - - FILTR
 - - - OBĚHOVÉ ČERPADLO
 - - - KULOVÝ VENTIL S VYPOUŠTĚNÍM
 TLAKOMĚR
 TEPLOMĚR

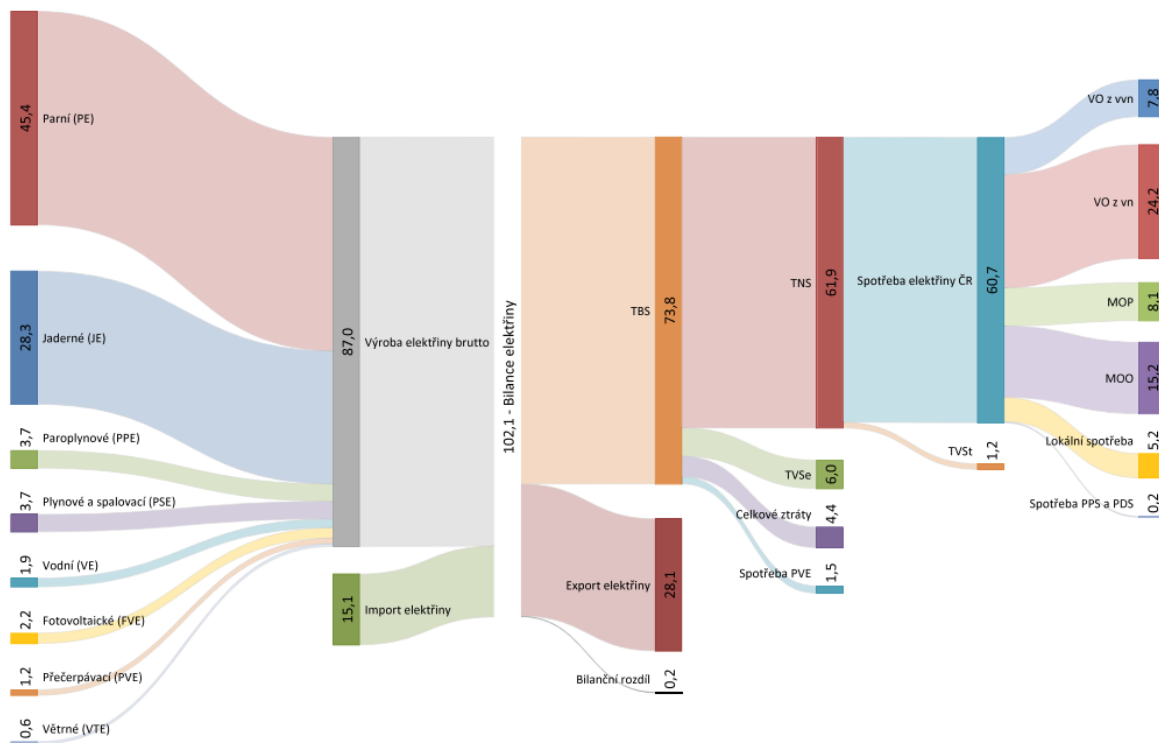
⊘ ODVZDUŠNĚNÍ
 ≡ TROJCESTNÝ VENTIL
 ⌘ POJŠTOVACÍ VENTIL
 ⊕ VYVAŽOVACÍ VENTIL
 ⊕ SNÍMAČ TEPLOTY
 ⊕

Obr. 13 – Schéma systému – kaskáda plynových kondenzačních kotlů

8.3. Elektřina a energie okolního prostředí – Tepelné čerpadlo vzduch-voda

8.3.1. Elektrická energie

Hlavní výhodou elektrické energie je skutečnost, že je dostupná skoro na každém místě v ČR. V dnešní době je mizivé množství nemovitostí, které by neměly k dispozici elektřinu. Největším problémem elektrické energie je její vysoký konverzní faktor při hodnocení vzhledem k NPE. Tento vysoký konverzní faktor je v ČR způsobený malým podílem obnovitelných zdrojů pro její výrobu. Většinový podíl výroby elektřiny u nás totiž tvoří uhelné elektrárny (parní).



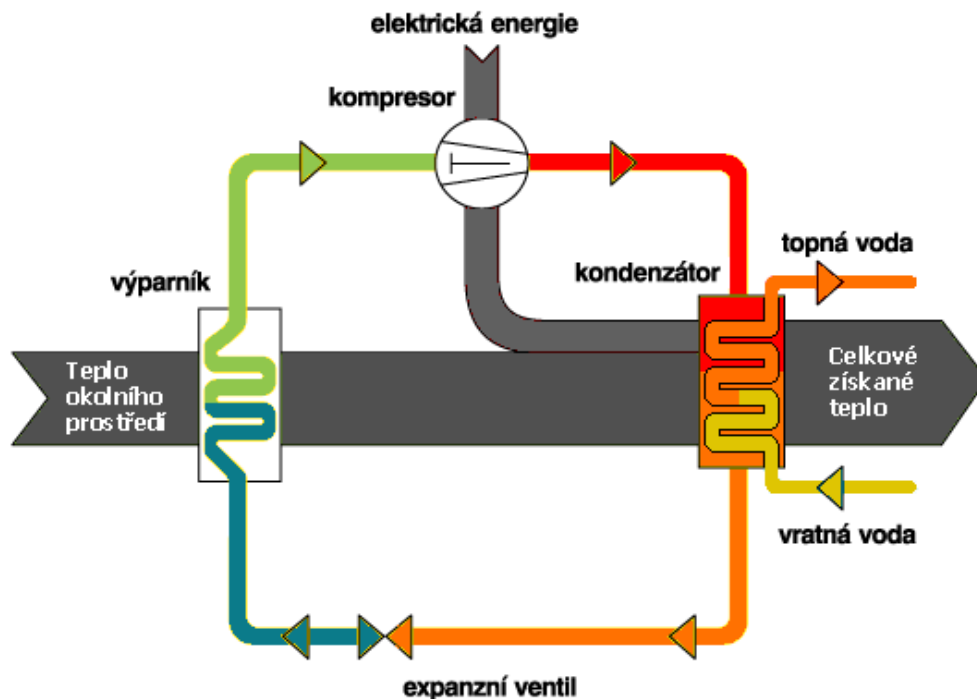
Obr. 14 – Bilance elektřiny za rok 2017 [22]

8.3.2. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Tepelné čerpadlo (TČ) je zařízení, které využívá teplo okolního prostředí. Tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř hlavních komponent (výparník, kompresor, kondenzátor a redukční ventil), pomocí kterých vysvětlím jeho princip.

Proces začíná, když ochlazené chladivo putuje do výparníku, kde jeho ohřevem venkovním vzduchem dojde k jeho odpaření. Chladivo v plynném skupenství putuje do kompresoru, kde se stlačí a díky zvýšení tlaku se zvýší i jeho teplota. Takto ohřáté chladivo v plynném skupenství pokračuje do kondenzátoru, kde odevzdá energii například do otopné vody a zkapalní.

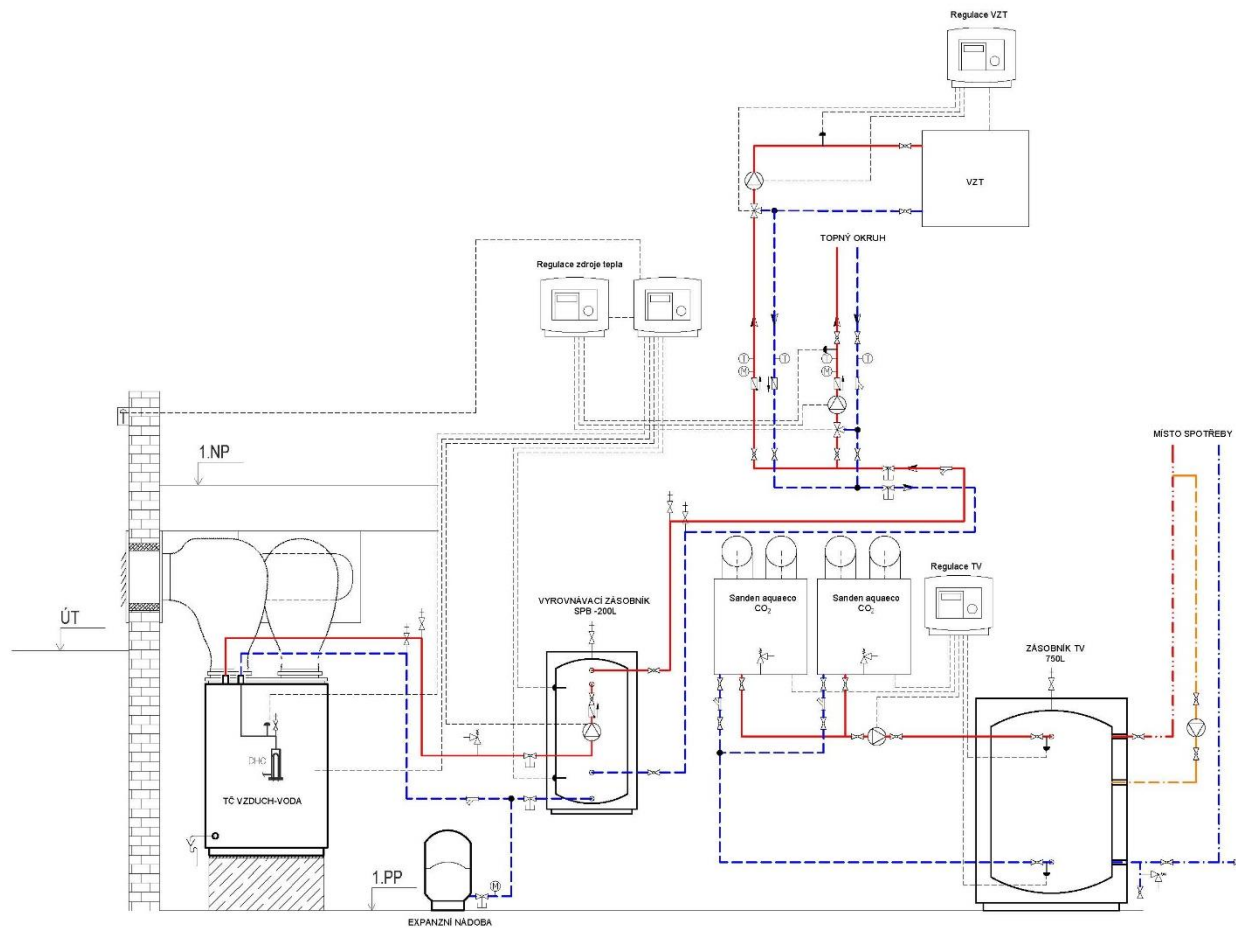
Takto zkapalněné chladivo projde přes redukční ventil, kdy se sníží jeho tlak a tím se prudce ochladí. Ochladené chladivo se opět ohřeje na výparníku venkovním vzduchem a proces se opakuje.



Obr. 15 - Princip tepelného čerpadla [23]

K hodnocení energetické účinnosti se používá tzv. topný faktor neboli COP. Tento údaj nám sděluje, kolik TČ vyrobí kWh tepla z 1 kWh dodané elektrické energie. V případě COP 3 vyrobíme z 1 kWh elektrické energie 3 kWh tepla. Topný faktor je proměnlivý a závislý vždy na teplotě okolního prostředí a výstupní teplotě vody. Čím vyšší je teplota okolního prostředí a nižší teplota topné vody, tím je COP vyšší. Další důležitou hodnotou tepelného čerpadla je sezónní topný faktor neboli SCOP. Tato hodnota je důležitá pro vyhodnocení jeho ekonomické náročnosti provozu v období jednoho roku.

V objektu je navrženo jedno tepelné čerpadlo vzduch-voda ve vnitřním provedení pro vytápění. O ohřev TV se bude starat kaskáda tepelných čerpadel vzduch-voda s chladivem CO₂, která budou připojena k zásobníku TV o objemu 750 l.



LEGENDA

PRÍVODNÉ POTRUBÍ		KULOVÝ VENTIL		TLAKOMÉR		SNÍMAČ TEPLOTY	
VRATNÉ POTRUBÍ		ZPĚTNÁ KLAPKA		TEPLOMĚR		VYVAŽOVACÍ VENTIL	
PRÍVOD STUDENÁ VODA		FILTR		ODVZDUŠNĚNÍ			
CIRKULAČNÍ VODA		OBĚHOVÉ ČERPADLO		TROJCESTNÝ VENTIL			
TEPLÁ VODA		KULOVÝ VENTIL S VYPOUŠTENÍM		POJIŠŤOVACÍ VENTIL			
KABELÁŽ PRO REGULÁCI							

Obr. 16 – Schéma systému – tepelná čerpadla vzduch-voda

9. Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant

Do investičních nákladů budu započítávat pouze položky, které jsou v systému vytápění rozdílné. Otopná soustava a její prvky jsou pro všechny varianty identické. Hlavními proměnnými jsou tedy rozdílné zdroje tepla, jejich regulace a rozdílné zásobníky TV. Zdroje tepla ve všech variantách dosahují normované životnosti minimálně 15 let dle ČSN EN 15459-1 [6] a na toto období budou vyhodnoceny. Roční náklady na údržbu jsou u jednotlivých variant rozdílné a budou započítány do provozních nákladů. Dalším zajímavým faktorem pro vyhodnocení nákladů jednotlivých variant je zahrnutí spotřeby el. energie domácích spotřebičů. Toto se výrazně projeví u varianty s tepelnými čerpadly, kdy celý objekt odebírá elektrickou energii za výhodnější tarifní sazbu D57d.

Pro výpočet diskontované cash flow byla použita diskontní sazba 2 % (0,02).

9.1. Nízkoenergetický standard (NE)

9.1.1. SZTE

U varianty SZTE předpokládám připojení na soustavu hrazenou dodavatelem tepla. Vlastník bude pouze financovat vlastní předávací stanici. Tuto variantu rozdělení financování umožňuje Pražská teplárenská pro ekonomicky pozitivní projekty.

Investiční náklady	
Položka	Cena
Zásobník TV Regulus 750 I	55 780 Kč
Domovní stanice LOGOmax H AF S-H B	121 000 Kč
Regulace domovní stanice	30 000 Kč
Připojení na soustavu SZTE	0 Kč
Celkem	206 780 Kč

Tabulka 7 – Investiční náklady – SZTE – NE

Roční náklady na údržbu jsou stanoveny z procentuálního podílu investice jednotlivých zařízení. Procentuální podíl vstupních nákladů je stanoven dle ČSN EN 15459-1. [6]

Roční náklady na údržbu		
Zařízení	% vstupních nákladů	Cena
Zásobník TV Regulus 750 l	1	558 Kč
Domovní stanice LOGOmax H AF S-H B	2	2 420 Kč
Regulace domovní stanice	4	1 200 Kč
Celkem		4 178 Kč

Tabulka 8 – Roční náklady na údržbu – SZTE – NE

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění	30 600	teplo	2,53	77 418 Kč
Větrání	5 900	elektřina D02d	4,60	27 140 Kč
Ohřev TV	29 300	teplo	2,53	74 129 Kč
Chlazení	0	elektřina D02d	4,60	0 Kč
Osvětlení	2 500	elektřina D02d	4,60	11 500 Kč
El. spotřebiče	33 828	elektřina D02d	4,60	155 609 Kč
Celkem				345 796 Kč

Tabulka 9 – Roční platby za spotřebovanou energii – SZTE – NE

9.1.2. Kaskáda kondenzačních kotlů

Pro variantu vytápění plynem uvažují dvojici kondenzačních plynových kotlů zapojených do kaskády, kdy jeden se bude starat převážně o ohřev TV a druhý o vytápění objektu. Kotle mají plynulou regulaci od cca 10 % jejich nominálního výkonu. V extrémních mrazech může kotel pro ohřev TV sloužit i jako druhý záložní zdroj pro vytápění. Připojení na otopnou soustavu je řešeno pomocí termohydraulického rozdělovače.

Investiční náklady	
Položka	Cena
Nerezový komín 12 m	53 500 Kč
Instalace komínu	10 000 Kč
Plynovodní přípojka 12 m	24 000 Kč
Vnitřní plynovod	10 000 Kč
Termohydraulický rozdělovač 45KD	18 030 Kč
Regulace vč. detekce CO a úniku plynu	35 000 Kč
Nepřímotopný zásobník THERM OKC 750 NTRR	67 030 Kč
Odkouření kotlů	13 540 Kč
Kotel therm 18KD	38 600 Kč
Kotel therm 25KD	39 810 Kč
Celkem	309 510 Kč

Tabulka 10 – Investiční náklady – kondenzační plynové kotle – NE

Roční náklady na údržbu jsou stanoveny z procentuálního podílu investice jednotlivých zařízení. Procentuální podíl vstupních nákladů je stanoven dle ČSN EN 15459-1. [6] U této varianty byly dále stanoveny ceny nutných kontrol na zařízeních dle průměrných cen v Praze.

Roční náklady na údržbu		
Zařízení	% vstupních nákladů	Cena
Kotel therm 18KD	2	772 Kč
Kotel therm 25KD	2	796 Kč
Regulace vč. detekce CO a úniku plynu	4	1 400 Kč
Nepřímotopný zásobník THERM OKC 750 NTRR	1	670 Kč
Roční kontrola kotle 2x	-	3 000 Kč
Kontrola a čištění spalinové cesty	-	2 000 Kč
Celkem		8 639 Kč

Tabulka 11 – Roční náklady na údržbu – kondenzační plynové kotle – NE

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění	30 600	Plyn	1,20	36 720 Kč
Větrání	5 900	elektřina D02d	4,60	27 140 Kč
Ohřev TV	29 300	plyn	1,20	35 160 Kč
Chlazení	0	elektřina D02d	4,60	0 Kč
Osvětlení	2 500	elektřina D02d	4,60	11 500 Kč
El. spotřebiče	33 828	elektřina D02d	4,60	155 609 Kč
Celkem				266 129 Kč

Tabulka 12 – Roční platby za spotřebovanou energii – kondenzační plynové kotle – NE

9.1.3. Tepelná čerpadla vzduch-voda

V této variantě je navrženo jedno tepelné čerpadlo vzduch-voda pro vytápění objektu a dvě tepelná čerpadla vzduch-voda s chladičem CO₂ připojená do kaskády pro ohřev TV.

Investiční náklady	
Položka	Cena
Tepelné čerpadlo WPL 24 I	364 621 Kč
Opláštění WPL 24 I	36 445 Kč
Připojovací sada WPL 24 I	6 909 Kč
Regulace WPM a WPE	48 521 Kč
Vyrovnávací zásobník SPB 200 I	20 981 Kč
Tepelné čerpadlo Sanden aquaeco CO ₂ 2x	296 208 Kč
Zásobník TV Sanden 750 I	52 030 Kč
Regulace Sanden	12 300 Kč
Celkem	836 016 Kč

Tabulka 13 – Investiční náklady – tepelná čerpadla – NE

Roční náklady na údržbu jsou stanoveny z procentuálního podílu investice jednotlivých zařízení. Procentuální podíl vstupních nákladů je stanoven dle ČSN EN 15459-1. [6]

Roční náklady na údržbu		
Zařízení	% vstupních nákladů	Cena
Tepelné čerpadlo WPL 24l	3	12 239 Kč
Vyrovňovací zásobník SPB 200l	1	210 Kč
Tepelné čerpadlo Sanden aquaeco CO2 2x	3	8 886 Kč
Zásobník TV Sanden 750 l	1	520 Kč
Regulace Sanden	4	492 Kč
Regulace WPM a WPE	4	1 941 Kč
Celkem		24 288 Kč

Tabulka 14 – Roční náklady na údržbu – tepelná čerpadla – NE

U této varianty je dodávána do objektu elektřina za výhodnější tarifní sazbu D57d.

Sazba D57d je rozdělena na dva tarify:

- Nízký tarif – NT – 20 hod 2,77 Kč/kWh
- Vysoký tarif – VT – 4 hod 3,10 Kč/kWh

Výpočet ceny pro D57d jsem zjednodušil aritmetickým průměrem jednotlivých cen:

$$\frac{\text{cena NT} \cdot \text{doba NT} + \text{cena VT} \cdot \text{doba VT}}{\text{celková doba}} = \frac{2,77 \cdot 20 + 3,10 \cdot 4}{24} = 2,83 \text{ Kč/kWh}$$

Dalším důležitým faktorem pro správné energetické vstupy při použití tepelných čerpadel je stanovení jejich SCOP. Tepelné čerpadlo pro vytápění v teplotním spádu otopné soustavy 50/40 °C dle zjednodušeného výpočtu výrobce zařízení dosahuje SCOP 3,3. Jelikož se jedná o hodnoty výrobce, které slouží k marketingovým účelům, tak pro vyhodnocení snížím hodnotu SCOP na 2,5. U tepelných čerpadel pro ohřev TV s chladičem CO₂ je hodnota SCOP udávaná výrobcem rovna 3,5. Vzhledem ke skutečnosti, že v mém návrhu jsou tepelná čerpadla využívána v ekonomickém režimu s dostatečnou výkonovou rezervou, tak snížím hodnotu SCOP pouze o 0,5 na hodnotu 3,0.

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění celkem – SCOP 2,5	30 600	-	-	-
Vytápění elektřina	12 240	elektřina D57d	2,83	34 639 Kč
Vytápění energie okolní prostředí	18 360	OZE	-	-
Větrání	5 900	elektřina D57d	2,83	16 697 Kč
Ohřev TV celkem – SCOP 3,0	29 300	-	-	-
Ohřev TV elektřina	9 767	elektřina D57d	2,83	27 640 Kč
Ohřev TV energie okolní prostředí	19 553	OZE	1,20	-
Chlazení	0	elektřina D57d	2,83	-
Osvětlení	2 500	elektřina D57d	2,83	7 075 Kč
El. spotřebiče	32 828	elektřina D57d	2,83	95 733 Kč
Celkem				181 784 Kč

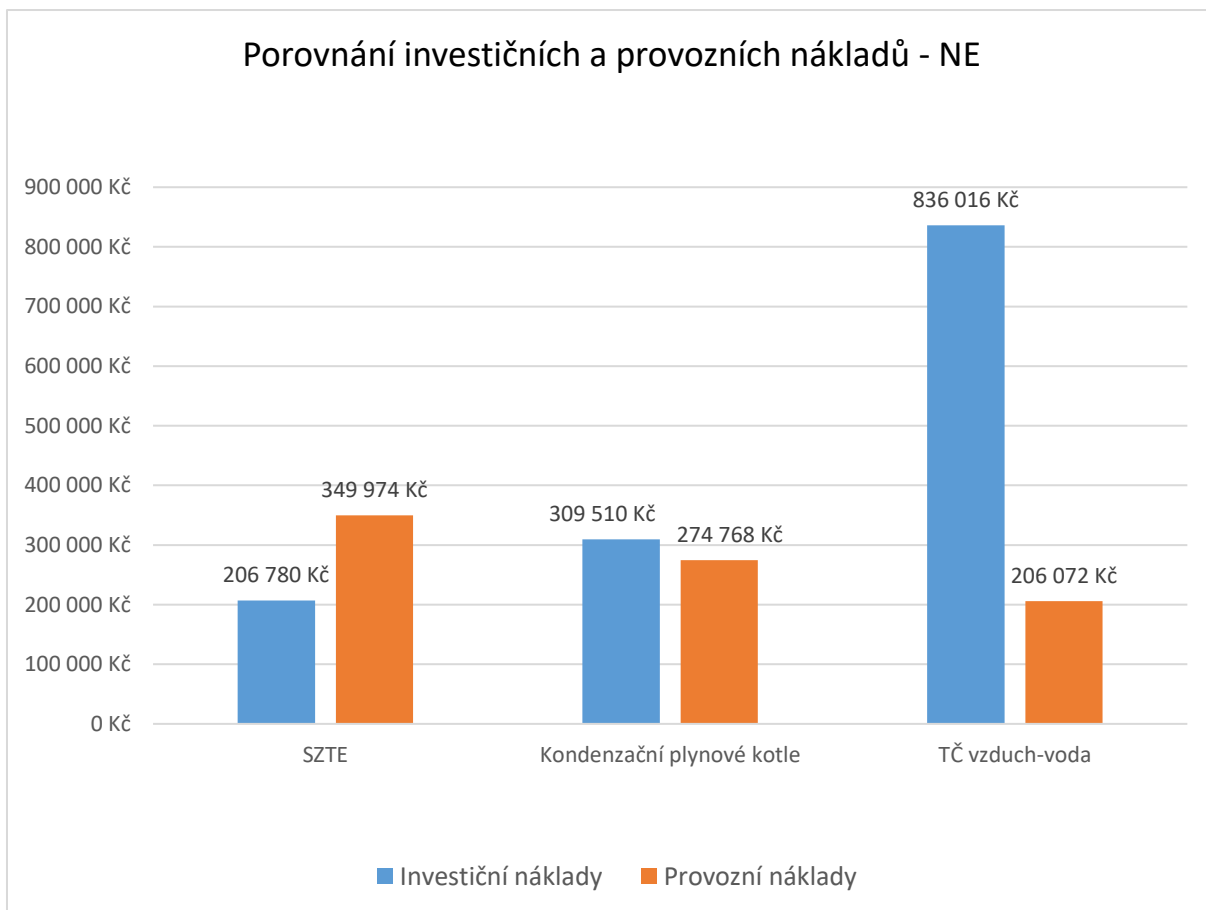
Tabulka 15 – Roční platby za spotřebovanou energii – tepelná čerpadla – NE

9.1.4. Porovnání variant

Celkové provozní náklady každé varianty jsou stanoveny součtem nákladů za roční platby a roční údržbu.

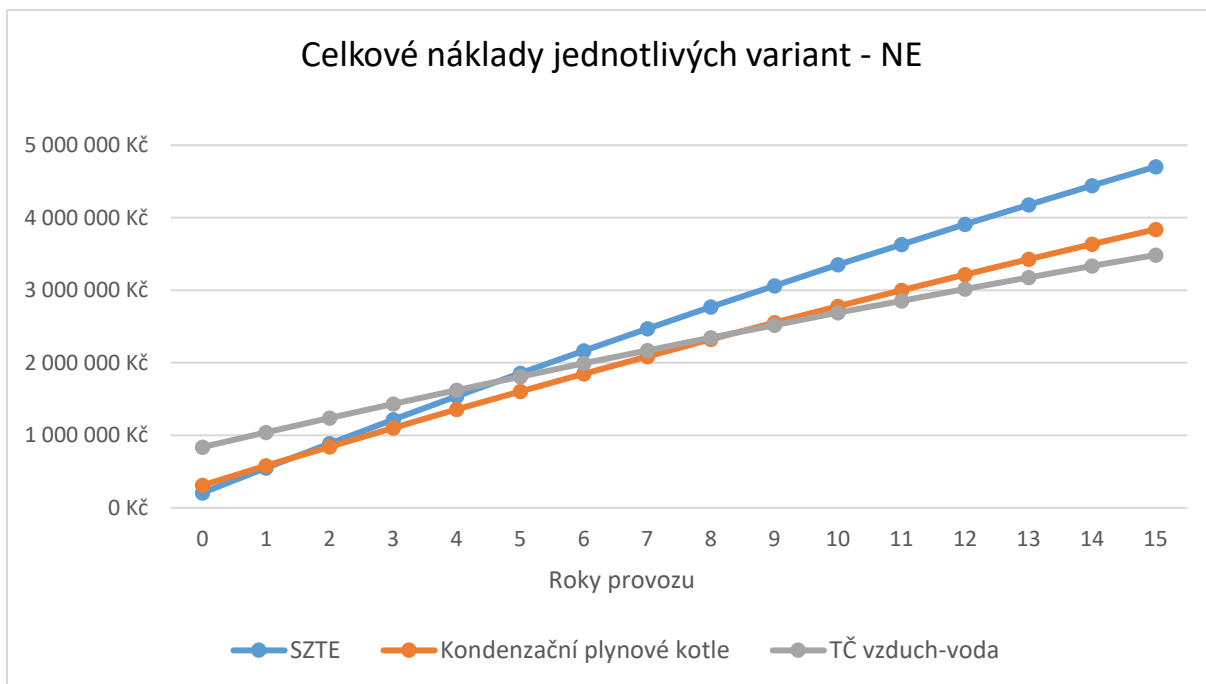
Typ nákladů	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
Investiční náklady	206 780 Kč	309 510 Kč	836 016 Kč
Roční údržba	4 178 Kč	8 639 Kč	24 288 Kč
Roční platby	345 796 Kč	266 129 Kč	181 784 Kč
Provozní náklady	349 974 Kč	274 768 Kč	206 072 Kč

Tabulka 16 – Jednotlivé náklady – NE



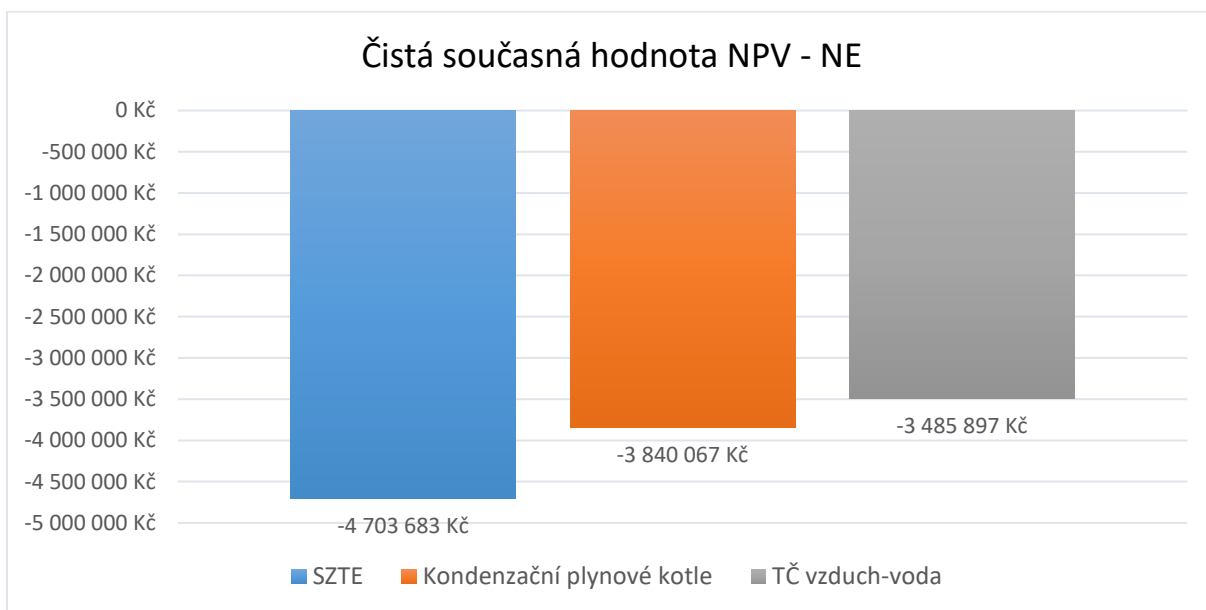
Graf 2 – Porovnání investičních a provozních nákladů – NE

V tomto grafu lze vidět pár zajímavých ukazatelů. Roční náklady za provoz objektu jsou při použití kondenzačních plynových kotlů skoro identické s počáteční investicí. U SZTE jsou pořizovací náklady velmi nízké, ale vzhledem k poměrně vysoké ceně tepla jsou roční provozní náklady nevyšší ze všech variant. Tepelná čerpadla vycházejí provozně nejlépe, což je způsobeno převážně výhodnou tarifní sazbou za elektrickou energii, naopak jejich investiční náklady jsou oproti variantě SZTE skoro čtyřnásobné.



Graf 3 – Celkové náklady jednotlivých variant – NE

Na tomto grafu je viditelné, že po osmi a půl letech provozu jsou tepelná čerpadla vzduch-voda nejlevnější variantou pro vytápění a ohřev TV.



Graf 4 – Čistá současná hodnota – NE

Hodnocení podle NPV nám ukazuje, kolik nás bude stát provoz budovy včetně investičních nákladů na pořízení zdrojů tepla. Po patnácti letech provozu je varianta s tepelnými čerpadly vzduch-voda levnější o cca 350 000 Kč než varianta s kondenzačními plynovými kotli a o cca 1 220 000 Kč než SZTE.

9.2. Pasivní standard (PAS)

9.2.1. SZTE

Předávací stanice v nízkoenergetickém standardu byla již v nejmenším vyráběném provedení, z tohoto důvodu jsou investiční náklady a náklady za údržbu zařízení identické s nízkoenergetickým standardem. Rozdíl je pouze v ročních platbách za spotřebovanou energii, díky nižším potřebám energie na vytápění.

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění	12 600	teplo	2,53	31 878 Kč
Větrání	5 800	elektřina D02d	4,60	26 680 Kč
Ohřev TV	29 300	teplo	2,53	74 129 Kč
Chlazení	0	elektřina D02d	4,60	0 Kč
Osvětlení	2 500	elektřina D02d	4,60	11 500 Kč
El. spotřebiče	33 828	elektřina D02d	4,60	155 609 Kč
Celkem				299 796 Kč

Tabulka 17 – Roční platby za spotřebovanou energii – SZTE – PAS

9.2.2. Kaskáda kondenzačních kotlů

Rozdíl v investiční nákladech je oproti nízkoenergetickému standardu malý. Nižší tepelná ztráta nám umožňuje zvolit kotel s nižším výkonem. Bohužel rozdíl v pořizovací ceně těchto kotlů je minimální.

Investiční náklady	
Položka	Cena
Nerezový komín 12 m	53 500 Kč
Instalace komínu	10 000 Kč
Plynovodní přípojka 12 m	24 000 Kč
Vnitřní plynovod	10 000 Kč
Termohydraulický rozdělovač 45KD	18 030 Kč
Regulace vč. detekce CO a úniku plynu	35 000 Kč
Nepřímotopný zásobník THERM OKC 750 NTRR	67 030 Kč
Odkouření kotlů	13 540 Kč
Kotel therm 18KD 2x	77 200 Kč
Celkem	308 300 Kč

Tabulka 18 – Investiční náklady – kondenzační plynové kotle – PAS

Roční náklady na údržbu jsou stanoveny z procentuálního podílu investice jednotlivých zařízení. Procentuální podíl vstupních nákladů je stanoven dle ČSN EN 15459-1. [6] U této varianty byly dále stanoveny ceny nutných kontrol na zařízeních dle průměrných cen v Praze.

Roční náklady na údržbu		
Zařízení	% vstupních nákladů	Cena
Kotel therm 18KD	2	1 544 Kč
Regulace vč. detekce CO a úniku plynu	4	1 400 Kč
Nepřímotopný zásobník THERM OKC 750 NTRR	1	670 Kč
Roční kontrola kotle 2x	-	3 000 Kč
Kontrola a čištění spalinové cesty	-	2 000 Kč
Celkem		8 614 Kč

Tabulka 19 – Roční náklady na údržbu – kondenzační plynové kotle – PAS

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění	12 600	Plyn	1,20	15 120 Kč
Větrání	5 800	elektřina D02d	4,60	26 680 Kč
Ohřev TV	29 300	plyn	1,20	35 160 Kč
Chlazení	0	elektřina D02d	4,60	0 Kč
Osvětlení	2 500	elektřina D02d	4,60	11 500 Kč
El. spotřebiče	33 828	elektřina D02d	4,60	155 609 Kč
Celkem				244 069 Kč

Tabulka 20 – Roční platby za spotřebovanou energii – kondenzační plynové kotle – PAS

9.2.3. Tepelná čerpadla vzduch-voda

Rozdíl oproti nízkoenergetickému standardu je v nižším nominálním výkonu tepelného čerpadla pro vytápění. Bohužel cenový rozdíl mezi těmito výkonovými variantami tepelných čerpadel v tomto provedení je minimální.

Investiční náklady	
Položka	Cena
Tepelné čerpadlo WPL 19 I	344 402 Kč
Opláštění WPL 19 I	36 445 Kč
Připojovací sada WPL 19 I	6 909 Kč
Regulace WPM a WPE	48 521 Kč
Vyrovnávací zásobník SPB 200 I	20 981 Kč
Tepelné čerpadlo Sanden aquaeco CO2 2x	296 208 Kč
Zásobník TV Sanden 750 I	52 030 Kč
Regulace Sanden	12 300 Kč
Celkem	817 797 Kč

Tabulka 21 – Investiční náklady – tepelná čerpadla – PAS

Roční náklady na údržbu jsou stanoveny z procentuálního podílu investice jednotlivých zařízení. Procentuální podíl vstupních nákladů je stanoven dle ČSN EN 15459-1. [6]

Roční náklady na údržbu		
Zařízení	% vstupních nákladů	Cena
Tepelné čerpadlo WPL 19I	3	11 633 Kč
Vyrovňovací zásobník SPB 200 I	1	210 Kč
Tepelné čerpadlo Sanden aquaeco CO2 2x	3	8 886 Kč
Zásobník TV Sanden 750 I	1	520 Kč
Regulace Sanden	4	492 Kč
Regulace WPM a WPE	4	1 941 Kč
Celkem		23 682 Kč

Tabulka 22 – Roční náklady na údržbu – tepelná čerpadla – PAS

Roční platby jsou stanoveny součtem cen za spotřebu jednotlivých technologií v budově.

Roční platby za spotřebovanou energii				
Technologie	Množství [kWh]	Energie a tarifní sazba	Cena za kWh [Kč]	Cena
Vytápění celkem – SCOP 2,5	12 600	-	-	-
Vytápění elektřina	5 040	elektřina D57d	2,83	14 263 Kč
Vytápění energie okolní prostředí	7 560	OZE	-	-
Větrání	5 800	elektřina D57d	2,83	16 414 Kč
Ohřev TV celkem – SCOP 3,0	29 300	-	-	-
Ohřev TV elektřina	9 767	elektřina D57d	2,83	27 640 Kč
Ohřev TV energie okolní prostředí	19 533	OZE	1,20	-
Chlazení	0	elektřina D57d	2,83	-
Osvětlení	2 500	elektřina D57d	2,83	7 075 Kč
El. spotřebiče	33 828	elektřina D57d	2,83	95 733 Kč
Celkem				161 125 Kč

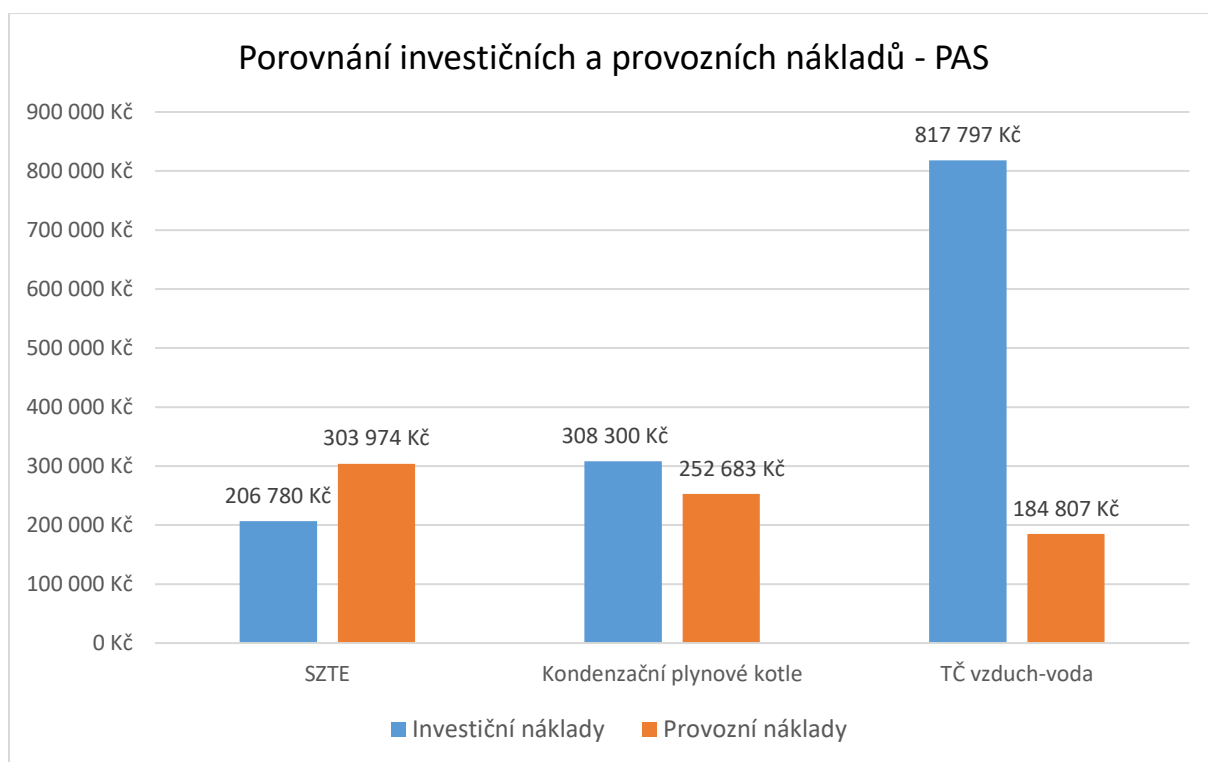
Tabulka 23 – Roční platby za spotřebovanou energii – tepelná čerpadla – PAS

9.2.4. Porovnání variant

Celkové provozní náklady každé varianty jsou stanoveny součtem nákladů za roční platby a roční údržbu.

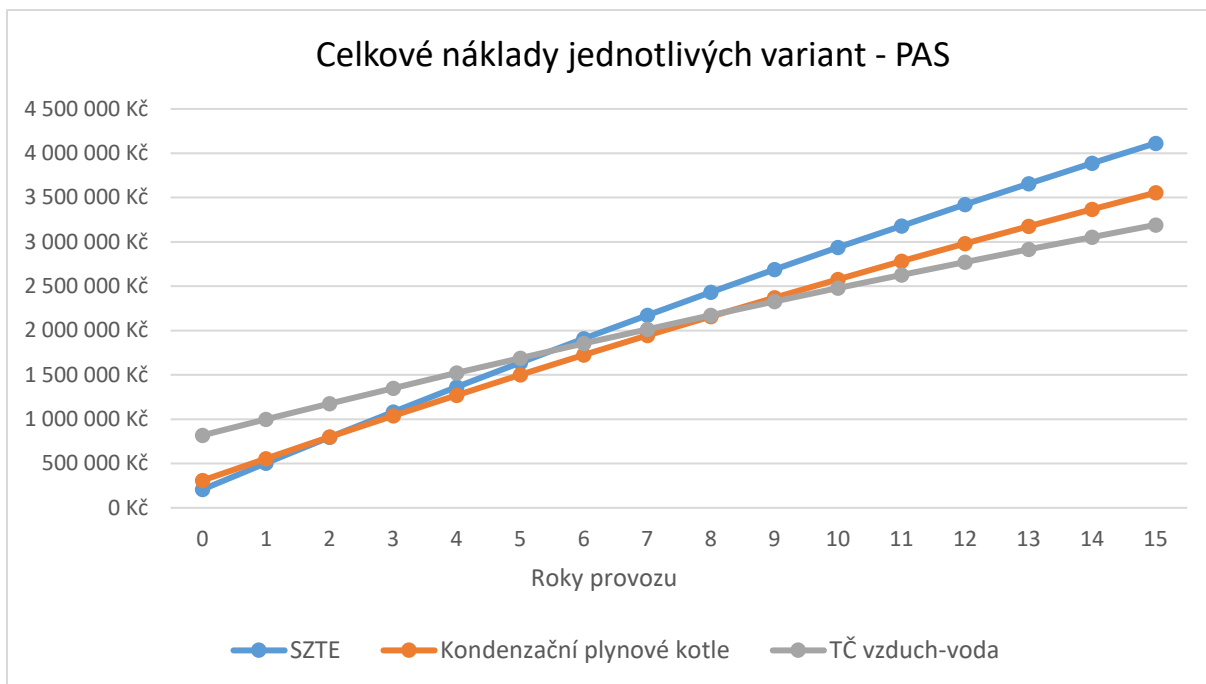
Typ nákladů	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
Investiční náklady	206 780 Kč	308 300 Kč	817 797 Kč
Roční údržba	4 178 Kč	8 614 Kč	23 682 Kč
Roční platby	299 796 Kč	244 069 Kč	161 125 Kč
Provozní náklady	303 974 Kč	252 683 Kč	184 807 Kč

Tabulka 24 – Jednotlivé náklady – PAS



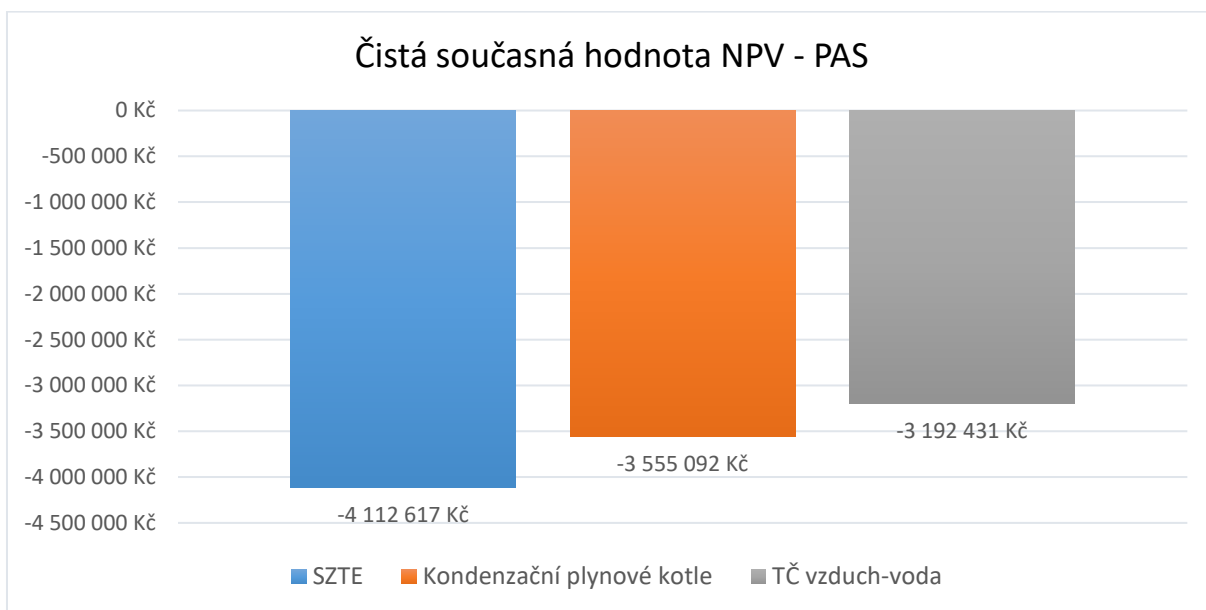
Graf 5 – Porovnání investičních a provozních nákladů – PAS

I v pasivním standardu jsou roční náklady za provoz objektu při použití kondenzačních plynových kotlů skoro identické s počáteční investicí. U SZTE jsou pořizovací náklady velmi nízké, ale vzhledem k poměrně vysoké ceně tepla jsou opět roční provozní náklady nevyšší ze všech variant. Tepelná čerpadla vycházejí i v pasivním standardu provozně nejlépe, což je způsobeno převážně výhodnou tarifní sazbou za elektrickou energii. Bohužel i přes nižší potřebný výkon zdroje se investiční náklady nijak razantně nesnížili.



Graf 6 – Celkové náklady jednotlivých variant – PAS

Na tomto grafu je viditelné, že v osmém roce provozu se stávají tepelná čerpadla vzduch-voda nejlevnější variantou pro vytápění a ohřev TV.



Graf 7 – Čistá současná hodnota – PAS

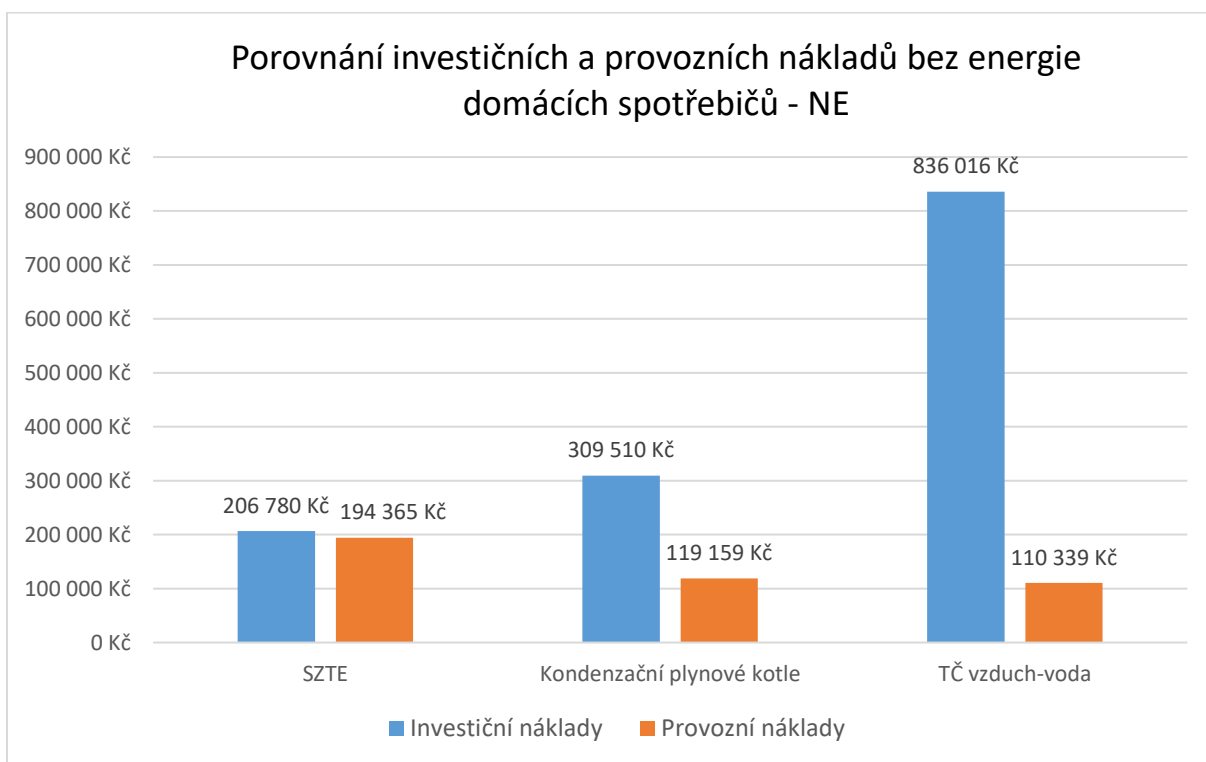
Při využití hodnocení NPV je viditelné, že po patnácti letech provozu je varianta s tepelnými čerpadly vzduch-voda levnější o cca 360 000 Kč než varianta s kondenzačními plynovými kotli a o cca 920 000 Kč než SZTE.

9.3. Nízkoenergetický standard – vyhodnocení bez energie domácích spotřebičů

Jak jsme mohli vidět v předchozích tabulkách, tak velkou váhu při ekonomickém porovnávání jednotlivých zdrojů tepla má spotřeba domácích spotřebičů. Tento fakt hodně zvýhodňuje tepelná čerpadla, díky využívání el. energie a jejich výhodnější tarifní sazbě. Tarifní sazba při vytápění tepelným čerpadlem (D57d) je v průměru skoro dvakrát levnější než při sazbě (D02d). Z tohoto důvodu udělám pro zajímavost i vyhodnocení bez energie domácích spotřebičů.

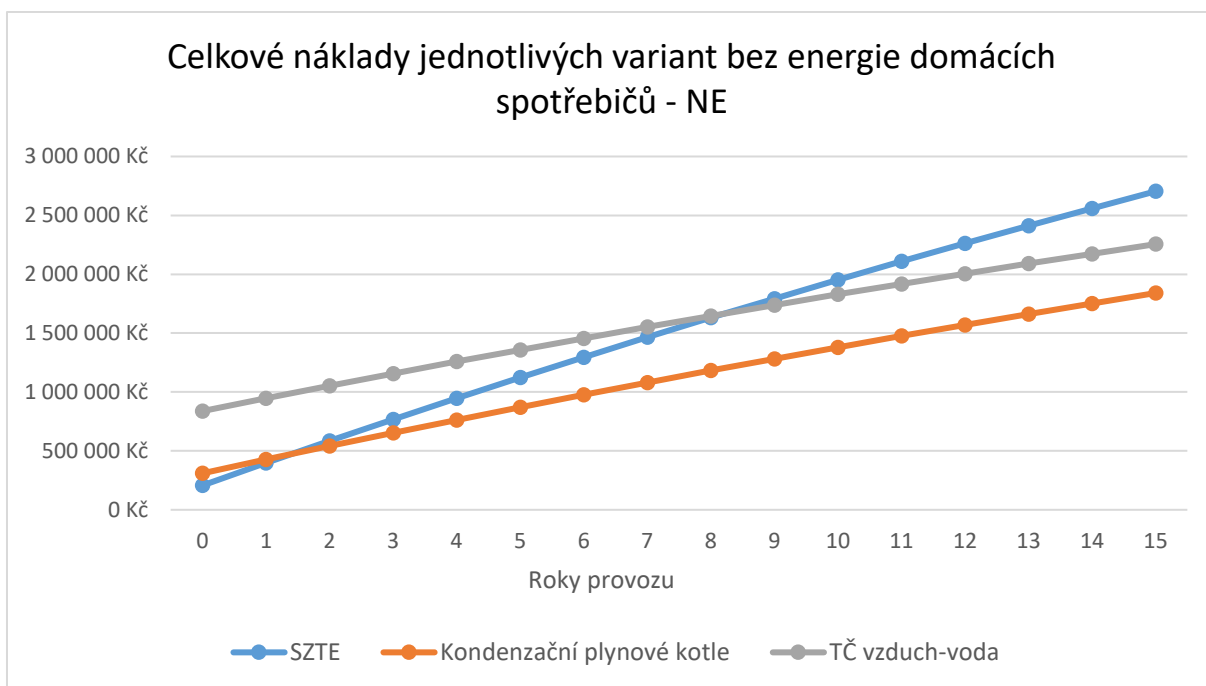
Typ nákladů	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
Investiční náklady	206 780 Kč	309 510 Kč	836 016 Kč
Roční údržba	4 178 Kč	8 639 Kč	24 288 Kč
Roční platby	190 187 Kč	110 520 Kč	86 051 Kč
Provozní náklady	194 365 Kč	119 159 Kč	110 339 Kč

Tabulka 25 – Jednotlivé náklady bez energie domácích spotřebičů – NE



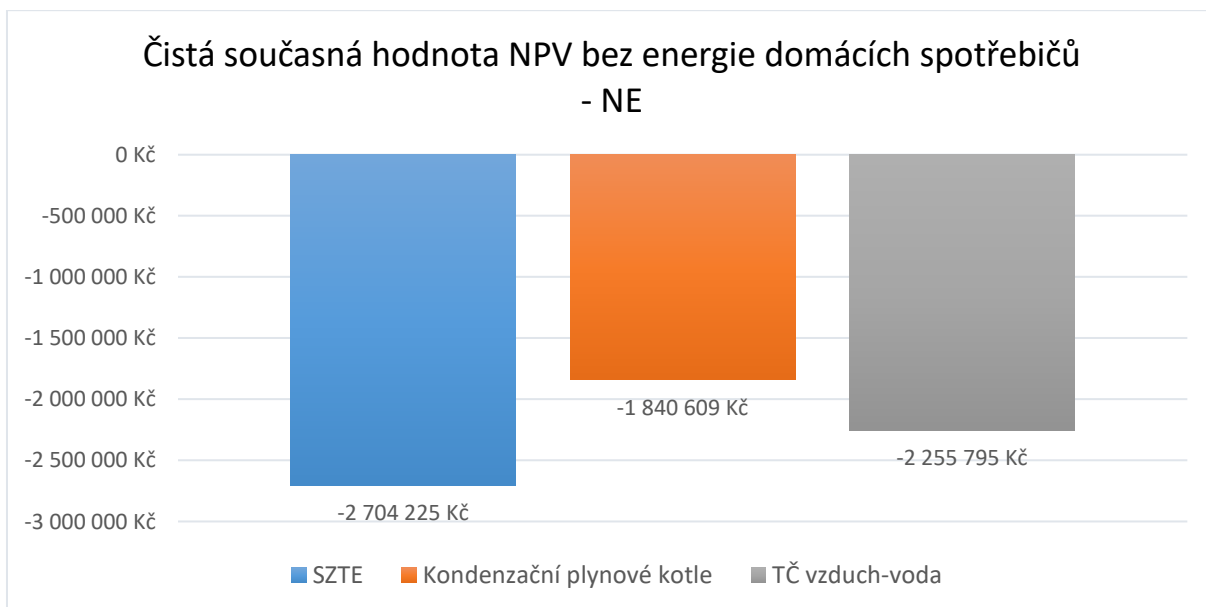
Graf 8 – Porovnání investičních a provozních nákladů bez energie domácích spotřebičů – NE

Při zanedbání energie domácích spotřebičů se provozní náklady prudce sníží. U moderních dobře izolovaných staveb se můžeme setkat s tím, že se spotřebovaná energie domácími spotřebiči stává dominantní.



Graf 9 – Celkové náklady jednotlivých variant bez energie domácích spotřebičů – NE

V tomto grafu je viditelné, že nejvhodnější variantou pro vytápění a ohřev TV jsou kondenzační plynové kotle. Jejich výhodnost se projeví již po dva a půl roce provozu. Tepelná čerpadla se stávají úspornější oproti SZTE až po 8 letech provozu.



Graf 10 – Čistá současná hodnota bez energie domácích spotřebičů – NE

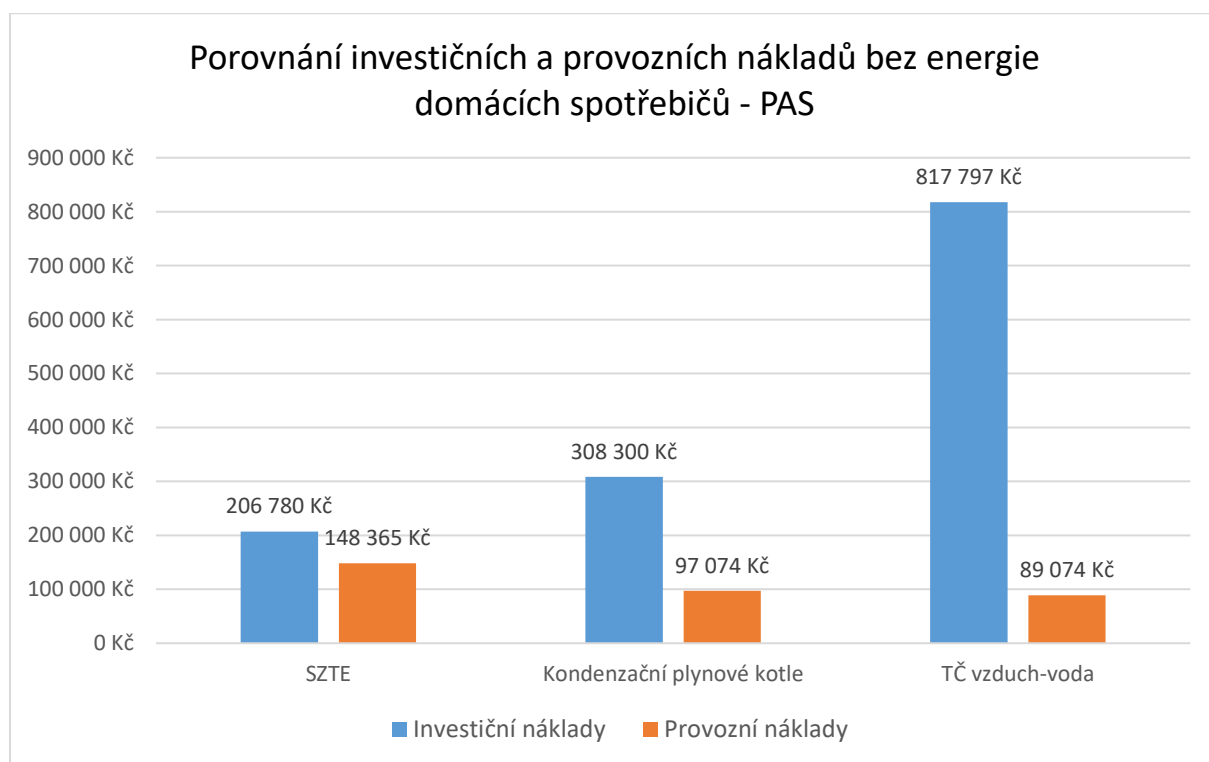
Při využití hodnocení NPV je viditelné, že po patnácti letech provozu je varianta s kondenzačními plynovými kotli levnější o cca 410 000 Kč než tepelná čerpadla vzduch-voda a o cca 860 000 Kč než SZTE.

9.4. Pasivní standard – vyhodnocení bez energie domácích spotřebičů

V pasivním standardu vzhledem k nižším energetickým potřebám na vytápění se nám více projeví velikost investice.

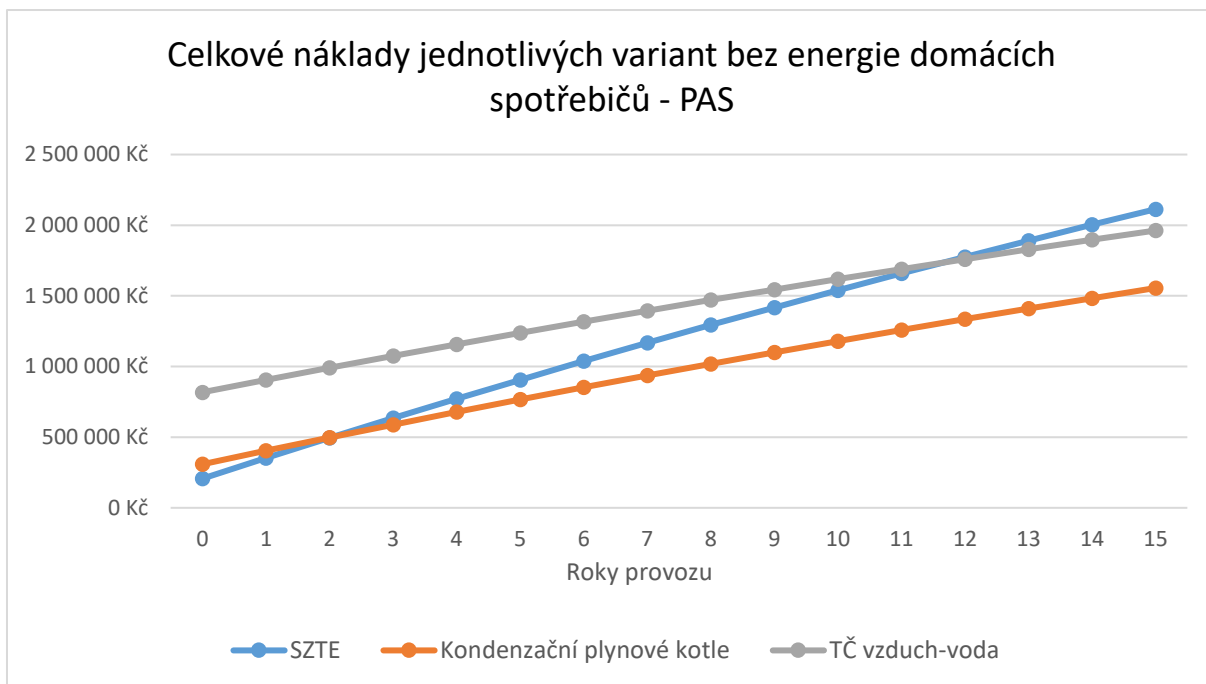
Typ nákladů	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
Investiční náklady	206 780 Kč	308 300 Kč	817 797 Kč
Roční údržba	4 178 Kč	8 614 Kč	23 682 Kč
Roční platby	144 187 Kč	88 460 Kč	65 392 Kč
Provozní náklady	148 365 Kč	97 074 Kč	89 074 Kč

Tabulka 26 – Jednotlivé náklady bez energie domácích spotřebičů – PAS



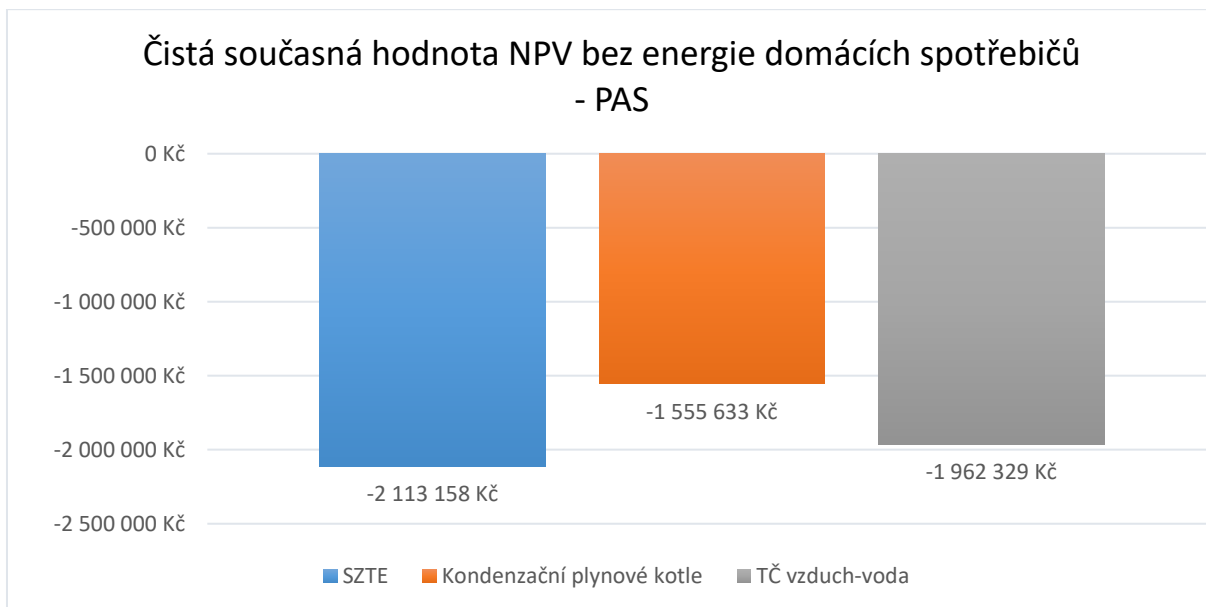
Graf 11 – Porovnání investičních a provozních nákladů bez energie domácích spotřebičů – PAS

Investiční náklady tepelných čerpadel vzduch-voda jsou téměř desetkrát vyšší než jeho roční provozní náklady. Plynové kondenzační plynové kotle mají tento rozdíl pouze trojnásobný. Provozní náklady kondenzačních kotlů jsou jen o 8 000 Kč ročně vyšší oproti tepelným čerpadlům vzduch-voda.



Graf 12 – Celkové náklady jednotlivých variant bez energie domácích spotřebičů – PAS

Na tomto grafu je vidět, že v tomto porovnání jsou nejlevnější kondenzační plynové kotle v období patnácti let. Tepelná čerpadla vzduch-voda vycházejí výhodněji než SZTE až po cca dvanácti letech provozu.



Graf 13 – Čistá současná hodnota bez energie domácích spotřebičů – PAS

Při hodnocení NPV je viditelné, že po patnácti letech provozu je varianta s kondenzačními plynovými kotli levnější o cca 410 000 Kč než tepelná čerpadla vzduch-voda a o cca 560 000 Kč než SZTE.

10. Hodnocení neobnovitelné primární energie

Pro hodnocení spočítáme podíl neobnovitelné primární energie jednotlivých variant. Varianta s nejnižším podílem NPE se jeví jako nejvíce ekologická. Důležité je, aby všechny varianty splnily požadavek jednotlivých standardů. Při výpočtu NPE se uvažují pouze technologické systémy potřebné pro provoz budovy. Spotřebičová potřeba elektrické energie se nezapočítává.

10.1. Nízkoenergetický standard

10.1.1. SZTE

Hlavní výhodou této varianty je nízký konverzní faktor 1 pro dodané teplo.

Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění	30 600	SZTE - podíl OZE ≤ 50%	1	30 600
Větrání	5 900	elektřina	3	17 700
Ohřev TV	29 300	SZTE - podíl OZE ≤ 50%	1	29 300
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7 500
Celkem				85 100
Energeticky vztázná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			66	kWh/m²

Tabulka 27 – Neobnovitelná primární energie – SZTE – NE

10.1.2. Kaskáda kondenzačních kotlů

Plyn je z ekologické hlediska hodnocen poměrně kladně konverzním faktorem 1,1.

Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění	30 600	plyn	1,1	33 660
Větrání	5 900	elektřina	3	17 700
Ohřev TV	29 300	plyn	1,1	32 230
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7 500
Celkem				91 090
Energeticky vztahná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			71	kWh/m²

Tabulka 28 – Neobnovitelná primární energie – kondenzační plynové kotle – NE

10.1.3. Tepelná čerpadla vzduch-voda

Energie okolního prostředí se považuje za energii obnovitelnou. Je hodnocena konverzním faktorem 0. Naopak elektřina je u nás v ČR vyráběna převážně z neobnovitelných zdrojů energie, proto má vysoký konverzní faktor 3.

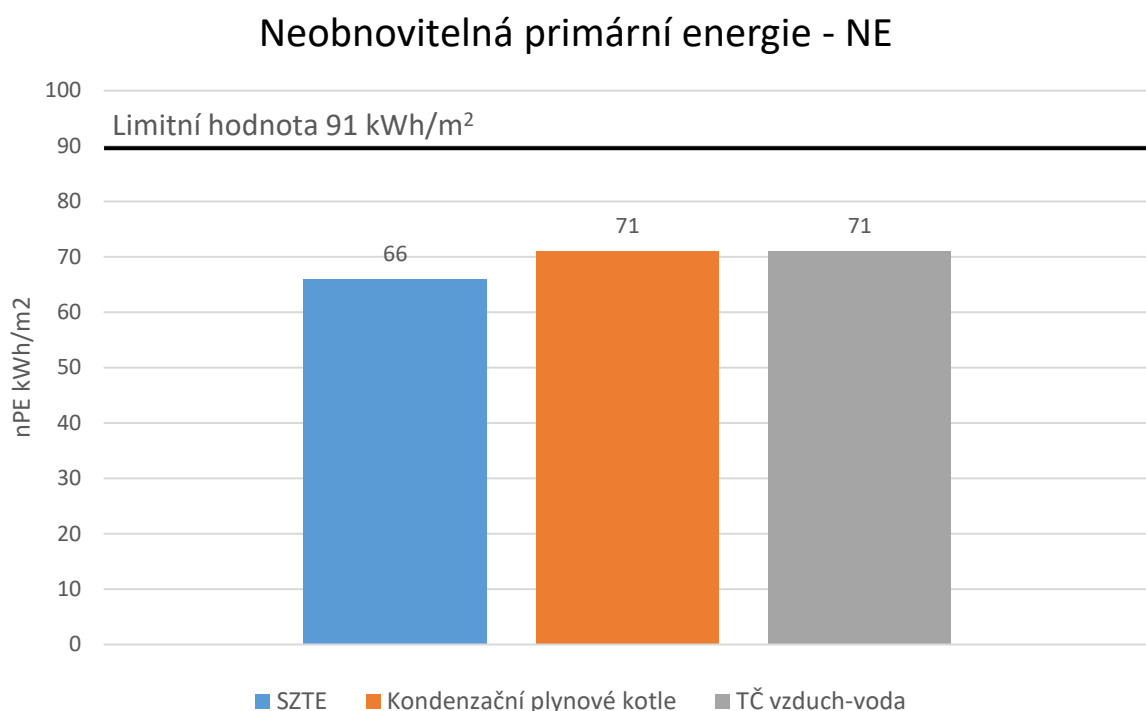
Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění celkem	30 600	-	-	-
Vytápění elektřina	12240	elektřina	3	36 720
Vytápění energie okolního prostředí	18 360	OZE	0	0
Větrání	5 900	elektřina	3	17 700
Ohřev TV celkem	29 300	-	-	-
Ohřev TV elektřina	9 767	elektřina	3	29 300
Ohřev energie okolního prostředí	19 533	OZE	0	0
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7 500
Celkem				91 220
Energeticky vztahná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			71	kWh/m²

Tabulka 29 – Neobnovitelná primární energie – tepelná čerpadla – NE

10.1.4. Porovnání variant

Hodnocení neobnovitelné primární energie			
	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
NPE [kWh]	85 100	91 090	91 220
NPE [kWh/ m²]	66	71	71

Tabulka 30 – Neobnovitelná primární energie – porovnání – NE



Graf 14 – Neobnovitelná primární energie – NE

Neobnovitelná primární energie je nejnižší pro variantu SZTE, hodnoty NPE pro tepelná čerpadla vzduch-voda a kondenzační plynové kotle jsou srovnatelné. Rozdíl mezi SZTE a ostatními variantami je pouhých 6 kWh/m², což není nijak zásadní. Pokud by tepelná čerpadla dosahovala lepších SCOP, mohla by být nejvhodnější i z hlediska NPE. Důležité je, že všechny varianty splňují limitní požadavky nízkoenergetického standardu.

10.2. Pasivní standard

10.2.1. SZTE

Hlavní výhodou této varianty je nízký konverzní faktor 1 pro dodané teplo.

Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění	12 600	SZTE - podíl OZE ≤ 50%	1	12 600
Větrání	5 800	elektřina	3	17 400
Ohřev TV	29 300	SZTE - podíl OZE ≤ 50%	1	29 300
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7 500
Celkem				66 800
Energeticky vztažná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			52	kWh/m²

Tabulka 31 – Neobnovitelná primární energie – SZTE – PAS

10.2.2. Kaskáda kondenzačních kotlů

Plyn je z ekologické hlediska hodnocen kladně konverzním faktorem 1,1.

Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění	12 600	plyn	1,1	13860
Větrání	5 800	elektřina	3	17400
Ohřev TV	29 300	plyn	1,1	32230
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7500
Celkem				70 990
Energeticky vztažná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			55	kWh/m²

Tabulka 32 – Neobnovitelná primární energie – kondenzační plynové kotle – PAS

10.2.3. Tepelná čerpadla vzduch-voda

Energie okolního prostředí se považuje za energii obnovitelnou. Je hodnocena konverzním faktorem 0. Naopak elektřina je u nás v ČR vyráběna převážně z neobnovitelných zdrojů energie, proto má vysoký konverzní faktor 3.

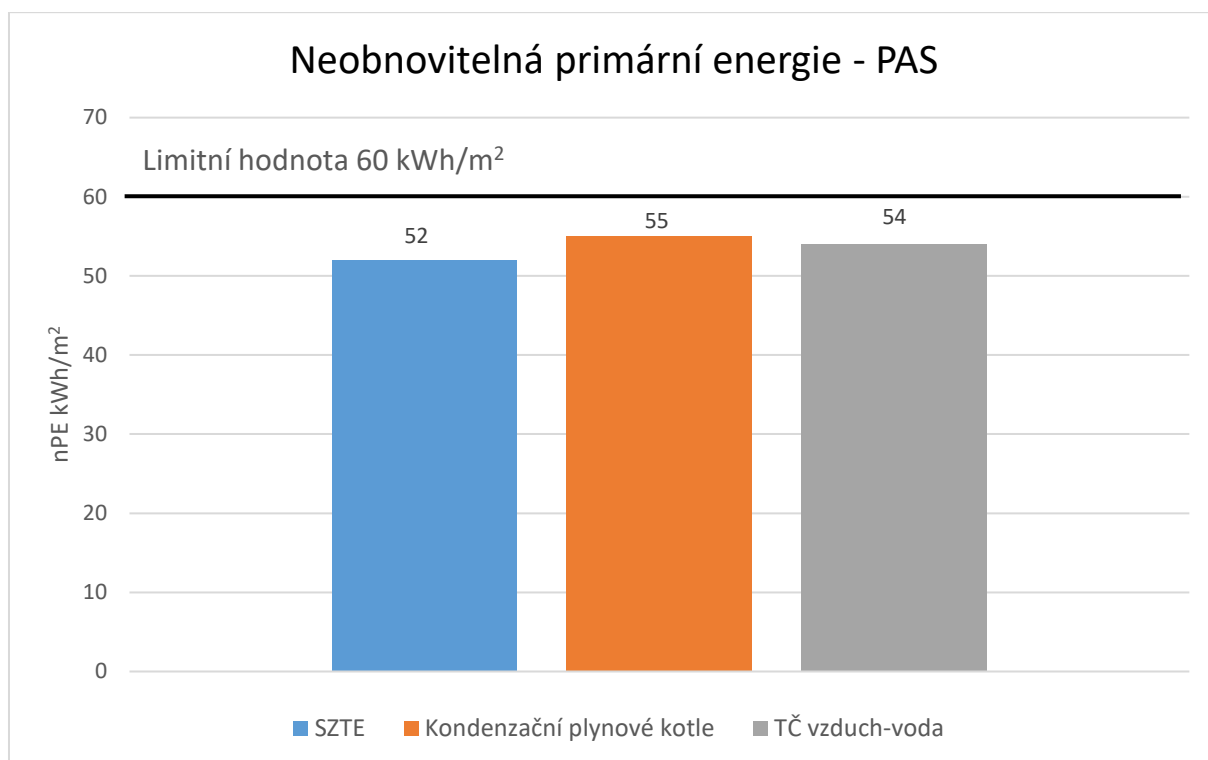
Hodnocení neobnovitelné primární energie				
Technologie	Množství [kWh]	Energonostiel	Konverzní faktor	NPE [kWh]
Vytápění celkem	12 600	-	-	-
Vytápění elektřina	5040	elektřina	3	15 120
Vytápění energie okolního prostředí	7 560	OZE	0	0
Větrání	5 800	elektřina	3	17 400
Ohřev TV celkem	29 300	-	-	-
Ohřev TV elektřina	9 767	elektřina	3	29 300
Ohřev energie okolního prostředí	19 533	OZE	0	0
Chlazení	0	elektřina	3	0
Osvětlení	2 500	elektřina	3	7 500
Celkem				69 320
Energeticky vztázná plocha			1284	m ²
Neobnovitelná primární energie			54	kWh/m²

Tabulka 33 – Neobnovitelná primární energie – tepelná čerpadla – PAS

10.2.4. Porovnání variant

Hodnocení neobnovitelné primární energie			
	SZTE	Kondenzační plynové kotle	TČ vzduch-voda
NPE [kWh]	66 800	70 990	69 320
NPE [kWh/ m²]	52	55	54

Tabulka 34 – Neobnovitelná primární energie – porovnání – PAS



Graf 15 - Neobnovitelná primární energie – PAS

Neobnovitelná primární energie je nejnižší opět pro variantu SZTE, hodnoty NPE pro tepelná čerpadla vzduch-voda a kondenzační plynové kotle jsou v podstatě srovnatelné. Rozdíl mezi jednotlivými variantami je minimální a neovlivní nám výběr vhodného zdroje. Všechny varianty splnily limitní hodnotu pro pasivní standard.

11. Závěr

11.1. Vliv na životní prostředí

Je důležité myslet na přírodu kolem nás a sledovat co se s ní děje. Existují opatření, jak zlepšit okolní prostředí a kvalitu ovzduší. Například evropský automobilový průmysl musí v posledních letech splňovat přísné Euro normy pro snížení produkce skleníkových plynů. To samé zažíváme i ve stavebnictví, kde se zvyšuje tlak na snížení samotné energetické náročnosti nových a rekonstruovaných budov. Je důležité stavět budovy, které zbytečně neplýtvají energiemi a neprodukují s tím související emise. Jak můžeme vidět, tak u obou standardů byly ve všech variantách zdrojů tepla splněny limitní požadavky z hlediska NPE a zároveň splňují parametry nutné pro kolaudaci. Nejlépe hodnocenou variantou z hlediska NPE, tedy s ohledem na životní prostředí vychází SZTE i přes nízký podíl obnovitelných zdrojů energie v soustavě Pražské teplárenské. Všechny varianty zdrojů tepla mají tak malé rozdíly z hlediska NPE, že nám výsledný výběr neovlivní.

11.2. Náročnost obsluhy

Všechny varianty zdrojů tepla fungují automatizovaně a vyžadují pouze pravidelné roční kontroly pro zajištění optimální funkčnosti systému. Z hlediska náročnosti obsluhy jsou si varianty rovny.

11.3. Znečišťování ovzduší

Předávací stanice a tepelná čerpadla nevytváří žádné spaliny v blízkém okolí objektu. Znečišťování ovzduší je přeneseno do okrajových částí měst nebo krajů, kde jsou umístěny teplárny a elektrárny. Kondenzační plynové kotle produkují spaliny, které jsou odváděny komínem nad prostor střechy, ale vzhledem k dnešní technologické vyspělosti kondenzačních kotlů a jejich emisním třídám se nejedná o nijak zásadní znečišťování okolního ovzduší.

11.4. Cena

Důležitým a v našem případě rozhodujícím kritériem je cena. Všechny varianty jsem porovnával ve dvou hodnotících přístupech a dvou standardech budovy. V prvním hodnocení jsem započítal energii domácích spotřebičů, v druhém hodnocení jsem ji zanedbal.

11.5. Závěrečné shrnutí

V následující tabulce jsou shrnuty výsledky jednotlivých variant. Modrou barvou je označena vždy nejvhodnější varianta.

Nízkoenergetický standard včetně energie domácích spotřebičů			
Hodnotící kritérium	SZTE	Plynové kondenzační kotle	Tepelná čerpadla vzduch-voda
Čistá současná hodnota [Kč]	-4 703 683 Kč	-3 840 067 Kč	-3 485 897 Kč
Neobnovitelná primární energie [kWh/m ²]	66	71	71
Pasivní standard včetně energie domácích spotřebičů			
Hodnotící kritérium	SZTE	Plynové kondenzační kotle	Tepelná čerpadla vzduch-voda
Čistá současná hodnota [Kč]	-4 112 617 Kč	-3 555 092 Kč	-3 192 431 Kč
Neobnovitelná primární energie [kWh/m ²]	52	55	54
Nízkoenergetický standard bez energie domácích spotřebičů			
Hodnotící kritérium	SZTE	Plynové kondenzační kotle	Tepelná čerpadla vzduch-voda
Čistá současná hodnota [Kč]	-2 704 225 Kč	-1 840 609 Kč	-2 255 795 Kč
Neobnovitelná primární energie [kWh/m ²]	66	71	71
Pasivní standard bez energie domácích spotřebičů			
Hodnotící kritérium	SZTE	Plynové kondenzační kotle	Tepelná čerpadla vzduch-voda
Čistá současná hodnota [Kč]	-2 113 158 Kč	-1 555 633 Kč	-1 962 329 Kč
Neobnovitelná primární energie [kWh/m ²]	52	55	54

Tabulka 35 – Shrnutí výsledků jednotlivých variant

Všechny varianty zdrojů tepla vyšly z hlediska neobnovitelné primární energie srovnatelně pro oba standardy budov. Díky tomuto faktu byla nejdůležitějším faktorem cena.

Při hodnocení bez energie domácích spotřebičů je nejvhodnější variantou kaskáda kondenzačních plynových kotlů. Je to způsobeno relativně nízkou pořizovací cenou a nízkými provozními náklady. Při započítání energie domácích spotřebičů je nejvhodnější varianta s tepelnými čerpadly vzduch-voda. Tento výsledek je ovlivněn výhodnou tarifní sazbou elektřiny D57d, která je dostupná pouze pro objekty vytápěné pomocí tepelných čerpadel. Cena kWh v tarifní sazbě D57d je skoro poloviční oproti sazbě D02d. Díky tomu se varianta s tepelnými čerpadly stává nejlevnější po osmi a půl letech provozu u nízkoenergetického standardu a po osmi letech u standardu pasivního.

Osobně se přikláním k ekonomickému vyhodnocení se započítáním energie domácích spotřebičů. Při hodnocení je totiž důležité, abychom se přiblížili reálným ročním platbám za provoz budovy. Proto jako nejvhodnější variantu volím tepelná čerpadla vzduch-voda.

Nedílnou částí této práce je projektová dokumentace vytápění v rozsahu prováděcího projektu. Projekt je vypracován na variantu s tepelnými čerpadly vzduch-voda v nízkoenergetickém standardu. Výkresy, technická zpráva výpočtová část a technické listy jsou součástí přílohy „Projekt vytápění bytového domu“.

Literatura a zdroje

- [1] TNI 73 0330. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy. 91.120.10. Praha: ÚNMZ, srpen 2018
- [2] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. 91.120.10. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [3] doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., prof. Ing. Karel Kabele, CSc. Otopné soustavy teplovodní, třetí, přepracované vydání. Praha1: Společnost pro techniku prostředí. 2008. ISBN 978-80-02-02064-6
- [4] Ing. Vladimír Jirout a kolektiv. Příprava teplé vody, druhé, přepracované vydání. Praha1: Společnost pro techniku prostředí. 2007. ISBN 978-80-02-01910-7
- [5] ČSN 73 0331-1. Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: obecná část a měsíční výpočtová data. 07.060;91.120.01. Praha: ÚNMZ, září 2018
- [6] ČSN EN 15459-1. Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy 91.140.10. Praha: ÚNMZ, duben 2018
- [7] PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Přeložil Markéta TEUCHNEROVÁ. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [8] Ing. Jiří Novotný, doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. Neobnovitelná primární energie. In: TZB info [online]. Topinfo s.r.o., 2017 [cit. 18. 10. 2019]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [9] Vyhláška č. 78/2013 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, březen 2013
- [10] odbor 32100, Průkaz energetické náročnosti budov. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. MPO, 2014 [cit. 20. 10. 2019]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/prukaz-energeticke-narocnosti-budov/prukaz-energeticke-narocnosti-budov--119528/>

- [11] Princip výpočtu energetické náročnosti budov. In: NKN [online]. katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT v Praze 2014. [cit. 23. 10. 2019]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/legislativa>
- [12] NKN II. In: NKN [online]. katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT v Praze 2014. [cit. 23. 10. 2019]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/download-nkn>
- [13] doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D. Ekonomické hodnocení [přednáška]. katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební. ČVUT v Praze [online] [cit. 23. 10. 2019]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125eab1,%20125eabi/prednasky/125eab1,%20125eabi-07.pdf>
- [14] Ceny paliv a energií. [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 1. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii>
- [15] Ceníky tepla. [online]. Pražská teplárenská a.s. [cit. 1.11.2019]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/dodavky-tepla/ceny-a-obchodni-podminky/ceniky/>
- [16] Orientační hodnoty spotřeby domácích spotřebičů. [online]. Pražská energetika, a.s. [cit. 1. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/sluzby/pujcovani-mericich-zarizeni/meric-spotreby-elektřiny/orientacni-hodnoty-spotreby-domacich-spotrebicu/>
- [17] Zákaz spalování vybraných druhů paliv ve stacionárních zdrojích na území hl. m. Prahy, Praha 5 [online]. Městská část Praha 5 [cit. 1. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.praha5.cz/zakaz-spalovani-vybranych-druhu-paliv-ve-stacionarnich-zdrojich-na-uzemi-hl-m-prahy/>
- [18] Dálkové teplo. [online]. Pražská teplárenská a.s. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/dodavky-tepla/jak-to-funguje/dalkove-teplo/>
- [19] Schéma dodávky tepla. In: Pražská teplárenská [online]. Pražská teplárenská a.s. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/dodavky-tepla/jak-to-funguje/schema-vyroby-a-dodavek-tepla/schema-dodavky-tepla/>

- [20] Jan Budín. Plynárenství v ČR. In: Oenergetice [online]. OM Solutions s.r.o. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/plynarenstvi-v-cr-dodavka-plynu-zakladni-statistiky>
- [21] Jak funguje kondenzační kotel. [online]. Viessmann. spol. s.r.o. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [22] Energetický regulační úřad: Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2017 [online]. Energetický regulační úřad. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88
- [23] Princip tepelného čerpadla. In: Ekovy [online]. Ekovy. [cit. 5. 11. 2019]. Dostupné z: <http://www.ekovy.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.htm>
- [24] Bytové a domovní výměňkové stanice. [online]. MEIBES s.r.o. [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: http://www.meibes.cz/system/documents/files/000/001/230/original/KAT_CZ_kap1-Bytove_a_domovni-stance-LOGOtherm-cenik2019_190226-04.pdf?1552580437
- [25] Zásobník TV. [online]. Regulus, spol. s.r.o. [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/zasobnik-r0bc-750>
- [26] Nerezový komín. [online]. LEVNEKOMINY.cz. [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.levnekominy.cz/mkd-o-200-mm-mkd-uhel-kourovodu-90/mkd-premium-komin-nerez-sila-mat-0-6mm-izolace-3cm-prumer-200-mm-kourovod-90-393>
- [27] Závěsné kondenzační kotle. [online]. THERMONA, spol. s r.o. [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle>
- [28] Tepelná čerpadla pro vytápění [online]. STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG (DE). [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/cs/home.html>
- [29] Tepelné čerpadlo CO₂ [online]. IVT Tepelná čerpadla s.r.o. [cit. 7. 11. 2019]. Dostupné z: <http://www.ivtnachod.cz/img/adaptive-images/upload/Sanden%20po%20C3%BAprav%C4%9B.pdf>

Použité zkratky

NE	nízkoenergetický standard
PAS	pasivní standard
NPE	neobnovitelná primární energie
ČR	Česká republika
DPH	daň z přidané hodnoty
TV	teplá voda
TČ	tepelné čerpadlo
SZTE	soustava zásobování tepelnou energií
NKN	národní kalkulační nástroj
NPV	čistá současná hodnota
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
COP	topný faktor
SCOP	sezónní topný faktor
OZE	obnovitelné zdroje energie
nOZE	neobnovitelné zdroje energie

Seznam grafů

Graf 1 – vývoj cen energií za posledních 9 let [14,15]

Graf 2 – Porovnání investičních a provozních nákladů – NE

Graf 3 – Celkové náklady jednotlivých variant – NE

Graf 4 – Čistá současná hodnota – NE

Graf 5 – Porovnání investičních a provozních nákladů – PAS

Graf 6 – Celkové náklady jednotlivých variant – PAS

Graf 7 – Čistá současná hodnota – PAS

Graf 8 – Porovnání investičních a provozních nákladů bez energie domácích spotřebičů – NE

Graf 9 – Celkové náklady jednotlivých variant bez energie domácích spotřebičů – NE

Graf 10 – Čistá současná hodnota bez energie domácích spotřebičů – NE

Graf 11 – Porovnání investičních a provozních nákladů bez energie domácích spotřebičů – PAS

Graf 12 – Celkové náklady jednotlivých variant bez energie domácích spotřebičů – PAS

Graf 13 – Čistá současná hodnota bez energie domácích spotřebičů – PAS

Graf 14 – Neobnovitelná primární energie – NE

Graf 15 - Neobnovitelná primární energie – PAS

Seznam obrázků

Obr. 1 – Princip výpočtu energetické náročnosti budov [11]

Obr. 2 – Pohled severní

Obr. 3 – Pohled východní

Obr. 4 – Půdorys 1.PP

Obr. 5 – Půdorys 1.NP

Obr. 6 – Průkaz energetické náročnosti budovy – NE [12]

Obr. 7 – Ukazatele energetické náročnosti budovy – NE [12]

Obr. 8 – Průkaz energetické náročnosti budovy – PAS [12]

Obr. 9 – Ukazatele energetické náročnosti budovy – PAS [12]

Obr. 10 – Schéma SZTE [19]

Obr. 11 – Schéma systému – Předávací stanice tlakově nezávislá

Obr. 12 – Plynovod v ČR [20]

Obr. 13 – Schéma systému – kaskáda plynových kondenzačních kotlů

Obr. 14 – Bilance elektřiny za rok 2017 [22]

Obr. 15 - Princip tepelného čerpadla [23]

Obr. 16 – Schéma systému – tepelná čerpadla vzduch-voda

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hodnotící veličiny standardů budov [1]

Tabulka 2 – Faktory neobnovitelné energie budovy [8]

Tabulka 3 – Výpočet spotřebičové potřeby energie – byt [16]

Tabulka 4 – Spotřebičová potřeba energie – bytový dům

Tabulka 5 – Energetické potřeby budovy – NE

Tabulka 6 – Energetické potřeby budovy – PAS

Tabulka 7 – Investiční náklady – SZTE – NE

Tabulka 8 – Roční náklady na údržbu – SZTE – NE

Tabulka 9 – Roční platby za spotřebovanou energii – SZTE – NE

Tabulka 10 – Investiční náklady – kondenzační plynové kotle – NE

Tabulka 11 – Roční náklady na údržbu – kondenzační plynové kotle – NE

Tabulka 12 – Roční platby za spotřebovanou energii – kondenzační plynové kotle – NE

Tabulka 13 – Investiční náklady – tepelná čerpadla – NE

Tabulka 14 – Roční náklady na údržbu – tepelná čerpadla – NE

Tabulka 15 – Roční platby za spotřebovanou energii – tepelná čerpadla – NE

Tabulka 16 – Jednotlivé náklady – NE

Tabulka 17 – Roční platby za spotřebovanou energii – SZTE – PAS

Tabulka 18 – Investiční náklady – kondenzační plynové kotle – PAS

Tabulka 19 – Roční náklady na údržbu – kondenzační plynové kotle – PAS

Tabulka 20 – Roční platby za spotřebovanou energii – kondenzační plynové kotle – PAS

Tabulka 21 – Investiční náklady – tepelná čerpadla – PAS

Tabulka 22 – Roční náklady na údržbu – tepelná čerpadla – PAS

Tabulka 23 – Roční platby za spotřebovanou energii – tepelná čerpadla – PAS

Tabulka 24 – Jednotlivé náklady – PAS

Tabulka 25 – Jednotlivé náklady bez energie domácích spotřebičů – NE

Tabulka 26 – Jednotlivé náklady bez energie domácích spotřebičů – PAS

Tabulka 27 – Neobnovitelná primární energie – SZTE – NE

Tabulka 28 – Neobnovitelná primární energie – kondenzační plynové kotle – NE

Tabulka 29 – Neobnovitelná primární energie – tepelná čerpadla – NE

Tabulka 30 – Neobnovitelná primární energie – porovnání – NE

Tabulka 31 – Neobnovitelná primární energie – SZTE – PAS

Tabulka 32 – Neobnovitelná primární energie – kondenzační plynové kotle – PAS

Tabulka 33 – Neobnovitelná primární energie – tepelná čerpadla – PAS

Tabulka 34 – Neobnovitelná primární energie – porovnání – PAS

Tabulka 35 – Shrnutí výsledků jednotlivých variant