

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**STUDIE VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY
TEPLÉ VODY BYTOVÉHO DOMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Studie vytápění a přípravy teplé vody bytového domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Bc. Jan Krpec

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá energetickou náročností bytového domu, možnostmi zlepšení hospodaření s odpadním teplem a využitím alternativních zdrojů. Práce dále řeší možnosti přípravy teplé vody. V závěru tato práce porovnává ekonomiku těchto variant v kombinaci s různými vývoji cen primárních energonositelů.

Summary

This thesis deals with the energy consumption of a residential building, possibilities for improving waste heat management, and the use of alternative energy sources. Furthermore, the thesis addresses the options for hot water preparation. In conclusion, this thesis compares the economics of these variants in combination with different developments in the prices of primary energy carriers.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, četné rady a připomínky bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

Obsah

1. Úvod	13
2. Řešená budova	14
2.1.1. Svislé konstrukce	15
2.1.2. Vodorovné konstrukce.....	16
2.2. Součinitel prostupu tepla.....	16
3. Výpočetní modely.....	19
3.1. Nominální model.....	19
3.2. Model 2023	19
3.3. Model 1996	19
3.4. Model 2014	20
4. Tepelné ztráty	21
4.1. Tepelné ztráty prostupem.....	21
4.2. Tepelné ztráty větráním	22
4.3. Tepelné ztráty infiltrací	24
5. Tepelné zisky	25
5.1. Vnitřní tepelné zisky	25
5.2. Vnější tepelné zisky	26
5.2.1 Výpočet solárních zisků neprůsvitnými prvky	27
5.2.2. Výpočet solárních zisků průsvitnými prvky	28
5.2.3. Výsledné tepelné zisky	29
6. Celková tepelná bilance	30
6.1. Faktor využitelnost tepelných zisků.....	30
7. Potřeba tepla	32
7.1. Potřeba tepla na vytápění	32
7.2. Potřeba tepla na přípravu teplé vody.....	32
7.3. Celková potřeba tepla.....	33
8. Zpětné získávání tepla ze vzduchu	37
8.1. Zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu	37
8.1.1. Vyhodnocení otázky ekonomické smysluplnosti.....	39
8.1.2. Další využití odpadního tepla z rekuperační jednotky.....	39
9. Zpětné získávání tepla z odpadních vod.....	42
9.1. Definice odpadních vod	42
9.2. Dělení komunálních odpadních vod	42
9.2.1. Černá odpadní voda	42

9.2.2.	Šedá odpadní voda.....	42
9.2.3.	Bílá odpadní voda	43
9.3.	Lokální rekuperace tepla z odpadních vod	43
9.3.1.	Vyhodnocení lokální rekuperace	45
9.3.2.	Centrální rekuperace tepla s přímým ohřevem	46
9.3.3.	Centrální rekuperace tepla s tepelným čerpadlem	46
9.4.	Výměníky centrální rekuperace z šedé vody	47
9.4.1.	Vnořený výměník.....	47
9.4.2.	Obalový výměník	48
9.4.3.	V kanalizační stoce	48
10.	Využití dešťové vody.....	50
10.1.	Úhm srážek	50
10.2.	Spotřeba vody	50
10.3.	Distribuce dešťové vody.....	51
10.4.	Vyhodnocení.....	51
11.	Solární panely	53
11.1.	Fototermické kolektory	53
11.1.1.	Ekonomika fototermických kolektorů	54
12.	Příprava teplé vody	57
12.1.	Příprava teplé vody plynovou kotelnou	57
12.2.	Příprava teplé vody kotelnou TČ	58
13.	Fotovoltaika	59
13.1.	Odběr elektrické energie	59
13.2.	Produkce elektrické energie	60
13.3.	Bateriové uložení.....	61
13.4.	Vyhodnocení systému.....	62
13.5.	Ukládání přebytků energie do teplé vody.....	63
14.	Primární zdroje energie	65
14.1.	Primární zdroje tepla s využitím plynu	65
14.2.	Primární zdroje tepla s využitím elektřiny	65
14.3.	Primárním zdrojem centrální zásobování teplem.....	65
15.	Porovnání modelů	66
15.1.	Změny růstu cen energonositelů	68
16.	Řešení jednotlivých kotelen	71
16.1.	Plynové kotelny.....	72

16.1.1.	Větrání plynových kotelen	73
16.2.	Kotelna tepelných čerpadel.....	75
17.	Závěr	77
18.	Seznam zdrojů.....	78
19.	Přílohy	81

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Rozměr
A_k	plocha stavební části obálky budovy	$[m^2]$
A_{pod}	podlahová plocha vytápěné zóny	$[m^2]$
$A_{env,i}$	obálka budovy (z) ve styku s venkovním prostředím	$[m^2]$
$A_{env,z}$	obálka místnosti (z) ve styku s venkovním prostředím	$[m^2]$
A_{sol}	účinná sběrná plocha s daným úhlem sklonu	$[-]$
B'	charakteristický parametr	$[m]$
C	součinitel odtoku dešťových vod	$[-]$
C_m	časová konstanta budovy	$[J/K]$
F_F	podíl plochy rámu;	$[-]$
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	$[-]$
F_{sh}	korekce stínění na externí překážky	$[-]$
F_w	korekce pro nerozptyl. zasklení	$[-]$
H_T	měrný tepelný tok prostupem	$[W/K]$
H_v	měrný tepelný tok větráním celé budovy	$[W/K]$
$H_{v,sup}$	měrný tepelný tok přiváděného vzduchu	$[kW/K]$
$H_{v,tr}$	měrný tepelný tok vzduchu vniknutým obálkou	$[kW/K]$
$I_{sol,j}$	celkové solární záření za měsíc	$[kWh/m^2]$
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	$[m]$
U	součinitel prostupu tepla	$[W/m^2 \cdot K]$
$U_{em, N, 20}$	průměrný součinitel prostupu tepla	$[W/m^2 \cdot K]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	$[W/m^2 \cdot K]$

U_{podlahy}	součinitel prostupu tepla podlahy	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
U_{W}	součinitel prostupu tepla oknem	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
R_{f}	tepelný odpor podlahy	$[\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}]$
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla (external)	$[\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}]$
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla (internal)	$[\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}]$
R_{n}	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}]$
S_{podlahy}	plocha podlahy	$[\text{m}^2]$
Q_{r}	průtok dešťových vod	$[\text{l}/\text{s}]$
$Q_{\text{H,gn}}$	celkové tepelné zisky	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,ht}}$	celková potřeba tepla	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,int}}$	vnitřní tepelné zisky	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,nd}}$	potřeba tepla v daném měsíci	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,t}}$	potřeba tepla prostupem	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,sol}}$	solární tepelné zisky	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{H,ve}}$	potřeba tepla větráním	$[\text{kWh}]$
Q_{gn}	trvalé využitelné tepelné zisky ve vytápěném prostoru	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{T,ia}}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do sousedních vytápěných prostor (a) za měsíc (m)	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{T,iaBE}}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy. Které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu (aBE) za měsíc (m)	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{T,iae}}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (ae) za měsíc (m)	$[\text{kWh}]$
$Q_{\text{T,iem}}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) za měsíc (m)	$[\text{kWh}]$

$Q_{T,igm}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)	[kWh]
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledných součástí	[W/ m ² ·K]
$V_{e,p}$	objem přiváděného vzduchu do místnosti	[m ³ /h]
$V_{env,i}$	objemový tok vzduchu procházejícího obálkou domu do místnosti (i)	[m ³ /h]
V_i	objem místnosti (i)	[m ³]
$V_{leak,i}$	objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do místnosti (i)	[m ³ /h]
$V_{leak,z}$	objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do budovy (z)	[m ³ /h]
V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu	[m ³]
a_H	bezrozměrný časový parametr	[-]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušované vytápění	[-]
$a_{h,0}$	bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu	[-]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg·K]
c_p	měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu	[J/kg·K]
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
f	koeficient přítomnosti osob v budově	[W]
$f_{dir,z}$	činitel orientace zóny	[-]
$f_{ia,k}$	teplotní opravný součinitel	[m ²]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{U,k}$	opravný součinitel zohledňující vliv stavebních součástí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot	[-]
g_{gl}	celková propustnost průsvitnými prvky	[-]
g_n	celková propustnost zasklení	[-]
i	intenzita deště	[l/s.m ²]
n	intenzita výměny vzduchu	[l/h]
n_{hod}	počet hodin v měsíci	[-]

n_{os}	počet osob	[-]
t_{em}	výpočtová teplota v místnosti	[°C]
t_i	výpočtová teplota v místnosti	[°C]
t_p	vážený průměr teploty vzduchu v budově	[°C]
t_1	průměrná teplota přiváděné vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	[m]
w	celková tloušťka obvodových stěn	[m]
z	poměrný koeficient ztrát	[-]
z_s	hloubka podlahy suterénu pod úroveň okolního terénu	[m]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/ m ² ·K]
Θ_{em}	průměrná měsíční venkovní teplota (e)	[°C]
$\Theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	[°C]
$\Phi_{s,o}$	tepelná produkce osoby	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelná produkce elektrických zařízení	[W]
Φ_r	sálání vůči obloze	[W]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[-]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti teplotních zisků	[-]
η_{rec}	účinnost rekuperační jednotky	[-]
γ_H	faktor využitelností tepelných zisků pro vytápění	[-]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	[W/m·K]
λ_{zeminy}	tepelná vodivost zeminy	[W/m·K]
ρ	hustota přiváděného vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{vod}	hustota vody	[kg/m ³]

τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá studií vytápění a přípravy teplé vody s využitím alternativních zdrojů pro bytový dům situovaný v pražské části Michle. Z důvodu nestability cen energií v posledních třech letech tato práce porovnává náklady pro několik různých možných vývoje cen dodavatelů energií. Jako počáteční cena energií byl počítán průměr ceny z aktuálního ceníku tří velkých dodavatelů.

Dále se tato práce zabývá úspornými opatřeními pro hospodaření s vodou a zpětným využitím odpadního tepla jak ve formě splaškové vody, tak odpadního vzduchu. V neposlední řadě se zabývá využitelností střechy objektu pro fototermické a fotovoltaické kolektory pro snížení množství energie dodávané do objektu a zkoumá návratnost investic do těchto technologií.

2. Řešená budova

Budovou řešenou v této diplomové práci je bytový pětipodlažní dům vystavený v sedmdesátých letech skládající se ze tří vchodů s celkem 45 bytovými jednotkami. Konkrétně se jedná o č.p. 1242/11, 1243/9 a 1244/7 v ulici Hodonínská, Praha 4. Dům tvoří sklepení, přízemní podlaží a čtyři patra. Objekt byl roku 2010 zateplen (z tohoto projektu byly k dispozici výkresy) a všechny bytové jednotky již mají vyměněny původní okna za nová. Z východního směru na dům přímo navazuje další bytový dům neznámé konstrukce vystavený dle leteckých snímků před rokem 1953. Dům se nachází v rušné lokalitě, mezi čtyřproudovými komunikacemi Michelská, Vyskočilova a 5. května. Z jižní, západní i severní části je dům částečně stíněn jehličnany maximálně do výše střechy.



Obr. 2-1 Pohled na jižní a západní fasádu, foto autor



Obr. 2-2 Pohled na severní fasádu, foto autor

2.1. Materiály konstrukce

V prvotním návrhu byly konstrukce brány dle odhadu stáří budovy, běžných tehdejších stavebních materiálů a údajů a výkresů z průběhů zateplení budovy dle původně dodaných podkladů. Po vytvoření modelu byl získán také průkaz energetické náročnosti budovy (dále PENB) vyhotovený 27. 2. 2023 společností STOPTERM s.r.o. s evidenčním číslem 486194.0

PENB byl dále porovnán s analytickým modelem výpočtu bilance potřeby tepla vytvořeným v rámci této diplomové práce

2.1.1. Svislé konstrukce

Tab. 2-1 Skladba svislých konstrukcí

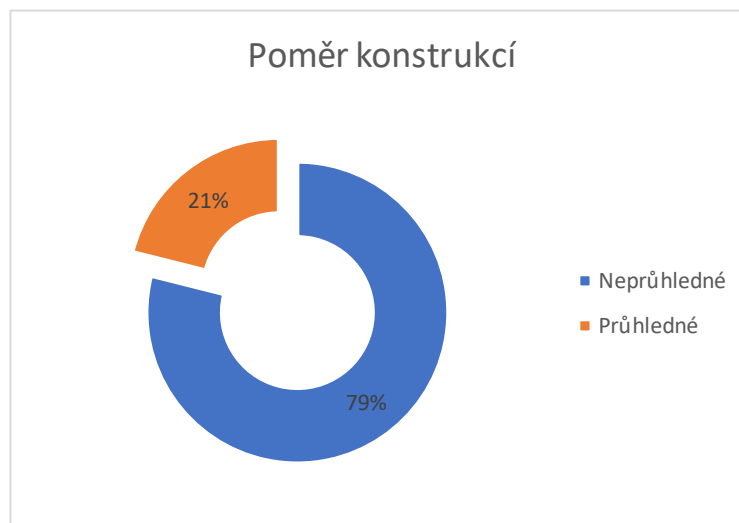
Konstrukce stěn	plocha [m ²]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
Obvodové stěny	1342,0	0,265
Parapetní stěny	366,6	0,276
Obvodové stěny nástavby	75,1	0,347
Stěny suterénu nad terénem	7,6	0,371
Stěny suterénu pod terénem	18,7	1,532
Plastová okna	446,7	1,400
Balkonové dveře	28,1	1,400
Dveře vstupní	24,3	2,300
Dveře na střechu	5,3	2,900

2.1.2. Vodorovné konstrukce

Tab. 2-2 Skladba vodorovných konstrukcí

Konstrukce stěn	plocha [m ²]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
Střecha nástavby	37,3	0,347
Střecha	647,5	0,188
Podlaha suterénu	70,8	4,081
Vnitřní podlahy	718,3	2,363

2.2. Součinitel prostupu tepla



Obr. 2-3 Poměr konstrukcí řešeného objektu

Určení tepelných ztrát objektu závisí na správném stanovení součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Součinitel prostupu tepla je definován jako množství tepla, které projde konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot povrchů konstrukce 1 K.

Výpočet byl proveden dle normy ČSN EN ISO 6946 pro neprůsvitné části konstrukce. [1]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3.1)$$

kde

U	součinitel prostupu tepla stavební konstrukce	[W/m ² ·K]
R _{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla (internal)	[m ² ·K/W]
R _{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla (external)	[m ² ·K/W]

R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[m^2 \cdot K/W]$
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	$[m]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	$[W/m \cdot K]$

Určení vnitřního a vnějšího odporu se stanoví dle stavební konstrukce a teplot na vnějších stranách těchto konstrukcí, přičemž povrch do chladnějšího prostoru je považován za vnější. Hodnoty tepelného odporu závisí na stavebním materiálu.

Tab. 1 Hodnoty tepelných odporů přestupu tepla dle ČSN EN ISO 6946

Tepelný odpor při prostupu tepla $[m^2 \cdot K/W]$	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Horizontálně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

V neposlední řadě byl určen součinitel prostupu tepla podlahou do zeminy pod suterénem. Výpočet byl proveden dle normy ČSN ISO 13 370. [1]

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad [m] \quad (3.2)$$

kde

B'	charakteristický parametr	$[m]$
$S_{podlahy}$	plocha podlahy	$[m^2]$
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	$[m]$

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [m] \quad (3.3)$$

kde

d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	$[m]$
w	celková tloušťka obvodových stěn	$[m]$
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$[m^2 \cdot K/W]$
R_f	tepelný odpor podlahy	$[m^2 \cdot K/W]$
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	$[m^2 \cdot K/W]$

$$(d_t + 0,5 \cdot z_s) < B' \quad U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3.4)$$

$$(d_t + 0,5 \cdot z_s) \geq B' \quad U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3.5)$$

kde

λ_{zeminy} tepelná vodivost zeminy [W/m·K]

$U_{podlahy}$ součinitel prostupu tepla podlahy [W/m²·K]

z_s Hloubka podlahy suterénu pod úrovní okolního terénu [m]

Vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla u objektu vypočteny dle dodaných podkladů v souladu s normou ČSN 73 0540-4. Vzhledem k propojenosti celého objektu byl suterén uvažován jako souvislá místnost.

3. Výpočetní modely

Pro potřeby této práce byl vytvořen analytický matematický model v programu Microsoft Excel. Po vytvoření tohoto modelu byly řešeny čtyři různé varianty vstupních parametrů s ohledem na vyhodnocení celkové potřeby tepla a zjištění závislosti výsledků na jednotlivých parametrech.

3.1. Nominální model

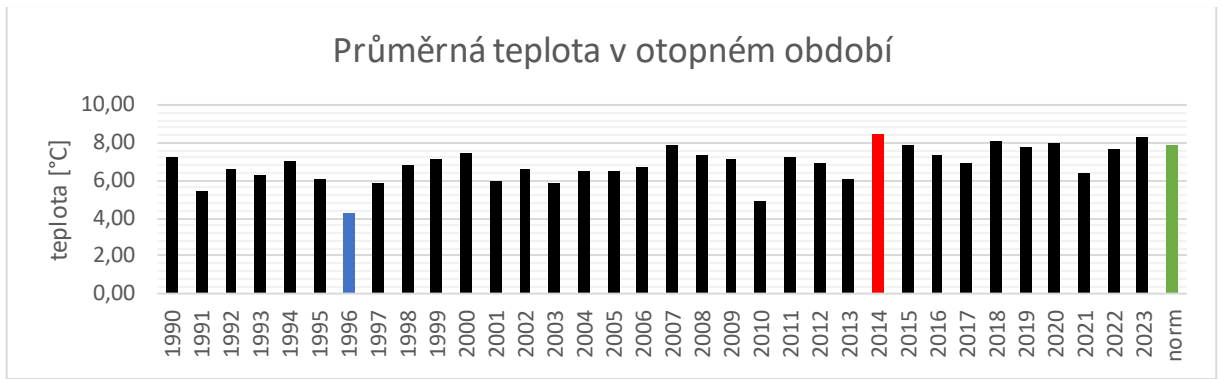
První model se striktně drží norem a hodnot z norem převzatých bez úprav. Vlastnosti materiálů konstrukcí byly převzaty z PENB. [1]

3.2. Model 2023

Druhý model (dále model 2023) byl oproti nominálnímu modelu upraven tak, aby vstupní hodnoty odpovídaly klimatickým podmínkám roku 2023, z důvodu získání přístupu k fakturám za vytápění pro toto období. Další změny modelu byly úprava zisků z oslunění z důvodu zastínění stromy. Další změnou bylo snížení celkové intenzity výměny vzduchu v budově na 0,2 1/h s ohledem pouze na obálku budovy (dům nemá nucené větrání).

3.3. Model 1996

Třetí model (dále model 1996) je úpravou modelu 2023 na klimatické podmínky nejchladnějšího roku z období 1990-2023 z dat získaných od Českého hydrometeorologického ústavu [2]. Měsíční hodnoty jsou získány průměrováním všech dní měsíce. Nejchladnější rok byl vybrán na základě váženého průměru po měsících otopného období.



Obr. 3-1 Graf průměrné teploty v otopném období s vyznačenými extrémy a normovaným rokem [2]

3.4. Model 2014

Čtvrtý model (dále model 2014) byl upraven jako model 1996, pouze pro nejteplejší rok.

4. Tepelné ztráty

Tepelné ztráty byly vypočteny dle normy ČSN EN 12 831.

Celkové tepelné ztráty objektu jsou prostým součtem tří dílčích ztrát. První část jsou ztráty tepla prostupem konstrukcí do okolního prostředí, druhá část jsou tepelné ztráty aktivním větráním a třetí část jsou tepelné ztráty do okolního prostředí infiltrací obálkou budovy. Tepelné ztráty prostupem lze minimalizovat zlepšením teplotních vlastností obálky budovy. U řešené budovy byla obálka rekonstruována v roce 2010 a lze tedy předpokládat výrazné zlepšení oproti původnímu stavu, pravděpodobně však ne takové zlepšení jako s dnes dostupnými materiály. Vzhledem k očekávané životnosti již použité izolace však nedává smysl v současné době izolaci měnit. Tepelné ztráty větráním lze výrazně snížit zavedením nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Tepelné ztráty infiltrací vznikají větráním objektu skrze netěsnosti mezi stavebními konstrukcemi ať už pro tento účel vytvořenými štěrbinami tak i škvírami u nedoléhajících oken apod. Výpočty byly provedeny měsíční metodou s údaji o teplotě převzanými z normy ČSN EN ISO 13 1790 , údaji pro rok 2023 pro účely srovnání výpočtu s PENB, údaji o teplotě z nejchladnějšího a nejteplejšího roku z období 1990-2023. Údaje o teplotě pro konkrétní roky byly převzaty z veřejně přístupné databáze měření ČHMU z lokality Praha – Libuš. Tyto reálné hodnoty byly převzaty bez korekce s předpokladem, že hodnoty se nebudou lišit, neboť stanice Praha – Libuš se nachází ve vzdálenosti 4,5 km se změnou nadmořské výšky o 50 m. Zároveň se stanice nachází v obdobně hustě zasedlené oblasti.

4.1. Tepelné ztráty prostupem

Celková tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru byl stanoven dle rovnice

$$Q_{H,t} = \sum_m (Q_{T,iem} + Q_{T,iam} + Q_{T,iaem} + Q_{T,iaBEm} + Q_{T,igm}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.1)$$

kde

$Q_{H,t}$ potřeba tepla prostupem [kWh]

$Q_{T,iem}$ potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do
venkovního prostředí (e) za měsíc (m) [kWh]

$Q_{T,ia}$ potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do
sousedních vytápěných prostor (a) za měsíc (m) [kWh]

$Q_{T,iae}$ potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (ae) za měsíc (m) [kWh]

$Q_{T,iaBE}$ potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedních funkčních částí budovy. Které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu (aBE) za měsíc (m) [kWh]

$Q_{T,igm}$ potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) [kWh]

$$Q_{H,iem} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot (t_i - t_{em})] \quad [\text{kWh}] \quad (4.2)$$

kde

A_k plocha stavební části obálky budovy [m²]

U_k součinitel prostupu tepla stavební části [W/m²·K]

t_i výpočtová teplota v místnosti [°C]

t_{em} výpočtová teplota v místnosti [°C]

Potřeba tepla prostupem do zeminy byl spočítán dle rovnice (3.5). Byl zanedbán vliv okrajové izolace.

$$Q_{T,g} = S_{podlahy} \cdot U_{podlahy} \cdot (t_i - t_{em}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.3)$$

kde

$S_{podlahy}$ plocha podlahy [m²]

4.2. Tepelné ztráty větráním

V každém objektu určeném k obývání by mělo docházet z hygienických důvodů k výměně vzduchu. Dle Pettenkoferova kritéria by koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí neměla přesáhnout maximální přípustné množství 0,1 %, což odpovídá 1000 ppm (particle per milion). Pro srovnání obsah CO₂ v čerstvém vzduchu ve běžném prostředí se pohybuje kolem 400 ppm. Produkce dospělého člověka v bdělém stavu závisí na jeho fyzické aktivitě. Pro bdělého člověka v klidu se produkce odpovídá přibližně 16 dm³/h CO₂. Z toho vyplývá, že dávka čistého vzduchu na osobu je přibližně 25 m³/h.

Bez ohledu na reálný průběh větrání, je potřeba návrh otopné soustavy dimenzovat na ztráty dle doporučené dávky čerstvého vzduchu. V rámci minimalizace tepelných ztrát je proto vhodné využít systém nuceného větrání s rekuperační jednotkou se zpětným získáváním tepla. Tento systém může výrazně snížit ztráty, ale také jeho integrace do domu, jehož návrh s ním nepočítal bývá často finančně, a hlavně technicky náročná. Další úskalí tohoto systému spočívá ve sžívání se obyvatel s jeho provozem. Lze předpokládat snížení jeho účinnosti až o 60 % v závislosti na chování obyvatel. Jediný způsob, jak tomuto nežádoucímu chování zabránit je znemožnění otvírání všech oken v soukromých prostorech, což lze předpokládat za neprůchodné řešení. Tepelné ztráty větráním byly vypočítány dle rovnice (4.3). [3]

$$Q_{v,m} = \Sigma(H_{v,sup} \cdot \{t_p - [t_{em} + \eta_{rec} \cdot (t_p - t_{em})]\}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.4)$$

kde

$H_{v,sup}$ měrný tepelný tok přiváděného vzduchu [kW/K]

η_{rec} účinnost rekuperační jednotky [-]

t_p vážený průměr teploty vzduchu v budově [°C]

$$H_{v,sup} = \frac{V_{e,p}}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{kW/K}] \quad (4.5)$$

kde

$V_{e,p}$ objem přiváděného vzduchu do místnosti [m³/h]

ρ hustota přiváděného vzduchu [kg/m³]

c_p měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu [kJ/kgK]

$$t_p = \frac{\Sigma_i V_i \cdot t_i}{\Sigma_i V_i} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.6)$$

kde

V_i objem místnosti (i) [m³]

4.3. Tepelné ztráty infiltrací

Tepelné ztráty infiltrací vznikají přirozeným větráním skrze úmyslně vytvořené škvíry a neúmyslně vytvořenými netěsnostmi. U některých panelových domů bylo během návrhu počítáno s infiltrací netěsnými okny pro potřeby větráním. Z tohoto důvodu mají některá nově vyrobená okna možnost záměrných netěsností.

$$Q_{V,m} = \sum(H_{v,tr} \cdot \{t_p - [t_{em} + \eta_{rec} \cdot (t_p - t_{em})]\}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.7)$$

kde

$H_{v, tr}$ měrný tepelný tok vzduchu vniknutým obálkou [kW/K]

η_{rec} účinnost rekuperační jednotky [-]

t_p vážený průměr teploty vzduchu v budově [°C]

$$H_{v,tr} = \frac{V_{env,i}}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{kW/K}] \quad (4.8)$$

kde

$V_{env,i}$ objemový průtok vzduchu procházejícího obálkou domu do místnosti (i)
[m³/h]

$$V_{env,i} = V_{leak,i} \cdot f_{dir,z} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.8)$$

kde

$V_{leak,i}$ objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do místnosti (i) [m³/h]

$f_{dir,z}$ činitel orientace zóny [-]

$$V_{leak,i} = V_{leak,z} \cdot \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.9)$$

kde

$V_{leak,z}$ objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do budovy (z) [m³/h]

$A_{env,i}$ obálka budovy (z) ve styku s venkovním prostředím [m²]

$A_{env,z}$ obálka místnosti (z) ve styku s venkovním prostředím [m²]

5. Tepelné zisky

Tepelné zisky budovy se skládají z vnějších a vnitřních. Výpočty obou těchto zisků byly provedeny dle normy ČSN EN ISO 52016-1. ČSN EN ISO 13 790. Základním výpočet tepelných zisků je definován jako

$$Q_{H,gn} = Q_{H,int} + Q_{H,sol} \quad [\text{kWh}] \quad (5.1)$$

kde

$Q_{H,gn}$ celkové tepelné zisky [kWh]

$Q_{H,int}$ vnitřní tepelné zisky [kWh]

$Q_{H,sol}$ solární tepelné zisky [kWh]

5.1. Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní zisky jsou z definice produkovány uvnitř budovy. Teplo produkují nejen lidé svojí přítomností, ale také domácí spotřebiče jako lednice, počítače, televize a další elektronika uvnitř objektu. Tepelné zisky byly vypočítány dle normy TNI 73 0330 s úpravou tepelné zátěže od umělého osvětlení. Z důvodu masivního přechodu z klasických „Edisonových“ žárovek na LED s výrazně vyšší účinností a svítivostí bylo předpokládáno snížení vnitřních zisků oproti normě ze 100 W na 25 W.

$$Q_{H,int} = \frac{(n_{os} \cdot \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p}) \cdot n_{hod}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (5.2)$$

kde

n_{os} počet osob v budově [-]

$\Phi_{s,o}$ tepelná produkce osoby [W]

f koeficient přítomnosti osob v budově [W]

$\Phi_{s,p}$ tepelná produkce elektrických zařízení [W]

n_{hod} počet hodin v měsíci [-]

Pro všechny varianty výpočtu byl koeficient přítomnosti osob v budově uvažován 0,7. Zisky byly vypočteny hodinovou metodou v kWh.

5.2. Vnější tepelné zisky

Vnější tepelné zisky jsou důsledkem slunečního záření. Velikost těchto zisků závisí na orientaci osluněných ploch (přímým i difuzním zářením), prostnosti a pohltivosti slunečního záření. Solární zisky jsou schopny částečně pokrýt potřebu tepla na vytápění. [4]

$$Q_{H,sol} = \sum_i (F_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol,j} - F_{r,i} \cdot \Phi_r) \cdot n_{hod} \quad [\text{kWh}] \quad (5.3)$$

kde

F_{sh}	korekce stínění na externí překážky	[-]
A_{sol}	účinná sběrná plocha s daným úhlem sklonu	[-]
$I_{sol,j}$	celkové solární záření za měsíc	[kWh/m ²]
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
Φ_r	sálení vůči obloze	[W]

Tab. 5-1 Celkové solární záření za měsíc dle TNI 73 0329:2010

Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	n [den]	tep [°C]	Isol,j [kWh/m ²]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	31	-1,5	7	50	15	20	23
Únor	28	-0,2	13	56	26	28	40
Březen	31	3,7	23	82	51	53	79
Duben	30	8,6	32	95	74	72	118
Květen	31	14,0	47	97	104	93	161
Červen	30	16,8	52	87	115	88	166
Červenec	31	18,0	47	93	100	93	162
Srpen	31	18,4	38	100	88	88	143
Září	30	14,1	24	95	60	64	96
Říjen	31	8,6	17	75	34	48	57
Listopad	30	3,3	9	36	14	18	24
Prosinec	31	-0,2	6	29	11	12	17

Hodnoty z tabulky 5.1 byly použity pro nominální model. Pro modely 2023, 1996 a 2014 byly hodnoty upraveny tak, aby odpovídali stínění od vegetace a okolní zástavby. Tyto upravené hodnoty jsou v tabulce 5.2.

Tab. 5-2 Celkové solární záření za měsíc s úpravou pro okolní plochy

Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	n [den]	t _{ep} [°C]	Isol,j [kWh/m ²]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	31	-1,5	4,1	8,7	15	20	23
Únor	28	-0,2	6,7	13,0	26	28	40
Březen	31	3,7	12,65	19,0	51	53	79
Duben	30	8,6	18	21,9	74	72	118
Květen	31	14,0	24,55	22,2	104	93	161
Červen	30	16,8	25,9	19,3	115	88	166
Červenec	31	18,0	25,65	19,9	100	93	162
Srpen	31	18,4	21,2	24,5	88	88	143
Září	30	14,1	14,4	19,8	60	64	96
Říjen	31	8,6	9,3	19,0	34	48	57
Listopad	30	3,3	4,7	11,6	14	18	24
Prosinec	31	-0,2	3	7,4	11	12	17

Tab. 5-3 Korekční činitelé na stínění a osálení

Korekce stínění na externí překážky	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	
	Horizontální	Vertikální
F _{sh}	F _{r,i}	
1	1	0,5

5.2.1 Výpočet solárních zisků neprůsvitnými prvky

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_i \quad [\text{m}^2] \quad (5.4)$$

kde

$\alpha_{s,c}$ pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků [-]

R_{se}	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	$[m^2K/W]$
U_c	Součinitel prostupu tepla neprůhledných součástí	$[W/m^2K]$

Tab. 5-4 Parametry k výpočtu účinné solární sběrné ploše neprůhledných prvků Asol

Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí
$\alpha_{S,c}$	R_{se}	U_c
0,6	0,04	Dle projektu

5.2.2. Výpočet solárních zisků průsvitnými prvky

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_i \quad [m^2] \quad (5.5)$$

kde

g_{gl} celková propustnost průsvitnými prvky [-]

F_F podíl plochy rámu; 0,3 [-]

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n \quad [-] \quad (5.6)$$

kde

g_n celková propustnost zasklení [-]

F_w korekce pro nerozptyl. zasklení; 0,9 [-]

Tab. 2 Celková propustnost zasklení

Celková propustnost zasklení	g_n
Jednoduchá zasklení	0,85
Dvojsklo	0,75
Dvojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,67
Trojsklo	0,70
Trojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,50
Zdvojené okno	0,75

Výpočet předpokládá, že všechny bytové jednotky pořídili stejně kvalitní okna s dvojskly.

5.2.3. Výsledné tepelné zisky

Tab. 3 Vnější tepelné zisky objektu pro nominální model

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Vnější tepelné zisky									
	n [den]	n _{hod} [den]	Q sol [kWh]									
			Průsvitné konstrukce					Neprůsvitné konstrukce				
			N	S	E	W	Střecha	N	S	E	W	Střecha
Leden	31	744	658	2642	0	79	0	-106	-34	0	-18	63
Únor	28	672	1004	3589	0	100	0	-83	14	0	-11	99
Březen	31	744	2151	5808	0	213	0	-58	84	0	5	216
Duben	30	720	2985	6482	0	280	0	-27	113	0	17	313
Květen	31	744	4229	6801	0	375	0	9	121	0	32	441
Červen	30	720	4320	5712	0	343	0	16	85	0	28	440
Červenec	31	744	4421	6100	0	375	0	15	95	0	32	444
Srpen	31	744	3644	7510	0	355	0	-10	148	0	29	392
Září	30	720	2377	5880	0	249	0	-46	91	0	12	255
Říjen	31	744	1566	5808	0	192	0	-77	84	0	1	156
Listopad	30	720	738	3410	0	68	0	-99	-1	0	-18	64
Prosinec	31	744	466	2232	0	46	0	-112	-50	0	-23	47

Tab. 5-7 Vnější tepelné zisky objektu pro model 2023, 1996 a 2014

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Vnější tepelné zisky									
	n [den]	n _{hod} [den]	Q sol [kWh]									
			Průsvitné konstrukce					Neprůsvitné konstrukce				
			N	S	E	W	Střecha	N	S	E	W	Střecha
Leden	31	744	300	635	0	79	0	-118	-109	0	-18	63
Únor	28	672	476	880	0	100	0	-100	-87	0	-11	99
Březen	31	744	1047	1442	0	213	0	-94	-79	0	5	216
Duben	30	720	1465	1615	0	280	0	-76	-68	0	17	313
Květen	31	744	2085	1695	0	375	0	-60	-70	0	32	441
Červen	30	720	2132	1419	0	343	0	-54	-76	0	28	440
Červenec	31	744	2181	1517	0	375	0	-57	-76	0	32	444
Srpen	31	744	1793	1876	0	355	0	-69	-63	0	29	392
Září	30	720	1161	1462	0	249	0	-86	-74	0	12	255
Říjen	31	744	754	1442	0	192	0	-103	-79	0	1	156
Listopad	30	720	341	832	0	68	0	-112	-97	0	-18	64
Prosinec	31	744	204	530	0	46	0	-121	-113	0	-23	47

6. Celková tepelná bilance

Tímto postupem byly vypracovány tepelné zisky a ztráty objektu v jednotlivých měsících. Aby zisky bylo možno odečíst od tepelných ztrát, je potřeba uvažovat faktor využitelnosti tepelných zisků dle rovnice (6.1).

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,i} + Q_{H,ve} - Q_{H,gn} \cdot \eta_{H,gn}) \quad [\text{W}] \quad (6.1)$$

kde

$Q_{H,nd}$	potřeba tepla v daném měsíci	[kWh]
Q_{gn}	trvalé využitelné tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti teplotních zisků	[-]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušované vytápění	[-]

Redukční faktor je možno vypočítat dle rovnice, která není uvedena, neboť pro nepřerušované vytápění je $a_{H,red} = 1$.

6.1. Faktor využitelnost tepelných zisků

Výpočet faktoru využitelnosti tepelných zisků přímo závisí na bilančním poměru pro režim vytápění a na časovém parametru, který závisí na tepelné setrvačnosti budovy. Tato závislost je dána následujícími vztahy.

$$\gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad [-] \quad (6.2)$$

$$\gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad [-] \quad (6.3)$$

$$\gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-] \quad (6.4)$$

kde

γ_H	faktor využitelností tepelných zisků pro vytápění	[-]
a_H	bezrozměrný časový parametr	[-]

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (6.5)$$

kde

$Q_{H,gn}$ celkové tepelné tisky [kWh]

$Q_{H,ht}$ celková potřeba tepla [kWh]

$$a_H = a_{h,0} + \frac{\tau}{\tau_{h,0}} \quad [-] \quad (6.6)$$

kde

$a_{h,0}$ bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu; 1 [-]

τ časová konstanta budovy [h]

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta; 15 [h]

$$\tau = \frac{C_m}{H_T + H_V} \quad [h] \quad (6.7)$$

kde

C_m časová konstanta budovy [J/K]

H_T měrný tepelný tok prostupem [W/K]

H_V měrný tepelný tok větráním celé budovy [W/K]

Tab. 4 Výpočet vnitřní tepelné kapacity budovy

Třída budovy	Vnitřní tepelná kapacita budovy C_m [J/K] (měsíční metoda)
Velmi lehká	$80\,000 \cdot A_{pod}$
Lehká	$110\,000 \cdot A_{pod}$
Střední	$165\,000 \cdot A_{pod}$
Těžká	$260\,000 \cdot A_{pod}$
Velmi těžká	$370\,000 \cdot A_{pod}$

A_{pod} podlahová plocha vytápěné zóny [m²]

Třída budovy byla zvolena vzhledem k stavební konstrukci jako „těžká“, výsledná tepelná kapacita tedy vyšla 752 635 kJ/K.

7. Potřeba tepla

Celková potřeba tepla objektu je dána potřebou tepla na vytápění a potřebou tepla na přípravu teplé vody využívané v objektu. Z tohoto vyplývá, že je to celková potřeba energie, která je potřeba do objektu dodat pro uspokojení požadavků obyvatel.

7.1. Potřeba tepla na vytápění

Z výpočtů v předchozí kapitole lze odvodit, že potřeba tepla na vytápění lze ovlivnit vlastnostmi konstrukce i samotným návrhem budovy. U stávajících objektů, které již prošli rekonstrukcí tak jako řešená budova však již nelze konstrukce výrazně změnit. Možné změny pro snížení potřeby tepla tedy jsou optimalizace využití energií a snížení potřeby externích dodávek energií vlastní produkcí.

Tab. 7-1 Roční potřeba tepla na vytápění jednotlivých modelů

	Roční potřeba tepla na vytápění	
	Q [kWh/a]	Q [kWh/m ² .a]
Nominální	214 089	61
2023	128 968	37
1996	189 955	54
2014	122 723	35

Z tabulky 7-1 je vidět, že nominální model je výrazně na straně bezpečnosti.

7.2. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla určena dle následujícího vztahu.

$$Q_{TV,den} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c \cdot V_{TV} \cdot n_{os} \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{W}] \quad (7.1)$$

kde

z	poměrný koeficient ztrát; 0,5	[-]
ρ_{vod}	hustota vody; 997	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody; 4180	[J/kgK]

V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu; 0,032	[m ³]
n_{os}	počet osob; 90	[-]
t_2	teplota teplé vody; 55	[°C]
t_1	průměrná teplota přiváděné vody; 10	[°C]

Všechny výpočetní modely předpokládají 90 osob, a proto mají identické výpočty potřeby tepla.

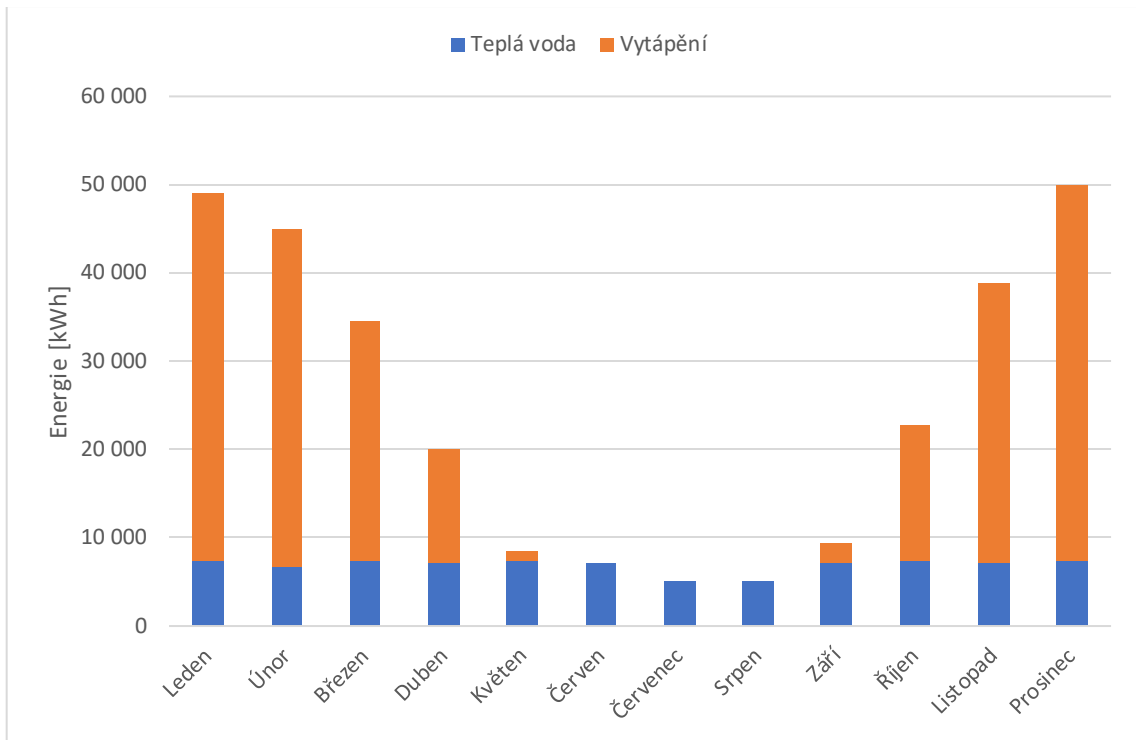
V měsících červenec a srpen se předpokládá snížení potřeby o 30 % z důvodu letních dovolených, prázdnin apod. Z důvodu snížení doby mezi vznikem požadavku a dodávkou teplé vody ve větších objektech, jako jsou bytové domy, se přistupuje k cirkulaci teplé vody. Nevýhodou tohoto řešení jsou významné tepelné ztráty, které mohou tvořit i 50 % potřeby na přípravu této teplé vody.

Tab. 7-2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

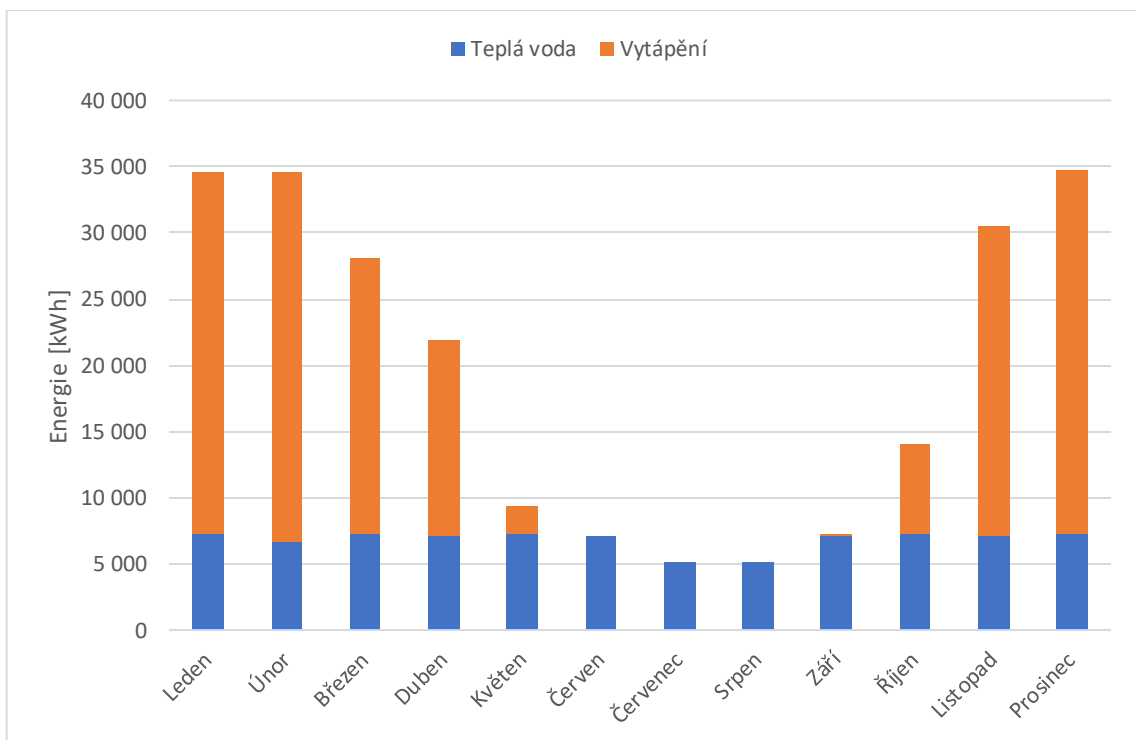
Měsíc	Počet dnů	Potřeba teplé vody
	n [den]	Q _{tv} [kWh/m]
Leden	31	7282
Únor	28	6577
Březen	31	7282
Duben	30	7047
Květen	31	7282
Červen	30	7047
Červenec	31	5097
Srpen	31	5097
Září	30	7047
Říjen	31	7282
Listopad	30	7047
Prosinec	31	7282

7.3. Celková potřeba tepla

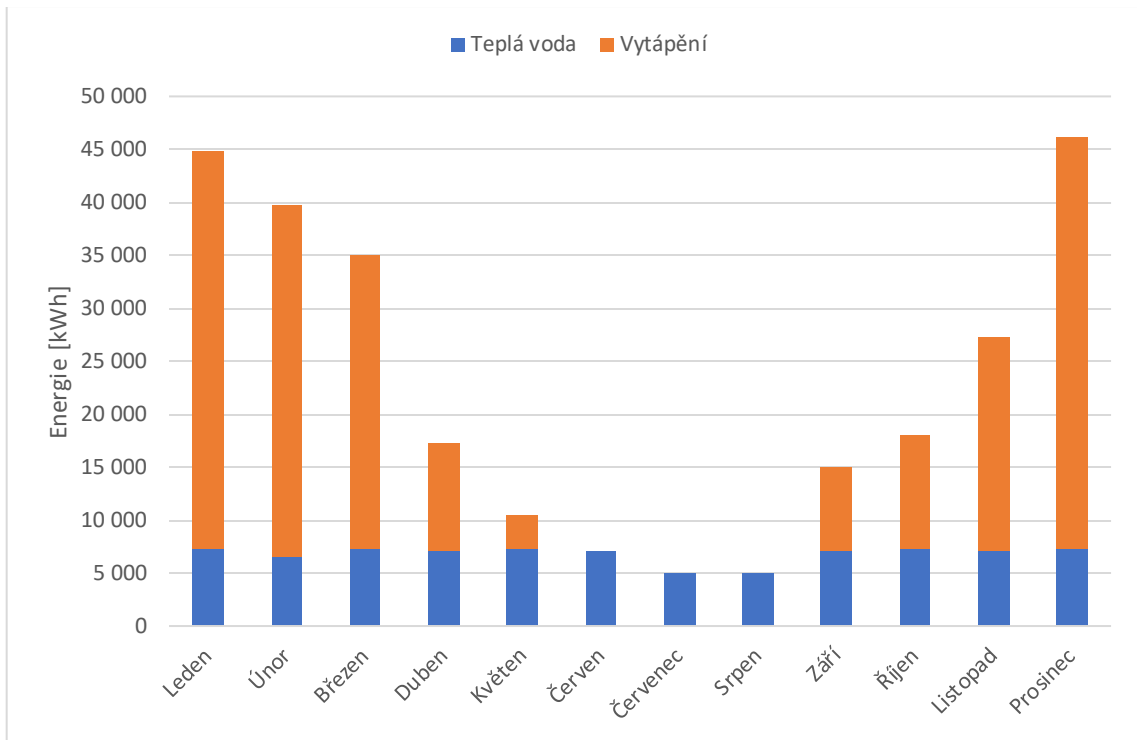
Celková potřeba tepla byla vypočítána dle dříve uvedených vztahů z potřeby na vytápění, teplou vodu a solárních zisků. Níže jsou uvedeny histogramy potřeby tepla dle jednotlivých modelů.



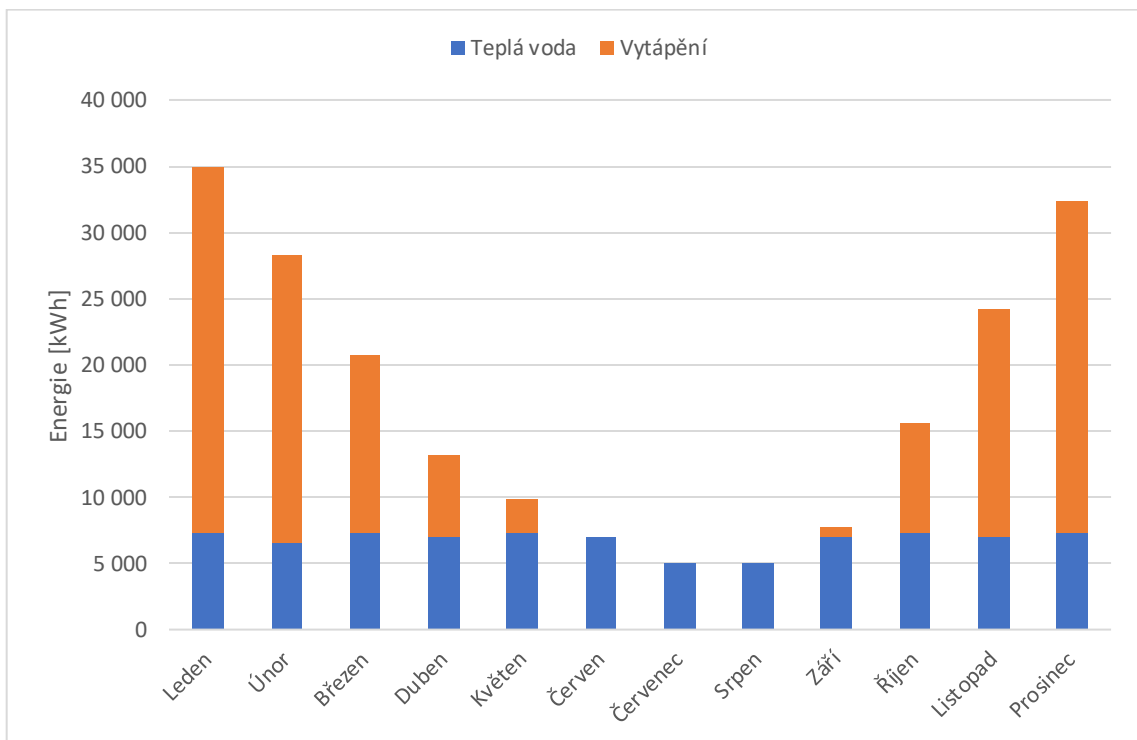
Obr. 7-1 Celková potřeba tepla dle nominálního modelu



Obr. 7-2 Celková potřeba dle modelu 2023



Obr. 7-3 Celková potřeba dle modelu 1996



Obr. 7-4 Celková potřeba tepla dle modelu 2014

Pro větší přehlednost jsou údaje o potřebě tepla na vytápění uvedena i v následující tabulce.

Tab. 7-1 Potřeba tepla dle jednotlivých modelů

QH,nd [kWh]	Nominální	2023	1996	2014
Leden	41 865	27 339	47 623	35 376
Únor	38 365	28 074	42 860	28 525
Březen	27 171	20 810	36 000	18 445
Duben	12 915	14 920	14 586	9 428
Květen	1 329	2 102	5 888	4 843
Červen	0	0	0	0
Červenec	0	0	0	0
Srpen	0	0	0	0
Září	2 270	3	11 765	1 757
Říjen	15 580	6 778	14 908	11 916
Listopad	31 811	23 499	26 544	22 695
Prosinec	42 785	27 521	49 040	32 172
suma	214 089	151 046	249 215	165 159

Model 2023 byl upraven snížením požadavků větrání obálkou budovy dle předpokládaného chování uživatelů během roku. Lze očekávat, že v období nižších venkovních teplot je intenzita větrání výrazně nižší než projekt s ohledem na požadavky ČSN EN 12831-1, což je typické chování uživatelů bytových domů.

Výsledky získané v modelu 1996 a 2014 odpovídají výpočetním podmínkám modelu 2023, ale s konkrétními hodnotami venkovních teplot v daném roce modelu. Je tak vidět, že pravděpodobná potřeba tepla pro vytápění a přípravu teplé vody bude pro objekt Hodonínská č.p. 1242/11, 1243/9 a 1244/7 v rozsahu od 150 MWh/a do 250 MWh/a. Což je relativní rozsah vypočtených hodnot cca 66 %.

Přestože má model pro rok 2014 vyšší průměrnou denní teplotu v otopném období, jeho celková roční potřeba tepla je vyšší, než model pro rok 2023. Toto je způsobeno větším rozptylem teplot v roce 2023. Tento rok měl ve čtyřech měsících otopného období nižší teploty oproti roku 2014 (únor, březen, duben a listopad), ale ve zbylých měsících byly teploty výrazně vyšší, nicméně průměrná teplota za otopné období v roce 2023 nepřekonalala rok 2014.

Pro další výpočty ekonomické návratnosti jednotlivých opatření je uvažováno s modelem 2023.

8. Zpětné získávání tepla ze vzduchu

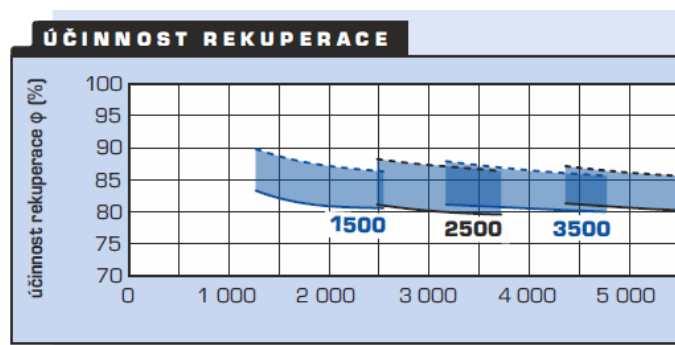
Pro snížení potřeby v případě nemožnosti snížení požadavku na množství energie dodávané do domu, je potřeba optimalizovat využití energie a snížit množství odpadního tepla odcházejícího bez užítku pryč z objektu.

Část energie z objektu odchází ve formě teplého vzduchu při větrání. V případě řešeného objektu se jedná až o třetinu všech tepelných ztrát. Snížení těchto ztrát by tedy představovalo významnou úsporu.

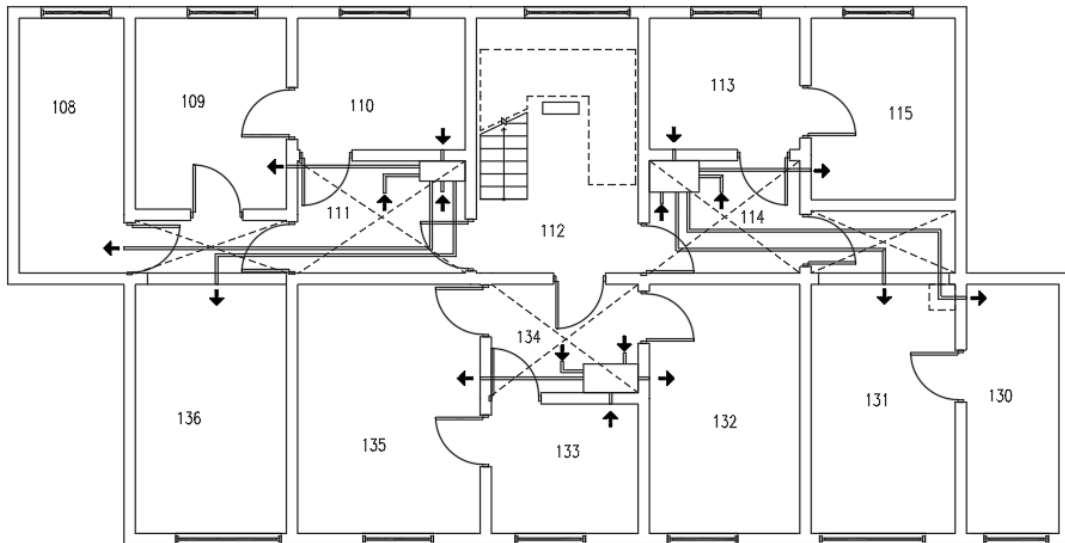
8.1. Zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu

Prvním řešeným způsobem zpětného získávání tepla bylo získávání z odpadního vzduchu. Za předpokladu doporučené intenzity výměny vzduchu v objektu odpovídá ztráta větráním až za 42 % tepelných ztrát. Tyto ztráty lze snížit vytvořením systému zpětného získávání tepla.

Pro návrh studie větrání byla uvažována minimální doporučená intenzita výměny vzduchu 0,3 1/h, což pro větrané prostory z pohledu jejich objemu a intenzity výměny vzduchu představuje průtok vzduchu přibližně 2400 m³/h. Pro tyto podmínky byla pro potřeby výpočtu zvolena nástřešní kompaktní vzduchotechnická jednotka Atrea Duplex 1500 N s protiproudým rekuperačním výměníkem. Dle dokumentace má tato jednotka garantovanou účinnost mezi 81 a 87 %. Pro další standardní výpočet byla pro zvolena účinnost navrženého systému větrání $\Phi = 80$ %.



Obr. 8-1 Výřez z technického listu od výrobce [5]



Obr. 8-2 Návrh řešení trasy nuceného větrání v nadzemních podlažích Hodonínská 1243/9

Tento návrh uvažuje vedení systému v podhledech v centrální části bytových jednotek, případě ve falešných trémcích v pobytových prostorech (viz obr. 8-2 místnost 131).

Tabulka 8-1 nicméně ukazuje výsledky i ve srovnání s tzv. předpokládanou reálnou provozní účinností navrženého systému nuceného větrání, která byla oproti předpokládané účinnosti větrací rekuperační jednotky snížena o 40 % na hodnotu $\Phi = 0,42$. Toto snížení předpokládá reálné chování uživatelů bytů s ohledem na potenciální otevírání oken a tím ovlivnění tlakových podmínek pro nucené větrání a také uvažuje s provozními ztrátami celého systému větrání bytového domu, nikoli pouze s účinností rekuperační jednotky.

Výkresy pro návrhy umístění nástřešní vzduchotechnické jednotky a vzduchotechnického vedení jsou součástí příloh.

Tab. 8-1 Porovnání potřeby tepla na větrání

Model	Potřeba tepla větráním	Potřeba tepla větráním s nuceným větráním ($\Phi = 0,80$)	Potřeba tepla větráním s nuceným větráním ($\Phi = 0,42$)
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
nominální	115 744	28 591	74 336
2023	66 942	17 509	45 452
1996	127 497	31 494	81 884
2014	90 307	22 308	58 000

8.1.1. Vyhodnocení otázky ekonomické smyslnosti

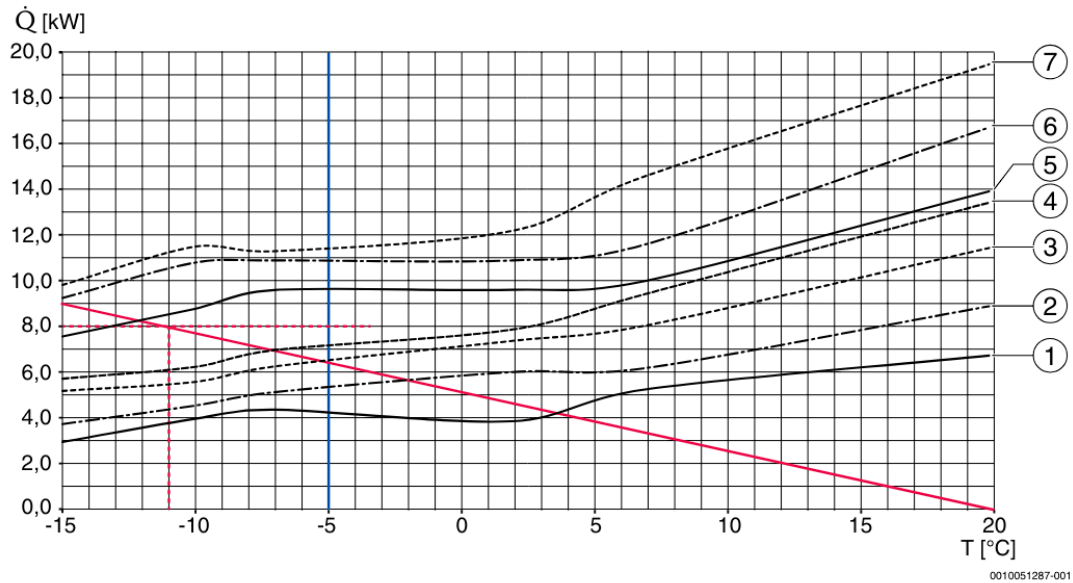
Vzhledem k tomu, že velká část bytových domů je v současnosti sdružena do Společenství vlastníků jednotek, je nejvyšší důraz veden na náklady a návratnost. V době psaní je v rámci dotačního programu „Nová zelená úsporám“ vypsána dotace 45 000 Kč na bytovou jednotku na vytvoření systému řízeného větrání s rekuperací, což u řešené budovy dává možnost získání maximální dotace ve výši 1 575 000 Kč. Základní uvažovaný materiál jako potrubí, distribuční boxy, tvarovky a regulace v provedení pro hranaté potrubí z důvodu vedení VZT v podhledech vychází nákladově v průměru na cca 10 000 Kč, ale lze předpokládat, že cena dalších materiálů, a hlavně práce bude násobně vyšší a v závislosti na realizační firmě bude dotace krýt pouze náklady na realizaci uvnitř bytových jednotek. Náklady na vlastní VZT jednotku (asi 270 000 Kč [8]) a systém mimo prostory bytových jednotek realizaci mohou výrazně prodražit. Pro ekonomickou část této práce je uvažováno celkovou částkou realizace systému nuceného větrání 2 000 000 Kč. Při současných cenách energií a předpokladem vytápění s využitím zemního plynu je odhadovaná roční úspora při nejnepríznivějším scénáři (teplé roky s nízkými náklady na vytápění) 50 000 Kč/a a doba návratnosti projektu je tak cca 10 let. Hlavním argumentem proti vytvoření toho systému je zásadní zásah do celého objektu a výrazná komplikace jeho využívání po celou dobu realizace. Dalším hlediskem je také odhad celkové životnosti navržené vzduchotechnické jednotky a náklady spojené s pravidelnou údržbou celého systému nuceného větrání, což by reálnou dobu návratnosti v konečném důsledku ještě prodloužilo. [6] [7]

8.1.2. Další využití odpadního tepla z rekuperační jednotky

Přestože odpadnímu vzduchu odcházejícímu z větrací jednotky byla v rekuperačním výměníku odebrána většina tepla, stále má tento vzduch v zimním provozu významně vyšší teplotu než vzduch přiváděný do jednotky. Nevýhodou tohoto řešení je nižší teplota v případě letního provozu.

Této energie lze využít umístěním malého tepelného čerpadla vzduch/ voda do potrubí výstupu odpadního vzduchu, které může například předehřívát vodu pro přípravu TV. Pro potřeby výpočtu tohoto řešení bylo zvoleno tepelné čerpadlo Buderus WLW166i-4 SP.

Graf průběhu tepelného výkonu uvažovaného tepelného čerpadla v závislosti na teplotě přiváděného vzduchu je znázorněn na obr. 8-2.



Obr. 8-3 Křivky tepelného výkonu tepelného čerpadle Logatherm WLW166i při Ax W35 [9]

Tab. 8-2 Výpočet tepelného výkonu tepelného čerpadla umístěného za rekuperační vzduchotechnickou jednotkou

Měsíc	Střední venkovní teplota	Střední teplota za rekuperací	Výkon tč při Ax W35 [10]	Výkon tč při Ax W35 za měsíc	COP	příkon tč za měsíc
	t_{ep} [°C]	t_{ov} [°C]	[kW]	[kWh]		
Leden	3,8	7	4,2	3125	3,6	868
Únor	2,3	6	3,9	2621	4	655
Březen	5,9	9	5,1	3794	4,7	807
Duben	8,2	11	5,8	4176	5,1	819
Květen	14,5	16	6,2	4613	5,2	887
Červen	18,8	19	6,5	4680	5,5	851
Červenec	21,8	21	6,8	5059	5,6	903
Srpen	20,3	20	6,8	5059	5,7	888
Září	18,3	19	6,4	4608	5,2	886
Říjen	12,8	14	5,9	4390	5,1	861
Listopad	5,2	8	4,9	3528	4,7	751
Prosinec	3,8	7	4,2	3125	4	781

U všech uvažovaných modelů byla stanovena úspora přibližně 39 MWh/a (příklad z modelu 2023 v tabulce 8-2), což by při současných cenách energií a současné ceně zvoleného tepelného čerpadla (125 500 Kč) znamenalo návratnost tohoto opatření do 3 let. Tento výpočet je zatížen chybou neuvažování oscilace venkovní teploty, ztráty vedením teplé vody a nedokonalou účinností výměníků. Při odhadu těchto ztrát a nepřesností lze očekávat návratnost v rozmezí 4 až 6 let. Lze tedy říct, že v případě vytvoření systému nuceného větrání např. z důvodu zpřísnění legislativy pro průběžné snižování energetické náročnosti budov v dalších letech, lze toto řešení doporučit. [9]

9. Zpětné získávání tepla z odpadních vod

9.1. Definice odpadních vod

Dle zákona č.254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) jsou odpadní vody definovány jako vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízení apod., pokud mají po použití změněnou jakost. Odpadní vody lze rozlišovat na komunální, která vznikla činností člověka a na průmyslovou, která byla využita pro chlazení technologie, nebo jiné technologické procesy. [10]

9.2. Dělení komunálních odpadních vod

Komunální odpadní vody lze dále dělit na tři jednotlivé vody, lišící se dle jejich obsahu a další využitelnosti.

9.2.1. Černá odpadní voda

„Černá voda“ je voda obsahující zbytky tělesných procesů. Tato voda pochází především ze záchodů a pisoárů a je zpravidla silně znečištěná, kvůli čemuž nemůže být již nijak využita a je z bytových domů zpravidla odváděna do městské kanalizace. U této vody nemá smysl uvažovat o jakémkoliv lokálním čištění, protože díky jejímu využití nebyla ohřívána a má tedy nízkou teplotu a není důvod k její rekuperaci.

9.2.2. Šedá odpadní voda

„Šedá voda“ je dle zákona o ochraně veřejného zdraví č. 258/200 Sb. definovaná jako odpadní voda z umyvadel, sprch a van a její využití upravuje od roku 2021 norma ČSN 75 6780. Tato voda mimo obsah černé vody nesmí obsahovat ani tuk a zbytky jídel, jedná se o vodu vznikající při osobní hygieně a praní prádla. Tato voda má v naprosté většině teplotu výrazně vyšší než voda z vodovodního řadu a tvoří více než 50 % produkce odpadní vody. Proto je tato voda vhodná k rekuperaci. [11]

9.2.3. Bílá odpadní voda

„Bílá voda“ je provozní voda, která vzniká technologickou úpravou a čištěním vody šedé. Tato voda lze využít stejným způsobem, jako voda nepitná, tedy na splachování záchodů, zalévání apod. Tímto využitím lze zvýšit hospodárnost využívání odebrané vody a mimo jiné i ušetřit na vodném a stočném.

9.3. Lokální rekuperace tepla z odpadních vod

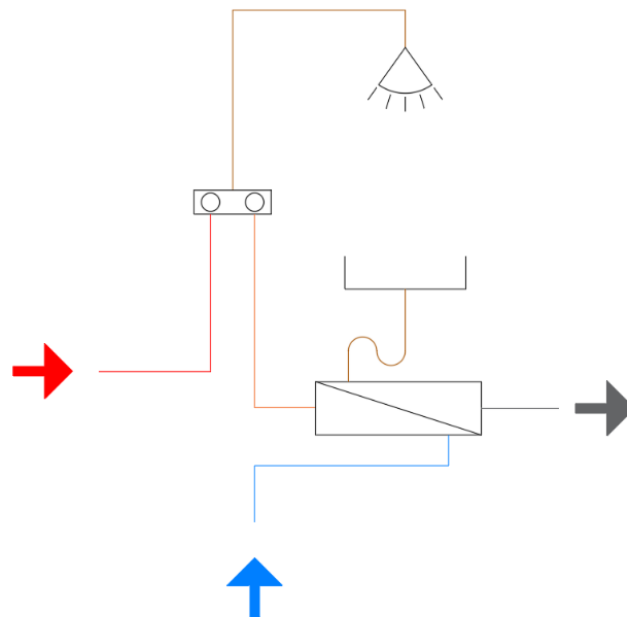
Při lokální rekuperaci tepla může být odtékající teplá splašková voda využita pouze, pokud je ve stejném okamžiku teplá voda odebírána. Z tohoto důvodu nelze využít teplá odpadní voda z praček a myček nádobí, neboť ty odebírají studenou vodu, tu ohřejí a nelze zaručit, že během jejich vypouštění bude teplá voda odebírána. Z tohoto důvodu lze využít pouze vodu využívanou během osobní hygieny v umyvadlech, sprchách a vanách.

Obecně se pro tyto účely vyrábí dva druhy výměníků. Jedná se o sprchové žlaby s integrovanými výměníky tepla a trubkové výměníky. Trubkové výměníky mají sice vyšší účinnost, ale dle instrukcí výrobců je lze využít pouze při vertikální montáži, což stěžuje celou instalaci, zejména u bytových domů by to znamenalo prakticky celou rekonstrukci odpadního (vertikálního) potrubí domu. Navíc cena takového výměníku je přibližně dvojnásobná a vyšší oproti deskovému výměníku uvažovaného dále.

Pro potřeby výpočtu byl uvažován deskový výměník umístěný v rámci sprchového koutu. Byl vybrán výměník NELA z důvodu jeho nižší ceny, relativně vysoké účinnosti a poměrně malé prostorové náročnosti. [12].

Předpokládané zapojení výměníku je za sifon odpadu ze strany splaškové vody a mezi přívod studené pitné vody a termostatickou baterii. Předpokladem je, že studená voda přijde do baterie o vyšší teplotě a tím se sníží podíl odebírané teplé vody. Toto zapojení bylo během výuky předmětu Experimentální metody na oboru Technika prostředí, ČVUT

v Praze, Fakultě strojní prokázáno jako nejúčinnější a dosažené výsledky měření byly použity pro tuto práci. Schéma tohoto zapojení je na obr. 9-1



Obr. 9-1 Schéma zapojení sprchového výměníku



Obr. 9-2 Výměník NELA [13]

Výpočet uvažuje, že každý obyvatel domu jednou za den využije 30 L vody o teplotě 38 °C na sprchování, tedy 5 minutám puštěné vody o průtoku 6 L/min, což odpovídá běžné sprchové hlavici a předpokládané průměrné délce sprchování. Vzhledem k odparu vody a jejímu ochlazení během sprchování je předpokládaná teplota za sifonem 35 °C.

Tab. 9-1 Potřeba tepla na sprchování s a bez výměníku

Měsíc	Počet dnů	Potřeba TV bez výměníku	Potřeba TV s výměníkem
	n [den]	Q _{tv} [kWh/m]	Q _{tv} [kWh/m]
Leden	31	4616,83	2965,78
Únor	28	4170,04	2678,77
Březen	31	4616,83	2965,78
Duben	30	4467,90	2870,11
Květen	31	4616,83	2965,78
Červen	30	3127,53	2870,11
Červenec	31	3231,78	2965,78
Srpen	31	3231,78	2965,78
Září	30	4467,90	2870,11
Říjen	31	4616,83	2965,78
Listopad	30	4467,90	2870,11
Prosinec	31	4616,83	2965,78

9.3.1. Vyhodnocení lokální rekuperace

Jak ukazuje tabulka 9-2, využití výměníků v celém objektu by přineslo celkovou úsporu přibližně 15,3 MWh/a, což by při uvažovaných cenách znamenalo úsporu 36 650 Kč při přípravě TV pomocí plynových kotlů, nebo 20 000 Kč při využití tepelného čerpadla jako hlavního zdroje pro přípravu teplé vody. Tyto hodnoty však předpokládají osazení výměníků a rekonstrukci všech koupelen na sprchové kouty i přesto, že dle původních plánů ve všech bytech byly vany. Cena zvoleného výměníku je v době psaní této práce 10 590 Kč a v době psaní není vypsána žádná dotace pro lokální zpětné získávání tepla z odpadních vod pro bytové domy a SVJ. Dotace na tyto výměníky je v době psaní této práce pouze pro rodinné domy.

S ohledem na současnou obsazenost řešeného domu dle podkladů (90 osob) by při uvažovaných cenách energií byla prostá návratnost 11 let při využití zemního plynu k přípravě TV, respektive 20 let při využití tepelných čerpadel, při uvažování pouze nákladů na pořízení výměníku.

Toto řešení lze tedy doporučit pouze v případě vypsání dotací a již plánované rekonstrukce koupelny a pouze pro obyvatele se zvýšeným zájmem o snižování spotřeby energie z ekologických důvodů. Z ekonomického hlediska doba návratnosti není

zajímavá a případně je možné, že může přesáhnout životnost vlastního výměníku či komponent pro napojená výměníku použitých (nerezové opletené hadice, apod.).

V případě kompletní rekonstrukce celého systému kanalizace domu, zejména pak na vertikálním potrubí je možné zvážit nasazení vertikálních výměníků tepla pro lokální rekuperaci. Nicméně reálná doba návratnosti by zcela určitě překročila 10 let.

9.3.2. Centrální rekuperace tepla s přímým ohřevem

Centrální rekuperace tepla znamená rozdělit odpadní vodu na černou a šedou, což by vyžadovalo kompletní rekonstrukci veškerých stoupaček v domě a rozdělení kanalizace na šedou a černou (viz kap. 9.2.). Zapojení předpokládá průtok šedé vody přes akumulární zásobník s integrovaným výměníkem, skrz který protéká studená voda do zásobníku teplé vody a ohřívá se. Pro případ přebytku odpadní vody musí být instalován bypass. Takto předehřátá voda putuje do dalšího zásobníku, kde je dále dohřáta dalším zdrojem tepla, případně zdrojem tepla a fototermitickými kolektory.

9.3.3. Centrální rekuperace tepla s tepelným čerpadlem

Centrální rekuperace s tepelným čerpadlem předpokládá akumulaci teplé šedé vody a její ochlazování primárním okruhem tepelného čerpadla. Nejideálnější druh tepelného čerpadla by sice byla verze voda/ voda, ale tyto čerpadla se využívají v naprosté většině k získávání tepla z technologické, povrchové nebo studniční vody, které mají ustálené průtoky a čistotu. U šedé odpadní vody nelze zajistit ani jeden z těchto požadavků. Z těchto důvodů bývají ve většině instalací využívajících odpadní teplo z odpadních vod použita tepelná čerpadla země/ voda, jejichž výměníky na primární straně jsou umístěny buď na povrch akumulárních nádrží, nebo přímo uvnitř těchto nádrží. Dalším problémem bývá u těchto instalací vstupní teplota odpadních vod, která často přesahuje maximální povolenou teplotu na výměníku pro zajištění funkčnosti systému, kterou většina výrobců udává na 20 °C. Dalším omezujícím faktorem je složení nemrznoucí kapaliny v primárním okruhu tepelného čerpadla, neboť musí být kvůli nebezpečí úniku biologicky nezávadná, aby nedošlo k narušení provozu místní čističky odpadních vod.

9.4. Výměníky centrální rekuperace z šedé vody

Tato podkapitola pojednává o výhodách a nevýhodách různých řešení výměníku pro získání tepla z odpadních vod.

9.4.1. Vnořený výměník

Tento druh výměníků spočívá v přímém ponoření trubkových nebo deskových výměníků, uvnitř kterých protéká čistá voda do akumulčních nádrží, skrz které protéká odpadní šedá voda. Tyto výměníky mají vysokou účinnost a začínají se uchycovat v průmyslech, kde je vysoké množství odpadní vody. Dle výrobců jsou tyto výměníky schopny zvýšit teplotu přiváděné vody o 6 až 10 °C. Tyto výměníky však nejsou vhodné

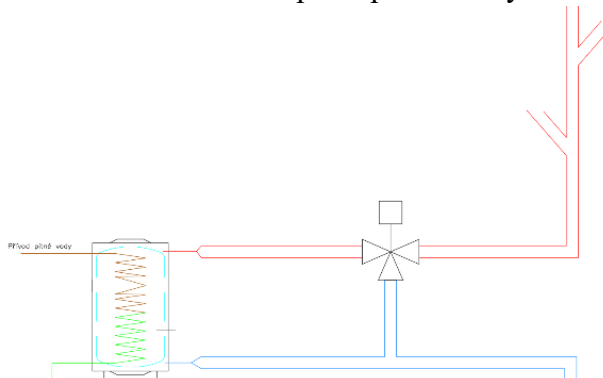


Obr. 9-3 Deskový výměník AS-ReHeater [12]

pro bytové domy, protože zde nelze zajistit stálý průtok, stálá teplota, ani stálý odběr. Největším problémem je u takového výměníku jeho čištění. [14]

Při využití zmíněného výměníku za předpokladu, že by skutečně byl schopný zvýšit teplotu přiváděné vody o 6 °C, jednalo by se za ideálních podmínek o úsporu přibližně 10,9 MWh/a.

Za předpokládaných cen by tato úspora energie znamenala při využití ohřevu vody plynem úsporu přibližně 26 000 Kč. I po započítání vyhlášené dotace 15 000 Kč na

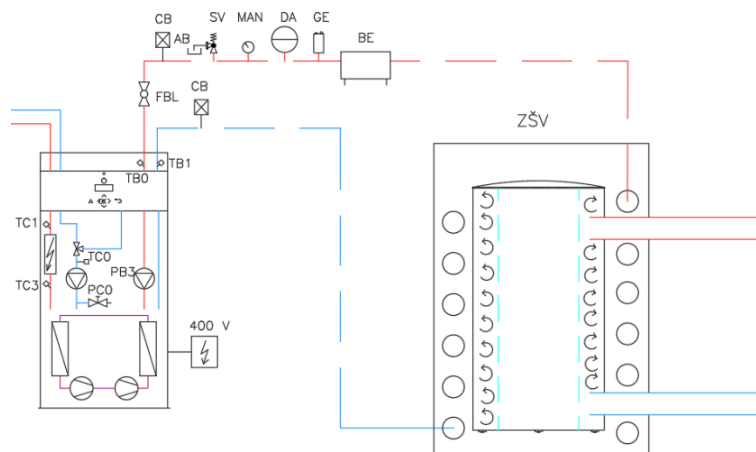


Obr. 9-4 Schéma zapojení přímého výměníku

připojenou bytovou jednotku (tedy 675 000 Kč při zapojení celého objektu) a neuvažování ceny vlastního systému výměníku tepla (nebyla výrobcem dodána) se tato úspora nejeví dostatečně rentabilní, aby vyvážila náklady na rekonstrukci celého kanalizačního systému objektu.

9.4.2. Obalový výměník

Tento výměník se skládá z akumulční nádrže, ve které se zachycuje odpadní šedá voda a výměníku tepelného čerpadla země/ voda, jehož potrubí je obmotáno kolem zmíněné nádrže. Tento výměník je významně lépe čistitelný a má díky tomu výrazně nižší riziko ucpaní. Jeho hlavní nevýhodou je velice omezená teplosměnná plocha a nebezpečí vznikání konvektivních proudů u stěn nádoby a nevyužití tepla vody v jádru této nádoby (obr. 9-5). Z tohoto důvodu lze předpokládat velmi nízkou účinnost, díky které bude návratnost mimo předpokládanou životnost komponent.



Obr. 9-5 Schéma obalového výměníku s vyznačenými nežádoucími vnitřními proudy

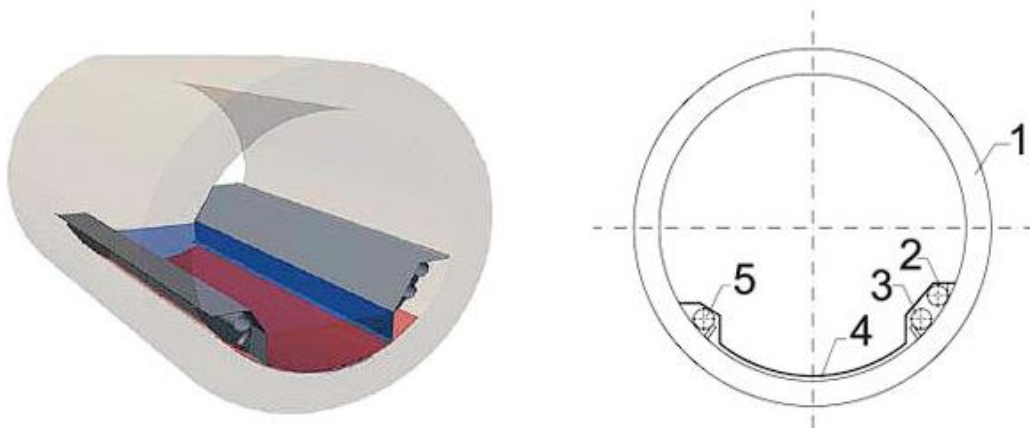
9.4.3. V kanalizační stoce

Kanalizací odtéká odpadní voda o teplotách 10 až 25 °C. Tato voda bývá silně znečištěna, avšak s vysokým teplotním potenciálem. Tohoto lze využít umístěním trubkového výměníku do prostor stoky (obr. 9-6) nebo do nahrazení potrubí stoky za připravené potrubí s integrovaným výměníkem (obr. 9-7). Oproti centrálním i lokálním výměníkům tyto výměníky nevyžadují rozdělení šedé a černé vody, ani významné rekonstrukce stávajícího objektu. Nevýhodou prvního typu výměníku je otázka průměru stávající

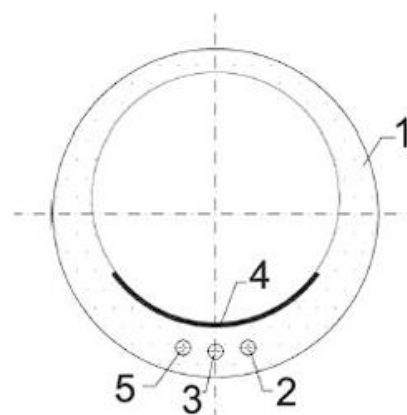
kanalizace a jejího očekávaného zatížení. Tedy pokud by tento záběr potrubí nezabránil správnému plnění průřezu a neomezil tak funkčnost. Nevýhodou druhého řešení je nutnost nákladné rekonstrukce velké části stoky v okolí. [15]

Hlavní nevýhodou tohoto řešení pro bytový dům je nutnost zabránit veřejné stoky a tím vznikající právní komplikace, mezi které mimo jiné musí nutně patřit otázky vlastnictví jednotlivých částí stoky, odpovědnosti při havárii a další.

V současné době nelze předpokládat ochotu společnosti Pražské vodovody a kanalizace a.s. k vytvoření výjimek pro takovému nestandardní využívání majetku jim svěřeného, nemluvě o precedentu, který by to vytvořilo a sporům o toto využití stok v hustě zastavěných částech města, kde by nutně muselo dojít k nárokování kapacity z více stran.



Obr. 9-6 Výměník vložený do stávající kanalizační stoky [15]



Obr. 9-7 Výměník zakomponovaný do segmentu kanalizační stoky [15]

10. Využití dešťové vody

V rámci hospodaření s vodou v objektu je možné se i zamyslet nad využitím dešťové vody. Přestože dešťová voda není pitná, stále je použitelná. Ve výpočtech bylo uvažováno s využitím pouze na splachování toalet, přestože tuto vodu by bylo možné využít i na praní, úklid a zalévání. Toto zjednodušení bylo zvoleno jak z důvodu zjednodušení výpočtu, tak i kvůli zjednodušení teoretické rekonstrukce objektu.

10.1. Úhrn srážek

Maximální úhrn srážek byl odhadnut dle následujícího výpočtu [16] [17]

$$Q_r = i \cdot S_{od} \cdot C \quad [l/s] \quad (10.1)$$

kde

Q_r průtok dešťových vod [l/s]

i intenzita deště [l/s.m²]

C součinitel odtoku dešťových vod [-]

Intenzita deště byla zvolena 0,03, neb se jedná o plochy hrozcí zaplavením budovy a hodnota C je pro střechy s nepropustnou horní vrstvou bez ohledu na úhel vždy 1. Tyto srážky byly vypočteny na 25,9 m³/h na vchod.

Reálné předpokládané srážky za rok byly odhadnuty dle dlouhodobého srážkového normálu pro roky 1991-2020 dle jednotlivých krajů poskytnutými ČHMÚ. Tyto srážky vycházejí na 583 mm pro Prahu a Středočeský kraj, což v průměru znamená 0,383 m³/den. [18]

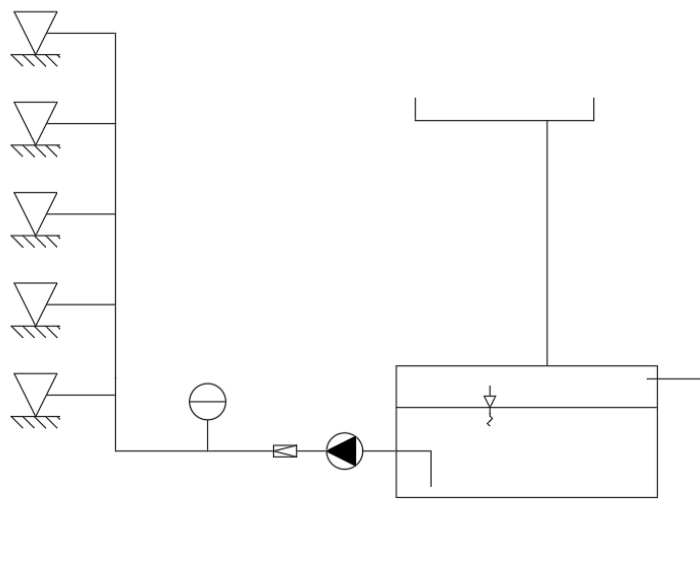
10.2. Spotřeba vody

Výpočet uvažoval využití dešťové vody pouze na splachování toalet. Vzhledem k jednomu svodu ze střechy na jeden vchod bylo uvažováno rozdělení akumulace a rozvodu po vchodech, a nikoliv centrální pro celý objekt. Pro zjednodušení byla předpokládána stejná nádržka na splachování a sice o velikosti 7 litrů v každé bytové jednotce s průměrným počtem spláchnutí 5x za den, což dává spotřebu 0,525 m³/den.

10.3. Distribuce dešťové vody

Akumulace a distribuce dešťové vody byla pro zjednodušení řešena kompaktní jednotkou Wilo-RainSystem AF 400 skládající se z dvou čerpadel, nádrže na 400 l dešťové vody, systémem dopouštění pitné vody, přepadu do kanalizace, membránové tlakové nádrže a řídicí elektroniky. Toto sériově dělané řešení by mělo být o něco levnější, než na míru vytvořený systém hospodaření s dešťovou vodou a zároveň je komplexní řešení se zárukou provozuschopnosti. Zároveň se jedná o komplexní řešení s největší akumulací nádrží schopnou projít dveřmi do suterénu.

Alternativně lze tento systém seskládat svépomocí se zakázkově dělaným systémem řízení, za předpokladu možnosti nalezení firmy vytvářející tyto systémy na míru. Ideové schéma takového systému je na obr. 10-1.



Obr. 10-1 Ideové schéma distribuce šedé vody

10.4. Vyhodnocení

Pro vyhodnocení tohoto řešení byla předpokládána cena vodného a stočného 144,88 Kč/m³ [19]. Za podmínek zmíněných v podkapitole 10.2. vyšla přibližná úspora nákladů na vodné a stočné na 27 800 Kč na vchod za rok a při předpokladu nákladů 3000 Kč na bytovou jednotku nad cenu materiálu potrubí a systému Wilo vyšla investice přibližně na 233 000 Kč. Teoretická doba návratnosti vyšla přes 8 let, což se na první pohled zdá výhodné. Ve výpočtu však bylo počítáno s průměrnými hodnotami srážek a

nízkou spotřebou vody a není nepravděpodobné, že by spotřeba vody byla vyšší. Hlavní úskalí spočívá v odhadu srážek, které lze předpokládat vysoce nepravděpodobné, tedy že řadu dní nebudou žádné a systém bude nucen dopouštět vodu z vodovodního řadu, a naopak některé dny a hodiny, kdy srážky budou přesahovat odběr a velká část dešťové vody bude odvedena do kanalizace. Dalším ovlivněním výpočtu je potřebný elektrický příkon systému a náklady s ním spojené. Po přihlédnutí ke všem těmto zanedbáním lze předpokládat dobu návratnosti přibližně 20 až 25 let. V neposlední řadě opět i tento systém zahrnuje značnou přestavbu objektu, respektive toalet v objektu.

U všech výše popsaných systémů zpětného získávání tepla se ukazuje, že v případě bytového domu jsou tato řešení energeticky zajímavá, ale ekonomicky velmi často naráží na hranici životnosti navrženého opatření ve vazbě na reálnou dobu návratnosti. Zcela jiný pohled se naskýtá v případě, že bytový dům potřebuje výraznou rekonstrukci. Zejména v případě nutnosti výměny či rozsáhlé opravy kanalizačních rozvodů domu, lze v rámci potenciální úspory uvažovat s celou řadou opatření popsaných výše.

Nepopíratelným přínosem těchto opatření je pak snížení celkové energetické náročnosti objektu což se může příznivě projevit zejména v PENB. Protože v rámci EU je nastíněn požadavek na energeticky soběstačné budovy pro všechny, tedy i stávající budovy, v časově relativně blízkém horizontu, mohou tato opatření v určitém podílu pomoci ke splnění těchto požadavků, avšak za relativně vysokou cenu pořizovacích nákladů.

11. Solární panely

Dalším způsobem, jak snížit potřebu celkové dodané energie do budovy je nahrazení odběru energie vlastní produkcí tepelné nebo elektrické energie solárními panely. Jedná se o produkci z obnovitelných zdrojů, tudíž o velmi ekologický zdroj. V této práci byly brány v úvahu pouze fototermické a fotovoltaické panely. Hybridní solární kolektory nebyly ve výpočtech uvažovány kvůli jejich minoritnímu zastoupení na trhu.

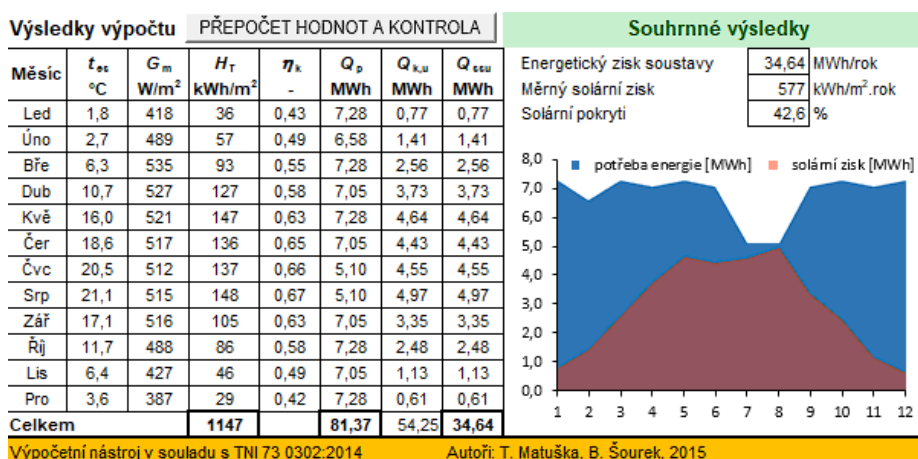
11.1. Fototermické kolektory

Pro výpočet bylo zvoleny ploché fototermické kolektory Buderus SKT1.0-s (26 kusů) s parametry uvedenými v tab. 11-1.

Tab. 11-1 Výkonnostní parametry fototermického kolektoru

Parametr	Hodnota
Optická účinnost	0,794
Lineární součinitel tepelné ztráty	3,863 W/m ² K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty	0,014 W/m ² K ²

Množství panelů tak jako zisky z nich byly vypočteny pomocí programu Balance SS, který je k nalezení v příloze. Počet panelů byl vybrán tak, aby bylo maximalizované solární pokrytí bez solárních přebytků. Díky tomu by měla být zajištěna stálá funkčnost panelů bez změny skupenství teplotnosné kapaliny, což snižuje její životnost.



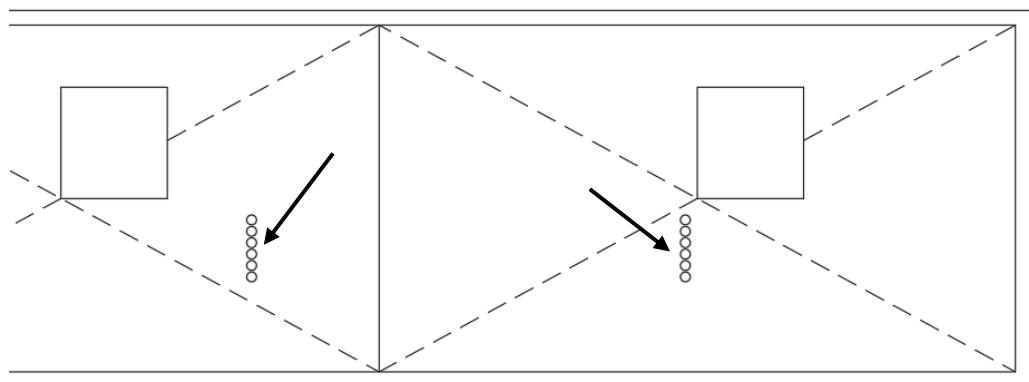
Obr. 11-1 Výsledky výpočtů v programu Balance SS

Jak je vidět z výřezu programu Balance SS, celkový zisk z fototermických kolektorů je 34,64 MWh/a. Díky tomuto příspěvku klesne potřeba tepla na 46,74 MWh/a.

11.1.1. Ekonomika fototermických kolektorů

Fototermické kolektory představují značnou počáteční investici nejen kvůli vlastní ceně, ale i kvůli potřebě provedení rozvodů, dalších pohonů a speciálních zásobníků s dvěma integrovanými výměníky, které bývají oproti standartním přibližně o 35 % dražší [20]. Další jejich nevýhodou je zabránění prostoru střechy a její nosnosti, což snižuje možnosti jejího využití pro další technologie, jako jsou fotovoltaické kolektory, vzduchotechnické jednotky a nástřešní tepelná čerpadla.

U řešeného objektu zjednodušuje instalaci soustava pěti komínů na každý vchod, které jsou na výkresu patrné. Vzhledem k předpokladu centrálního vytápění v případě zemního plynu zůstávají z pěti komínů čtyři volné, skrz které lze vést vedení fototermiky i případná kabeláž pro fotovoltaiku.



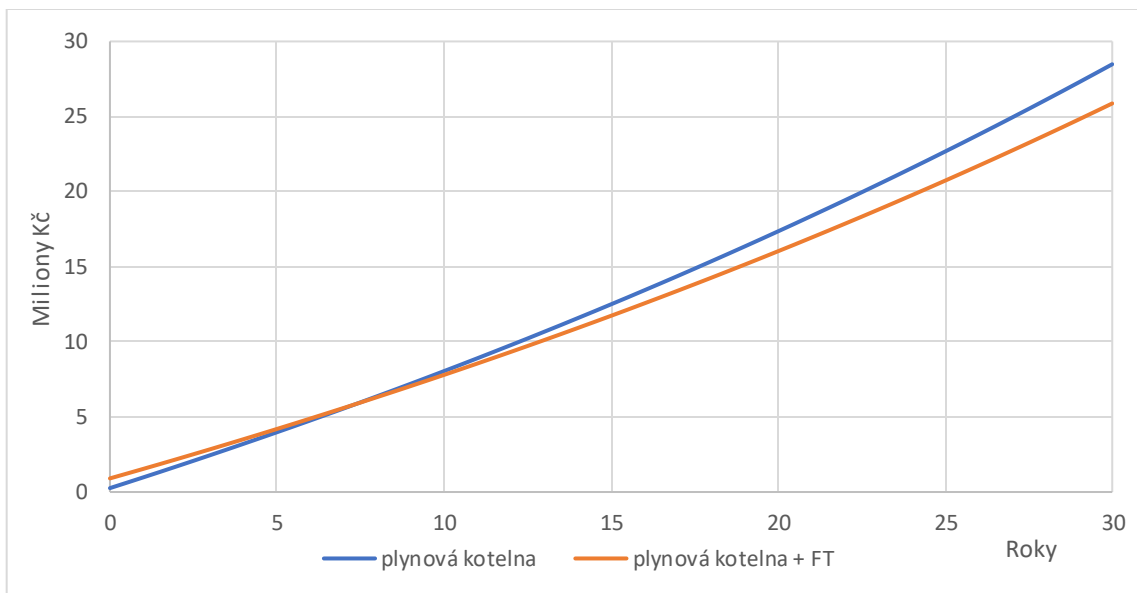
Obr. 11-2 Výřez z půdorysu střechy s patrnými komíny

Následující grafy ukazují náklady při kombinaci fototermických kolektorů s různými zdroji.

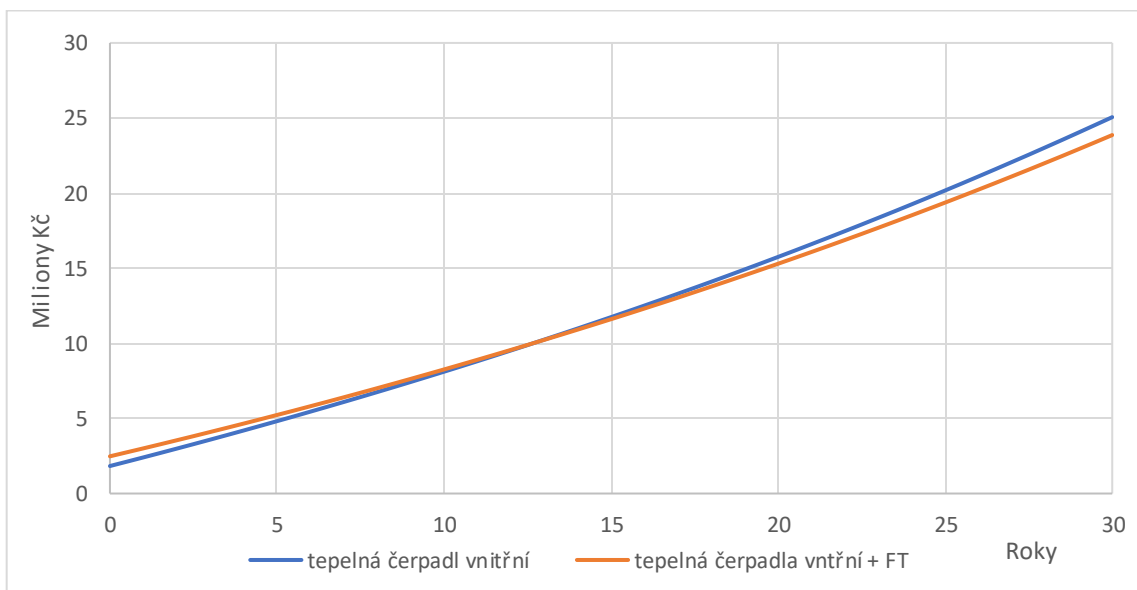
Uvažovanými zdroji byly pro plyn dva kotle Buderus Logamax Plus GB272-85. Pro variantu s vnitřními tepelnými čerpadly byla vybrána kaskáda 6x Stiebel Eltron WPL 23 E. Pro variantu venkovních tepelných čerpadel (nástřešní řešení) bylo zvoleno 2x Buderus Logatherm WLW276-53. Jako poslední uvažovaný zdroj bylo uvažováno připojení na centrální zásobování teplem.

Uvažovaný růst cen byl odhadnut dle předpokládaného uklidnění na trhu a jeho stabilizace. Tyto odhady však nemusí odpovídat skutečnosti, jak prokázal prudký růst a následné prudké zlevnění. Předpokládaný meziroční růst byl 2,5 % za elektřinu, 1,8 % za plyn, 5 % za odběr tepla z CZT a 3 % za rezervaci výkonu u CZT. Grafy neuvažují náklady na servis.

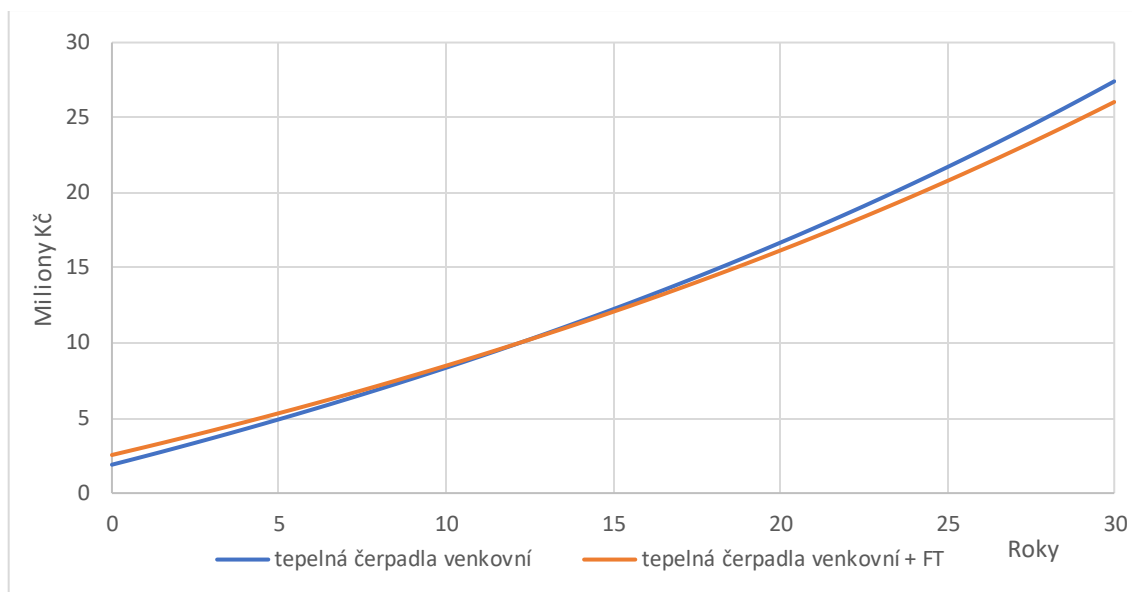
Alternativně k plynové kotelně s 2x GB272-85 byl vytvořen model s 3x GB272-50. Tato varianta je investičně mírně náročnější a oproti variantě s dvěma výkonnějšími kotli nemá návratnost. Její výhoda spočívá v možnosti modulovat na nižší výkony, a tedy rozšíření modulace tepelného výkonu dodávky tepla v přechodovém období. Druhý argument pro toto řešení spočívá ve snížení počtu startů hořáků v kotli, a tedy možnosti zvýšení jejich životnosti a jejich vyšší účinnosti. Varianta se třemi kotli nebyla uvedena v následujících grafech, z důvodu téměř identického průběhu varianty dvou kotlů, kdy se součet investičních a provozních nákladů po třiceti letech lišil pouze o přibližně 126 000 Kč.



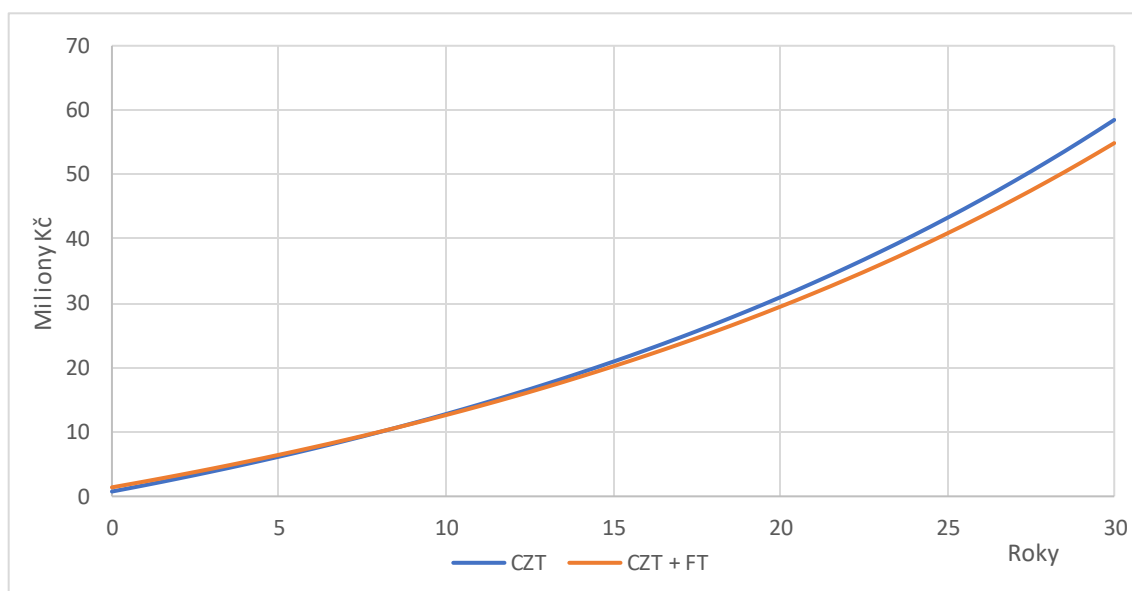
Obr. 11-3 Porovnání návratnosti FT s plynovou kotelnou



Obr. 11-4 Porovnání návratnosti FT s vnitřními tepelnými čerpadly



Obr. 11-5 Porovnání návratnosti FT s venkovními tepelnými čerpadly



Obr. 11-6 Porovnání návratnosti FT s CZT

Z grafů je vidět, že bez ohledu na hlavní zdroj tepla je návratnost investice do fototerických kolektorů přibližně v rámci poloviny jejich předpokládatelné životnosti a lze předpokládat jejich ekonomickou výhodnost. Dobu reálné návratnosti lze vidět v tabulce 11-2.

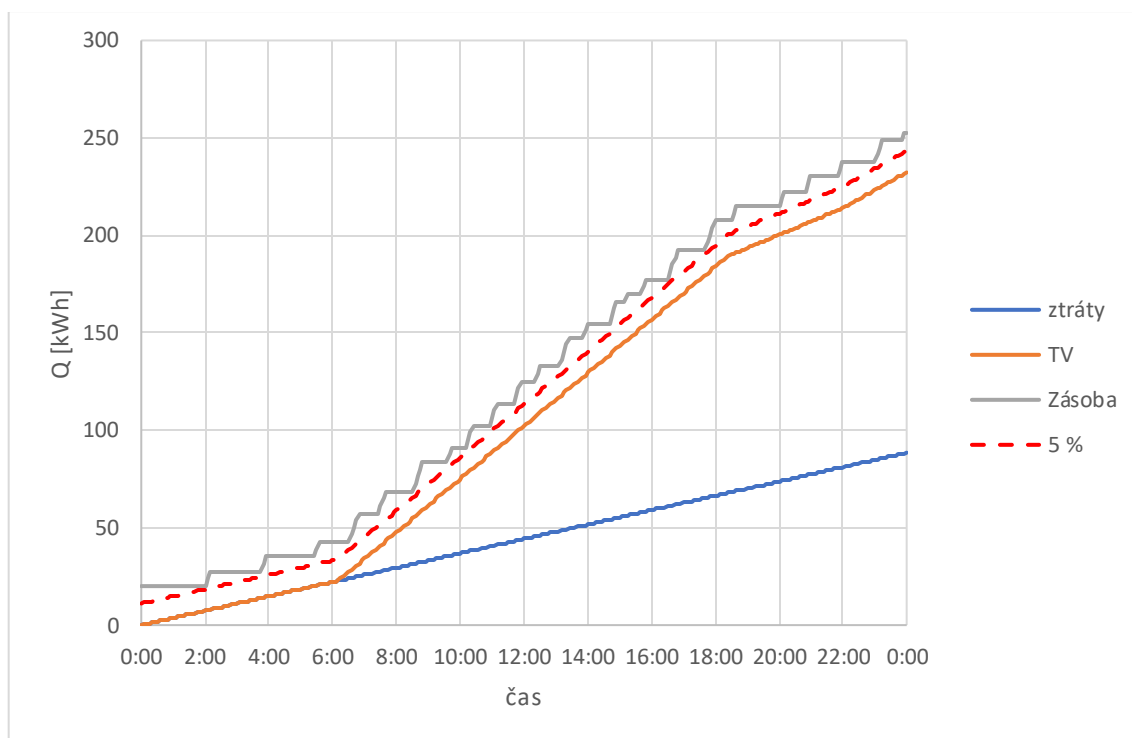
Tab. 11-2 Návratnost fototerických panelů

Zdroj	Plynová kotelna	venkovní TČ	vnitřní TČ	CZT
Návratnost [roky]	7	13	13	9

12. Příprava teplé vody

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 7.2., podstatná část potřeby tepla každého obývaného domu připadá na přípravu teplé vody. Z tohoto důvodu bývá v některých instalacích jeden zdroj s povinností pouze pro přípravu teplé vody. Druhým možným řešením je napojení okruhu přípravy teplé vody na rozdělovač, kde je tato povinnost plněna více zdroji zapojenými do kaskády, které tedy plní více povinností. Příprava teplé vody má z pravidla přednost před potřebou vytápění, avšak neměla by trvat déle, než je doba vychladnutí zapojených otopných těles. Následující grafy navrhnou průběhy odběru a přípravy teplé vody v řešeném objektu a z těchto grafů vychází odhadovaná potřeba celkové velikosti zásobníků teplé vody.

12.1. Příprava teplé vody plynovou kotelnou

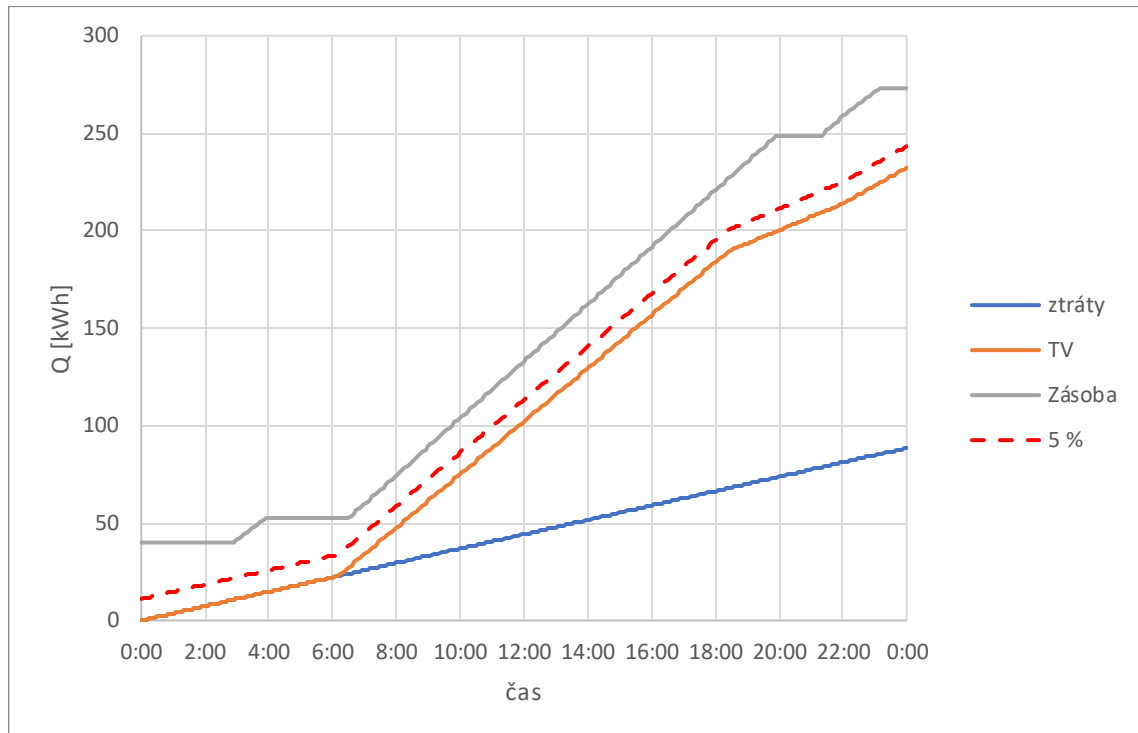


Obr. 12-1 Odběr a příprava teplé vody s využitím plynového kotle

V případě využití plynových kotlů je předpoklad častého nabíjení zásobníku během dne dle potřeby výkonem 45 kW a maximální dobou nabíjení 20 minut s ohledem na setrvačnost otopné soustavy, což odpovídá možnostem obou variant uvažovaných plynových kotlen. V grafu je mimo jiné vyznačena i bezpečnostní rezerva 5 % celkové

potřeby teplé vody pro případ zvýšeného odběru. Z tohoto návrhu vychází minimální požadovaný objem zásobníku teplé vody 497 l.

12.2. Příprava teplé vody kotelnou TČ



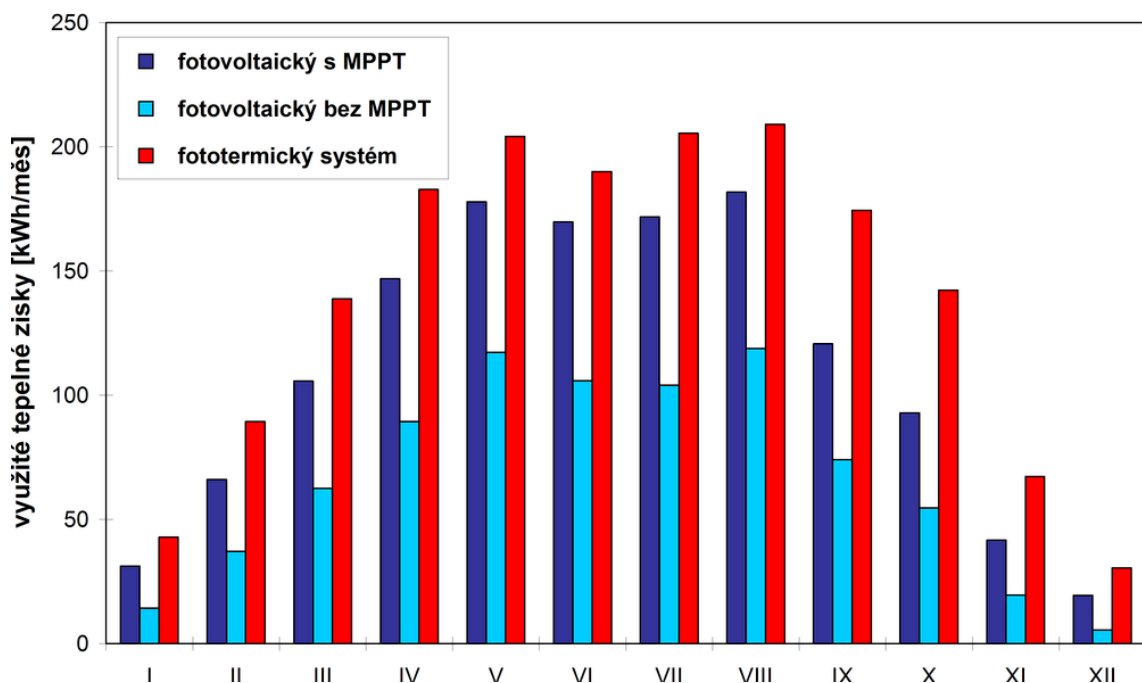
Obr. 12-2 Odběr a příprava teplé vody s využitím tepelného čerpadla

Varianta v obr. 12-2 předpokládá dodávku tepla tepelným čerpadlem o stálém výkonu 14,63 kW při A-7/W55, respektive 12,55 kW při A-7/W55 při sníženém nočním režimu, který je aktivní mezi 22. a 6. hodinou z hlukových důvodů. Tento návrh počítá se zmíněným výkonem z důvodu snahy o využití jednoho tepelného čerpadla pouze na přípravu teplé vody. Průběh dodávky do zásobníků je předpokládán s maximalizací dodávky během času mimo noční dobu s minimalizací potřebného objemu na jeden zásobník teplé vody. Z tohoto návrhu vychází minimální požadovaný objem zásobníku teplé vody 939 l. [21]

Pro potřeby porovnání ekonomické náročnosti byl uvažován topný faktor pro přípravu teplé vody o 0,6 nižší než pro přípravu topné vody. Tento odhad byl proveden z důvodu nedodání těchto hodnot výrobcem.

13. Fotovoltaika

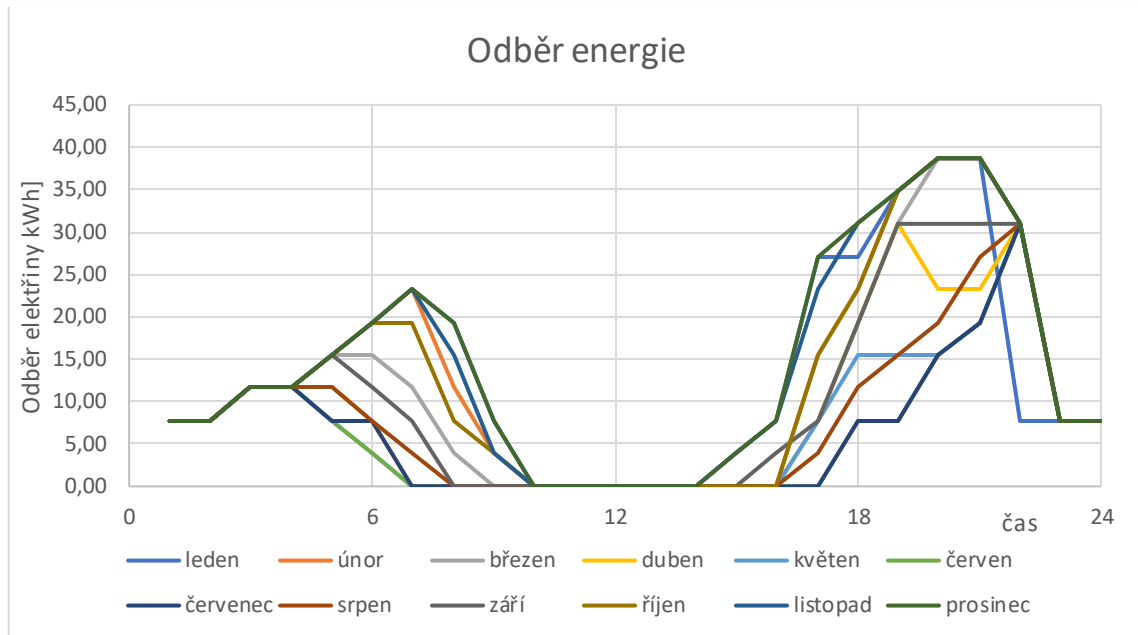
Další možný způsob podpory přípravy teplé vody a snížení potřeby externích dodávek energie do objektu mohou být fotovoltaické kolektory. Z důvodu širší využitelnosti elektrické energie než tepelné, je vhodné tuto energii primárně využít ke svícení, pohonu výtahů a napájení elektrických zařízení centrálního zásobování teplem, a až přebytky dodávat do topných patron na přípravu teplé vody. Při rozdělení plochy střechy je vhodné primárně maximalizovat množství využitelných fototermických kolektorů a až zbytek místa přiřadit fotovoltaickému systému z důvodu vyššímu využití tepelných zisků a jejich vyšší účinnosti. Porovnání systémů je na obr. 13-1. [22]



Obr. 13-1 Průběh zisků během roku systémů FT a FV [21]

13.1. Odběr elektrické energie

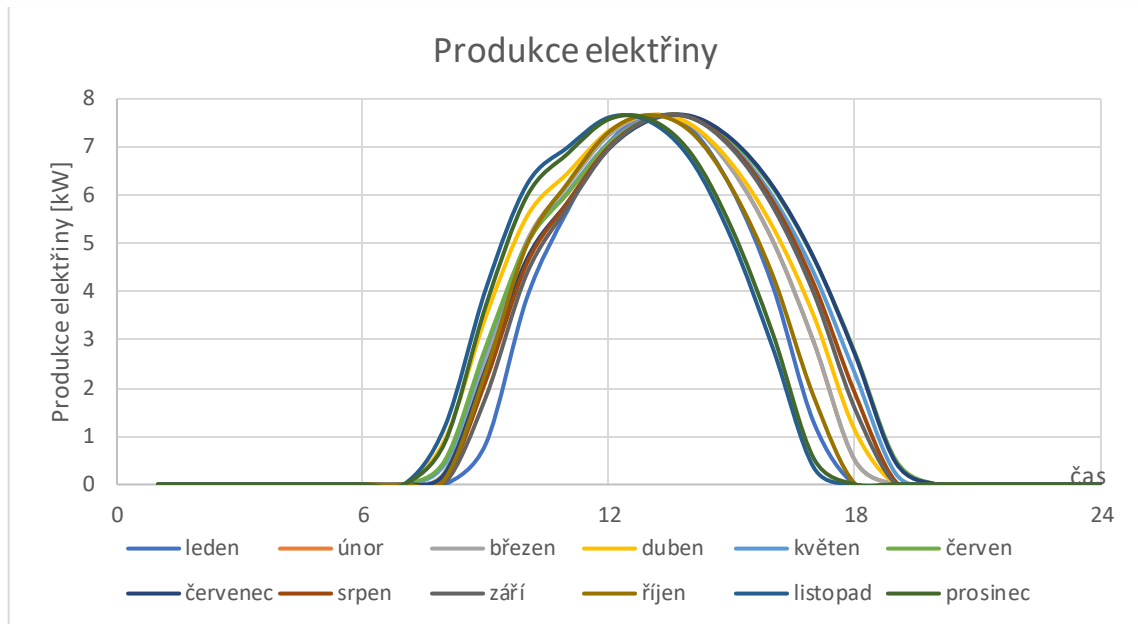
Jako podklad pro tuto část byla využita bilance dodané energie z PENB. Z těchto dat byla odhadnuta průměrná křivka odběru elektřiny ve společných prostorech během dne pro každý měsíc s ohledem na obvyklý denní režim většiny lidí a s ohledem na časy východu a západu slunce (pro potřeby svícení). Průběh těchto křivek je zobrazen v obr. 13-2.



Obr. 13-2 Zobrazení předpokládaného odběru elektrické energie

13.2. Produkce elektrické energie

Pro produkci elektrické energie bylo zvoleno 27 polykrystalických panelů Amerisolar AS-EU-6P30 jako průměrný zástupce. Toto množství bylo zvoleno kvůli optimálnosti ke zvolenému bateriovému uložení. Celý fotovoltaický systém je třeba uskutečnit třikrát, z důvodu zvláštní přípojky pro každý vchod a nutnosti tedy řešit každé číslo popisné jako nezávislý fotovoltaický systém. Hodnoty udávané v této kapitole jsou sumou pro všechny tři vchody. Výpočty byly provedeny s krokem jedna hodina, který je na hraně přijatelnosti pro solární systémy (kde se běžně pracuje s krokem 1 až 5 minut) z důvodu že toto je krok s kterým je ještě možnost přibližně reálně navrhnout realistický profil odběru. [23]



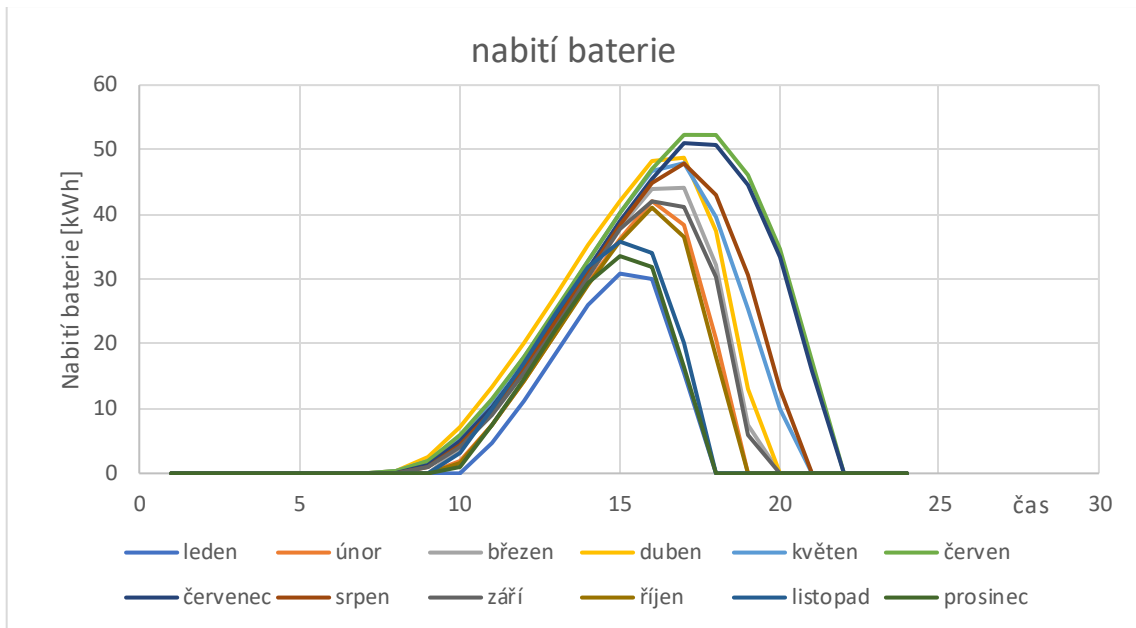
Obr. 13-3 Produkce elektřiny FV panely

Jak je z grafů na obr. 13-2 a 13-3 vidět, produkce a spotřeba elektrické energie se v domě ve většině času nepotkává. Z tohoto důvodu by bylo vhodné využít také bateriového uložení nebo případné přebytky ukládat např. v zásobnících teplé vody.

13.3. Bateriové uložení

Bateriové uložení slouží k akumulaci elektrické energie, z důvodu nesoučasnosti produkce a odběru. Fotovoltaické panely mají nejvyšší produkci přes poledne, kdy je však většina obyvatel mimo domov, a naopak ve večerních hodinách, kdy je odběr elektřiny nejvyšší je produkce minimální až nulová. Integrace bateriového uložení do FV systému tedy i přes značnou investici snižuje dobu návratnosti. Nevýhodou bateriového uložení je jeho nutnost umístění v teplotně stabilním prostředí, tedy v suterénu budovy a zvýšené nároky na požární bezpečnost. Toto zařízení vyžaduje samostatný požární úsek oddělený od únikových cest. U těchto úseků bývá doporučeno zajistit možnost rychlého evakuování zařízení v případě požáru. [24] [25]

Zvoleným bateriovým uložením jsou Dyness Tower T17. Průběh nabíjení a vybíjení během průměrného dne je vidět v grafu na obr. 13-4.



Obr. 13-4 Nabití baterií v průběhu dne

13.4. Vyhodnocení systému

Ke zmíněným komponentám byl ještě započítán třífázový měnič GoodWe GW10KN-ET PLUS, dotace z fondu „Nová zelená úsporám“ ve výši 15 000 Kč na kWp a odhadované náklady na montáž a pomocný materiál ve výši 294 500 Kč. Systém byl navržen tak, aby nedocházelo k přebytkům, kvůli velmi nízké ceně jejich odkupu. Výpočet je zatížen mnoho chybami, z nichž hlavní je úvaha konstantního oslunění s dobou východu a západu slunce neměnnou během měsíce, dokonalá účinnost všech komponent a konstantní účinnost panelů bez ohledu na podmínky v kterých se nachází. S těmito předpoklady vyšla návratnost systému 3,1 let.

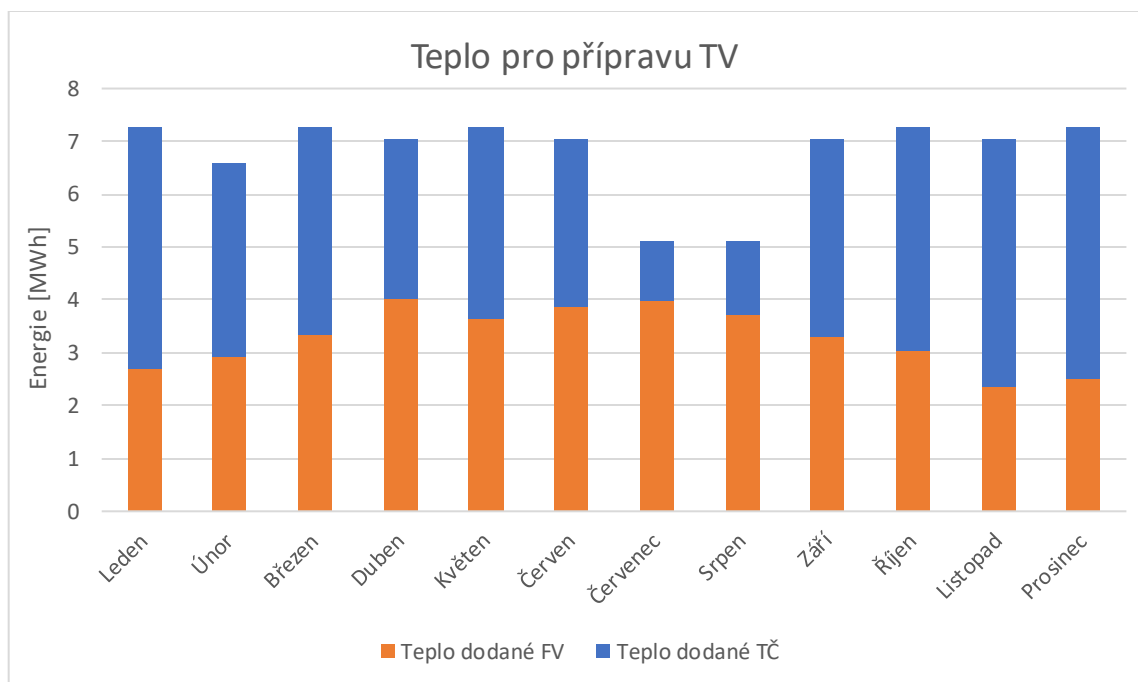
Po uvážení vlivu všech zmíněných chyb, se doba návratnosti radikálně mění na rozmezí 9-16 let.

Realizace tohoto systému je také podmíněna statikou zvažované střechy (nutno posoudit odbornou osobou) a schválením žádosti o připojení systému k síti ze strany dodavatele.

13.5. Ukládání přebytků energie do teplé vody

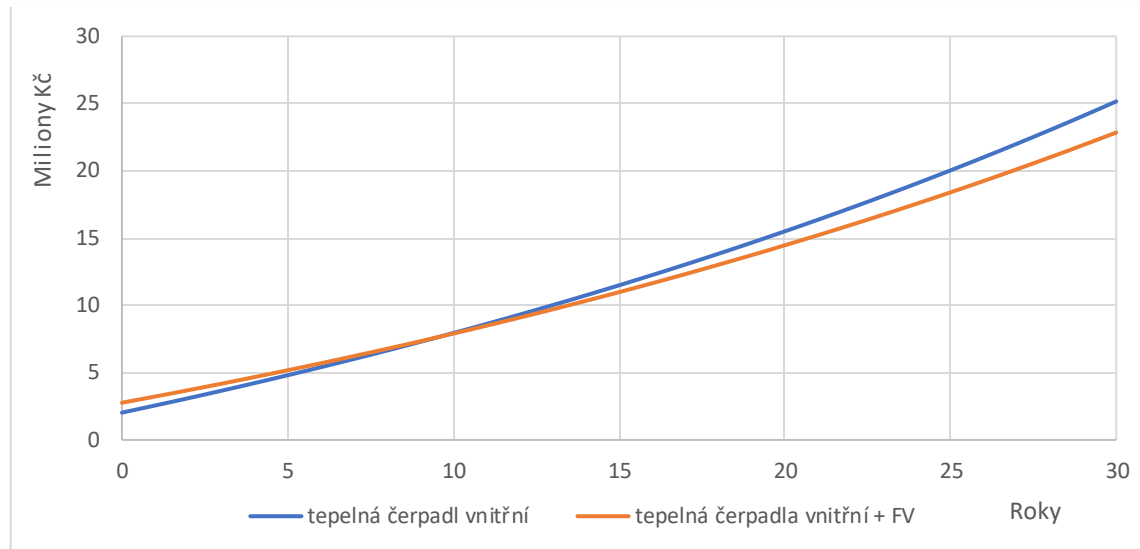
Při současných výkupních cenách elektrické energie vychází pro nově připojené systému ekonomicky více výhodné přebytky neprodávat, ale spotřebovávat je uvnitř objektu. Nejlepší způsob ukládání této energie je ve formě teplé vody, pomocí topné patrony umístěné do zásobníku teplé vody. Zásobník teplé vody je schopný pojmout velké množství energie. V případě zvoleného zásobníku na 1000 l s přehřátím až na 80 °C lze v zásobníku akumulovat přibližně 82 kW tepelné energie. Řešení s topnými patronami bylo zvoleno z důvodu nemožnosti přehřátí teplé vody pomocí tepelných čerpadel. Tímto nabitím pomocí elektřiny z fotovoltaických panelů se snižuje potřeba energie z externích zdrojů. V závislosti na cenu energie bylo pro porovnání vybrána kombinace fotovoltaického systému s vnitřními tepelnými čerpadly, jako nejvíce pravděpodobná.

Pro tyto potřeby bylo zvoleno maximální množství fotovoltaických panelů (117), které se na střechu objektu bezpečně vešly. Tento výpočet neuvažoval statiku objektu, a tedy případné nižší množství. Uvažované náklady na vyhotovení FV systému jsou 736 000 Kč.



Obr. 13-5 Poměr dodávky tepla dle el. zdroje

Jak je vidět z obr. 13-5, fotovoltaické systémy sice nejsou schopny dodat dostatečné množství energie pro pokrytí celé potřeby teplé vody, ale jejich přínos je nezanedbatelný.



Obr. 13-6 Porovnání nákladů s tepelným čerpadlem s a bez FV

Jak je vidět z grafu na obr. 13-6, teoretická návratnost tohoto řešení je 9 let. Do této úvahy však je uvažované zvýšení nákladů na „pracnost“ a střídač pouze o 50 %, a nejsou zde uvažovány náklady na pořízení topné patrony. Dále zde není uvažováno se snižováním výkonu systému vlivem oblačnosti, nekolmosti dopadu slunečních paprsků a vlivem změny teploty samotného kolektoru. Při uvažování všech těchto omezení lze předpokládat zvýšení doby návratnosti na 15 až 20 let. Toto řešení „předimenzování“ fotovoltaických panelů je tedy sporné a pro zodpovědné doporučení by byla potřeba podrobnější studie.

Stejně jako u systému nuceného větrání by toto řešení bylo možno doporučit v případě zpřísnění legislativy pro průběžné snižování energetické náročnosti. V tomto případě z důvodu možné nízké stavební náročnosti (v případě kladného stanovení statikem) a dotace nejen na realizaci nových fotovoltaických systémů, ale i na jejich rozšiřování.

14. Primární zdroje energie

V následující části je popis kombinací zdrojů, jejichž finanční nákladnost byla porovnávána.

14.1. Primární zdroje tepla s využitím plynu

Vybrané zdroje tepla odpovídají standartu na trhu. Z důvodu porovnatelnosti výsledků jsou všechny tyto zdroje stroje stejné produktové řady s různými účinnostmi a výkony. Konkrétně byl vybrán plynový kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB272 o výkonu 3x 49,9 a 2x 84,5 kW. Obě tyto varianty přesahují hranici, kdy by se jednalo o technickou místnost. Prostor instalace je tedy klasifikován jako kotelna III. kategorie. Z tohoto důvodu lze v příloze nalézt návrh výkresu zmíněných kotelen. Spolu s teoretickými požadovanými úpravami a opatřeními, kterým se věnuje kapitola 16.

14.2. Primární zdroje tepla s využitím elektřiny

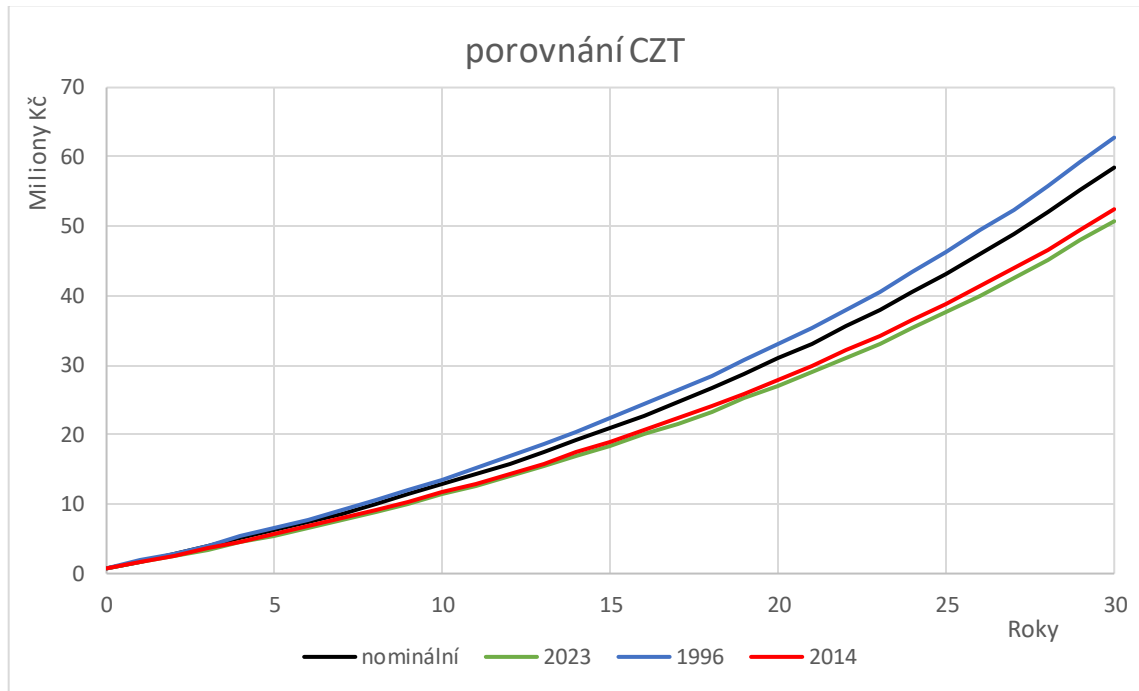
Byly vybrány dva druhy tepelných čerpadel, jeden pro vnitřní instalaci, druhý pro vnější instalaci. V obou případech se jedná o tepelná čerpadla vzduch/ voda. Z důvodu nepřítomnosti studny, řeky nebo jiné vodní plochy nebylo uvažováno řešení voda/ voda. Řešení země/ voda nebylo uvažováno z důvodu nedostatečné velikosti pozemku a předpokladu neochoty obětovat veškerou vzrostlou zeleň pro vytvoření geotermálního kolektoru. Možnost geotermálního vrtu nebyla uvažována z důvodu komplikované realizace a nejistoty zisku oprávnění o jeho vytvoření. Všechny řešení tepelného čerpadla vzduch/ voda v takto hustě zastavěné oblasti plně odrazivých materiálů vyžadují hlukovou studii. Systémy využívající elektrické kotle nebyly uvažovány z důvodu očividné ne hospodárnosti.

14.3. Primárním zdrojem centrální zásobování teplem

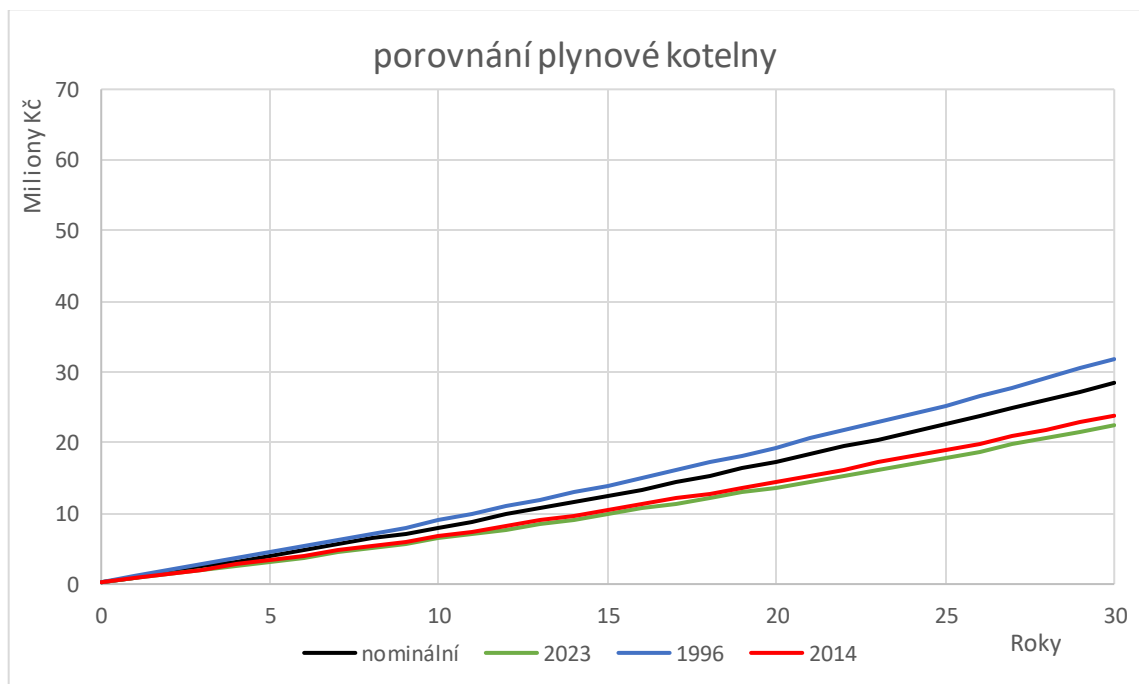
Poslední řešenou variantou bylo napojení domu na centrální zásobování teplem. Tato varianta je neekologičtější, neboť pochází z centrálních zdrojů, u kterých je jednodušší kontrolovat emise. Nevýhodou je částečná závislost na množství připojených uživatelů, kdy jejich odpojování zvyšuje cenu pro zůstávající uživatele a naopak. Další nevýhodou je vysoká cena vybudování výměníků a vysoká cena odebírané energie. Náklady na připojení k CZT jsou velice hrubý odhad poskytnutý obchodním zástupcem společnosti Pražská teplárenská a.s.

15. Porovnání modelů

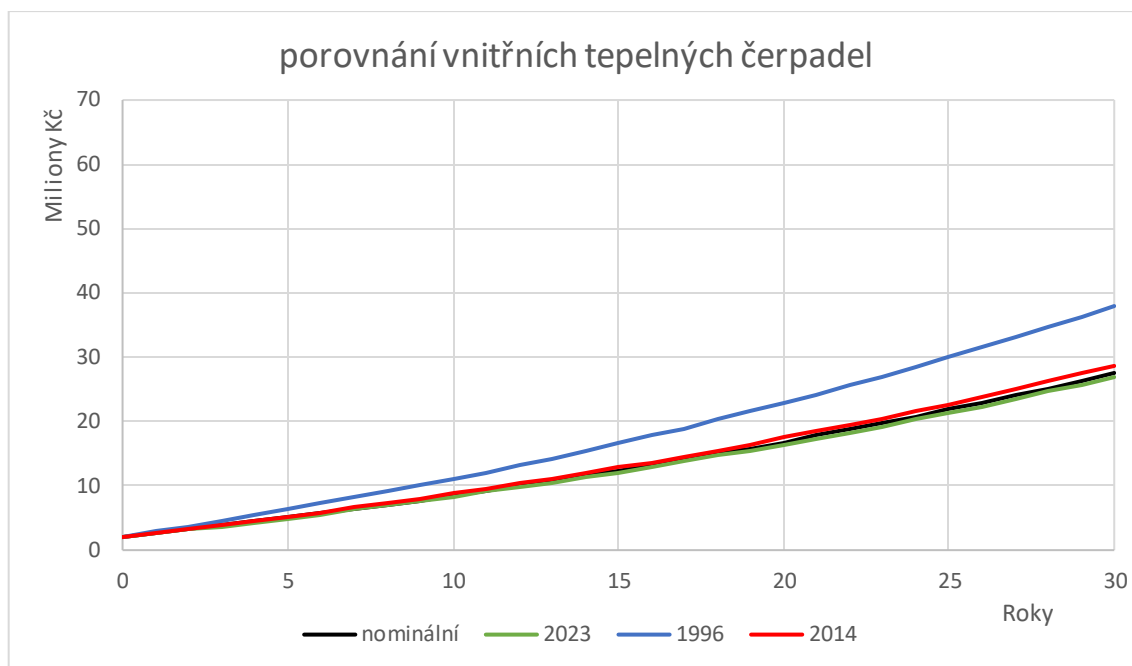
Vzhledem k rozdílnosti výsledných potřeb tepla mezi jednotlivými modely je vhodné porovnat investiční a provozní náklady jednotlivých systémů mezi použitými modely. Rozpětí grafů bylo zvoleno jednotné pro možnost porovnání grafů mezi sebou. Grafy jsou uvedeny pro 30 let pro lepší názornost. Životnost jednotlivých zařízení nedosahuje 30 let.



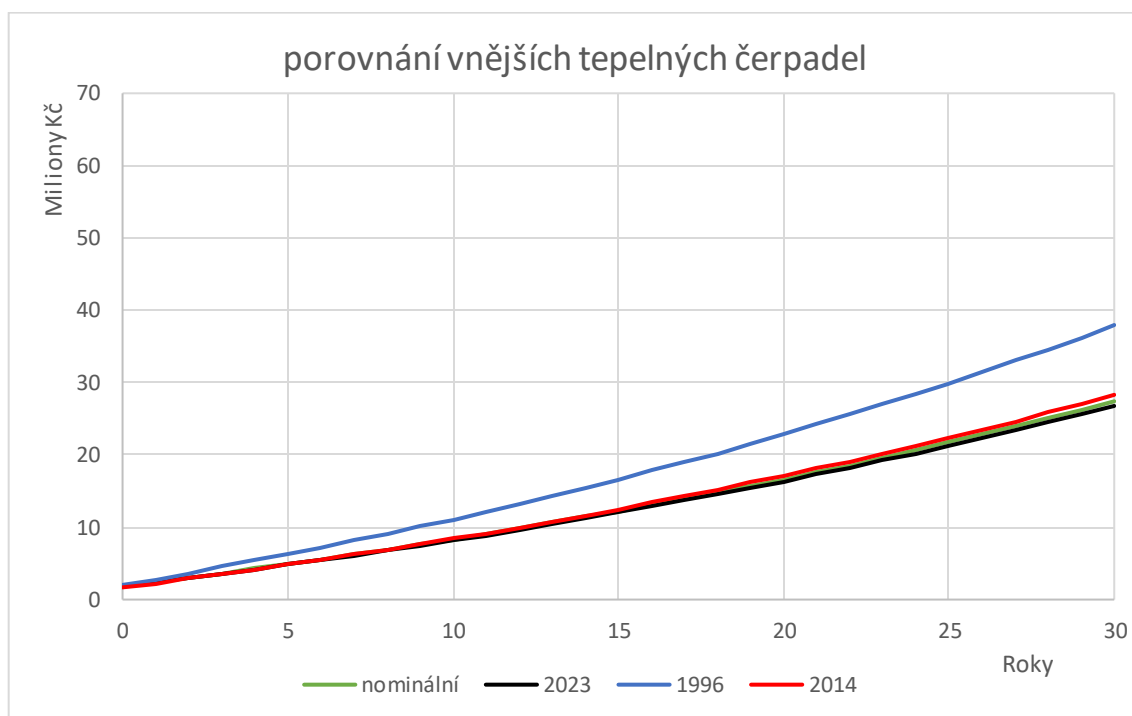
Obr. 15-1 Porovnání nákladů na vytápění pomocí CZT



Obr. 15-2 Porovnání nákladů na vytápění pomocí plynu

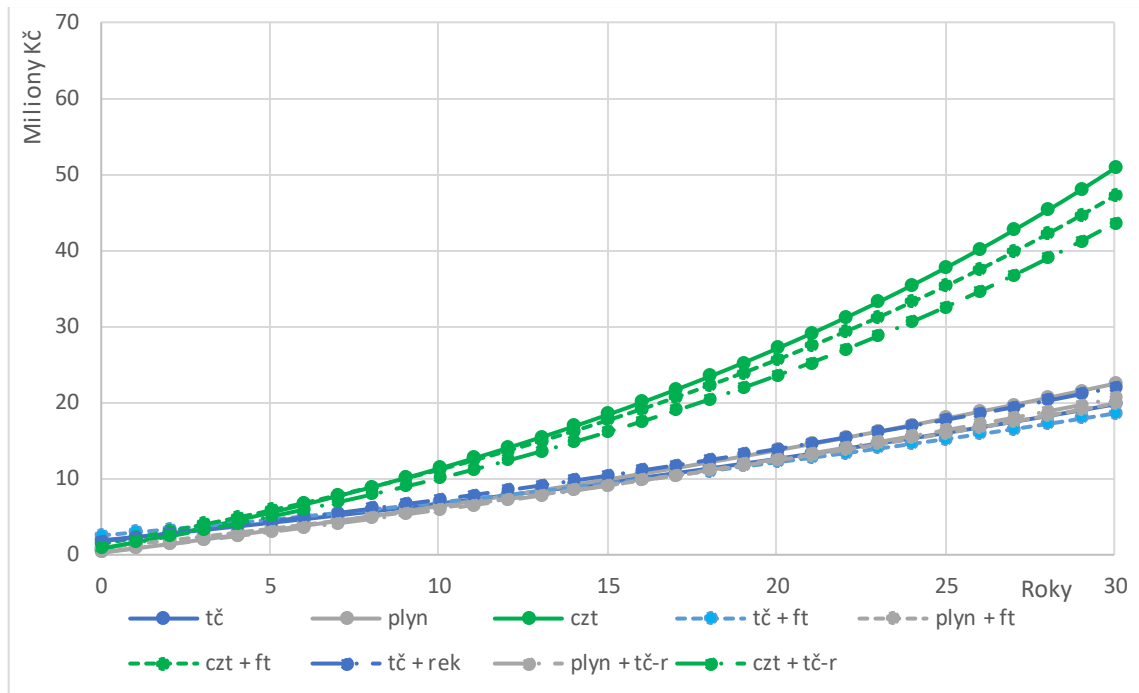


Obr. 15-3 Porovnání nákladů na vytápění pomocí tepelných čerpadel



Obr. 15-4 Porovnání nákladů na vytápění pomocí vnějších tepelných čerpadel

Pro přehlednost porovnání změny růstu cen byl pro porovnání jednotlivých zdrojů vybrán model 2023 z důvodu jeho nejbližšího přiblížení k realitě běžného roku. Porovnání všech zdrojů jsou k nalezení v obr. 15-5.



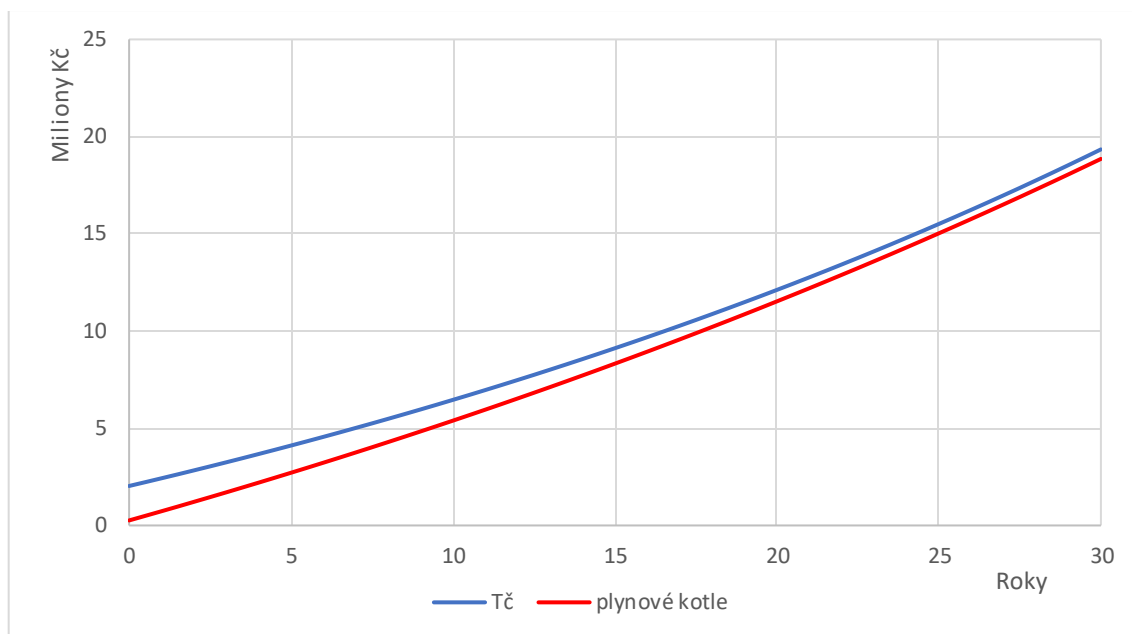
Obr. 15-5 Porovnání uvažovaných zdrojů a jejich kombinací v modelu 2023

Z grafu je vidět, že tepelná čerpadla a plynové kotelny vycházejí ekonomicky významně lépe než centrální zásobování teplem. Z tohoto důvodu a pro přehlednost grafů zobrazují následující pouze kotelny využívající vnitřní tepelná čerpadla a plynovou kotelnu s kaskádou dvou kotlů.

15.1. Změny růstu cen energonositelů

Všechny příklady uvažují konstantní růst cen silové složky bez růstu zbylých složek cen, což vnáší do grafů mírnou chybu.

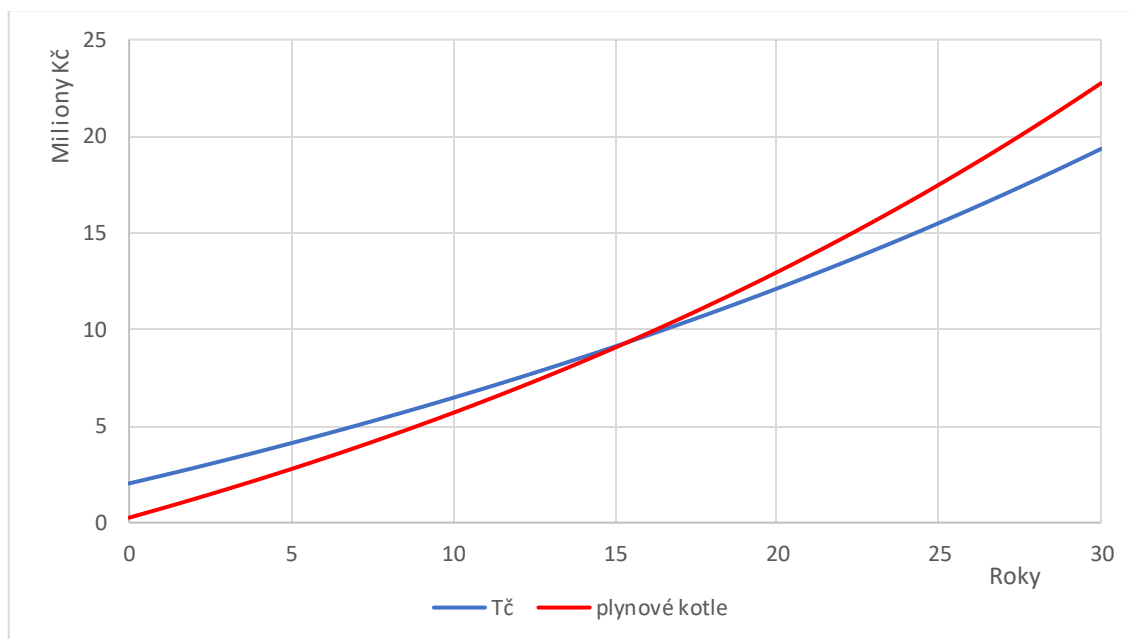
První příklad (15-6) uvažuje hodnoty z předchozích grafů, při vstupní ceně elektřiny 6,5 Kč/kWh s meziročním růstem 2,5 % a cenu plynu 2 Kč/kWh s meziročním růstem 1,8 %.



Obr. 15-6 Porovnání nákladů při využití dvou různých primárních energonositelů

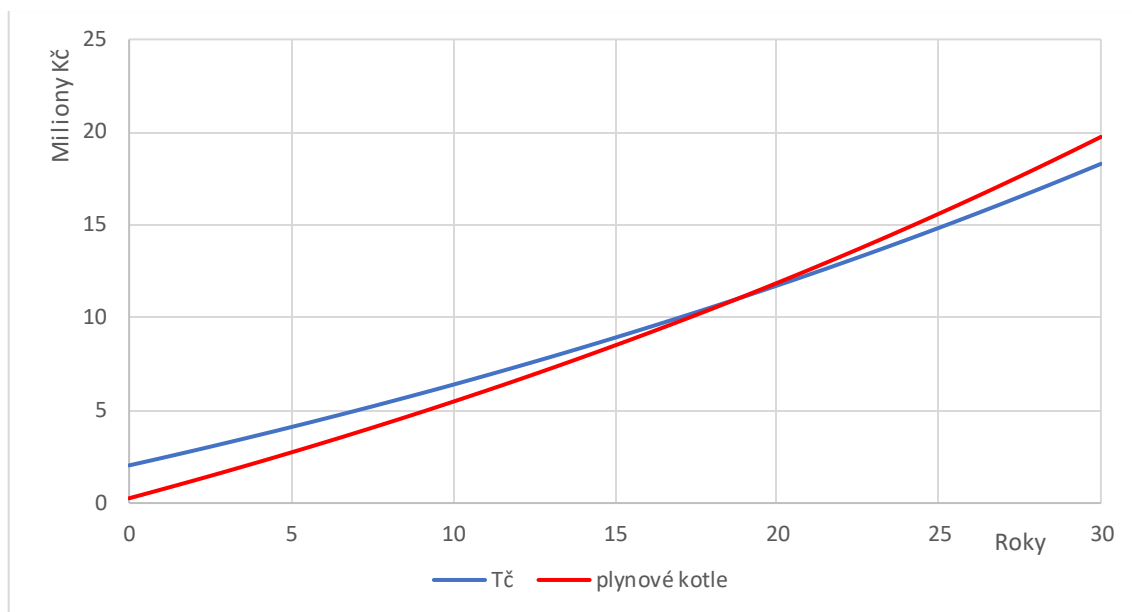
Z obr. 15-6 je patrné, že přestože je využití tepelných čerpadel energeticky úspornější, jejich vstupní investice nemá za dobu jejich životnosti návratnost.

Další graf uvažuje růst cen zemního plynu o 3 %.



Obr. 15-7 Porovnání nákladů při využití dvou různých primárních energonositelů

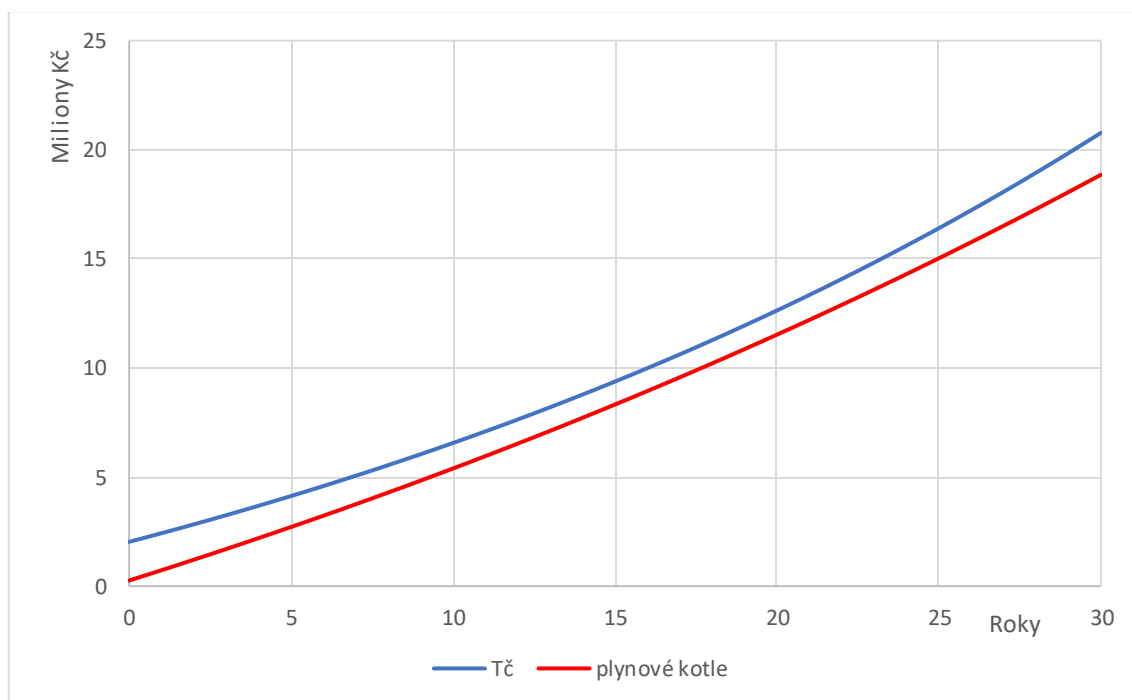
V případě růstu cen zemního plynu o 3 % je návratnost investice do tepelných čerpadel přibližně 16 let. V tomto případě by se investice vrátila v rámci životnosti zařízení.



Obr. 15-8 Porovnání nákladů při využití dvou různých primárních energonositelů

V obrázku 15-8 jsou zobrazeny náklady při shodném růstu cen 2,1 %. Při tomto vývoji se návratnost tepelných čerpadel pohybuje v rozmezí 18-20 let.

Poslední graf v obr (15-9) uvažuje růst cen elektřiny o 3 %.

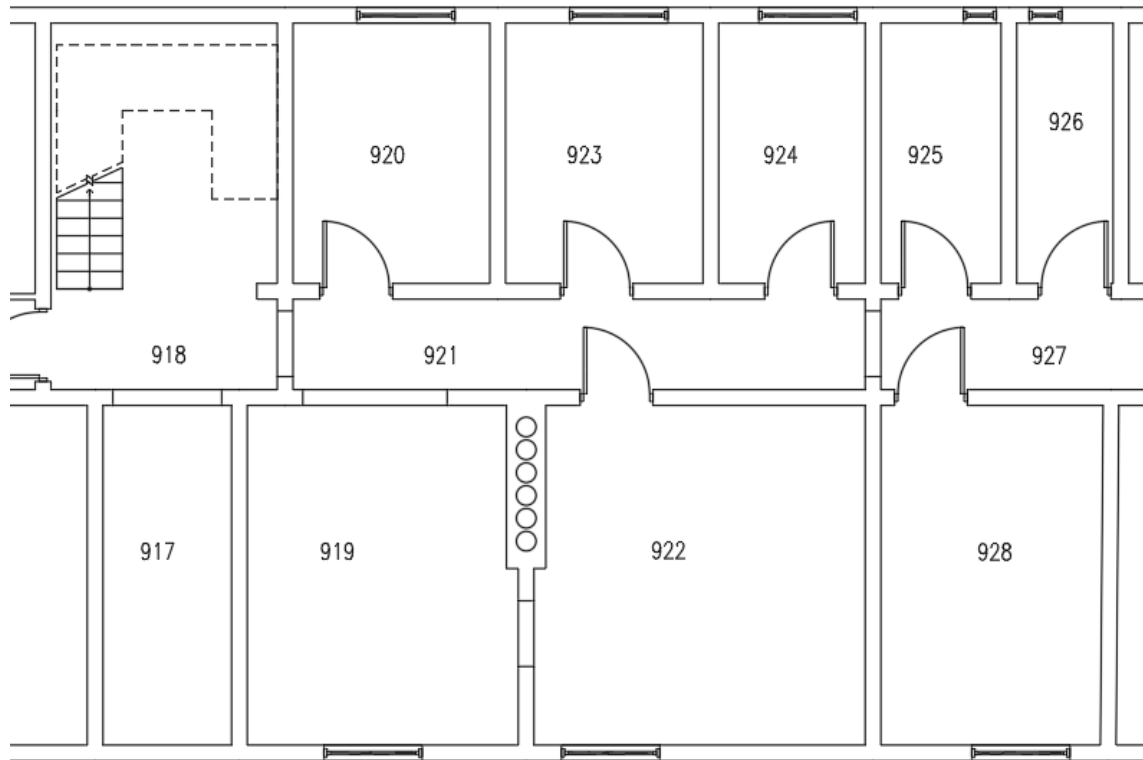


Obr. 15-9 Porovnání nákladů při využití dvou různých primárních energonositelů

V případě růstu cen elektřiny o 3 % se investice do tepelných čerpadel nejenže nevrátí, ale i při předpokladu nákladů pouze na stroje bez montáže nemá tato varianta návratnost v době životnosti stroje.

16. Řešení jednotlivých kotelen

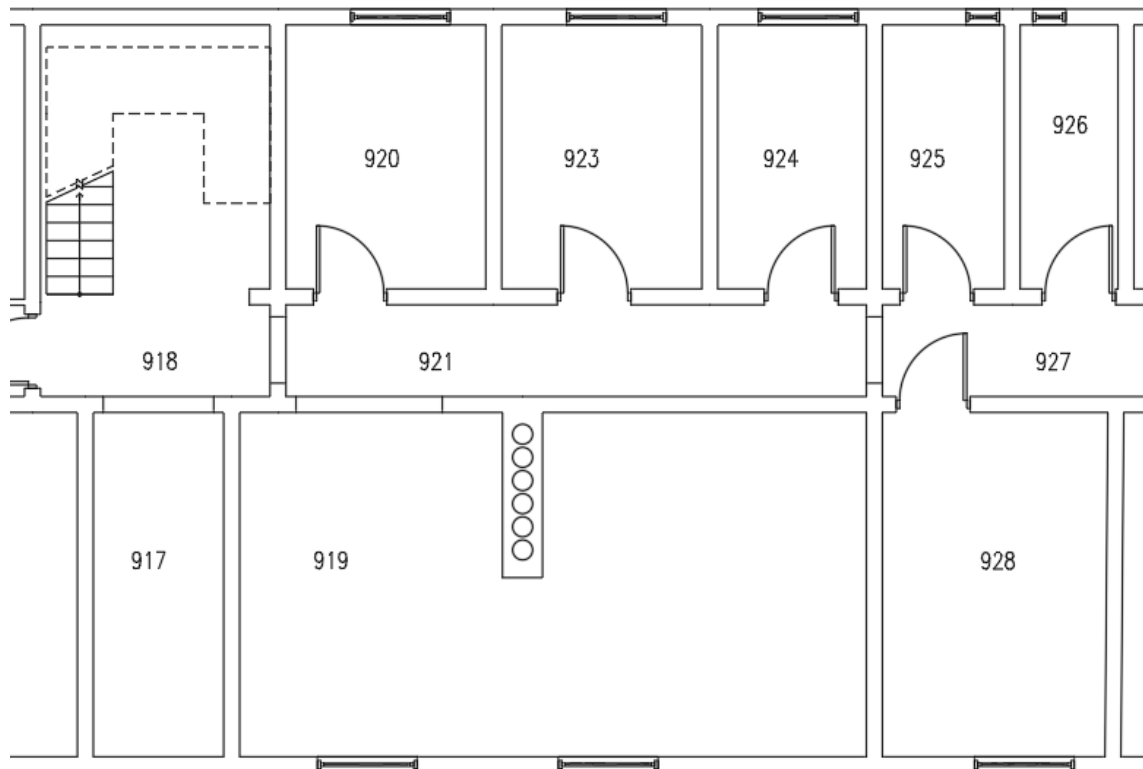
Vybraným prostorem pro vytvoření kotelny byly místnosti 919 a 922 umístěné ve sklepení čísla popisné 1243/9. Jedná se o místnosti na jižní straně, východně od schodiště,



Obr. 16-1 Výřez z půdorysu sklepení se zmíněnými místnostmi

kteří jsou na původních výkresech označeny jako sušárna. Hlavní důvod využití těchto místností je přítomnost pětice komínů nacházející se v příčce mezi těmito místnostmi.

Využití těchto místností vyžaduje mírné stavební úpravy. Společnými úpravami pro všechny druhy kotelen je zazdění dveří mezi místnostmi 921 a 922, zrušení příčky mezi 919 a 922 a osazení dvoukřídlými protipožárními dveřmi mezi 919 a chodbou 921. Tento nově vzniklý prostor musí být stavebně řešen jako samostatný požární úsek.



Obr. 16-2 Nově vzniklý prostor

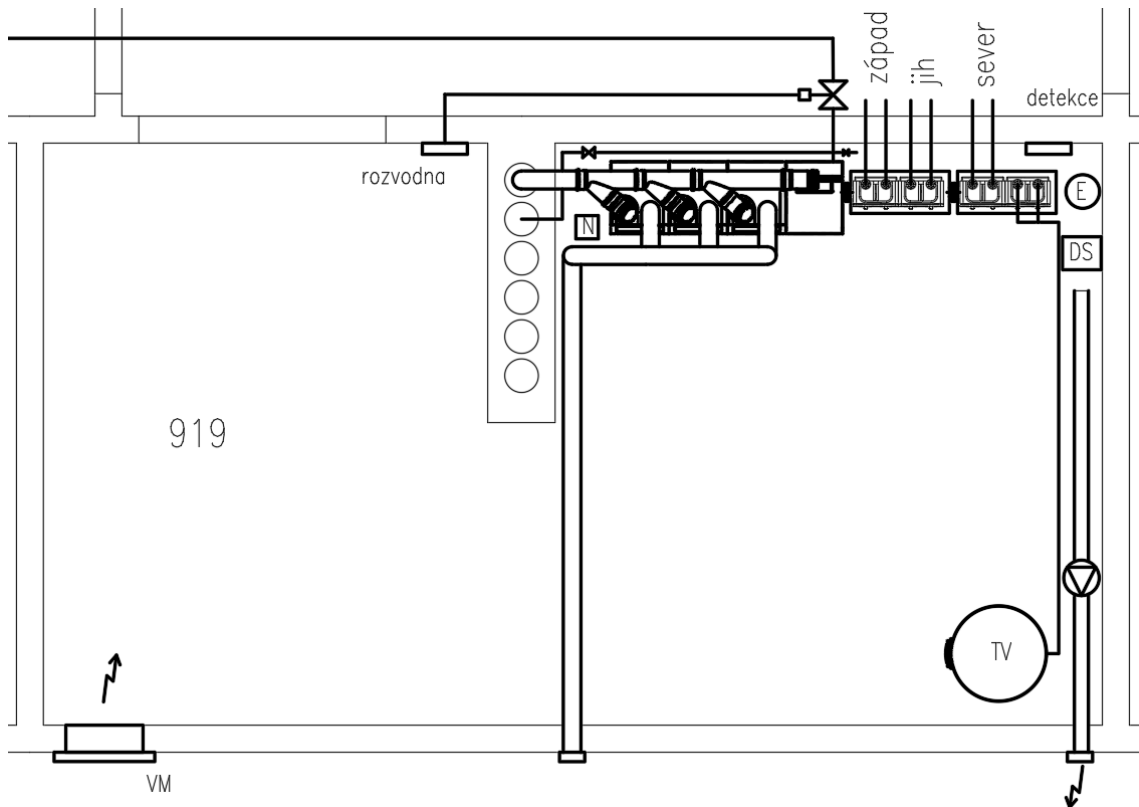
16.1. Plynové kotelny

Obě varianty plynových kotelů jsou klasifikovány dle ČSN 07 0703 jako kotelny III. kategorie a musí tedy splňovat přísnější opatření než technické místnosti. V první řadě nesmí být v kotelnách realizovaný rozvod plynu. Toto je řešeno přívodem plynu z chodby přímo do kaskádové sady. Na tomto přívodu ze strany chodby musí být zařazen solenoidový ventil s pozicí bez proudu nastavenou na „zavřeno“ z důvodu uzavření dodávky plynu v případě výpadku dodávek energie. Uvnitř kotelny musí být na plynovodu instalován manometr, vzorkovací kohout a odfuk, který bude vyveden jedním z volných komínů na střeše. Vedení plynu je za těmito odbočkami napojeno na kaskádovou sadu dodanou výrobcem. Dále musí být kotelná vybavena zařízením na detekci CO, detekci úniku zemního plynu, detekci zaplavení kotelny a havarijní větrací jednotkou vybavenou záložním zdrojem energie. V poslední řadě musí být kotelná vybavena hasicím přístrojem CO₂ s hasicí schopností minimálně 55 B, pěnotvorným prostředkem, nebo vhodným detektorem pro kontrolu těsnosti spojů, lékárníčkou pro první pomoc a bateriovou svítilnou.

Jižní zeď by měla být v prostoru mezi okny pod stropem opatřena průchodem s vnější žaluzií, na který bude napojen přívod spalovacího vzduchu pro potřeby kotlů. Z tohoto důvodu je třeba všechny kotle vybavit adaptérem na přechod z koncentrického systému na dělený. Toto opatření sníží tlakové ztráty na přívodu vzduchu a sníží příkon integrovaného ventilátoru.

16.1.1. Větrání plynových kotelen

V plynových kotelnách III. kategorie vybavených zařízeními typu C musí být zajištěna výměna vzduchu v prostoru s intenzitou větrání 0,5 l/h. Při objemu místnosti přibližně 143 m³ to znamená dodávku 71,5 m³/h. Tato výměna vzduchu musí být zařízena v celém objemu a nikde se nesmí vyskytovat místa, kde by se mohla zvyšovat koncentrace plynů a par. Toto větrání bude zajištěno dvourychlostním axiálním ventilátorem VENTS TT 125. Tento ventilátor byl vybrán z důvodu nízké ceny a možnost zvýšit otáčky v případě havarijního větrání externě. Tento ventilátor má při nastavení vysokých otáček dopravní množství 280 m³/h, což je dostatečné pro potřeby řešené kotelny. Ventilátor bude umístěn v potrubí, které se nachází pod stropem, u východní strany kotelny (viz obr. 16-3), jako odvodní. Odvod vzduchu bude řešen přes větrací mřížku umístěnou v západní části s volným průřezem 300 cm². [26] [27] [28]

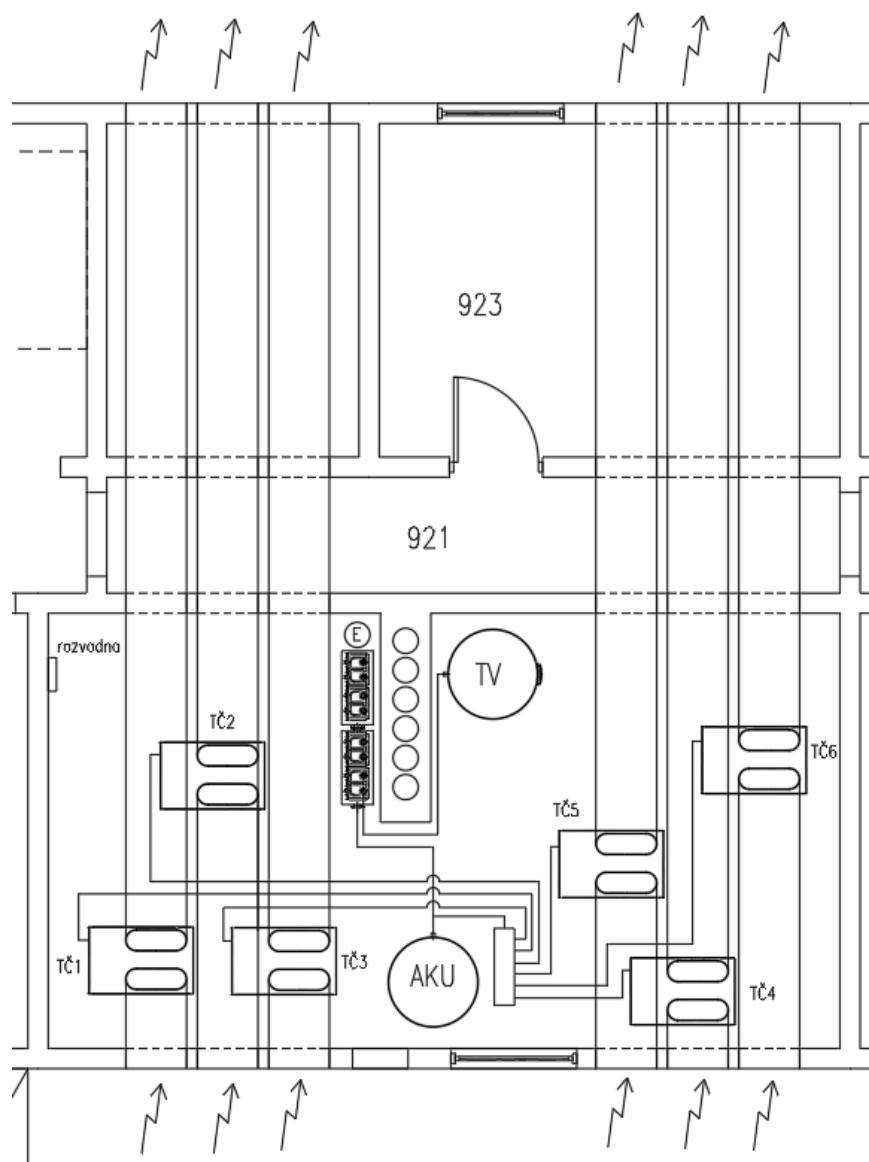


Obr. 16-5 Naznačení řešení kotelny s 3x GB272-50

Obr. 16-4 a 16-5 naznačují toto řešení, detailně v příloze.

16.2. Kotelna tepelných čerpadel

Kotelna tepelných čerpadel vyžaduje z důvodu vzduchových kanálů pro přívod vzduchu z jižní strany a výfuku na severní stranu vytvoření otvorů pod stropem a zadržání bez náhrady okna v prostoru bývalé místnosti 919, stejně jako v místnosti 920 (kočárkárna) a 924 (fotografická místnost). V poslední řadě je třeba zrušení příčky mezi místnostmi 924 (fotografická místnost) a místností 923 (žehlárna). Tato úprava je potřebná z důvodu nedostatečného prostoru pro průchod výduchu stěnou mezi oknem v místnosti 923 a touto příčkou. A je také nutné vytvoření větracího otvoru o volném průřezu 150 cm^2 . Z důvodu tlakových ztrát je třeba při tomto řešení jako první realizovat vzduchové kanály a až po jejich realizaci vytvořit propojení tepelných čerpadel se sběračem a rozdělovačem. Zásobníky teplé vody byly přemístěny z důvodu snahy o zachování dostatečné volné výšky nad zásobníky pro potřeby servisu. Sousední místnost 917 nebyla využita z důvodu nemožnosti úpravy stěny mezi místnostmi (viz obr. 16-4).



Obr. 16-6 Naznačení řešení kotelny s 6x WPL 23 E

17. Závěr

Cílem práce bylo vypracování studie vytápění a přípravy teplé vody pro bytový dům s maximalizací využití alternativních zdrojů. Nejdříve byly vypracovány čtyři modely pro určení potřeb tepla a teplé vody pro tento dům a z nich byl určen nejrealističtější. Dále byly navrženy způsoby zlepšení hospodaření s vodou a využitím odpadního tepla z odpadního vzduchu a vody. Dále byla provedena základní ekonomická analýza těchto opatření. V poslední řadě byla provedena analýza pro různé vývoje cen energonositelů z důvodu jejich nestability v posledních letech.

Z práce vyplývá, že zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu se ekonomicky vyplatí, a i přes komplikovanou realizaci je to velice vhodné řešení, zvláště se zapojením tepelného čerpadla pro předehřev vody do proudu odpadního vzduchu za rekuperaci. Naopak zpětné získávání tepla z odpadních vod může být vhodné pro novostavby, u kterých se s tímto počítá již při návrhu, ale pro stávající budovy, které by museli kvůli tomuto projít zásadní rekonstrukcí se toto řešení nehodí. Otázkou je s ohledem na stáří posuzované budovy nutnost rekonstrukce kanalizace celého objektu, pak by investice do zpětného získávání tepla z odpadní vody byla vhodná.

Při využití alternativních zdrojů využívající solární energii vyšli fototermické kolektory jako doporučeníhodné řešení s odpovídající dobou návratnosti bez ohledu na primární zdroj tepla, za předpokladu odpovídající únosnosti statiky domu. Fotovoltaické panely se ukázali jako doporučeníhodné pouze v kombinaci s bateriovým uložištěm pro zvýšení využitelnosti produkované energie. Bez tohoto uložiště lze fotovoltaické panely doporučit pouze pokud je možné zaručit dostatečný odběr elektrické energie ve společných prostorách během dne nebo využití jejich přebytků pro akumulaci při přípravě teplé vody.

V porovnání ekonomiky různých zdrojů vyšlo jako výrazně nejhorší centrální zásobování teplem. Tepelná čerpadla vyšla nevýhodně oproti plynovým kotelnám, což platí až do srovnání růstu cen jednotlivých energonositelů. Toto srovnání je nepravděpodobné z důvodu způsobu provázanosti těchto dvou komodit.

18. Seznam zdrojů

- [1] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet tepelných ztrát*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 25.11.2023]. Dostupné z: https://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty.pdf
- [2] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Denní data dle zákona 123/1998 Sb.* Online. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [cit. 2024-05-10].
- [3] ZMRHAL, Vladimír. *Tepelná ztráta větráním podle ČSN EN 12831-1*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Oborovy_projekt_2/Oborovy%20projekt%20II_VZT_2.pdf
- [4] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet potřeby tepla*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 27.03.2022]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf
- [5] ATREA. *Technický list DUPLEX 1500–9000 MultiEco-N*. Online. Dostupné z: https://www.atrea.cz/?download=cz/jednotky/duplex_1500_9000_multiéco-n_ámotion_cz_2023_07.pdf. [cit. 2024-05-14].
- [6] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Řízené větrání s rekuperací*. Online. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/bytove-domy/svj-a-bytova-druzstva/>. [cit. 2024-05-14].
- [7] VENTISHOP. *Hranaté plastové potrubí*. Online. Dostupné z: <https://www.ventishop.cz/hranate-potrubi/>. [cit. 2024-05-14].
- [8] VENTA. *Atrea Průmyslová větrací jednotka s rekuperací tepla DUPLEX 1500 – 8000 Multi-N - DUPLEX 1500 Multi-N*. Online. Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/atrea-prumyslova-vetraci-jednotka-s-rekuperaci-tepla-duplex-1500-8000-multi-n-duplex-1500-multi-n-zakladni-sestava/v39405/produkt>. [cit. 2024-05-14].
- [9] BUDERUS. *Projekční podklady – WLW 166i*. Online. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partner/plaunsdokumente/heat_pumps/projekcni_podklady_cz_wlw166i.pdf. [cit. 2024-05-14].
- [10] PLOTĚNÝ, Kateřina. *Odpadní vody a jejich čištění, technologie a princip*. Online. 2016. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/5_odpadni-vody-cov.pdf. [cit. 2024-05-14].

- [11] ÚTERSKÝ, Michal. *Využití šedých a dešťových vod v budovách*. Online. 2016. Dostupné z: <https://portal.fsv.cvut.cz/svoc/2012/vysledky/v2.pdf>. [cit. 2024-05-14].
- [12] DEŠŤOVKA EU. *Sprchový výměník NELA*. Online. Dostupné z: <https://eshop.destovka.eu/sprchovy-vymenik-nela/>. [cit. 2024-05-14].
- [13] TŮMOVÁ, Šárka Laura. *Sprchový výměník NELA - rekuperace nejen v domácím prostředí*. Online. 2016. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/12959-sprchovy-vymenik-nela-rekuperace-nejen-v-domacim-prostredi>. [cit. 2024-05-14].
- [14] PLOTĚNÝ, Karel. *Využití tepla z šedých vod k ohřevu TUV*. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/vyuziti-tepla-z-sedych-vod-k-ohrevu-tuv.601>. [cit. 2024-05-14].
- [15] PODOBEKOVÁ, Veronika a PERÁČKOVÁ, Jana. *Výměníky rekuperace tepla z kanalizačních systémů*. Online. *ASB-portal*. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/zdravotni-technika/vymeniky-rekuperace-tepla-z-kanalizacnich-systemu>. [cit. 2024-05-17].
- [16] VAVŘIČKA, Roman. *09 – Vnitřní kanalizace – 2.díl*. Online. Dostupné z: https://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/ZTI/NEW/009_OD_2.pdf. [cit. 2024-05-17].
- [17] ČSN EN 12056-3 (756760), *Vnitřní kanalizace - Gravitační systémy - Část 3: Odvádění dešťových vod ze střech - Navrhování a výpočet*.
- [18] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Územní srážky*. Online. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>. [cit. 2024-05-17].
- [19] PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE. *Cena vodného a stočného*. Online. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/zakaznici/cena/>. [cit. 2024-05-17].
- [20] BUDERUS. *Zásobníky teplé vody, akumulční zásobníky*. Online. Dostupné z: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/service/dokumenty/ceniky-/2024/10_zasobniky_vody_buderus_02_2024.pdf. [cit. 2024-05-18].

- [21] STIEBEL ELTRON. *WPL 23 E – list s technickými údaji*. Online. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/tepelna_cerpadla/tepelna_cerpadla_vzduch-voda/wpl-13-23-e/wpl-23-e/technicka-data.product.pro.pdf. [cit. 2024-05-18].
- [22] MATUŠKA, Tomáš a ŠOUREK, Bořivoj. Porovnání solárního fototerického a fotovoltaického ohřevu vody. Online. *TZB-info*. 2014, article 11103. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/11103-porovnani-solarniho-fototerickeho-a-fotovoltaickeho-ohrevu-vody>. [cit. 2024-05-19].
- [23] SVP-SOLAR. *FV panel Amerisolar 285Wp*. Online. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-amerisolar-285wp/>. [cit. 2024-05-19].
- [24] HRZINA, Pavel a POKORNÝ, Marek. *Požární rizika bateriových systémů a doporučení jak se jim vyhnout*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.akubat-asociace.cz/wp-content/uploads/2020/02/Po%C5%BE%C3%A1rn%C3%AD-rizika-bateriov%C3%BDch-syst%C3%A9m%C5%AF-a-doporu%C4%8Den%C3%AD-jak-se-jim-vyhnout.pdf>. [cit. 2024-05-19].
- [25] MATAJS, Vladimír. *Baterie do bytových domů ano či ne?* Online. 2023. Dostupné z: <https://www.helioware.cz/fotovoltaika-pro-svj-s-baterii-nebo-bez-baterie/>. [cit. 2024-05-19].
- [26] SCHWARZER, Jan. Průmyslová vzduchotechnika – Větrání kotelen. S. 6.
- [27] *Větrání prostorů se spotřebiči na plynná paliva s celkovým výkonem větším než 100 kW: Ventilation of spaces with gas appliances with the total output over 100 kw : TPG G 908 02 : schválena dne 31.3.2010. Technická pravidla*. Praha: GAS, 2010. ISBN 9788073282059.
- [28] *POTRUBNÍ VENTILÁTOR VENTS TT 125*. Online. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilatory.cz/potrubni-ventilator-vents-tt-125/>. [cit. 2024-05-24].

19. Přílohy

Příloha 1 – půdorys sklepení

Příloha 2 – půdorys přízemí

Příloha 3 – půdorys pater 1-4

Příloha 4 – půdorys střechy s uvažovanými zařízeními

Příloha 5 – půdorys střechy s využitím vnějších tepelných čerpadel

Příloha 6 – půdorys kotelny s využitím 3x GB272-50

Příloha 7 – půdorys kotelny s využitím 2x GB272-85

Příloha 8 – půdorys kotelny s využitím vnitřních TČ

Příloha 9 – půdorys střechy s využitím fotovoltaických panelů

Příloha 10 – DVD obsahující:

Kopie diplomové práce

Přílohy 1-9

Výpočetní modely vytvořené v programu Excel

Výpočetní program Bilance SS

Projekční podklady Buderus Logamax plus GB272

Technická data Stiebel Eltron WPL 23 E

Průkaz energetické náročnosti budovy