

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ENERGETICKÁ STUDIE BYTOVÝCH
DOMŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šinka** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **476047**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Technika prostředí**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Energetická studie bytových domů

Název diplomové práce anglicky:

Energy Study of Apartment Buildings

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte energetickou studii potřeb tepla na vytápění a přípravu teplé vody u několika bytových domů. Výpočetní model validujte v souladu se skutečnými naměřenými hodnotami. Vyhodnoťte nejdůležitější okrajové podmínky, které mají vliv na vypočtené a naměřené hodnoty potřeby tepla s ohledem na smluvní podmínky o dodávce energií. Vypracujte studii proveditelnosti využití alternativních zdrojů energií se zaměřením na tepelná čerpadla a použití zpětného získávání tepla v oblasti větrání a odpadního tepla.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [2] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [3] ČSN EN ISO 13770 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [4] ČSN EN ISO 52016-1 Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. Praha: ÚNMZ, 2019.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Diplomová práce se zabývá energetickou studií pro tři bytové domy. Cílem je porovnat spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody získané výpočtovými metodami se skutečně naměřenými spotřebami domu. Dále ukázat parametry, které mají na výpočet vliv a mohou být důležitým činitelem. Poté jsou navrženy varianty k využití alternativních zdrojů energie v podobě tepelného čerpadla či zařízení se zpětným získáváním tepla jako nucené větrání nebo sprchový výměník. Pro všechny varianty jsou spočítány návratnosti investic.

Summary

The diploma thesis deals with an energy study for three apartment buildings. The aim is to compare the heating consumption and hot water consumption obtained by calculation methods with the actual measured consumption of the building. Furthermore, the objective was to show the parameters that have an impact on the calculation and can be an important factor. Then, variants are proposed for the use of alternative energy sources in the form of a heat pump or heat recovery devices such as forced ventilation or a shower heat exchanger. The return on investment is calculated for all variants.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energetická studie bytových domů“ vypracoval samostatně pod vedení Ing. Romana Vavříčky, PhD., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 27. 6. 2022

Bc. Ladislav Šinka

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Vavříčkovi, PhD. za odborné vedení mé diplomové práce a za cenné rady a připomínky při vypracovávání této práce.

Také bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu během studia.

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Modelové budovy	12
2.1	Bytový dům č. 1	12
2.2	Bytový dům č. 2	13
2.3	Bytový dům č. 3	15
3	Výpočtové vztahy pro sestavení bilance potřeby tepla.....	18
3.1	Metody výpočtu	18
3.2	Měrný tepelný tok prostupem tepla.....	19
3.3	Měrný tepelný tok větráním.....	19
3.4	Vnitřní tepelné zisky	21
3.5	Vnější tepelné zisky	21
3.6	Potřeba tepla na vytápění	23
3.7	Potřeba tepla na přípravu teplé vody.....	26
3.8	Počet osob v bytovém domě	27
3.9	Skutečná venkovní teplota	28
4	Bilance pro bytový dům č. 1	30
4.1	Spotřeba tepla na vytápění	30
4.2	Spotřeba tepla na přípravu teplé vody.....	38
4.3	Celková spotřeba tepla	41
5	Bilance pro bytový dům č. 2	44
5.1	Spotřeba tepla na vytápění	44
5.2	Spotřeba tepla na přípravu teplé vody.....	51
5.3	Celková spotřeba tepla	55
6	Bilance pro bytový dům č. 3	58
6.1	Spotřeba tepla na vytápění	58

7	Studie proveditelnosti pro alternativní zdroje.....	65
7.1	Alternativní zdroje – bytový dům č. 1	67
7.1.1	Zateplení a tepelné čerpadlo	67
7.1.2	Zpětné získávání tepla z odpadní vody.....	69
7.1.3	Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	70
7.1.4	Kombinace alternativních zdrojů energie	72
7.2	Alternativní zdroje – bytový dům č. 2	73
7.2.1	Zateplení a tepelné čerpadlo	73
7.2.2	Zpětné získávání tepla z odpadní vody.....	76
7.2.3	Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	77
7.2.4	Kombinace alternativních zdrojů energie	79
7.3	Alternativní zdroje – bytový dům č. 3	80
7.3.1	Tepelné čerpadlo.....	80
7.3.2	Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	82
7.3.3	Kombinace alternativních zdrojů energie	83
8	Závěr	85
9	Seznam zdrojů.....	87
10	Seznam příloh	89
11	Přílohy.....	90

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Rozměr
A_K	plocha stavební části	[m ²]
A_{sol}	účinná sběrná plocha s danou orientací	[m ²]
$A_{w,o}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	[m ²]
$A_{z,vyt}$	podlahová plocha vytápěné zóny	[m ²]
C_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
$E_{VYT,den,skut}$	měrná potřeba tepla na vytápění vypočtena dle denní metody na základě skutečných hodnot	[kWh/m ²]
$E_{VYT,den,teor}$	měrná potřeba tepla na vytápění vypočtena dle denní metody na základě teoretických hodnot	[kWh/m ²]
$E_{VYT,měs,skut}$	měrná potřeba tepla na vytápění vypočtena dle měsíční metody na základě skutečných hodnot	[kWh/m ²]
$E_{VYT,měs,teor}$	měrná potřeba tepla na vytápění vypočtena dle měsíční metody na základě teoretických hodnot	[kWh/m ²]
$E_{VYT,sk}$	měrná potřeba tepla ze spotřebovaných hodnot na vytápění	[kWh/m ²]
F_f	podíl plochy rámu	[-]
F_{sh}	korekční součinitel stínění na externí překážky	[-]
$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění	[-]
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	[-]
H_T	měrný tepelný tok prostupem	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
I_{sol}	sluneční ozáření za jednotku času	[W/m ²]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,nd}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,sol}$	vnější tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,sol,vyp}$	vnější tepelné zisky výpočtem	[kWh]
$Q_{H,sol,PENB}$	vnější tepelné zisky z PENB	[kWh]
$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]

$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
$Q_{TV,den}$	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{TV,vyp,skut}$	spotřeba tepla na přípravu teplé vody se skutečnými údaji	[kWh]
$Q_{TV,vyp,teor}$	spotřeba tepla na přípravu teplé vody s teoretickými údaji	[kWh]
$Q_{VYT,den,skut}$	spotřeba tepla na vytápění vypočtena dle denní metody na základě skutečných hodnot	[kWh]
$Q_{VYT,den,teor}$	spotřeba tepla na vytápění vypočtena dle denní metody na základě teoretických hodnot	[kWh]
$Q_{VYT,měs,skut}$	spotřeba tepla na vytápění vypočtena dle měsíční metody na základě skutečných hodnot	[kWh]
$Q_{VYT,měs,teor}$	spotřeba tepla na vytápění vypočtena dle měsíční metody na základě teoretických hodnot	[kWh]
$Q_{VYT,sk}$	skutečná spotřeba tepla na vytápění	[kWh]
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	[W/(m ² ·K)]
V_i	objem vytápěné místnosti	[m ³]
\dot{V}_i	objemový průtok přiváděného vzduchu	[m ³ /h]
V_{TV}	objem teplé vody na osobu na den	[m ³]
$A_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
a_H	bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy	[-]
$a_{H,0}$	referenční bezrozměrný časový parametr	[-]
b_k	teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovního prostředí	[-]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/(kg·K)]
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/(kg·K)]
f	koeficient přítomnosti osob	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
$g_{gl,n}$	celková propustnost zasklení	[-]
n	intenzita větrání	[h]
n_{hod}	počet hodin	[1/h]
n_{min}	minimální intenzita větrání	[1/h]

n_{osob}	minimální intenzita větrání	[1/h]
t_e	venkovní teplota	[°C]
t_{ep}	průměrná denní venkovní teplota	[°C]
t_{is}	průměrná vnitřní teplota	[°C]
t_1	požadovaná teplota vody po ohřevu	[°C]
t_2	teplota přiváděné studené vody	[°C]
z_{TV}	poměrný koeficient ztráty pro soustavu přípravy TV	[-]
z_{VYT}	poměrný koeficient ztráty pro soustavu vytápění	[-]
Φ_{int}	vnitřní tepelné zisky	[W]
$\Phi_{\text{int,o}}$	tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a osvětlení	[W]
$\Phi_{\text{int,p}}$	tepelný tok na každou bytovou jednotku	[W]
Φ_{sol}	solární tepelný tok	[W]
$\eta_{H,\text{gn}}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
γ_H	bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
ρ	hustota	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta budovy	[h]

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá energetickou studií pro tři bytové domy. V rámci studie budou porovnány výsledky výpočtu spotřeby tepla na vytápění a spotřeby tepla na přípravu teplé vody se skutečně naměřenými spotřebami jednotlivých objektů. Snahou práce je při porovnání poukázat na parametry, které ve výpočtech mohou značně ovlivnit výsledek při výpočtech energetické náročnosti či naopak nejsou pro výsledky výpočtu ve srovnání se skutečnými hodnotami příliš důležité.

Po zhodnocení výpočtových metod s různými parametry jsou dále navrženy opatření k využití alternativních zdrojů energie či zařízení se zpětným získáváním tepla. Pro jednotlivé návrhy jsou poté určeny doby návratnosti.

Správný návrh kotleny, zdroje tepla či optimalizace prvků otopného systému má přímý vliv na provoz otopné soustavy a může tak přinést i úsporu potřeby tepla a následně i úsporu provozních nákladů. Obzvláště v dnešní době s turbulentním vývojem cen za energie se může jednat o velmi důležité opatření. Správná optimalizace vedoucí ke snížení spotřeby za energie je založena na dostatku informací a údajů o fungování otopné soustavy, odběrů či jiných zdrojových dat. Tyto údaje ovšem nejsou vždy k dispozici nebo nedochází k jejich vyhodnocení po určité době fungování otopného systému. Proto je důležitá práce s parametry již při počátečním návrhu a vědět, které parametry mají větší či menší vliv na výsledek. Speciálně u bytových domů totiž chybí zpětná vazba na provoz navržené otopné soustavy, u kterých mohou být náklady za energie nemalé, a právě nesprávný návrh prvků otopné soustavy snahu o snižování energetické náročnosti budovy maří.

Cílem této práce je nalézt parametry, které mají nejvýraznější vliv na výpočet spotřeby tepla při počátečním návrhu projektanta a ukázat, na kolik je případně důležité pracovat se skutečnými údaji z podobných mapovaných budov nebo typických hodnot obsažených v různých normách či doporučené literatuře.

2 Modelové budovy

2.1 Bytový dům č. 1

Bytový dům č. 1 je z 50. let 20. století. Nachází se v Praze 7 – Holešovice, konkrétně na adrese Heřmanova 455/45. Dům má 6 nadzemních podlaží a 1 podzemní podlaží, ve kterém je umístěna kotelna. V objektu se nachází celkem 25 bytových jednotek a 2 nebytové jednotky. Velikosti jednotlivých bytů jsou od 25,8 m² podlahové obytné plochy po 97,2 m². V domě dle doložených podkladů bydlelo mezi roky 2012 a 2021 celkem 40 až 52 lidí ročně.

Objekt je z východní strany po celé délce fasády obklopen sousedním bytovým domem. Ze západní strany přiléhá jen částečně k sousednímu domu. Konstrukce obvodových nosných stěn bytového domu je řešena z plných pálených cihel o tloušťce 600, 450 a 300 mm. Nenosné stěny mají tloušťku 300 a 150 mm. Jedná se o nezateplený objekt s plochou střechou. Okna v domě jsou stará dřevěná, výjimku tvoří pouze poslední nadzemní podlaží, kde jsou všechna okna vyměněna za nová plastová s dvojitým zasklením.



Obrázek 1: Bytový dům č.1

Pro vytápění domu je navržena kaskáda dvou plynových kotlů Buderus Logamax plus GB162-100 o celkovém instalovaném výkonu soustavy 198 kW. Kotle slouží také pro ohřev teplé vody. Dále se v kotelně nachází nepřímý ohřívání zásobník teplé vody

Buderus Logalux SU1000.5 o objemu 955 litrů. Cirkulace teplé vody je v domě zajištěna od 5:20 do 23:50.



Obrázek 2: Bytový dům č. 1 - kotelna

Podklady pro tento bytový dům jsou z <http://www.svjh455.cz/>. Společenství vlastníků Heřmanova 455/45, Praha 7 má velmi transparentní internetové stránky svého SVJ, kde lze dohledat potřebné dokumenty. Pro další výpočty jsou k dispozici PENB, schéma kotelny, vyúčtování za energie pro jednotlivé byty, naměřené hodnoty z kotelny, počet lidí a velikosti bytů. Tyto údaje jsou z let 2012 až 2021.

2.2 Bytový dům č. 2

Tento bytový dům je velmi podobný jako bytový dům č.1, jelikož je s ním částečně propojen. Mezi nimi se však nachází ještě další bytový dům. Dům stojí na Praze 7 v Holešovicích na adrese Heřmanova 457/41. Objekt má 6 nadzemních podlaží a 1 podzemní podlaží s kotelnou. Celkově dům obsahuje 16 bytových jednotek a 2 nebytové jednotky. Velikosti jednotlivých bytů jsou mezi 47,4 m² a 107,8 m².

Západní fasáda objektu sousedí po celé ploše s jiným bytovým domem. Část jižní fasády přiléhá k vedlejšímu objektu. Stavební řešení je velmi podobné jako u bytového domu č. 1. Celý bytový dům je nezateplený. Konstrukce obvodových stěn se skládá z plných pálených cihel o tloušťce 600, 450 a 300 mm pro nosné stěny. Nenosné stěny

jsou o tloušťce 300 a 150 mm. Střešní konstrukce domu je plochá. V tomto domě se nachází pouze stará dřevěná okna.



Obrázek 3: Bytový dům č. 2 (severní a východní fasáda)



Obrázek 4: Bytový dům č. 2 (jižní a východní fasáda)

Vytápění a příprava teplé vody se realizuje pomocí kaskády dvou kondenzační plynových kotlů Buderus Logamax plus GB162-80. Celkový instalovaný výkon kaskády je 160 kW. Pro ohřev teplé vody se v kotelně nachází nepřímě ohřívavý zásobník TV

Buderus Logalux SU750.5 s celkovým objemem 740 l. Odtud je dále po celém domě zajišťována cirkulace TV do jednotlivých bytů.

Podklady, které jsou k dispozici, se skládají z odečtových karet za jednotlivé měsíce z kotelny. Odečtové karty obsahují údaje o plynu, tepla pro TV a SV sloužící pro TV. Dále jsou k dispozici roční odečty TV a SV z jednotlivých bytů, faktury za plyn, PENB a velikosti jednotlivých bytových a nebytových jednotek. Data z odečtových karet jsou z let 2014 až 2021, náměry bytových jednotek pouze z let 2016 až 2021. Ač je PENB vytvořen stejnou firmou jako pro bytový dům č. 1, chybí zde příloha s výpočty či údaji o solárních ziscích.

2.3 Bytový dům č. 3

Dalším objektem pro řešení v této práci je bytový dům č. 3. Dům z 30. let 20. století se nachází na adrese Terronská 871/72,74, Praha 6 – Bubeneč. Bytový dům disponuje 2 podzemními podlažími a 4 nadzemními podlažími. V domě je také půdní vestavba, která byla provedena v pozdějších letech. Celkem je objekt rozdělen na 44 bytových jednotek a 1 nebytovou jednotku. Velikosti jednotlivých bytů se pohybují od 33,8 m² do 112,2 m².

Bytový dům se skládá ze dvou na sebe navazujících objektů č. 72 a 74. Severní a jižní fasáda objektu je napojena na jiný objekt. Přízemí objektu č. 74 s nebytovým prostorem je prosklené. Zastřešení domu je řešeno sedlovou střechou s dřevěným krovem. Celý objekt byl roku 2010 zateplen a došlo také k výměně oken za plastová. Obvodová konstrukce se skládá z plných cihel a pěnového polystyrenu s celkovou tloušťkou 300 a 450 mm.



Obrázek 5: Bytový dům č. 3



Obrázek 6: Bytový dům č. 3



Obrázek 7: Bytový dům č. 3

V kotelně bytového domu je umístěna kaskáda tří plynových kondenzačních kotlů Buderus Logamax plus GB162-80 s celkovým instalovaným výkonem 240 kW. Kotle slouží pouze k vytápění objektu. Ohřev TV v domě je zajišťován lokálně v jednotlivých bytových jednotkách. Pro vytápění objektu slouží tři otopné okruhy napojené na rozdělovač. Podkrovní byty mají realizováno vytápění a ohřev TV samostatně pomocí plynových nástěnných kotlů ve svých bytových jednotkách. S těmito zdroji tepla se v této práci neuvažuje.

Pro vlastní výpočty této práce jsou z bytového domu č. 3 k dispozici údaje z odečtových karet z kotelně, které jsou za jednotlivé měsíce z let 2014 až 2021. Dále je možno využít PENB a velikosti jednotlivých bytů.

3 Výpočtové vztahy pro sestavení bilance potřeby tepla

K sestavení energetické studie porovnávající teoretickou potřebu a následně stanovení spotřeby tepla na vytápění a přípravu TV s reálně naměřenými hodnotami spotřeby energií jednotlivých bytových domů je důležité využít dostatek vstupních údajů k teoretickým výpočtům. Jelikož se mezi modelovými domy liší počet vstupních parametrů, je snahou využít podobnosti mezi budovami. Pro výpočty tedy aplikujeme výpočetní model z jedné budovy, kde je dostatek vstupních údajů pro výpočet, na budovu jinou s chybějícími údaji.

Při teoretických výpočtech potřeby tepla se pro určité parametry dají zvolit vstupní údaje, které vycházejí ze skutečných údajů. Tyto vstupní údaje slouží k přesnějším teoretickým výpočtům. Jedná se o parametry venkovní teploty t_e , počtu osob n_{os} a dávky teplé vody na osobu V_{TV} . V případě, že máme tyto parametry k dispozici, můžeme je využít pro porovnání mezi teoretickými výpočty s užitím teoretických konstantních hodnot a výpočty s užitím reálných hodnot pro daný objekt.

V modelech je počítáno s měsíční metodou, dle které se v projekční praxi běžně počítá, ale také je tato metoda použita pro výpočet s denním časovým krokem. Denní metoda zde slouží k dosažení přesnějších výsledků v návaznosti na využití denní venkovní teploty.

3.1 Metody výpočtu

V práci se pro výpočet potřeby tepla na vytápění i potřeby tepla na přípravu teplé vody využívá několika výpočtových metod. Ty můžeme porovnat se skutečně naměřenými hodnotami a vyhodnotit, nakolik se liší teoretické výpočty, které předpokládají určité chování obyvatel, se skutečnými hodnotami.

První metodou výpočtu je denní metoda, kdy se využívá skutečně naměřených venkovních teplot z meteorologické stanice Praha – Libuš. Dále se používá skutečný počet obyvatel daného domu. Spotřeba tepla je poté značena $Q_{VYT,den,skut.}$

Druhou metodou je opět denní metoda výpočtu, tentokrát ale obsahuje teoretický počet obyvatel. Venkovní teploty jsou dle naměřených hodnot z meteorologické stanice. Spotřeba tepla této metody je označována $Q_{VYT,den,teor.}$

Další dvě metody výpočtu jsou založeny na měsíčním kroku výpočtu. Jedna z nich využívá skutečný počet obyvatel bytového domu a skutečně naměřené venkovní teploty. Tato metoda označena $Q_{VYT,m\acute{e}s,skut}$ slouží pro porovnání, jakých rozdílů dosáhneme, pokud počítáme s denním nebo měsíčním krokem. Poslední varianta počítá podle měsíčního kroku s teoretickými teplotami. Jedná se o průměrné teploty pro Prahu doporučené v Technickém průvodci. Spotřeba tepla je označena $Q_{VYT,m\acute{e}s,teor}$.

U výpočtu spotřeby tepla na přípravu teplé vody můžeme využít dvě metody. Pro první metodu ($Q_{TV,vyp,skut}$) se počítá se skutečným počtem obyvatel a také skutečně naměřených hodnot spotřeby teplé vody pro jednotlivé byty. Z těchto údajů získáme dávku teplé vody na osobu na den.

Druhá metoda ($Q_{TV,vyp,teor}$) počítá s teoretickým obsazením bytů a teoretickou potřebou teplé vody na osobu za den, kterou budeme uvažovat $V_{TV,teor} = 0,035 \text{ m}^3/os \cdot den$.

3.2 Měrný tepelný tok prostupem tepla

Měrný tepelný tok prostupem tepla je vypočten dle údajů o vlastnostech stavebních konstrukcí z PENB.

Měrný tepelný tok prostupem tepla se stanoví dle vztahu

$$H_T = A_k \cdot U_k \cdot b_k \quad [\text{W/K}] \quad (1)$$

kde

A_k	plocha stavební části	$[\text{m}^2]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
b_k	teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovního prostředí	$[-]$

3.3 Měrný tepelný tok větráním

Dle hygienických požadavků je nutno obytné budovy větrat. V žádném z modelových objektů však není instalováno zařízení pro nucené větrání. Výměna vzduchu je tedy zajištěna pomocí přirozeného větrání.

Měrný tepelný tok větráním se určí

$$H_V = \dot{V}_i \cdot c_p \cdot \rho \quad [\text{W/K}] \quad (2)$$

kde

\dot{V}_i	objemový průtok přiváděného vzduchu	$[\text{m}^3/\text{h}]$
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu	$[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$
ρ	hustota vzduchu	$[\text{kg}/\text{m}^3]$

Objemový průtok je dán vztahem

$$\dot{V}_i = V_i \cdot n_{\min} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (3)$$

kde

V_i	objem vytápěné místnosti	$[\text{m}^3]$
n_{\min}	minimální intenzita větraného vzduchu	$[1/\text{h}]$

Minimální intenzita větraného vzduchu je dána normou s ohledem na hygienické požadavky. Doporučená minimální hodnota se udává $n_{\min} = 0,3 [1/\text{h}]$. To však znamená, že se počítá s konstantní hodnotou po celý rok. Při reálném chování uživatelů je ale situace odlišná. Výměna vzduchu v jednotlivých bytech se většinou odvíjí podle venkovní teploty. Pokud se bude jednat o zimní období s nízkými venkovními teplotami, nejspíše bude docházet k přirozenému větrání okny sporadicky. Naopak v letních měsících, kdy jsou venkovní teploty vysoké, se větrá okny po většinu dne. Toto chování intenzity větrání v závislosti na venkovní teplotě je zohledněno v následující tabulce, založené na předpokládaném chování uživatelů.

Venkovní teplota	Intenzita větrání	Venkovní teplota	Intenzita větrání
t_e [°C]	n [1/h]	t_e [°C]	n [1/h]
(-30; -20)	0,01	(11; 15)	0,3
(-19; -10)	0,05	(16; 25)	0,35
(-9; -5)	0,1	(26; 30)	0,4
(-4; 0)	0,15	(31; 35)	0,45
(1; 5)	0,2	(36; 40)	0,5
(6; 10)	0,25		

Tabulka 1: Intenzita větrání v závislosti na venkovní teplotě

3.4 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky jsou produkovány uvnitř objektu. Jedná se o teplo, které vytváří lidé svojí přítomností v objektu. Dále se na vnitřních ziscích podílí umělé osvětlení, domácí spotřebiče či jakákoliv elektronická zařízení uvnitř bytových jednotek.

Ve všech bytových domech se uvažuje shodně přítomnost osob v domácnosti během roku 70 %.

Vnitřní tepelné zisky se určí dle vztahu

$$\Phi_{\text{int}} = \Phi_{\text{int,o}} \cdot f + \Phi_{\text{int,p}} \quad [\text{W}] \quad (4)$$

kde

$\Phi_{\text{int,o}}$ tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení;
100 W/osobu [W]

f koeficient přítomnosti osob; 0,7 [-]

$\Phi_{\text{int,p}}$ tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob;
100 W/bytovou jednotku [W]

3.5 Vnější tepelné zisky

Vnější tepelné zisky jsou důsledkem slunečního záření. Určujícími parametry velikosti vnějších zisků je orientace ke světovým stranám, stínící prvky či samotné

vlastnosti konstrukce jako propustnost a pohltivost slunečního záření. Bilance solárních zisků má významnou roli ve snižování potřeby tepla na vytápění.

Jelikož nejsou dispozici geometrie objektů, využijí se u bytového domu č. 1 solární zisky vypočtené v PENB. Zisky počítají pouze s průhlednými konstrukcemi, neboť solární zisky neprůhlednými konstrukcemi jsou násobně menší. Tyto zisky jsou vypočteny pro měsíční metodu a pro potřeby denní metody jsou přepočteny na jednotlivé dny.

Pro bytový dům č. 2 není k dispozici příloha obsahující vnější tepelné zisky. Ty jsou získány pomocí výpočetního modelu z bytového domu č. 1, který je založen na podobnosti mezi danými objekty a skutečností, že se nachází blízko sebe. Do tohoto modelu pro výpočet solárních zisků jsou aplikovány průsvitné konstrukce z bytového domu č. 2.

Pro bytový dům č. 3 také nejsou k dispozici solární zisky z PENB, jsou tedy vypočteny pomocí měsíční metody a poté přepočteny na jednotlivé dny.

$$\Phi_{\text{sol}} = F_{\text{sh}} \cdot (\sum A_{\text{sol}}) \cdot I_{\text{sol}} \quad [\text{W}] \quad (5)$$

kde

Φ_{sol}	solární tepelný tok	[W]
F_{sh}	korekční součinitel stínění na externí překážky	[-]
A_{sol}	účinná sběrná plocha s danou orientací	[m ²]
I_{sol}	sluneční ozáření za jednotku času	[W/m ²]

Rovnice pro výpočet účinné sběrné plochy průhledných prvků je

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh,gl}} \cdot g_{\text{gl}} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{\text{w,p}} \quad [\text{m}^2] \quad (6)$$

kde

$F_{\text{sh,gl}}$	korekční činitel stínění	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]

F_f podíl plochy rámu [-]

$A_{w,p}$ celková pohledová plocha zaskleného prvku [m²]

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad [-] \quad (7)$$

kde

F_w korekční činitel pro nerozptylující zasklení [-]

$g_{gl,n}$ celková propustnost zasklení [-]

Celková propustnost zasklení závisí na typu zasklení. Typické hodnoty jsou pro jednoduché zasklení 0,85, dvojsklo 0,75 a trojsklo 0,7.

3.6 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění kombinuje tepelné ztráty objektu a celkové tepelné zisky. Tepelná ztráta objektu je dána měrnými tepelnými toky prostupem a větráním. U celkových tepelných zisků se jedná o součet vnitřních tepelných zisků a vnějších tepelných zisků.

Ve výpočtech se využívá především denní metoda, která nabízí využití venkovních teplot pro jednotlivé dny. To má za cíl dosažení přesnějších hodnot pro potřeby tepla objektu. Pro porovnání je využita také měsíční metoda vypočtu.

Potřeba tepla počítá se skutečnou průměrnou venkovní teplotou z daného období. V rámci porovnání výpočtových metod je u měsíční metody použita i teoretická průměrná teplota pro Prahu.

Celková potřeba tepla na vytápění je dána vztahem

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

kde

$a_{H,red}$ redukční faktor na přerušené vytápění [-]

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

$\eta_{H,gn}$ faktor využitelnosti tepelných zisků [-]

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

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

kde

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

$Q_{H,ve}$ potřeba tepla větráním [kWh]

Potřeba tepla prostupem se určí dle vztahu

$$Q_{H,tr} = H_T \cdot (t_{is} - t_{ep}) \cdot n_{hod} \quad [\text{kWh}] \quad (10)$$

kde

H_T měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostředí do venkovního prostředí [W/K]

t_{is} průměrná vnitřní teplota objektu [°C]

t_{ep} průměrná denní venkovní teplota [°C]

n_{hod} počet hodin [h]

Potřeba tepla větráním se vypočte dle rovnice

$$Q_{H,ve} = H_V \cdot (t_{is} - t_{ep}) \cdot n_{hod} \quad [\text{kWh}] \quad (11)$$

kde

H_V měrný tepelný tok větráním [W/K]

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění je funkcí bilančního poměru pro vytápění a časového parametru, který závisí na tepelné setrvačnosti budovy. Vypočítá se dle vztahu

$$\text{když } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \quad [-] \quad (12)$$

$$\text{když } \gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \quad [-] \quad (13)$$

$$\text{když } \gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-] \quad (14)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (15)$$

kde

$$\gamma_H \quad \text{bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění} \quad [-]$$

$$a_H \quad \text{bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy} \quad [-]$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (16)$$

$$\tau = \frac{C_m}{3600(H_T+H_V)} \quad [\text{h}] \quad (17)$$

kde

$$a_{H,0} \quad \text{referenční bezrozměrný časový parametr; zvoleno 1} \quad [-]$$

$$\tau \quad \text{časová konstanta budovy} \quad [\text{h}]$$

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

$$C_m \quad \text{vnitřní tepelná kapacita budovy} \quad [\text{J/K}]$$

Vnitřní tepelná kapacita je závislá na konstrukci budovy a velikosti podlahové plochy vytápěné místnosti. V případě, že se jedná o objekt z plných cihel, počítá se s hodnotou pro velmi těžkou budovu. Určí se dle vztahu

$$C_m = 370\,000 \cdot A_{z,\text{vyt}} \quad [\text{J/K}] \quad (18)$$

kde

$$A_{z,\text{vyt}} \quad \text{podlahová plocha vytápěné zóny} \quad [\text{m}^2]$$

Z výpočtu je známa celková potřeba tepla na vytápění, která počítá se skutečnými parametry. Také jsou známy skutečné hodnoty spotřeby tepla na vytápění, z čehož lze vypočítat součinitel účinnosti celé soustavy pro vytápění. Ten bude dán vztahem

$$Q_{\text{VYT,sk}} = \frac{Q_{\text{VYT,den,skut}}}{z_{\text{VYT}}} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

kde

$$Q_{\text{VYT,sk}} \quad \text{skutečná spotřeba tepla na vytápění} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{\text{VYT,den,skut}} \quad \text{potřeba tepla na vytápění vypočtena dle denní metody na základě skutečných hodnot} \quad [\text{kWh}]$$

$$z_{\text{VYT}} \quad \text{poměrný koeficient ztráty pro soustavu vytápění} \quad [-]$$

Pro ideální soustavu bude z_{VYT} dosahovat hodnoty 1, což představuje nulové ztráty v systému a 100 % účinnost. Při určování toho součinitele se porovnává výpočet se skutečnou spotřebou k dosažení co největší shody mezi výsledky.

3.7 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody se určuje podle bilance teplé vody na osobu za den. Určí se dle vztahu

$$Q_{\text{TV,den}} = (1 + z_{\text{TV}}) \cdot \rho \cdot c \cdot V_{\text{TV}} \cdot n_{\text{osob}} \cdot (t_2 - t_1) \quad (20)$$

kde

$$z_{\text{TV}} \quad \text{poměrný koeficient ztráty pro soustavu přípravy TV} \quad [-]$$

$$\rho \quad \text{hustota vody} \quad [\text{kg/m}^3]$$

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

V_{TV}	objem teplé vody na osobu na den	$[m^3]$
n_{osob}	počet osob	$[-]$
t_2	požadovaná teplota vody po ohřevu	$[^{\circ}C]$
t_1	teplota přiváděné studené vody	$[^{\circ}C]$

Pro měsíce červenec a srpen se uvažuje se sníženou potřebou tepla o 25 % oproti normálnímu stavu. Vychází to z předpokladu nižší přítomností domácností z důvodu letních prázdnin, dovolené atd.

Objem teplé vody na osobu na den se pro teoretické výpočty uvažuje $0,035 m^3$. Jedná se o doporučenou hodnotu při navrhování. Pro výpočet se skutečnými hodnotami se vychází ze spotřeb daného objektu a skutečného obsazení bytů. Z těchto parametrů jsou k dispozici skutečné potřeby teplé vody na osobu.

Z výše zmíněných údajů vyplývá, že u výpočtu se skutečnými hodnotami představuje ztrátový součinitel z_{TV} ztráty celého systému pro přípravu TV, zahrnující v sobě ztráty cirkulace TV, účinnost kondenzačního kotle nebo ztráty rozvody. V případě, že výsledky skutečných spotřeb TV a výpočtů na základě skutečných údajů dosahují co největší shody, odpovídá poměrný koeficient ztrát pro přípravu TV systému v daném objektu. V ideálním případě bude dosahovat $z_{VYT} = 0 [-]$, což znamená, že v systému nedochází k žádným ztrátám. Pro větší systémy s cirkulací a nezateplenými rozvody bude tato hodnota stoupat. Takto je dále použit pro výpočty s teoretickými hodnotami.

3.8 Počet osob v bytovém domě

Skutečný počet osob v bytovém domě č. 1 vychází z údajů pro každoroční vyúčtování. Tento údaj se zakládá na reálném obsazení pro jednotlivé roky v tomto objektu.

Bytový dům č. 2 poskytl pouze údaje o velikosti podlahové plochy jednotlivých bytů. Dále jsou známy spotřeby TV a SV pro jednotlivé bytové jednotky za každý rok. Z těchto údajů se kvalifikovaným odhadem určil skutečný počet osob v bytech.

Pro bytový dům č. 3 jsou k dispozici pouze velikost podlahové plochy jednotlivých bytů a jejich dispozice. Teplá voda se připravuje lokálně v bytových jednotkách, tudíž není k dispozici žádný údaj pro odhad skutečného počtu osob v domě.

Pro teoretické výpočty se uvažuje teoretický počet osob, se kterým by mohlo být počítáno například při návrhu nového objektu na základě velikosti podlahové plochy nebo dispozice jednotlivých bytů.

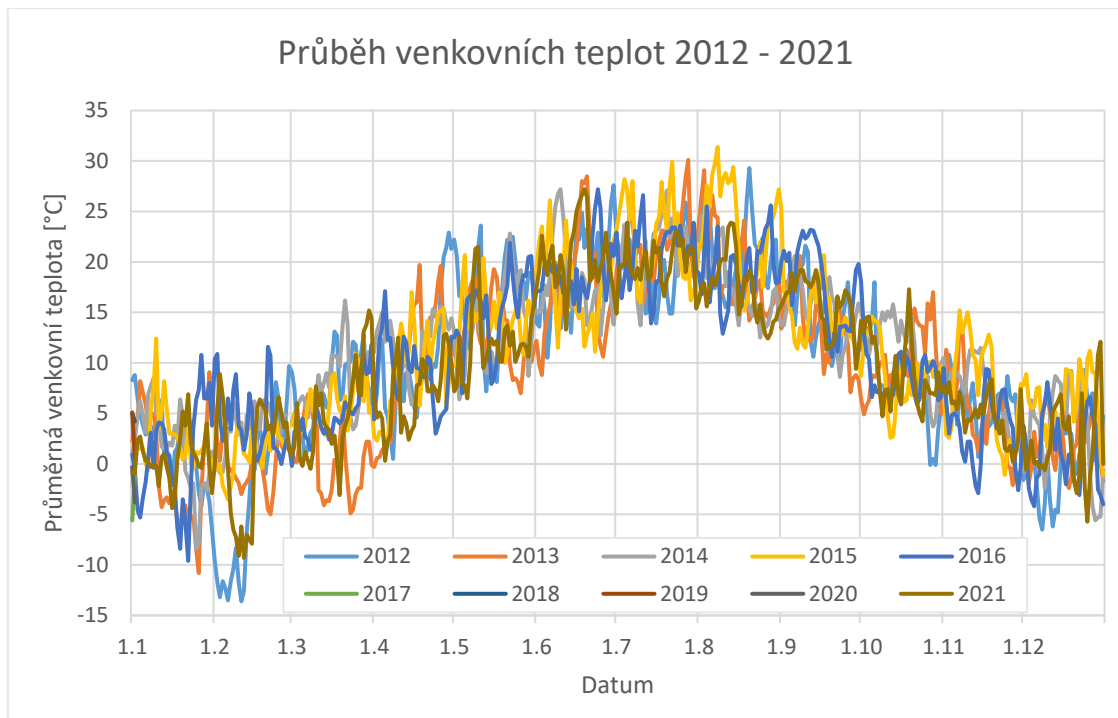
Teoretický počet osob se určil na základě následující tabulky vycházející z velikosti podlahové plochy.

Velikost podlahové plochy	Počet osob
$S_{\text{podl}} [\text{m}^2]$	$n_{\text{osob}} [-]$
(0; 35)	1
(35,1; 60)	2
(60,1; 85)	3
(85,1; 115)	4
(115,1; 200)	5

Tabulka 2: Teoretický počet osob v bytě

3.9 Skutečná venkovní teplota

U výpočtu se skutečnými hodnotami se počítá s průměrnými venkovními teplotami, které jsou z Českého hydrometeorologického ústavu. Jedná se o stanici Praha – Libuš z období 2012 až 2021.



Graf 1: Průběh venkovních teplot v období 2012–2021, Praha – Libuš

Rok	Průměrná roční teplota t_e [°C]
2012	10,08
2013	9,40
2014	11,07
2015	11,28
2016	10,41
2017	10,27
2018	11,39
2019	11,27
2020	10,92
2021	9,61

Tabulka 3: Průměrná venkovní teplota mezi roky 2012 a 2021

Průměrná roční teplota je za celý rok. Zajímavá je také průměrná roční teplota za otopné období, pro zjednodušení je uvažováno s obdobím od 1. září do 31. května.

Rok	Průměrná roční teplota za otopné období t_e [°C]
2012	6,88
2013	6,03
2014	8,43
2015	7,92
2016	7,30
2017	6,88
2018	8,06
2019	7,76
2020	7,98
2021	6,36

Tabulka 4: Průměrná venkovní teplota v otopné období mezi roky 2012 a 2021

4 Bilance pro bytový dům č. 1

Výsledky energetické bilance pro bytový dům č. 1 jsou z let 2012 až 2021. Výsledky vypočtené spotřeby tepla pro daný objekt jsou porovnávány s reálně spotřebovanými hodnotami.

4.1 Spotřeba tepla na vytápění

V objektu se dle vyúčtování za energie jednotlivých bytových jednotek vyskytoval počet obyvatel dle následující tabulky

Rok	Počet osob	Rok	Počet osob
	n_{osob} [-]		n_{osob} [-]
2012	40,79	2017	51,63
2013	46,92	2018	51,54
2014	47	2019	51,75
2015	50,03	2020	46,58
2016	51,21	2021	47

Tabulka 5: Skutečný počet obyvatel v bytovém domě č. 1

Byt č.	Podl. plocha	Počet osob	Byt č.	Podl. plocha	Počet osob
	S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$		S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$
1	25,8	1	15	51	2
2	41,1	2	16	50,8	2
3	87,5	4	17	94	4
4	87	4	18	95,2	4
5	40,4	2	19	51,2	2
6	94,7	4	20	51	2
7	51,2	2	21	94,3	4
8	51	2	22	79	3
9	97,2	4	23	43,6	2
10	94,9	4	24	43,9	2
11	51	2	25	78,5	3
12	51	2	26	24	1
13	93,5	4	27	34,5	1
14	95,1	4			
Celkem obyvatel					73

Tabulka 6: Teoretický počet obyvatel v bytovém domě č. 1

Na základě velikosti jednotlivých bytů byl určen teoretický počet osob v domě. Největší rozdíl je v roce 2012, kdy se jedná o rozdíl 33 obyvatel navíc oproti předpokladu. To představuje pouze 55 % osob v objektu. Nejvíce se hodnoty přibližují v roce 2019, kdy je rozdíl 21 osob, což je o 29 % obyvatel méně. Vzhledem k tomu, že se v domě nachází 27 bytů (z toho 2 nebytové prostory, uvažováno po 1 osobě), znamená to, že se i v bytech o větší podlahové ploše nachází nejspíše pouze 1 osoba. V praxi bude docházet k předimenzování objektu.

Na základě údajů z PENB o stavebních konstrukcích byl určen měrný tepelný tok prostupem. Uvažuje se vnitřní teplota v objektu 20 °C, venkovní výpočtová teplota pro Prahu -12 °C.

Konstrukce obálky budovy	A [m ²]	U [W/(m ² ·K)]	b [-]	H _T [W/K]
Obvodová stěna	833,97	1,6	1	1334
Střecha	321,82	0,56	1	180
Otvorová výplň	376,04	1,93	1	726
Konstr. u nevyt.	381,23	1,23	0,79	370
Terasa	62,23	1,01	1	63
Strop	7,43	1,06	1	8
Otvor. výplň do nevyt.	5,44	2,12	0,7	8
Tepelné vazby				198,8
Celkem				2888

Tabulka 7: Měrný tepelný tok prostupem – bytový dům č. 1

Měrný tepelný tok větráním není konstantní hodnota, ale jedná se o hodnotu záviselou na venkovní teplotě. Nejnižší hodnota pro H_{VE} je 99 W/K ze zimních měsíců roku 2012, naopak nejvyšší hodnota měrného tepelného toku větráním je z léta 2015 893 W/K. Rozdíl mezi měrným tepelným tokem jako konstantní hodnotou běžně počítanou na základě jednotné intenzity větrání a průměrným měrným tepelným tokem při predikování intenzity větrání na základě venkovní teploty je 10 %, konkrétně 595 W/K pro konstantní a 535 W/K při variabilní intenzitě větrání.

Dále byly do výpočtu zahrnuty vnější tepelné zisky, které jsou převzaty z PENB.

Měsíc	$Q_{H,sol}$ [MJ]	$Q_{H,sol}$ [kWh]
Leden	13 224	3673
Únor	20 515	5699
Březen	30 653	8515
Duben	39 705	11 029
Květen	46 262	12 851
Červen	44 396	12 332
Červenec	44 720	12 422
Srpen	44 534	12 371
Září	33 597	9332
Říjen	26 767	7435
Listopad	13 908	3863
Prosinec	9105	2529

Tabulka 8: Vnější tepelné zisky – bytový dům č. 1 (PENB)

Pro vypočet solárních zisků u objektu č. 2, se kterým tento dům sousedí, byl na základě znalosti výsledných zisků pro objekt č. 1 vytvořen model pro zisk vnějších zisků z objektu č. 2, neboť se uvažují velmi podobné vlastnosti obou objektů.

Výsledné vypočtené zisky pro bytový dům č. 1 jsou

Měsíc	$Q_{H,sol,vyp}$ [kWh]	$Q_{H,sol,PENB}$ [kWh]	odchylka [%]
Leden	4750	3673	29,3
Únor	5782	5699	1,5
Březen	8840	8515	3,8
Duben	10 716	11 029	-2,8
Květen	12 255	12 851	-4,6
Červen	11 839	12 332	-4,0
Červenec	11 940	12 422	-3,9
Srpen	11 706	12 371	-5,4
Září	10 007	9332	7,2
Říjen	7699	7435	3,5
Listopad	3757	3863	-2,8
Prosinec	2926	2529	15,7
Celkem	102 217	102 051	0,2

Tabulka 9: Vnější tepelné zisky – porovnání výpočetní model a PENB

V porovnání pro jednotlivé měsíce se liší především v zimních měsících. Opačný trend je v letních měsících, kde jsou zisky z PENB vyšší, přesto se rozdíl pohybuje do 5 %. Solární zisky dohromady za celý rok jsou si velmi podobné, odchylka je pouhých 0,2 %.

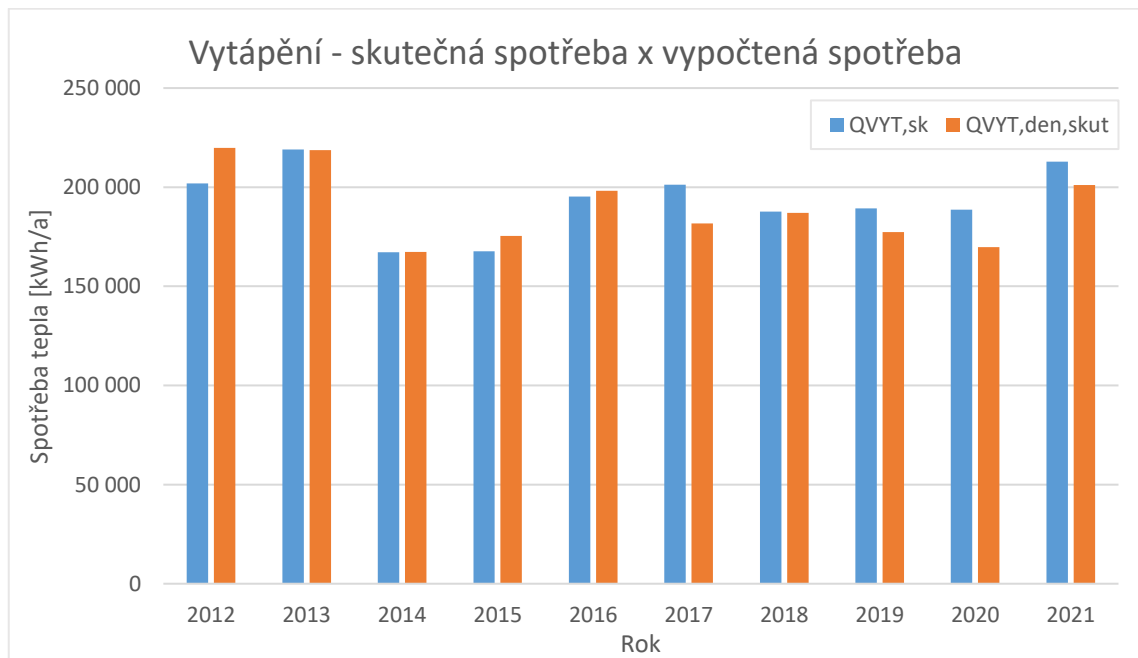
Následně byly zbilancovány vnitřní a vnější zisky s tepelnou ztrátou prostupem a větráním. U solárních zisků se navíc určil faktor využitelnosti solárních zisků pro vytápění. Z toho se získala nakonec celková potřeba tepla na vytápění. Pro měsíce červen, červenec a srpen se neuvažuje vytápění i v případě, že vychází velmi malá potřeba tepla. Takto jsme získaly redukovanou potřebu tepla na vytápění pro jednotlivé roky.

Jelikož se počítalo se skutečnými parametry, mohl se určit porovnáním ztrátový součinitel pro celou soustavu vytápění $z_{VYT} = 0,95$. Tímto se získala vypočtená spotřeba tepla na vytápění. V následující tabulce je znázorněna odchylka mezi skutečnou

spotřebou tepla na vytápění a spotřebou tepla vypočtenou pomocí denní metody na základě skutečných parametrů.

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	odchylka [%]
2012	201 944	219 839	-8,1
2013	218 944	218 674	0,1
2014	167 139	167 344	-0,1
2015	167 694	175 388	-4,4
2016	195 278	198 195	-1,5
2017	201 278	181 772	10,7
2018	187667	186 969	0,4
2019	189361	177 384	6,8
2020	188583	169 708	11,1
2021	212861	201 084	5,9

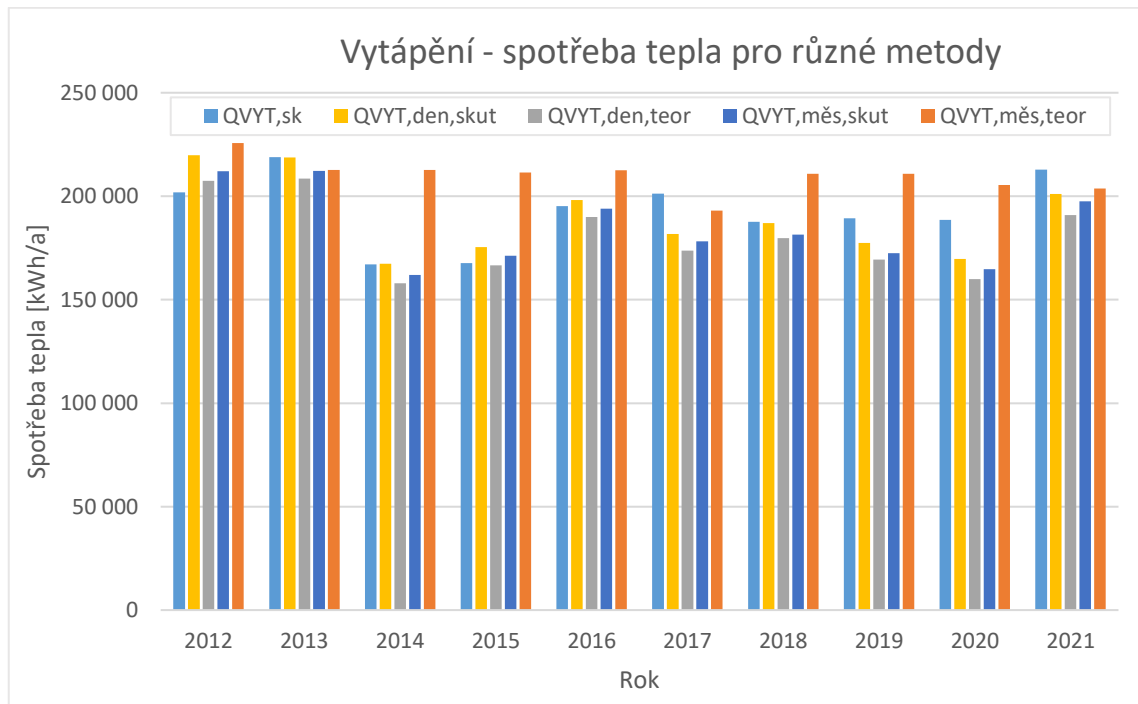
Tabulka 10: Porovnání skutečné spotřeby tepla a vypočtené potřeby tepla na vytápění



Graf 2: Porovnání skutečné spotřeby tepla na vytápění a vypočtené spotřeby tepla na vytápění

Dle výsledků z tabulky (Tabulka 8) a grafu (Graf 2) lze vidět, že rozdíly mezi výpočty a skutečnou spotřebou nejsou velké a pohybují se do 11 %. Cílem bylo

optimalizovat toto porovnání. V letech 2013, 2014 a 2018 dosahuje odchylka pouze do 1 %. Tento případ lze považovat za ideální variantu. Pouze v letech 2017 a 2021 bylo spotřebováno více než dle výpočtu s přesahem 10,7 % a 11,1 %. Také lze z výsledků vyzorovat trend, kdy mezi roky 2012 a 2016 byla větší spotřeba a poté od roku 2017 do 2021 tomu bylo naopak, tedy že spotřeba tepla výpočtem byla vyšší než dle naměřených hodnot spotřeby.



Graf 3: Porovnání spotřeb tepla na vytápění pro různé metody výpočtu

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,teor}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,teor}$ [kWh/a]
2012	201 944	219 839	207 418	212 037	225 643
2013	218 944	218 674	208 479	212 308	212 687
2014	167 139	167 344	157 929	161 899	212 656
2015	167 694	175 388	166 654	171 315	211 467
2016	195 278	198 195	189 970	193 922	212 514
2017	201 278	181 772	173 726	178 275	193 113
2018	187 667	186 969	179 695	181 512	210 876
2019	189 361	177 384	169 407	172 469	210 794
2020	188 583	169 708	159 909	164 725	205 385
2021	212 861	201 084	190 913	197 604	203 755

Tabulka 11: Porovnání spotřeb tepla pro různé metody výpočtu

Z výsledků porovnání jednotlivých metod výpočtu si lze všimnout, že v letech 2013, 2017 a 2021 dosahuje nejvyšších hodnot skutečná spotřeba. Pro ostatní roky vychází výpočet pomocí měsíčního kroku s teoretickými hodnotami jako nejvíce předimenzovaný. Určujícím parametrem v tomto případě může být venkovní teplota. Tyto roky jsou 3 ze 4 nejchladnějších ve zvoleném období. Obzvláště roky 2013 a 2021 měly průměrnou roční teplotu za otopné období 6,03 °C a 6,36 °C. Další roky, které měly průměrnou roční teplotu za otopné období pod 7 °C, jsou 2012 a 2017 se shodnou teplotou 6,88 °C. V roce 2012 ale všechny výpočtové metody dosahují vyšších hodnot. Zde hraje roli další parametr, kterým je počet osob v bytovém domě. V tomto roce se v domě nacházelo pouze necelých 41 obyvatel, což je nejméně za celé počítané období.

Nejnižší spotřeba tepla na vytápění pro víceméně všechny roky vychází z denní metody s teoretickým počtem osob. Vnitřní zisky od osob jsou vyšší, tudíž dochází k menší spotřebě tepla na vytápění. Rozdíl výpočtu se skutečnými údaji s denním nebo měsíčním krokem není velký, u měsíčního kroku vychází spotřeba cca o 2-3 % nižší než u denního kroku.

Z celkových výsledků je možné získat měrnou spotřebu tepla na vytápění, díky které lze výsledky porovnat s dalšími obytnými domy.

Rok	$E_{VYT,sk}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,teor}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,teor}$ [kWh/m ²]
2012	91,8	99,9	94,3	96,4	102,6
2013	99,5	99,4	94,8	96,5	96,7
2014	76,0	76,1	71,8	73,6	96,7
2015	76,2	79,7	75,8	77,9	96,1
2016	88,8	90,1	86,4	88,1	96,6
2017	91,5	82,6	79,0	81,0	87,8
2018	85,3	85,0	81,7	82,5	95,9
2019	86,1	80,6	77,0	78,4	95,8
2020	85,7	77,1	72,7	74,9	93,4
2021	96,8	91,4	86,8	89,8	92,6
Průměr za období	87,8	86,2	82,0	83,9	95,4

Tabulka 12: Porovnání měrných spotřeb tepla na vytápění

Měrné spotřeby tepla na vytápění se za jednotlivé roky pro různé metody výpočtu pohybují od 71,8 do 102,6 kWh/m². Průměrné hodnoty za období 2012-2021 jsou nejvyšší pro měsíční metodu s teoretickými hodnotami 95,4 kWh/m² a nejlépe vychází pro denní krok s teoretickými údaji 82 kWh/m². Z těchto hodnot je patrné, že se jedná o nezateplenou budovu s dřevěnými okny, a tudíž o nepříliš hospodárnou budovu.

Celkově je z výsledků spotřeb tepla na vytápění patrné, že velký vliv hraje venkovní teplota. Tudíž je velmi důležité počítat s hodnotami, které se blíží skutečným hodnotám či lépe, se skutečnými teplotami pro danou oblast. Dalším důležitým parametrem je počet osob v domě. Tento parametr ovšem nelze nijak ovlivnit a může se i v krátkém časovém období výrazně měnit. S osobami v domě je spojeno také chování obyvatel v bytě, což je další parametr, který nelze nijak ovlivnit při výpočtu. Každému vyhovuje jiná vnitřní teplota, a to může mít za následek například razantní zvýšení spotřeby tepla na vytápění pro daný rok.

Rozdíl mezi metodou denní a měsíční pro výpočet se skutečnými údaji není velký, ale u měsíční kroku jsou výsledky lehce poddimenzované.

4.2 Spotřeba tepla na přípravu teplé vody

Skutečný i teoretický počet osob v bytovém domě za jednotlivé roky je uveden v předchozí kapitole. Je známa také celková spotřeba vody za jednotlivé roky. Z těchto údajů lze vypočítat denní dávku TV na osobu.

Rok	TV celkem [m ³]	Počet osob [-]	TV osoba [m ³ /(osoba·den)]
2012	701	40,79	0,047
2013	777	46,92	0,045
2014	669	47	0,039
2015	695	50,03	0,038
2016	720	51,21	0,038
2017	711	51,63	0,038
2018	664	51,54	0,035
2019	660	51,75	0,035
2020	667	46,58	0,039
2021	632	47	0,037

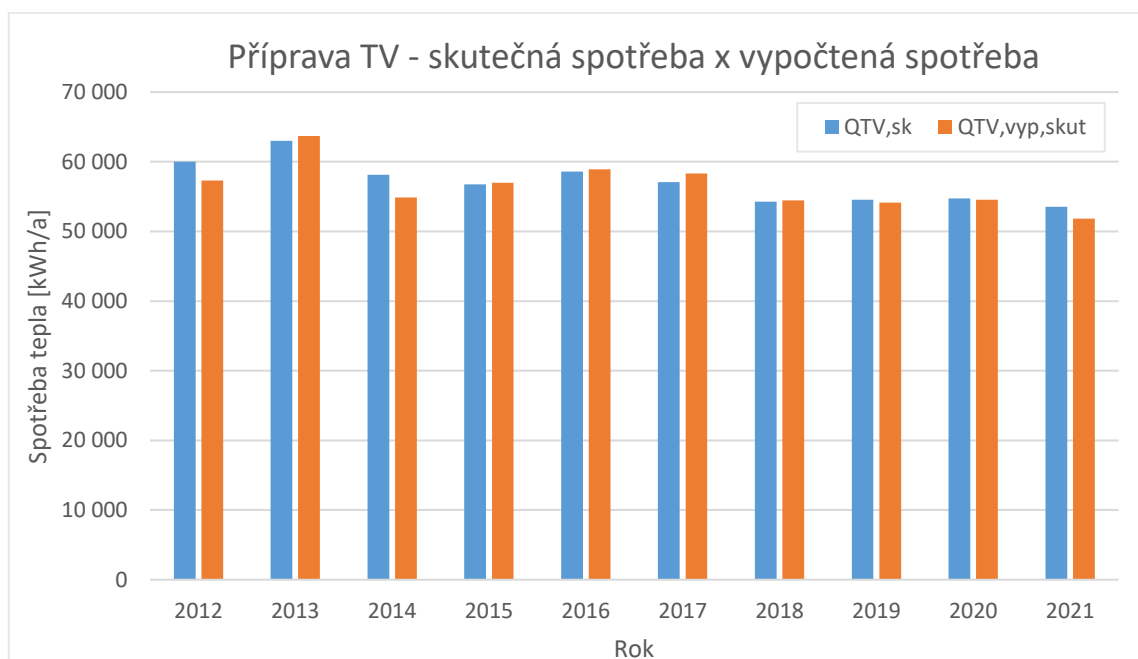
Tabulka 13: Potřeba TV na osobu mezi roky 2012 a 2021

Z výsledků si lze všimnout, že v letech 2012 a 2013 je zvýšená potřeba TV na osobu dosahující 47 a 45 l/os·den. Postupně ale potřeba TV na osobu klesá do roku 2019, až dosáhne hodnoty 35 l/os·den. Tato hodnota je dále uvažována i jako teoretická hodnota pro denní potřebu TV na osobu. Je tedy patrné, že tato hodnota odpovídá reálným výsledkům a vyskytuje se v domácnostech. V dalších dvou letech došlo k mírnému navýšení potřeby TV na osobu.

Ohřev teplé vody se uvažuje z teploty 10 °C na 55 °C. Porovnáním skutečných spotřeb a vypočtených spotřeb se skutečnými údaji s cílem dosažení maximální shody mezi těmito hodnotami se získá ztrátový součinitel pro celou soustavu přípravy TV i s cirkulací TV, která se v domě nachází $z_{TV} = 0,66$. Uvažuje se redukováná potřeba TV, což znamená, že pro červenec a srpen je potřeba snížena o 25 %.

Rok	$Q_{TV,sk}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,skut}$ [kWh/a]	odchylka [%]
2012	60 000	57 325	4,7
2013	63 000	63 715	-1,1
2014	58 139	54 859	6,0
2015	56 750	56 982	-0,4
2016	58 611	58 896	-0,5
2017	57 056	58 319	-2,2
2018	54 278	54 449	-0,3
2019	54 528	54 121	0,8
2020	54 750	54 545	0,4
2021	53 528	51 841	3,3

Tabulka 14: Porovnání skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby tepla na přípravu TV



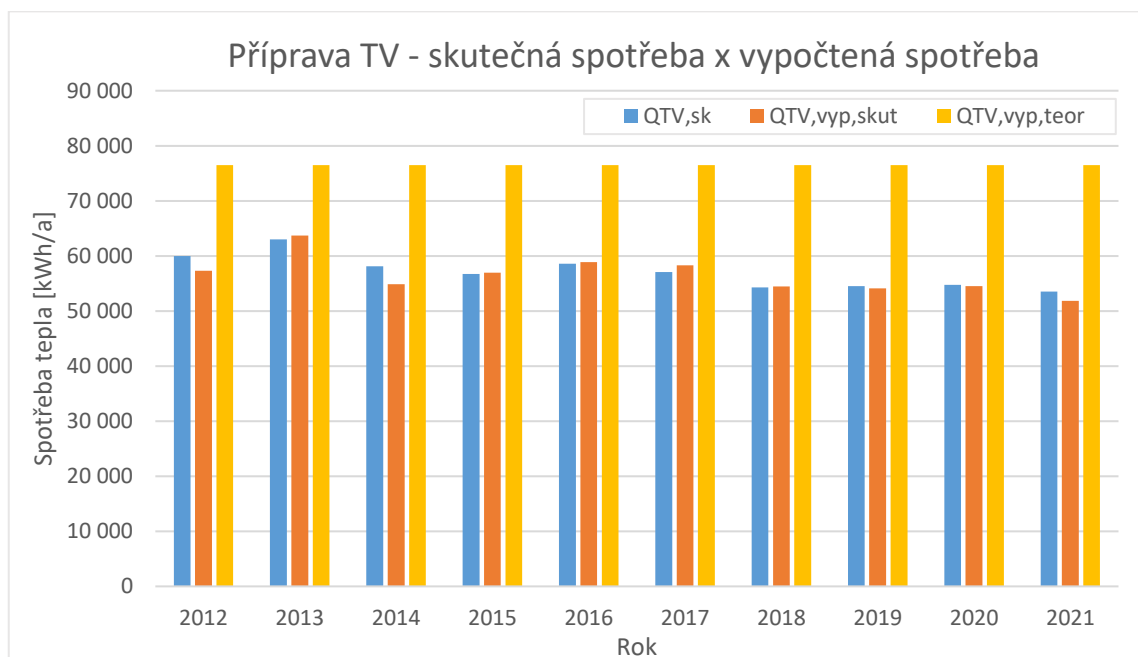
Graf 4: Porovnání skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby tepla na přípravu TV

Odchylka mezi skutečnou spotřebou a vypočtenou spotřebou tepla se pohybuje do 6 %. Zajímavé je také to, že u poloviny vypočtených hodnot je rozdíl pouze do 1 %. Z toho lze vyvodit, že výpočetní model dosahuje velké přesnosti se skutečnou spotřebou. Nejvyšší spotřebu tepla vykazuje rok 2013. Zde by se dala najít spojitost s tím, že se

jednalo o nejchladnější rok z uvažovaného období, avšak druhý nejchladnější rok 2021 dosahuje naopak nejnížší spotřeby tepla. Nejedná se ani o roky s nejvyšším nebo nejnížším počtem osob v domě. Z výsledků nelze vypozaorovat žádný trend, který by ukazovat závislost na počtu osob v domě či venkovní teplotě. Záviset bude nejspíše na chování obyvatel bytů, které ovšem nelze nijak predikovat.

Rok	$Q_{TV,sk}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,skut}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,teor}$ [kWh/a]
2012	60 000	57 325	76 472
2013	63 000	63 715	76 472
2014	58 139	54 859	76 472
2015	56 750	56 982	76 472
2016	58 611	58 896	76 472
2017	57 056	58 319	76 472
2018	54 278	54 449	76 472
2019	54 528	54 121	76 472
2020	54 750	54 545	76 472
2021	53 528	51 841	76 472

Tabulka 15: Porovnání spotřeb tepla na přípravu TV pro různé metody výpočtu

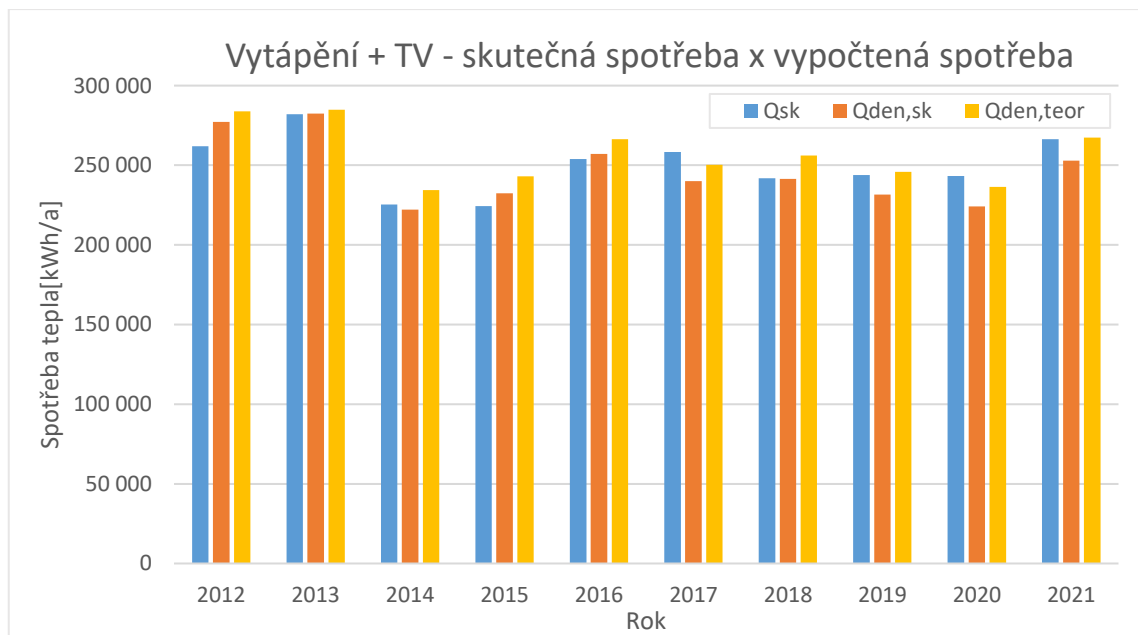


Graf 5: Porovnání spotřeb tepla na přípravu TV pro různé metody výpočtu

Porovnáním výsledků spotřeb tepla na přípravu TV se skutečnými parametry, skutečnou spotřebou a spotřebou tepla na přípravu TV s teoretickými údaji si lze všimnout, že teoretické výpočty jsou předimenzované. Hlavní činitel je zde počet osob v bytovém domě. Jelikož je uvažován stejný počet osob pro každý rok a stejné množství TV na osobu, vycházejí výsledky pro každý rok stejné. S klesající spotřebou v od roku 2018 do 2021 je teoretická spotřeba až o 40 % předimenzována. V roce 2021 dosahuje rozdíl dokonce 43 %.

4.3 Celková spotřeba tepla

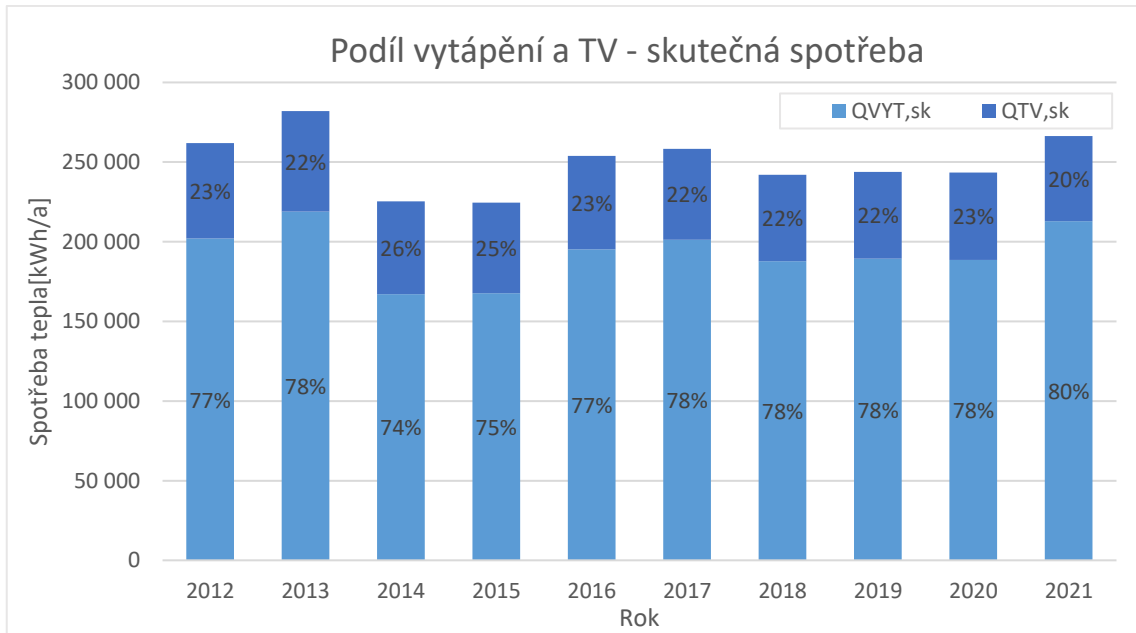
Celková spotřeba tepla je dána potřebou tepla na vytápění a přípravu TV.



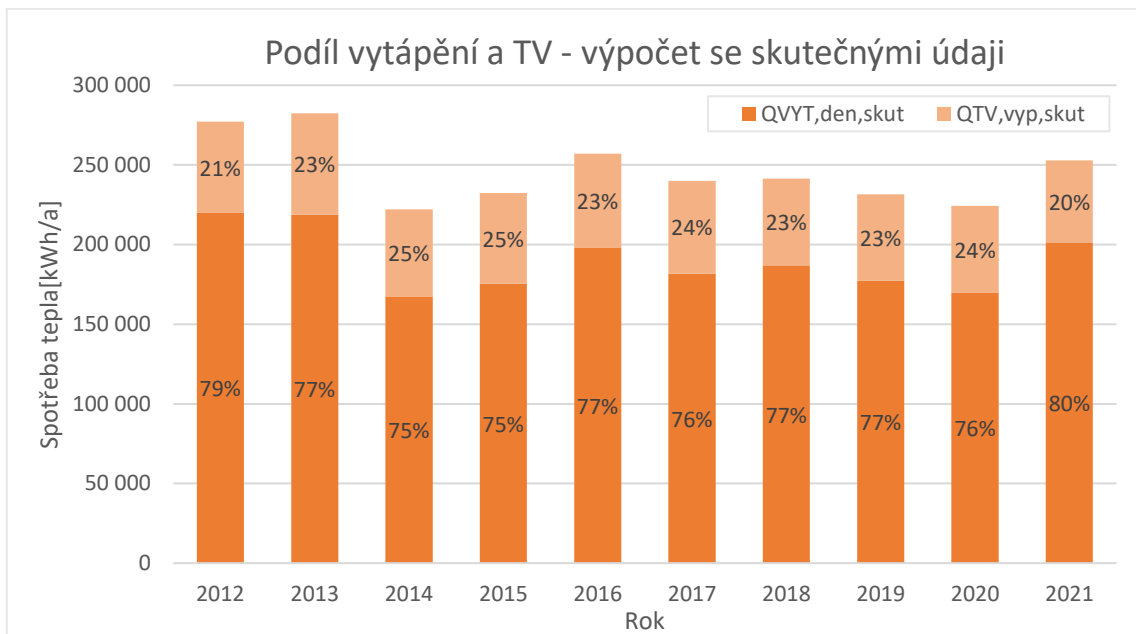
Graf 6: Porovnání celkové spotřeby tepla

Z výsledků je patrné, že mezi jednotlivými metodami pro celkovou potřebu tepla nejsou velké rozdíly. U potřeby tepla na vytápění dosahovala metoda s teoretickými údaji nejnižších hodnot a u přípravy TV byla naopak velmi předimenzovaná. Dohromady výsledky dosahují rozdílu do 8 %, které byly v roce 2012 a 2015. Ostatní roky dosahují rozdílu do 6 % s tím, že v roce 2017 a 2020 byla skutečná spotřeba vyšší. Pro variantu se

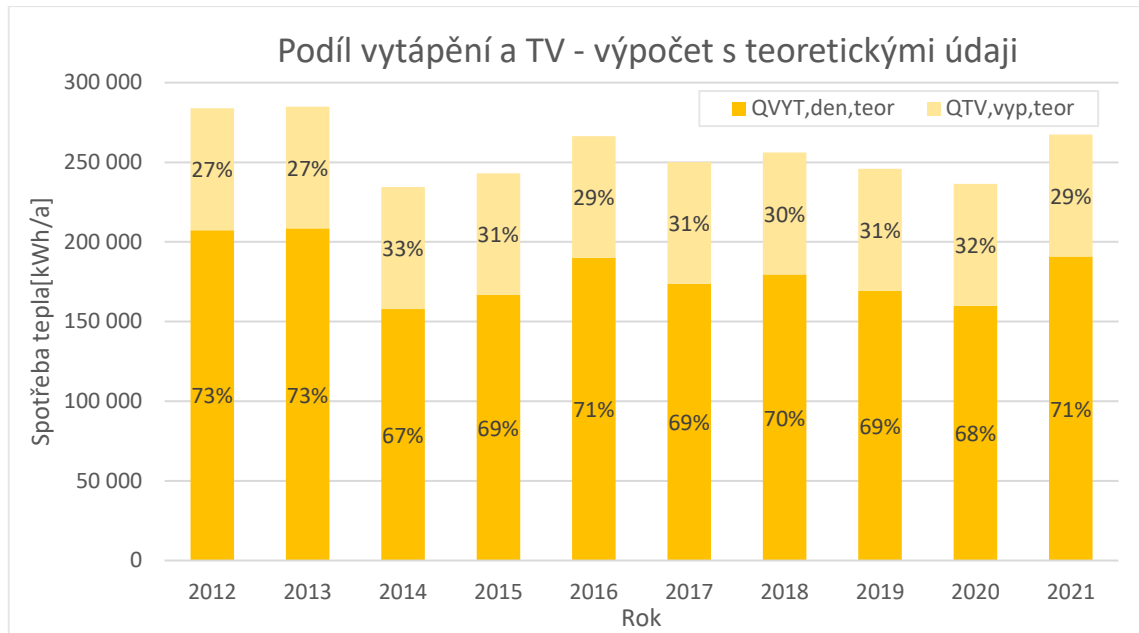
skutečnými údaji jsou výsledky velmi podobné. Rozdíly nepřesahují 8 % a pouze ve 4 letech byla celková vypočtená spotřeba vyšší než skutečná spotřeba.



Graf 7: Podíl vytápění a TV – skutečná spotřeba



Graf 8: Podíl vytápění a TV – výpočet se skutečnými údaji



Graf 9: Podíl vytápění a TV – výpočet s teoretickými údaji

Dle výše uvedených grafů je vidět, že vytápění má podíl na celkové spotřebě od 67 % do 80 %. Tento výsledek je dán především špatnými tepelně technickými vlastnostmi budovy. Objekt je nezateplen a nemá kvalitní okna, což má za následek vysokou spotřebu tepla na vytápění. Při skutečné spotřebě se podíl vytápění pohybuje od 74 % do 80 %, z čehož vyplývá, že příprava TV má podíl pouze čtvrtiny z celkové hodnoty.

Také si lze všimnout, že pokud je celková spotřeba tepla zvýšená oproti jiným rokům, je to dáno především vytápěním.

5 Bilance pro bytový dům č. 2

Pro bytový dům č. 2 jsou výsledky energetické bilance pro roky 2016 až 2021. Bohužel nebylo k dispozici tolik údajů pro výpočty jako v bytovém domě č. 1, ale pro některé případy se využilo podobnosti s objektem č. 1 a použil se výpočetní model pro získání parametrů pro bytovým dům č. 2.

5.1 Spotřeba tepla na vytápění

Pro objekt č. 2 nejsou k dispozici údaje o skutečném počtu osob v domě. Ten byl odhadnut na základě spotřeb teplé a studené vody z jednotlivých bytových a nebytových jednotek a je s ním počítáno jako se skutečným údajem o počtu osob v domě. Teoretický počet osob v bytovém domě byl stanoven na základě velikosti podlahové plochy bytů.

Rok	Počet osob
	$n_{\text{osob}} [-]$
2016	38
2017	38
2018	38
2019	38
2020	38
2021	38

Tabulka 16: Skutečný počet obyvatel v bytovém domě č. 2

Byt č.	Podl. plocha	Počet osob	Byt č.	Podl. plocha	Počet osob
	S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$		S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$
1	83,9	3	10	74,6	3
2	52,8	2	11	48	2
3	104	4	12	107,7	4
4	50,2	2	13	50,9	2
5	47,9	2	14	47,4	2
6	107,8	4	15	94,1	4
7	51,2	2	16	59,1	2
8	47,7	2	101	157,2	2
9	83,5	3	102	102,6	2
Celkem obyvatel					47

Tabulka 17: Teoretický počet obyvatel v bytovém domě č. 2

Celkově se v domě nachází 16 bytových jednotek a 2 nebytové jednotky, ve kterých se uvažuje po 2 osobách z důvodu větších podlahových ploch. Z údajů o počtu osob je patrné, že každý rok je rozdíl mezi skutečným a teoretickým počtem konstantní, konkrétně je rozdíl 9 osob. Tento rozdíl představuje o 24 % více obyvatel při teoretickém výpočtu.

Měrný tepelný tok prostupem byl vypočten na základě tepelně technických údajů o stavebních konstrukcích z PENB. Vnitřní výpočtová teplota v objektu se uvažuje 20 °C, venkovní výpočtová teplota pro Prahu -12 °C.

Konstrukce obálky budovy	A [m ²]	U [W/(m ² ·K)]	b [-]	H _T [W/K]
Okna	256,56	2,4	1	616
Dveře	20,91	5,65	1	118
Obvod. stěna 600 mm zem	34,02	1,05	0,43	15
Obvod. stěna 600 mm	665,61	1,05	1	699
Obvod. stěna 450 mm	159,43	1,3	1	207
Obvod. stěna 300 mm	58,33	1,72	1	100
Střecha 1	83,77	0,74	1	62
Střecha 2	243,61	0,65	1	158
Podlaha 1	285,66	1,63	0,44	205
Podlaha 2	15,88	1,63	1	26
Podlaha 3	21,25	3,03	0,17	11
Tepelné vazby				185
Celkem				2402

Tabulka 18: Měrný tepelný tok prostupem – bytový dům č. 2

Měrný tepelný tok větráním dosahuje nejnižší hodnoty 108 W/K v lednu 2016, 2017 a v únoru 2018. Naopak pro nejvyšší teploty z června 2019 je měrný tepelný tok 975 W/K. Toto jsou hraniční hodnoty dané maximální a minimální intenzitou větrání pro bytový dům č. 2. Konstantní hodnota měrného tepelného toku větráním je 595 W/K a průměr měrných tepelných toků za celé období je 535 W/K, což znamená hodnotu o 10 % nižší.

Vnější tepelné zisky pro tento objekt nejsou z PENB známy. Pomocí výpočetního modelu z budovy č. 1 pro solární zisky byly vypočteny vnější tepelné zisky na základě podobných tepelně technických vlastností a na základě velmi podobné obálky budovy, jelikož se jedná o sousedící budovy. Do modelu byly dosazeny hodnoty průsvitných ploch, u kterých je známa orientace ploch na světové strany. Solární zisky pro bytový dům č. 2 dosahují hodnot dle následující tabulky.

Měsíc	$Q_{H,sol}$ [MJ]	$Q_{H,sol}$ [kWh]
Leden	13 129	3647
Únor	16 837	4677
Březen	27 558	7655
Duben	35 256	9793
Květen	42 548	11 819
Červen	42 911	11 920
Červenec	41 022	11 395
Srpen	39 499	10 972
Září	32 013	8893
Říjen	22 571	6270
Listopad	10 339	2872
Prosinec	8163	2268

Tabulka 19: Vnější tepelné zisky – bytový dům č. 2 (výpočtový model)

Nejvyšší vnější tepelné zisky jsou z letních měsíců, konkrétně v červnu. Pro květen jsou zisky jen o 100 kWh nižší. Průsvitné plochy pro objekt č. 2 jsou z 42 % na jižní straně a z 42 % na východní. Zbylé průsvitné plochy jsou na sever a na západ.

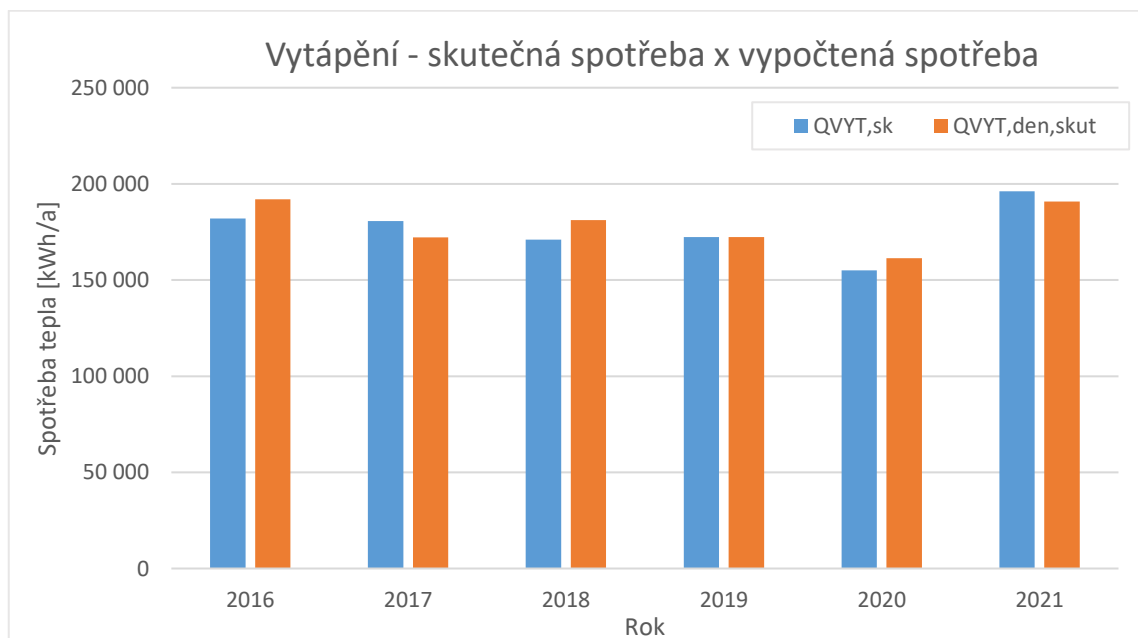
Solární zisky byly využity společně s vnitřními zisky pro bilancování potřeby tepla s tepelnou ztrátou objektu, v které je zahrnuta ztráta prostupem a větráním. Pracuje se

s redukovanou potřebou tepla, neboť v letních měsících (červen, červenec a srpen) se neuvažuje potřeba vytápění.

Porovnáním skutečné spotřeby tepla na vytápění a vypočtené spotřeby tepla na vytápění se skutečnými údaji se získal ztrátový součinitel pro soustavu vytápění. Ten byl získán nalezením minimální odchylky při porovnávání. Jedná se o důležitý parametr ukazující o kolik tepla navíc dodáváme při souhrnných účinnostech soustavy vytápění či ztrátami v rozvodech. Zde byl určen součinitel $z_{VYT} = 0,87$.

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	odchylka [%]
2016	181 997	191 919	-5,2
2017	180 682	172 144	5,0
2018	171 079	181 092	-5,5
2019	172 293	172 257	0,0
2020	155 008	161 283	-3,9
2021	196 217	190 782	2,8

Tabulka 20: Porovnání skutečné spotřeby tepla a vypočtené spotřeby tepla na vytápění



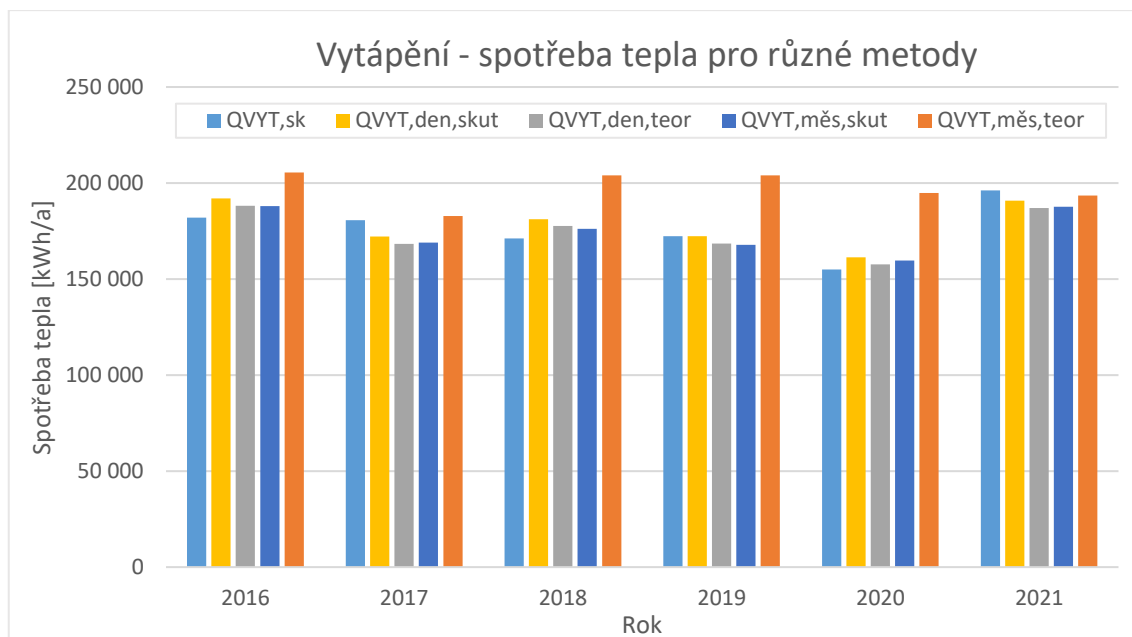
Graf 10: Porovnání skutečné spotřeby tepla na vytápění a vypočtené spotřeby tepla na vytápění

Odchylka mezi skutečnou a vypočtenou spotřebou tepla dosahuje nejvíce 5,5 % v roce 2018. V ostatních letech je rozdíl nižší a v roce 2019 se liší o 0 %. Nejnižší průměrná venkovní teplota za otopné období 6,36 °C byla v roce 2021, což odpovídá nejvyšší skutečné spotřebě. Také v roce 2017 byla průměrná venkovní teplota pod 7 °C a z výsledků je patrné, že spotřeba byla opět vyšší, než je dáno výpočtem. Naopak v letech 2018 a 2020 jsou potřeby výpočtem vyšší a jedná se o roky s průměrnou venkovní teplotou 8,06 °C, respektive 7,98 °C. Z výsledků je tedy možné říct, že pokud se jedná o chladnější rok, skutečná spotřeba lehce převyšuje spotřeba výpočtem se skutečnými hodnotami. Pokud se jedná o teplejší rok, situace je opačná.

Dále jsou porovnány všechny metody výpočtu.

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,teor}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,teor}$ [kWh/a]
2016	181 997	191 919	188 171	188 013	205 501
2017	180 682	172 144	168 398	169 033	182 897
2018	171 079	181 092	177 711	176 070	204 052
2019	172 293	172 257	168 507	167 828	204 052
2020	155 008	161 283	157 594	159 670	194 837
2021	196 217	190 782	186 907	187 659	193 448

Tabulka 21: Porovnání spotřeb tepla na vytápění pro různé metody výpočtu



Graf 11: Porovnání spotřeb tepla na vytápění pro různé metody výpočtu

Výpočet metodou měsíčního kroku s teoretickými údaji převyšuje ostatní metody pro všechny roky. Výjimkou je rok 2021, kdy skutečná spotřeba dosahuje nejvyšších hodnot. Jedná se o rok s nejnižší průměrnou venkovní teplotou za otopné období. Pro teplejší roky 2018 a 2020 jsou všechny výpočtové metody převyšující skutečnou spotřebu. Rozdíl mezi denní metodou se skutečnými údaji a skutečnou spotřebou, je pouze 0,5 % pro celé uvažované období 2016–2021. Denní metoda s teoretickými údaji či měsíční krok se skutečnými údaji mají shodně rozdíl 0,9 % za celé období. Měsíční metoda s teoretickými údaji se jeví jako předimenzovaná, neboť přesahuje skutečnou spotřebu o 12,1 %.

Skutečný počet osob zde nehraje žádnou roli jako tomu bylo u bytového domu č. 1, kde se každý rok měnil počet obyvatel objektu, protože zde se počítá s konstantní hodnotou pro všech 6 let.

Pokud bychom ovšem chtěli porovnat spotřebu tepla na vytápění s bytovým domem č. 1, můžeme to učinit na základě měrné spotřeby tepla na vytápění.

Rok	$E_{VYT,sk}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,teor}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,teor}$ [kWh/m ²]
2016	94,9	100,1	98,1	98,0	107,1
2017	94,2	89,8	87,8	88,1	95,4
2018	89,2	94,4	92,7	91,8	106,4
2019	89,8	89,8	87,9	87,5	106,4
2020	80,8	84,1	82,2	83,2	101,6
2021	102,3	99,5	97,4	97,8	100,9
Průměr za období	91,9	92,9	91,0	91,1	103,0

Tabulka 22: Porovnání měrných spotřeb tepla na vytápění

Měrné spotřeby tepla pro jednotlivé metody výpočtu a pro různé roky jsou od 82,2 do 107,1 kWh/m². Průměr za uvažované období je nejnižší pro metodu s denním krokem a teoretickými údaji s hodnotou 91 kWh/m². Pro měsíční metodu se skutečnými údaji je průměrný výsledek obdobný s měrnou potřebou tepla 91,1 kWh/m². Nejvyšší průměr je pro měsíční metodu s teoretickými údaji, což je dáno tím, že pro jednotlivé roky dosahuje nejvyšších spotřeb.

Pokud porovnáme výsledky objektu č. 2 s objektem č. 1, které jsou si velmi podobné a sousedí spolu, tak zde je měrná spotřeba tepla na vytápění zhruba u každé metody o necelých 10 % vyšší. To může být dáno také tím, že objekt č. 2 je rohový, má více prosklených ploch a také více vnějších konstrukcí. Objektu č. 1 pomáhá to, že sousedí ze dvou fasád s jinými objekty, tudíž nedochází k velkým tepelným ztrátám prostupem.

Spotřeba tepla na vytápění dosahuje vysokých hodnot, které jsou však dány nezateplením a starými okny.

Pro objekt č. 2 je z výsledků spotřeb tepla na vytápění vidět, že při porovnávání jednotlivých metod a také porovnáním se skutečnými spotřebami hraje roli venkovní teplota. Pokud se jedná o rok s vysokými venkovní teplotami, spotřeby nedosahují vysokých hodnot, což může být dáno tím, že osoby v domě nemají potřebu vytápět v jednotlivých bytech. Naopak při nízkých teplotách mají větší potřebu vytápět, i když už by mohla být teplota v bytě dostačující.

Rozdíly mezi výpočtovými metodami nejsou velké až na měsíční krok s použitím teoretických teplot. Využití aktuálních teplot se jeví jako důležité při návrhu.

5.2 Spotřeba tepla na přípravu teplé vody

Skutečný počet osob v domě byl určen kvalifikovaným odhadem na základě spotřeby teplé a studené vody v domě s přihlédnutím k velikosti podlahové plochy bytů. Pro jednotlivé byty je známa celková spotřeba za 6 let dle měřicích přístrojů.

Byt č.	TV [m ³]	Počet osob	TV [m ³ /(os·den)]	SV [m ³]	Počet osob	SV [m ³ /(os·den)]
1	30,8	1	0,014	84,3	1	0,038
2	40,8	1	0,019	87,4	1	0,040
3	424,2	6	0,032	658,8	6	0,050
4	118,3	2	0,027	134,2	2	0,031
5	58,3	1	0,027	96,5	1	0,044
6	281,9	4	0,032	610	4	0,070
7	67,5	1	0,031	154	1	0,070
8	58,8	1	0,027	104,9	1	0,048
9	244,8	4	0,028	246,2	3	0,037
10	80,3	1	0,037	117,9	1	0,054
11	168,0	3	0,026	211,6	3	0,032
12	83,7	2	0,019	195,55	3	0,030
13	32,6	1	0,015	60,1	1	0,027
14	250,5	4	0,029	261,2	3	0,040
15	44,2	1	0,020	441,9	4	0,050
16	30,0	1	0,014	132,08	2	0,030
101	72,9	1	0,033	205,1	2	0,047
102	40,9	1	0,019	100,4	1	0,046
Celkem TV		36	Celkem SV		40	

Tabulka 23: Potřeba TV a SV na osobu dle jednotlivých bytů

Pro TV bylo určeno 36 osob a podle SV 40 osob. Jako skutečná hodnota počtu osob je uvažováno 38 osob, což se nachází mezi těmito dvěma hodnotami.

Dále byla určena denní dávka teplé vody na osobu pro jednotlivé roky.

Rok	TV celkem [m ³]	Počet osob [-]	TV osoba [m ³ /(osoba·den)]
2016	391	38	0,028
2017	334	38	0,024
2018	315	38	0,023
2019	338	38	0,024
2020	373	38	0,027
2021	378	38	0,027

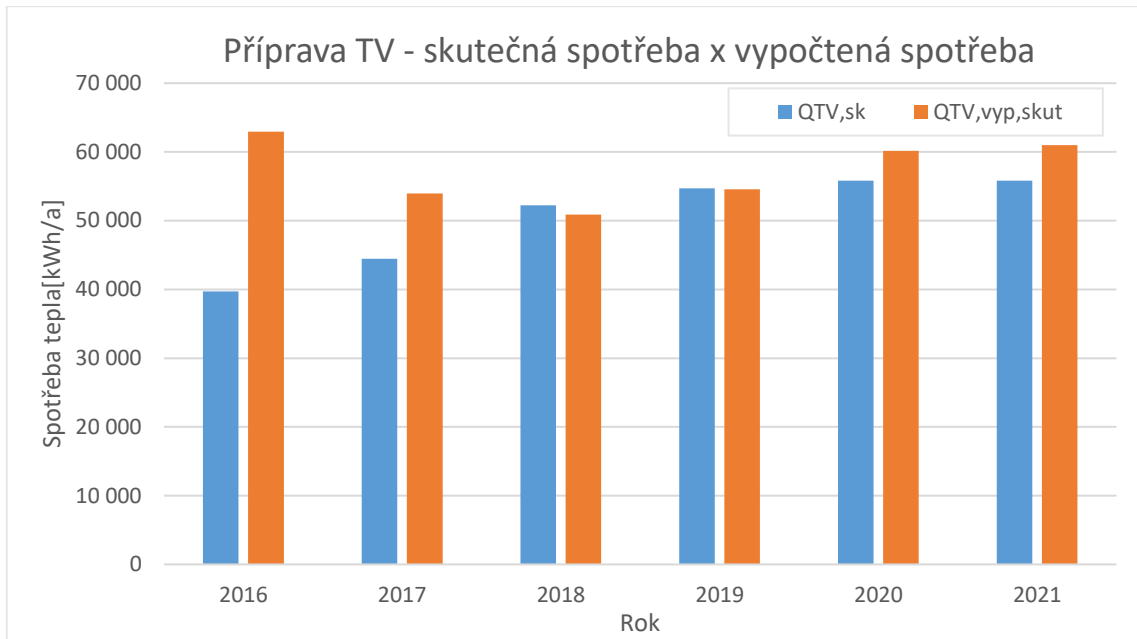
Tabulka 24: Potřeba TV na osobu mezi roky 2016 a 2021

Denní dávka teplé vody na osobu nepřesahuje 30 l. Nejvyšší potřeba TV na osobu je v roce 2016 28 litrů, naopak nejmenší dávku TV je dosaženo v roce 2018 s 23 litry na osobu. V žádném roce se dávka TV nepřiblížila hodnotě 0,035 m³, která je uvažována jako teoretická. Nižší potřeba TV může být dána například starší populací v domě, pro kterou jsou nižší hodnoty charakteristické.

Porovnáním skutečné spotřeby TV v domě a vypočtené potřeby tepla na přípravu TV se skutečnými údaji získáme ztrátový parametr z_{TV} , který je pro objekt č. 2 $z_{TV} = 2,27$. Uvažuje se redukováná potřeba TV, což znamená snížení o 25 % v červenci a srpnu.

Rok	$Q_{TV,sk}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,skut}$ [kWh/a]	odchylka [%]
2016	39 722	62 938	-36,9
2017	44 444	53 968	-17,6
2018	52 222	50 863	2,7
2019	54 722	54 578	0,3
2020	55 833	60 136	-7,2
2021	55 833	60 981	-8,4

Tabulka 25: Porovnání skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby tepla na přípravu TV



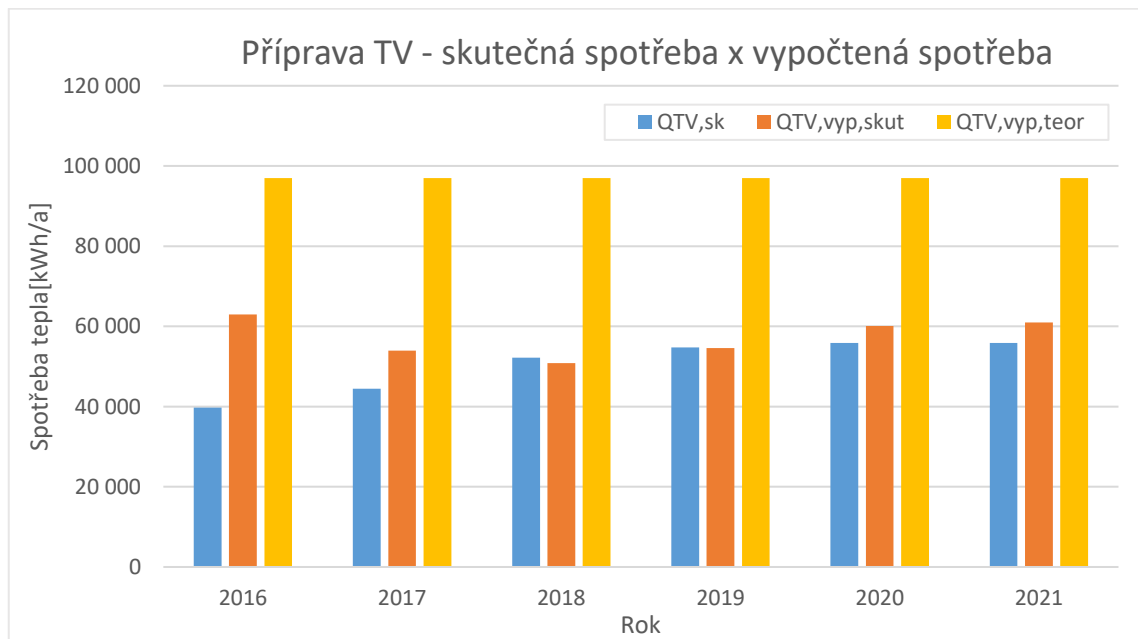
Graf 12: Porovnání skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby tepla na přípravu TV

Pro získání ztrátového součinitele nebylo uvažováno s roky 2016 a 2017. Tyto roky se značně odlišují od zbytku. V roce 2016 se spotřeba odlišuje o 27 % a v roce 2017 o 19 % oproti průměru z let 2018 až 2021. Pokud se odstraní tyto roky, skutečná spotřeba v uvažovaném období se od sebe liší maximálně o 7 % v letech 2018, 2020 a 2021. Při porovnávání s výpočtovou metodou se skutečnými údaji dosahovala odchylka maximálně 8,4 %. Naopak v roce 2019 se potřeba TV od skutečné spotřeby odchyluje pouze o 0,3 %.

Vysoký ztrátový součinitel pro soustavu TV znamená nejspíše kombinací více negativních vlivů. Například staré a dlouhé rozvody se špatnou nebo žádnou izolací, cirkulace po celý den či zbytečně v období, kdy není zapotřebí. Dále zde může hrát roli nízká účinnost kondenzačního kotle.

Rok	$Q_{TV,sk}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,skut}$ [kWh/a]	$Q_{TV,vyp,teor}$ [kWh/a]
2016	39 722	62 938	96 988
2017	44 444	53 968	96 988
2018	52 222	50 863	96 988
2019	54 722	54 578	96 988
2020	55 833	60 136	96 988
2021	55 833	60 981	96 988

Tabulka 26: Porovnání spotřeb tepla na přípravu TV pro různé metody výpočtu

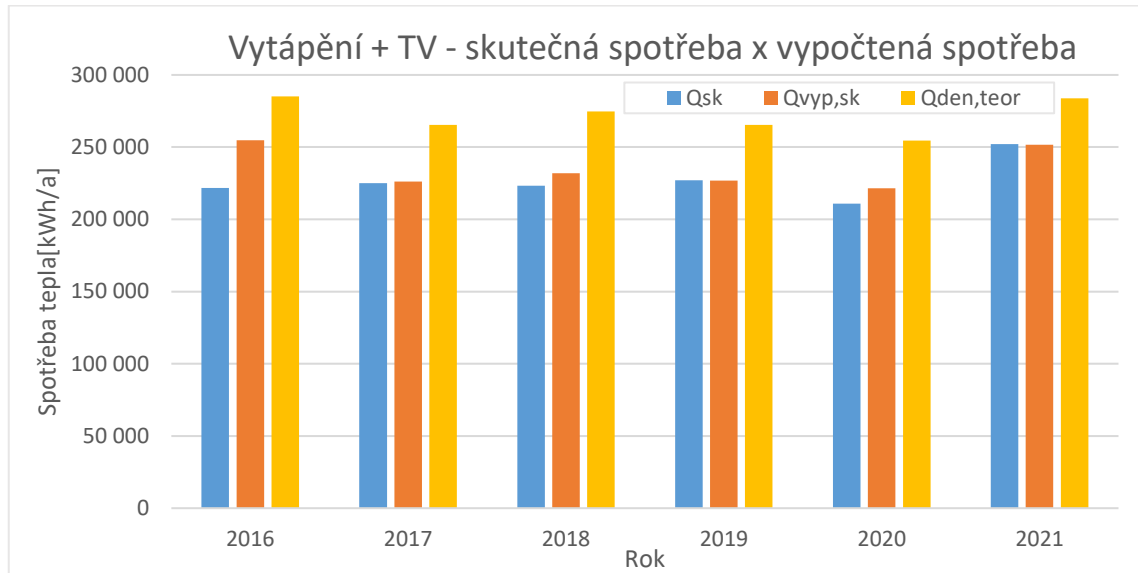


Graf 13: Porovnání spotřeb tepla na přípravu TV pro různé metody výpočtu

Vypočtená spotřeba TV s teoretickými údaji o počtu osob a denní dávce TV ukazuje velké předimenzování oproti skutečné spotřebě. Mezi roky 2018 a 2021 je výsledek o 74 až 86 % vyšší než skutečná spotřeba. V případě roků 2016 a 2017, které nebyly uvažovány pro získání ztrátového parametru z důvodu velkých výkyvů, se jedná dokonce o navýšení o 144 a 118 %. Takto značné předimenzování je dáno souhrou vysokého ztrátového součinitele, vyššího počtu osob a vyšší dávce teplé vody na osobu na den. Výsledek se v tomto případě značně odlišuje od skutečných spotřeb.

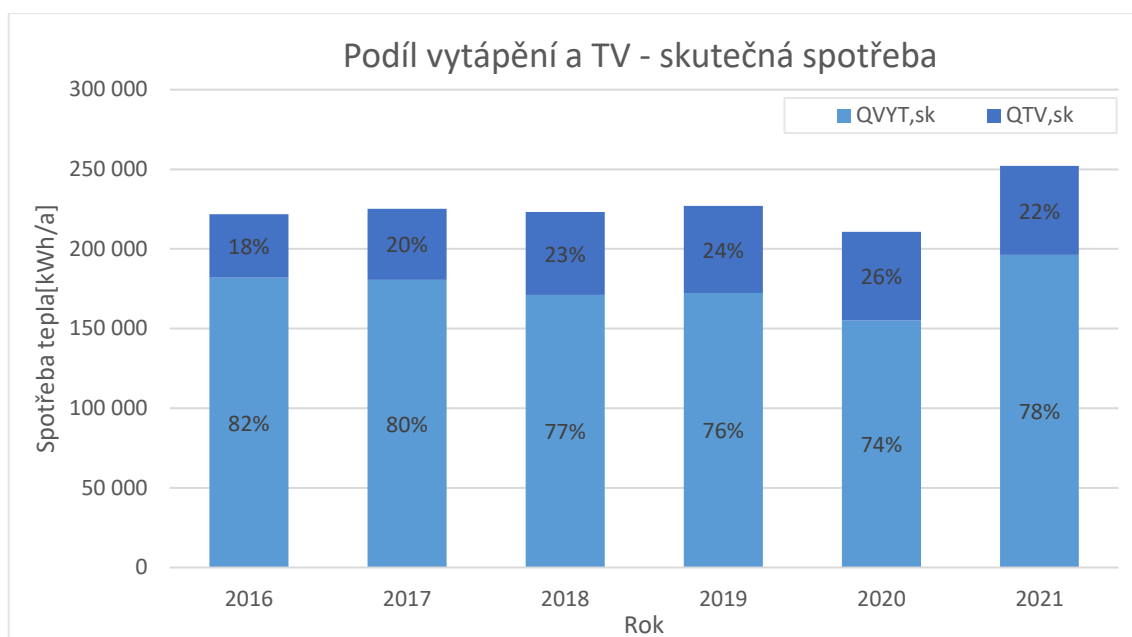
5.3 Celková spotřeba tepla

Celková spotřeba tepla dána vytápěním a přípravou teplé vody pro bytový dům č. 2 je rozdělena na skutečnou spotřebu, výpočet se skutečnými hodnotami a teoretickými hodnotami. Pro vytápění se uvažuje denní metoda.

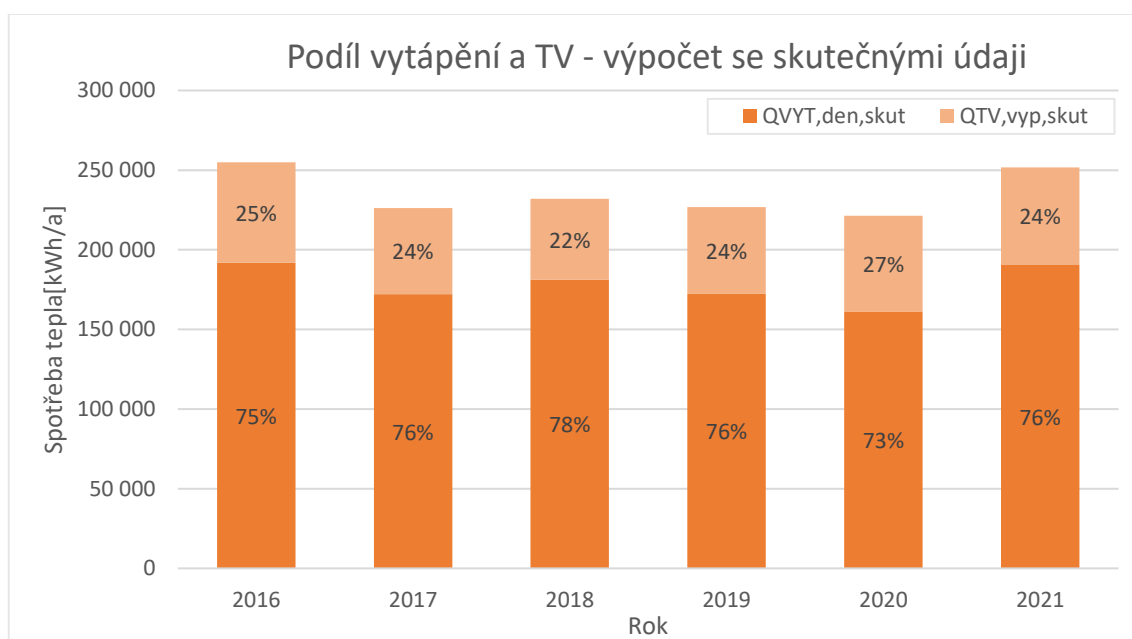


Graf 14: Porovnání celkové spotřeby tepla

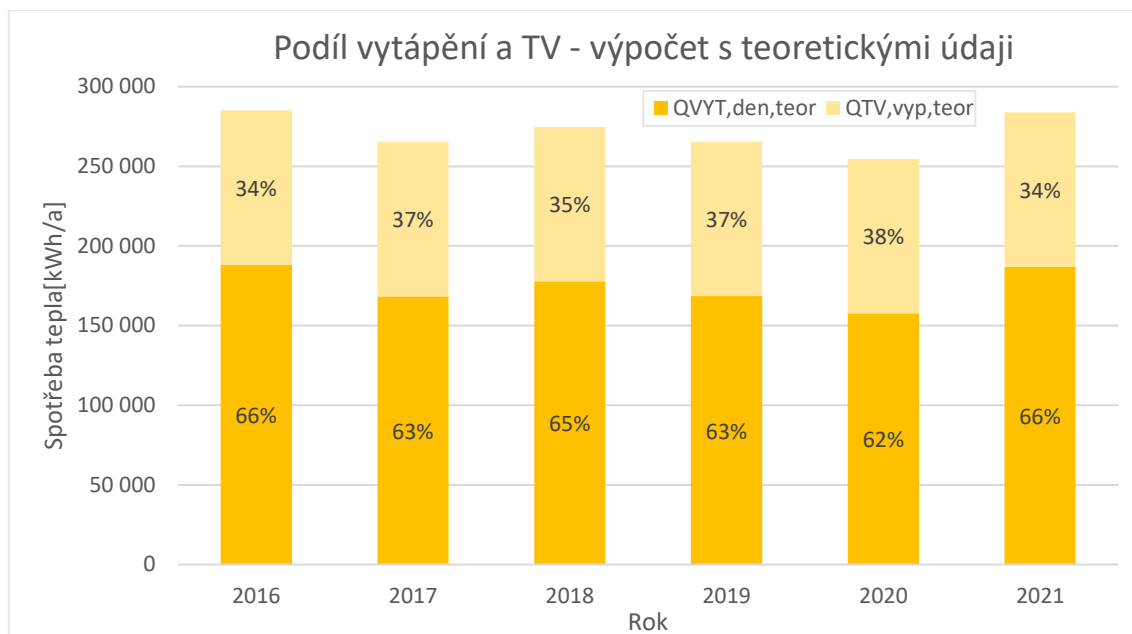
Z porovnání různých variant pro celkovou potřebu tepla lze říct, že výpočet s teoretickými hodnotami dosahuje nejvyšší spotřeby. V roce 2016 je to o 28,6 % více než byla skutečná spotřeba. Dále v letech 2018 a 2020 přes 20 % a pro zbylé roky to je mezi 12 a 18 %. Pokud skutečnou spotřebu porovnáme s výpočtem se skutečnými údaji tak se liší maximálně o 5 %, dokonce v roce 2019 je celková hodnota výpočtem nižší. Výjimku tvoří akorát rok 2016, kde je rozdíl 15 %. Pro roky 2017, 2019 a 2021 vychází spotřeba výpočtem nižší, než byla skutečná spotřeba. Jedná se o roky s nižší průměrnou teplotou v otopném období.



Graf 15: Podíl vytápění a TV – skutečná spotřeba



Graf 16: Podíl vytápění a TV – výpočet se skutečnými údaji



Graf 17: Podíl vytápění a TV – výpočet s teoretickými údaji

Podíl spotřeby tepla na přípravu TV z celkové spotřeby tepla se pro výsledky se skutečnými údaji či skutečnou spotřebou pohybuje mezi 18 a 27 %. Opět zde hraje významnou roli vytápění, což je dáno špatně tepelně technickými vlastnostmi objektu. U výpočtu s teoretickými údaji má příprava TV podíl zhruba 1/3 z celkové potřeby. Zde je to dáno předdimenzováním spotřeby tepla na přípravu TV.

6 Bilance pro bytový dům č. 3

U bytového domu č. 3 jsou k dispozici údaje z kotelny pro období 2014 až 2021. V tomto případě se počítá pouze s potřebou tepla na vytápění, neboť TV je zajišťována lokálně v jednotlivých bytových jednotkách a nejsou k dispozici žádné údaje.

6.1 Spotřeba tepla na vytápění

Informace o počtu osob v objektu č. 3 bohužel nejsou k dispozici. Teoretický počet osob v domě byl určen na základě velikosti jednotlivých bytových jednotek. Skutečný počet osob domě se odhadl na základě zkušenosti o obsazenosti z předchozích dvou objektů. Pro bytovým dům č. 1 byl skutečný počet osob v průměru 66 % z teoretického počtu osob. Pro bytový dům č. 2 se uvažovalo 81 % z teoretického počtu osob. Pro bytový dům se zvolila průměrná hodnota z těchto údajů, tedy 74 % z teoretického počtu osob. Jelikož na základě velikosti podlahových ploch bylo určeno celkem 124 osob v domě, jako skutečný počet se uvažuje 92 osob.

Rok	Počet osob
	$n_{\text{osob}} [-]$
2014	92
2015	92
2016	92
2017	92
2018	92
2019	92
2020	92
2021	92

Tabulka 27: Skutečný počet osob v bytovém domě č. 3

Byt č.	Podl. Plocha	Počet osob	Byt č.	Podl. plocha	Počet osob
	S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$		S_{podl}	$n_{\text{osob,teor}}$
1	62,5	3	21	70,7	3
2	68,3	3	22	83,3	3
3	85,6	4	23	95,7	4
4	112,2	4	24	80,1	3
5	79,4	3	25	91,9	4
6	49,6	2	26	106,6	4
7	78,5	3	27	83,0	3
8	80,0	3	28	57,0	2
9	49,1	2	29	95,5	4
10	83,7	3	30	80,1	3
11	79,7	3	31	91,6	4
12	49,7	2	32	106,7	4
13	84,2	3	33	83,2	3
14	93,5	4	34	57,1	2
15	65,0	3	35	95,9	4
16	33,8	1	36	80,2	3
17	37,5	2	37	91,7	4
18	94,9	4	38	105,8	4
19	94,0	4	39	83,3	3
20	37,6	2	40	57,3	2
Celkem obyvatel					124

Tabulka 28: Teoretický počet obyvatel v bytovém domě č. 3

Dál byl vypočten měrný tepelný tok prostupem stavebních konstrukcí objektů. Vnitřní výpočtová teplota pro dům se uvažuje 20 °C, venkovní výpočtová teplota pro Prahu -12 °C.

Konstrukce obálky budovy	A [m ²]	U [W/(m ² ·K)]	b [-]	H _T [W/K]
Stěna obvodová 1	1012,9	0,239	1	242
Stěna obvodová 2	309,4	0,249	1	77
Stěna obvodová 3	178,7	1,344	1	240
Stěna obvodová 4	172,1	0,734	1	126
Stěna obvodová 5	385,6	0,54	1	208
Stěna obvodová 6	20,1	0,368	1	7
Stěna vnitřní 1	1186,6	1,484	0,21	370
Stěna vnitřní 2	61,3	2,115	0,71	92
Stěna vnitřní 3	304,3	0,297	0,71	64
Stěna vnitřní 4	127,4	1,484	0,36	68
Střecha 1	620,6	0,43	0,47	125
Střecha 2	237,7	0,28	0,71	47
Střecha 3	293,5	0,347	1	102
Podlaha	1078,5	0,603	0,36	234
Okna 1	483,4	1,4	1	677
Okna 2	83	2,4	1	199
Okna 3	15,9	1,3	1	21
Celkem				2901

Tabulka 29: Měrný tepelný tok prostupem – bytovým dům č. 3

Bytový dům č. 3 je zateplen a osazen plastovými dvojitými okny. Pokud měrný tepelný tok prostupem porovnáme s domem č. 1, který má $H_T = 2\,888$ [W/K], lze si všimnout, jak důležité jsou vnější konstrukce. Plocha obvodové stěny v kontaktu s vnějším prostředím tvoří u objektu č. 3 o 149 % více, průsvitné plochy jsou o 55 % větší než u domu č. 1. Přestože jsou plochy vnější stavební konstrukce značně větší, rozdíl je pouhých 13 W/K.

Měrný tepelný tok větráním závisí na venkovní teplotě, tudíž pro nejchladnější dny dosahuje hodnoty 1001 W/K, což se jedná o leden 2016 a 2017 a únor roku 2018. Naopak nejvyšší hodnoty 3003 W/K při nejteplejších dnech bylo dosaženo v srpnu 2015 a červnu 2019. Při snaze predikování intenzity větrání podle venkovní teploty je průměrná hodnota měrného tepelného toku 1811 W/K a pro výpočet s konstantní hodnotou 0,3 1/h pro intenzitu větrání je měrný tepelný tok 2002 W/K, což činí rozdíl 10 %.

Vnější tepelné zisky byly vypočteny pro průsvitné konstrukce. Celková propustnost zasklení pro dvojitá okna je uvažována 0,75, podíl plochy rámu 0,3.

Měsíc	$Q_{H,sol}$ [MJ]	$Q_{H,sol}$ [kWh]
Leden	15 743	4373
Únor	23 371	6492
Březen	43 618	12 116
Duben	60 571	16 825
Květen	79 987	22 219
Červen	81 512	22 642
Červenec	78 649	21 847
Srpen	72 256	20 071
Září	51 977	14 438
Říjen	34 713	9643
Listopad	14 087	3913
Prosinec	10 258	2850

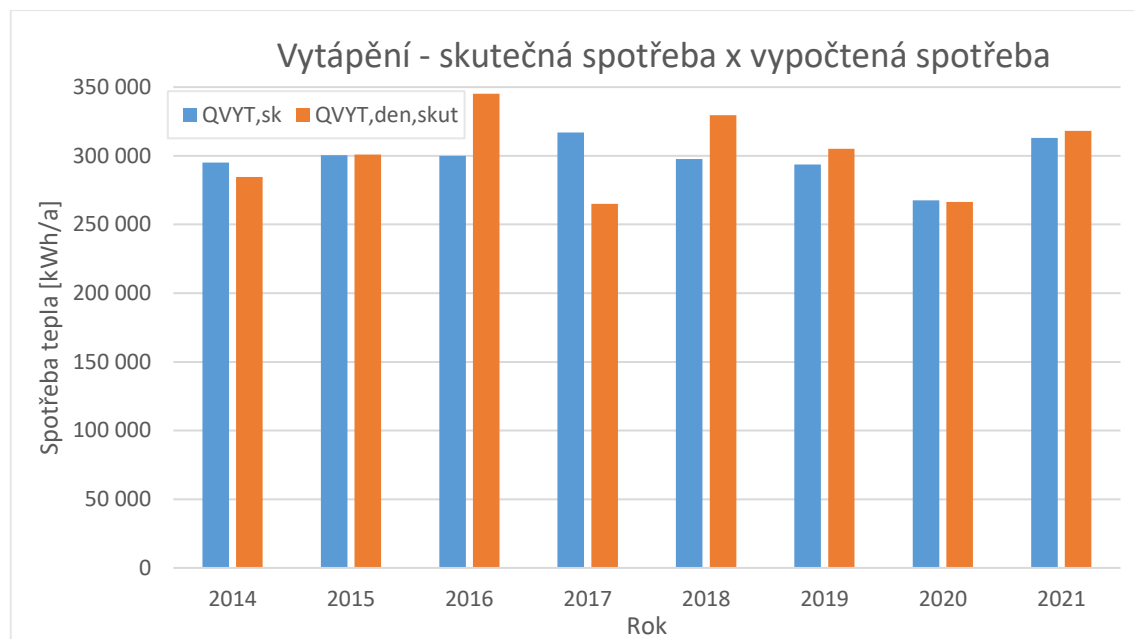
Tabulka 30: Vnější tepelné zisky – bytový dům č. 3

Objekt dosahuje nejvyšších zisků v letních měsících, konkrétně jsou solární zisky největší v červnu a poté v květnu o 423 kWh méně. Okna jsou orientovaná z 47 % na západ. Na východní fasádě se nachází 43 % zasklených ploch. Pouze 8 % je orientováno na jih a 1 % na sever. Zbylé průsvitné plochy se nachází na střeše.

Bilancováním tepelných ztrát a tepelných zisků objektů se získala potřeba tepla na vytápění. Je uvažována redukováná potřeba tepla na vytápění a pro červen, červenec a srpen se nepředpokládá potřeba tepla na vytápění.

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	odchylka [%]
2014	295 084	284 675	3,7
2015	300 348	300 955	-0,2
2016	299 989	345 210	-13,1
2017	316 922	264 940	19,6
2018	297 742	329 575	-9,7
2019	293 733	305 053	-3,7
2020	267 601	266 382	0,5
2021	312 924	318 194	-1,7

Tabulka 31: Porovnání skutečné spotřeby tepla a vypočtené spotřeby tepla na vytápění



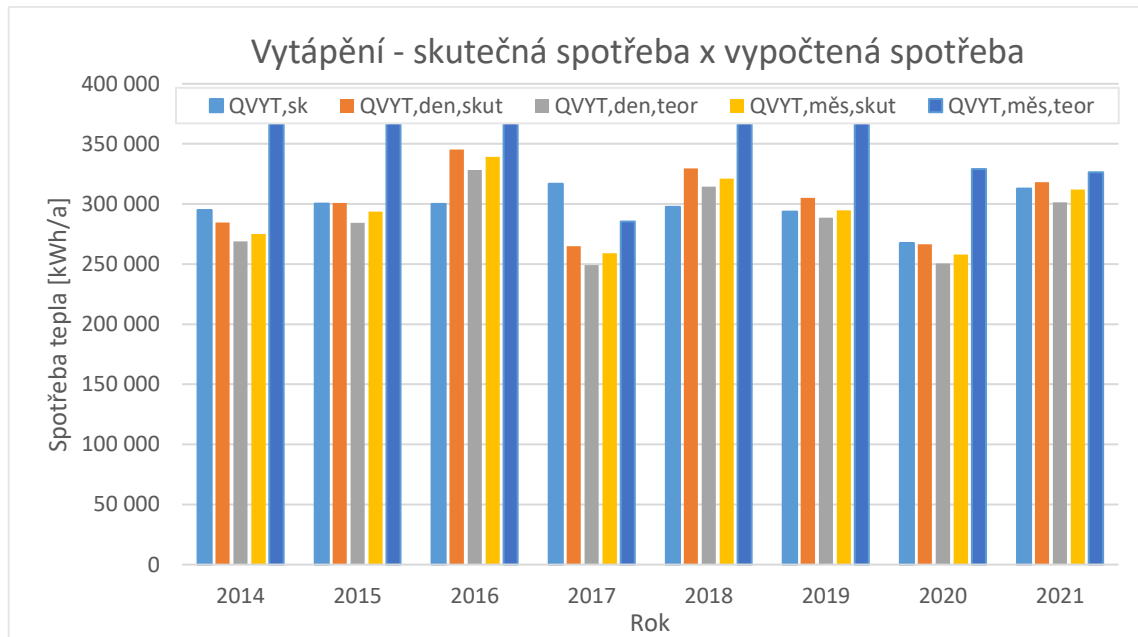
Graf 18: Porovnání skutečné spotřeby tepla a vypočtené spotřeby tepla na vytápění

Součinitel ztráty pro soustavu vytápění $z_{VYT} = 0,66$ byl získán porovnáním skutečné spotřeby a vypočtené spotřeby tepla se skutečnými údaji k dosažení co největší přesnosti mezi výsledky. Hodnota ztrátového parametru je v porovnání s ostatními domy značně nižší, což znamená, že v celé soustavě vytápění dochází k velkým ztrátám. To může výsledkem kombinací několika parametrů, například plynové kotle nebudou pracovat v kondenzačním režimu, ale otopná voda bude ohřívána na vysoké teploty, které budou neefektivní pro kondenzační kotle. Dále mohou být v kotelně nezateplené rozvody otopné soustavy. Jedná se o rozlehlý bytový dům, tudíž budou v objektu nejspíše dlouhé rozvody.

Odchylka mezi vypočtenou spotřebou a skutečnou spotřebou dosahuje maximálně 19,6 %. Kromě období mezi roky 2016 a 2018 vychází odchylka pod 4 %.

Rok	$Q_{VYT,sk}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,den,teor}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,skut}$ [kWh/a]	$Q_{VYT,měs,teor}$ [kWh/a]
2014	295 084	284 675	268 997	275 039	368 173
2015	300 348	300 955	284 250	293 700	368 173
2016	299 989	345 210	328 326	339 308	370 889
2017	316 922	264 940	249 220	259 105	285 340
2018	297 742	329 575	314 405	321 084	368 173
2019	293 733	305 053	288 647	294 816	368 173
2020	267 601	266 382	250 505	257 929	328 986
2021	312 924	318 194	301 341	312 027	326 514

Tabulka 32: Porovnání spotřeb tepla pro různé metody výpočtu



Tabulka 33: Porovnání spotřeb tepla pro různé metody výpočtu

Výsledky porovnávání ukazují, že mezi jednotlivými výpočtovými metodami mohou být značné rozdíly. Největší vliv na tom má nízká hodnota ztrátového součinitele, a tudíž je zapotřebí dodat velké množství tepla, které se však ztratí v celém systému vytápění. Nejvíce vyrovnaných výsledků je dosaženo v letech 2017 a 2021, což jsou roky s nejnižšími průměrnými venkovními teplotami za otopné období. V roce 2017 ale skutečná spotřeba převyšuje všechny výpočtové metod. Naopak nejteplejší rok 2014

s teplotou 8,43 °C ukazuje velké rozdíly mezi metodami, například rozdíl mezi výpočtem s denním krokem a teoretickými údaji a měsíčním s teoretickými teplotami je 43 %.

Pokud bychom brali rozdíl mezi skutečnou spotřebou a jednotlivými metodami za 8 let uvažovaného období, tak pro výpočet se skutečnými údaji a denním či měsíčním krokem je 1 %.

Rok	$E_{VYT,sk}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,den,teor}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,skut}$ [kWh/m ²]	$E_{VYT,měs,teor}$ [kWh/m ²]
2014	67,0	64,6	61,1	62,4	83,6
2015	68,2	68,3	64,5	66,7	83,6
2016	68,1	78,4	74,5	77,0	84,2
2017	72,0	60,2	56,6	58,8	64,8
2018	67,6	74,8	71,4	72,9	83,6
2019	66,7	69,3	65,5	66,9	83,6
2020	60,8	60,5	56,9	58,6	74,7
2021	71,0	72,2	68,4	70,8	74,1
Průměr za období	67,7	68,5	64,9	66,8	79,0

Tabulka 34: Porovnání měrných spotřeb tepla na vytápění

Měrná spotřeba tepla vychází pro jednotlivé roky mezi 56,6 a 84,2 kWh/m². Jedná se celkově o nižší hodnoty, než tomu bylo u předchozích dvou objektů. U skutečné spotřeby či výpočtu se skutečnými hodnotami se měrná spotřeba tepla pohybuje okolo 68 kWh/m², což by se podle PENB vešlo do hranice B – velmi úsporná. Ovšem tato hodnota by mohla být ještě nižší, neboť díky zateplení a plastovým dvojitým oknům, jsou vnější konstrukce vyhovující. Problém, který navyšuje měrnou spotřebu tepla i celkovou spotřebu tepla je v účinnosti systému vytápění. V tomto bodě je značný potenciál pro snížení spotřeby tepla, což vede k peněžním úsporám.

7 Studie proveditelnosti pro alternativní zdroje

V další části práce jsou navrženy změny týkající se využití alternativních zdrojů energie. Jedná se o použití tepelného čerpadla jako zdroje tepla, zpětné získávání tepla z odpadní vody či nucené větrání se zpětným získáváním tepla.

Před navržením tepelného čerpadla je vhodné snížit tepelnou ztrátu objektu, proto se uvažuje zateplení obvodových stěn objektu a výměna oken za plastová s dvojsklem. Tento předpoklad je velmi důležitý a využití tepelných čerpadel pro starý nezateplený objekt s velkou tepelnou ztrátou nedává příliš smysl. Zateplení se uvažuje u bytového domu č. 1 a č. 2. pomocí pěnového polystyrenu Styrotrade EPS 150S o tloušťce 150 mm. Výrobce udává součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$. Státní fond životního prostředí ČR nabízí dotační program Nová zelená úsporám pro bytové domy, ve kterém se nachází oblast zateplení. V rámci této oblasti se dá využít za splnění určitých podmínek podpora až 900 Kč/m^2 pro opatření základ, což je základní běžné zateplení bytového domu a také až $3\,000 \text{ Kč/m}^2$ na výplně otvorů. Celková výše podpory nesmí přesahovat 50 % z celkových realizačních nákladů.

Tepelné čerpadlo využívá nízko potenciální teplo k vytápění a přípravě TV. Pro všechny tři varianty se uvažují kombinace dvou tepelných čerpadel vzduch-voda v kombinaci s plynovým kondenzačním kotlem, který slouží jako stávající zdroj tepla. Venkovní jednotka tepelného čerpadla bude nasávat vzduch z vnějšího prostředí a vnitřní jednotka bude umístěna v kotelně. Dále budou v kotelně dva zásobníky teplé vody a akumulací zásobník. Efektivní fungování tepelného čerpadla je založeno na nižších výstupních teplotách otopné vody, tudíž pro vytápění bude nastavena dle ekvitemní křivky maximální teplota $55 \text{ }^\circ\text{C}$, což odpovídá venkovní teplotě $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokud je potřeba vyšší teplota pro otopnou soustavu, použije se plynový kotel jako špičkový zdroj tepla pro vytápění. Využití tepelného čerpadla při nižších venkovních teplotách není vhodné. U přípravy teplé vody jsou tepelná čerpadla využita k předehřevu teplé vody. Jeden zásobník teplé vody je předehříván tepelným čerpadlem na $45 \text{ }^\circ\text{C}$ a poté druhý zásobník TV kondenzačním kotlem dohříván na $55 \text{ }^\circ\text{C}$. U doplnění zdroje tepelnými čerpadly nelze čerpat z dotačního programu, jelikož se nejedná o výměnu za zdroj kotle na pevná paliva, kotle na topný olej, lokální topidla na pevná paliva či elektrické vytápění.

Zpětné získávání tepla z odpadní vody je využito pomocí sprchového výměníku. Rekuperace odpadní šedé vody, která by jinak pokračovala do kanalizace, se dá využít

pro předeřev studené vody ke snížení potřeby tepla na přípravu TV. Jedná se o výměník tepla, kde proudí odpadní voda s tepelným potenciálem jedním směrem a protiproudem studená voda, která se postupně ohřívá skrze výměník a odebírá teplo odpadní vodě. Sprchový výměník se uvažuje jeden do každé koupelny v bytě. Jedná se o výměník SAKAL NELA s účinností ZZT dle výrobce 40,5 %. Pro ZZT z odpadní vody nelze čerpat podporu z dotačního programu Nová zelená úsporám, neboť podpora se vztahuje pouze na centrální systém využití tepla z odpadní vody.

Další alternativní zdroj sloužící ke snížení potřeby tepla je vzduchotechnické zařízení se zpětným získáváním tepla. K dosažení nižší tepelné ztráty objektu se využije větrací jednotka se zpětným získáváním tepla, která zajistí nucené větrání celého bytového domu, tudíž nebude zapotřebí větrat přirozeně okny, což zvyšuje potřebu tepla na vytápění. Jako větrací jednotka byla vybrána Atrea Duplex Flexi s výkonovými variantami 1600, 2600 a 3600. Pro větrání se uvažuje s potřebou čerstvého vzduchu ve výši 30 m³/h na osobu. Navržením pro konstantní intenzitu větrání 0,3 h⁻¹ například pro objekt č. 2 by mohlo dojít k předimenzování, jelikož se jedná o větší dům s malým počtem osob. Dále je zapotřebí v domě vybudovat systém rozvodů vzduchotechniky a potrubí rozvést do jednotlivých bytových jednotek. Náklady na veškeré potrubí, materiály a práce byly odhadnuty na základě on-line kalkulačky od firmy ThermWet, která na svých internetových stránkách nabízí dle podlahové plochy, zvolených rozvodů a dalších parametru výpočet celkové ceny. Pro výpočet se uvažují dvě ceny, jedna o málo vyšší než dle kalkulačky a druhá s 50 až 100% navýšením s ohledem na prudký růst cen materiálů v poslední době. Pro tento zdroj je možné využít podporu dle programu Nová zelená úsporám. Pro centrální systém větrání se ZZT lze získat 35 000 Kč na bytovou jednotku.

Ceny elektrické energie pro ekonomickou analýzu jsou s platností od 1.7.2022 z ceníku ČEZ dle smlouvy na 2 roky. Ceny plynu jsou z ceníku platném od 1.6.2022 s odběrem od Pražské plynárenské. Jelikož se nyní ceny energií kvůli geopolitickým jevům razantně navyšují, je pro vyčíslení finanční návratnosti počítáno s konzervativnějším ročním zvyšováním cen o 3 % a s progresivnějším zvyšováním o 10 % ročně.

Výpočty pro alternativní zdroje energie a jejich návratnost se počítají pro rok 2016. Jedná se o průměrný rok, co se týče teplot, v rámci sledovaného období 2012-2021. Počítá se každý návrh zvlášť a poté všechny úpravy dohromady.

7.1 Alternativní zdroje – bytový dům č. 1

7.1.1 Zateplení a tepelné čerpadlo

Pro bytový dům č. 1 se uvažuje zateplení obvodových stěn pěnovým polystyrenem o tloušťce 150 mm. Další stavební úpravou je výměna dřevěných oken za plastová s dvojsklem. Díky těmto úpravám se podařilo snížit tepelnou ztrátu objektu ze 110 kW na 64 kW. Touto úpravou se také sníží spotřeba tepla na vytápění ze 188 286 kWh/a na 75 619 kWh/a. U pořizovacích nákladů na zateplení je počítáno s 20 % navíc k ceně s ohledem na potřebné doplňky k zateplení. Ceny byly vypočteny přepočtem na 1 m², proto se uvažuje s tímto přídatkem. Dále je možné čerpat dotace z programu Nová zelená úsporám.

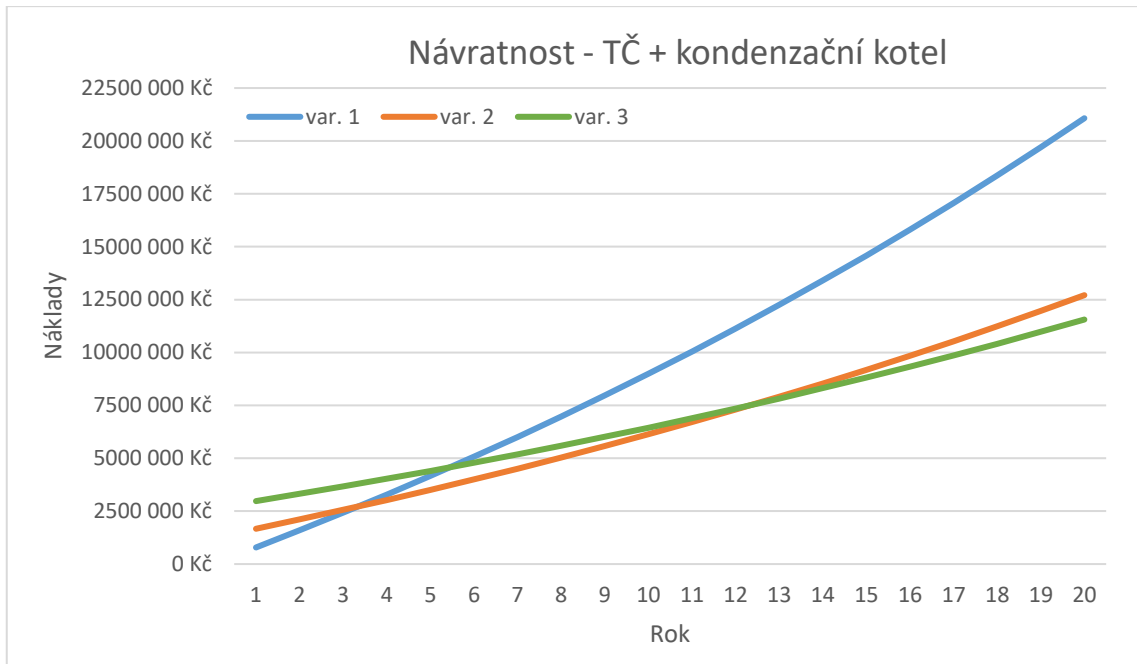
Pro systém vytápění a přípravu TV se uvažuje kombinace dvou TČ Bosch Compress 5000AW 22 O s plynovým kotlem, který už je umístěn v kotelně a bude sloužit jako špičkový zdroj tepla. K tepelnému čerpadlu je pro vytápění také akumulární zásobník Bosch BP 500. Dále zásobník TV pro tepelné čerpadlo Bosch WP 700 a druhý zásobník Buderus Logalux SU750.5.

Cenové investice či příjmy z dotačních programu jsou dány následovně

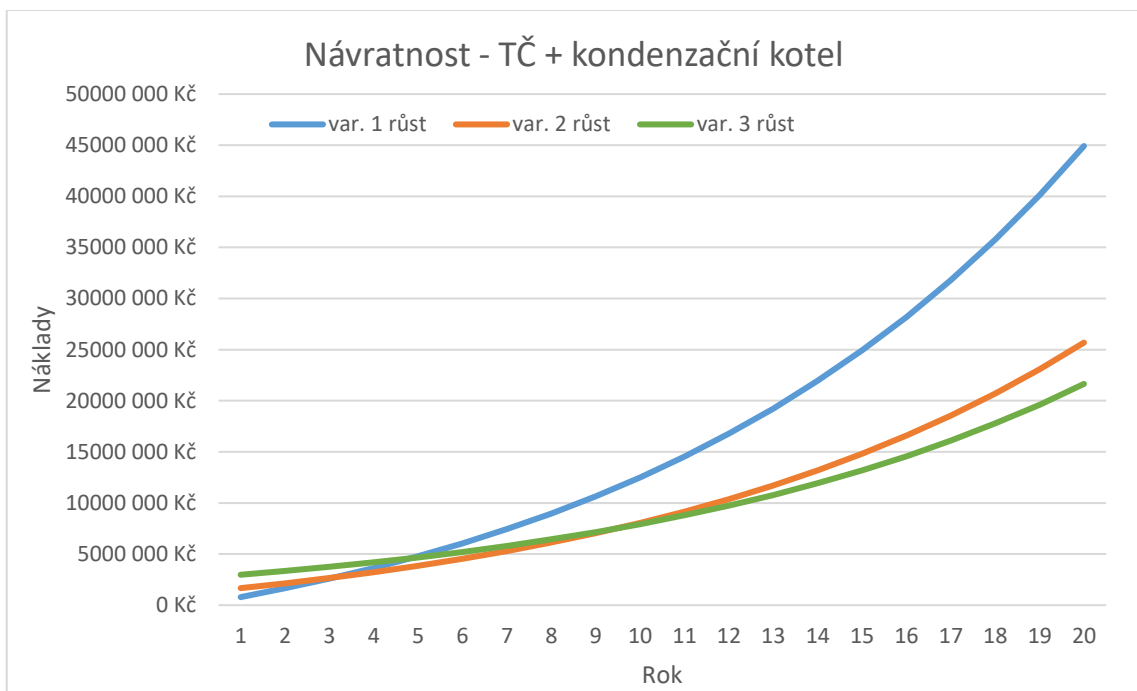
Typ náklady/příjmy	Cena
Izolace EPS	867 329 Kč
Okna	1 614 062 Kč
TČ – nabídka Buderus	1 403 000 Kč
Dotace – zateplení	433 664 Kč
Dotace – okna	807 031 Kč

Tabulka 35: TČ + zateplení – náklady/příjmy

V grafu 19 je zobrazena finanční návratnost investice. Počítá se dvěma novými variantami. Varianta 1 představuje stávající situaci provozu domu bez změn. Varianta 2 počítá se zateplením, výměnou oken a ponecháním stávající kotelny bez úprav. Varianta 3 počítá se zateplením, výměnou oken a doplněním kotelny TČ. Pro růst cen energií jsou k dispozici možnosti s konzervativnějším vývojem cen (3 % ročně) a turbulentnějším vývojem cen (10 % ročně).



Graf 19: Návratnost investice – TČ + zateplení – energie 3 %



Graf 20: Návratnost investice – TČ + zateplení – energie 10 %

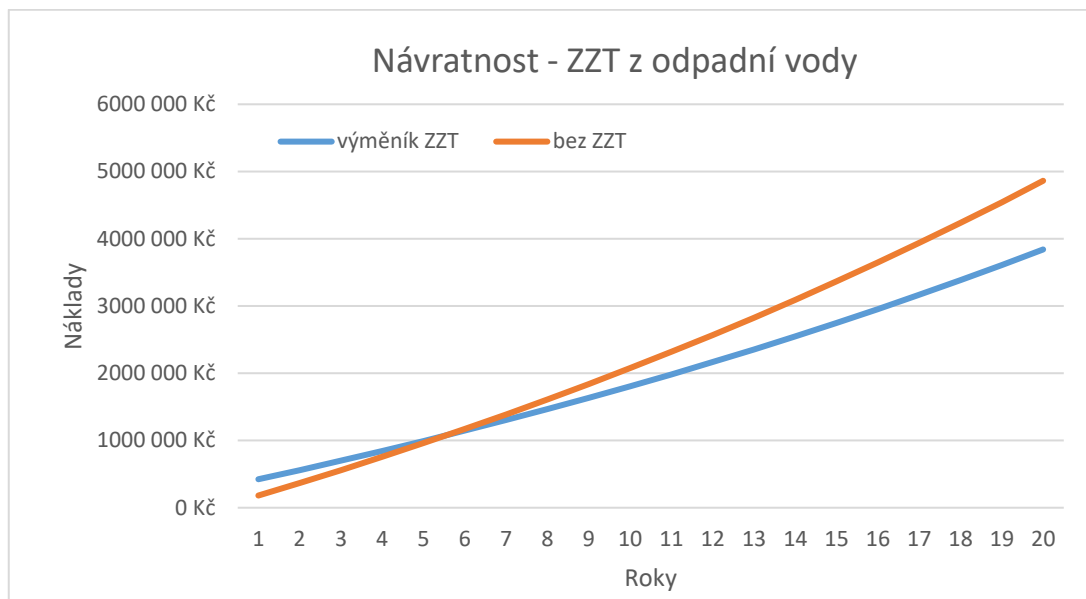
Dle Grafu 19 a 20 je patrné, že opatření zateplením a výměnou oken (tj. varianta 2) se nepochybně vyplatí a její návratnost se pohybuje pro obě varianty růstu energií okolo

3 let. U Varianty 3 je návratnost v případě pomalejšího růstu cen energií okolo 6 let a v případě strmějšího růstu cen pak 5 let.

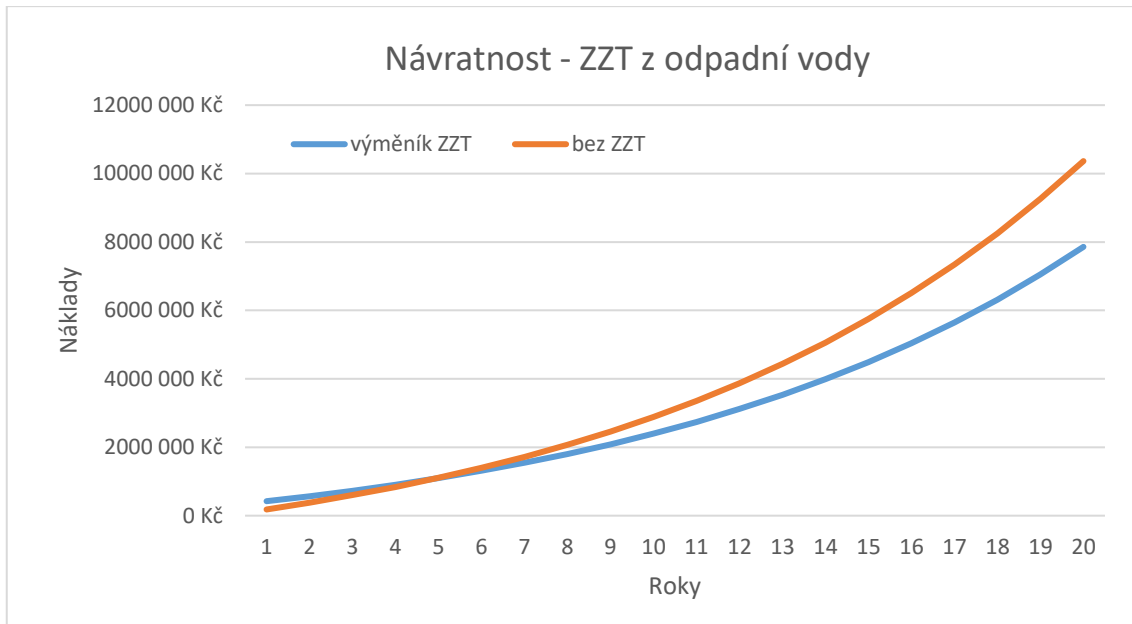
Z výsledků je patrné, že úprava staveních konstrukcí se rozhodně vyplatí nehlédě na růst cen energií. Použití tepelného čerpadla se pro obě možnosti také vyplatí, otázkou ale zůstává reálná životnost kompresoru u TČ, proto byl systém TČ uvažován v případě potřeby přípravy teplé vody pouze jako předehřev na 45 °C, aby se omezilo výrazné zatížení kompresu.

7.1.2 Zpětné získávání tepla z odpadní vody

Pro ZZT z odpadní vody je použito 27 sprchových výměníků v jednotlivých bytech. Cena jednoho sprchového výměníku činí 10 790 Kč, celkem tedy 291 330 Kč. Účinnost ZZT je 40,5 %, což znamená, že místo studené vody o 10 °C se přivádí voda o teplotě 22,2 °C, čímž se snižuje potřeba tepla na TV.



Graf 21: Návratnost investice – ZZT z odpadní vody



Graf 22: Návratnost investice – ZZT z odpadní vody

Návratnost investice do ZZT z odpadní vody je pro konzervativnější variantu s růstem cen plynu 6 let, pro rychlejší růst cen pouze 5 let. Úspora nákladů na energie s přibývajícím roky je pro rychlejší růst cen energií významná.

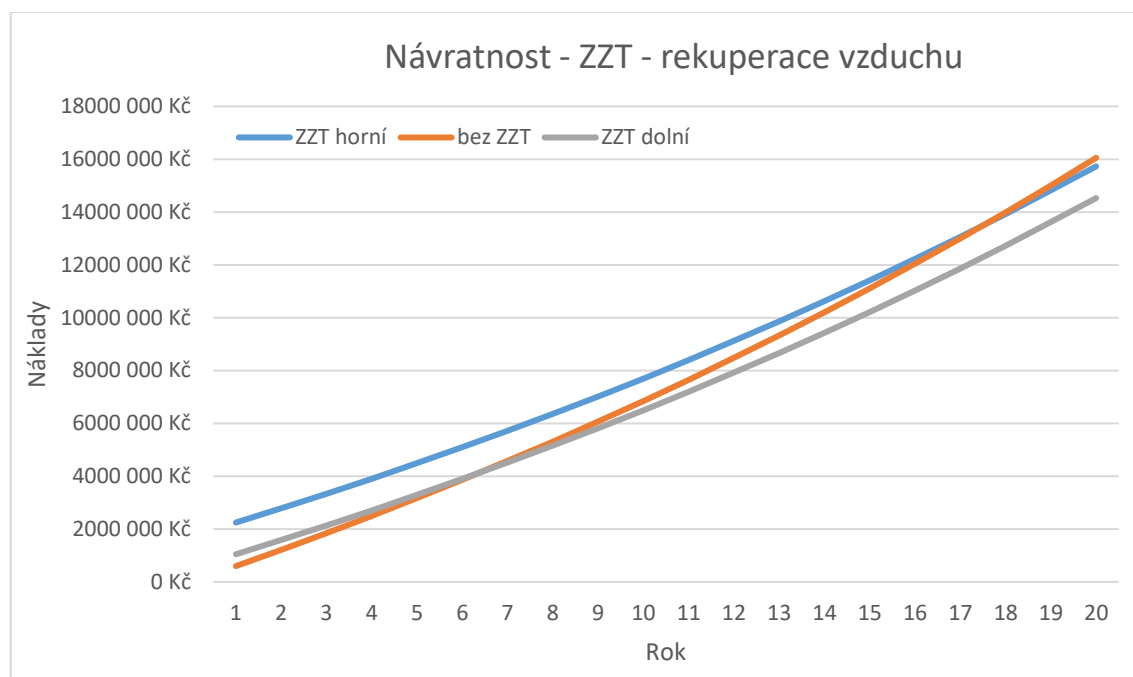
Sprchový výměník je vhodný pro použití k ušetření potřeby tepla.

7.1.3 Nucené větrání se zpětným získáváním tepla

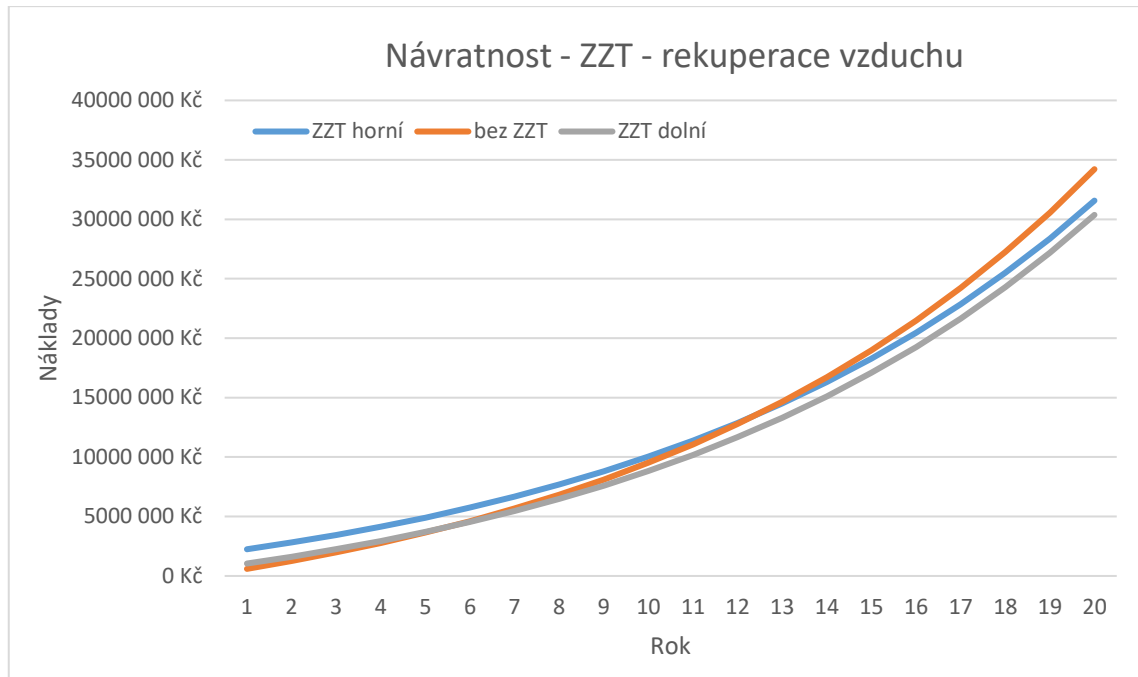
Nucené větrání s rekuperací tepla je zajišťováno větrací jednotkou Atrea DUPLEX 2600 Flexi. Celkově je zapotřebí přivést 1536 m³/h pro celý objekt. Účinnost ZZT jednotky se určila dle technických údajů k výrobkům 80 %. Investice do rozvodů vzduchotechniky a práce byla určena dle online kalkulačky od výrobce ThermWet na 1 000 000 Kč. Z bezpečnostních důvodů byla cena navýšena o 20 %, což se dále nazývá jako dolní hranice. Počítá se také s cenovou variantou rozvodů o 100 % navýšenou, dále horní hranice ZZT. Jelikož se jedná o větší objekt a cena byla určena pouze ze základních informací.

Typ náklady/příjmy	Cena
Větrací jednotka	270 000 Kč
Rozvody VZT – dolní	1 200 000 Kč
Rozvody VZT – horní	2 400 000 Kč
Dotace	945 000 Kč

Tabulka 36: Nucené větrání s ZZT – náklady/příjmy



Graf 23: Návrstnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 3 %



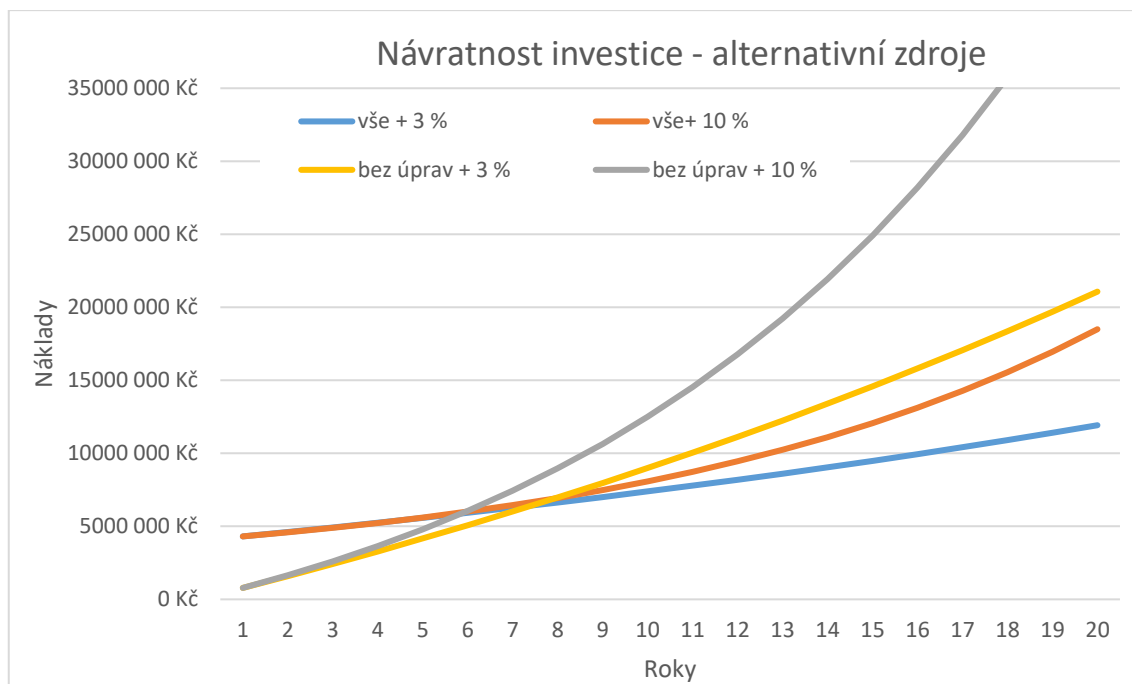
Graf 24: Návratnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 10 %

Výsledky pro konzervativnější růst cen energií ukazují, že pro dolní hranici se investice vyplatí po 8 letech. Pro horní hranici je to ale až po 20 letech, což může být životnost větrací jednotky či nutnost výměn dalších komponent. V tomto případě tedy investice dává smysl při ceně rozvodů a příslušenství blíží se dolní hranici, avšak i při ceně spíš k horní hranici může být investice do nuceného větrání přínosná, neboť rozvody vzduchotechniky mohou mít delší životnost než např. ventilátor vzduchotechnické jednotky.

Pro růst energií o 10 % se zkrátí doby návratností, což pro dolní hranici činí 7 let a pro horní hranici 14 let.

7.1.4 Kombinace alternativních zdrojů energie

Pro kombinaci všech předchozích variant se uvažuje kombinace tepelného čerpadla a plynového kondenzačního kotle, ZZT z odpadní vody pomocí sprchového výměníku a nucené větrání se ZZT. Pro rozvody vzduchotechniky se uvažuje cena mezi dolní a horní hranicí 1 800 000 Kč. Zbylé investice i příjmy z dotačních programů zůstávají stejné.



Graf 25: Návratnost investice – alternativní zdroje

Z grafu 25 lze vidět, že pokud využijeme všechny možnosti alternativních zdrojů, které jsou uvažované, tak i vyšší počáteční investice má potenciál rozumné návratnosti. Pro nižší růst cen je návratnost 8 let, pro rychlejší růst cen dokonce pouze 6 let.

Pro bytový dům č. 1 vyplývá, že pro samostatně navržená opatření pro využití alternativních zdrojů, nemusí být návratnost vždy nízká, zejména u samostatného návrhu systému nuceného větrání. Investice do zateplení a výměny oken společně s využitím sprchových výměníků se vrátí do zhruba 6 let nehlédě na rychlost růstu energií. V případě, že použijeme všechny zde předložené varianty týkající se alternativních zdrojů, dosáhneme úspory do 8 let či méně.

7.2 Alternativní zdroje – bytový dům č. 2

7.2.1 Zateplení a tepelné čerpadlo

Na začátek je vhodné bytový dům č. 2 zateplit a vyměnit zasklení. Pro zateplení vnějších obvodových konstrukcí se použije pěnový polystyren o tloušťce 150 mm. Dřevěná okna se nahradí novými plastovými okny s dvojsklem jejichž hodnota součinitele prostupu tepla je $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což je hodnota poloviční oproti předchozímu typu zasklení. Touto stavební úpravou došlo ke snížení tepelné ztráty objektu z 96 kW na

59 kW, což má za následek snížení spotřeby tepla na vytápění o 62 %. Pro pořizovací náklady je jako u objektu č. 1 počítáno s 20 % navíc a je také uvažována podpora z programu Nová zelená úsporám.

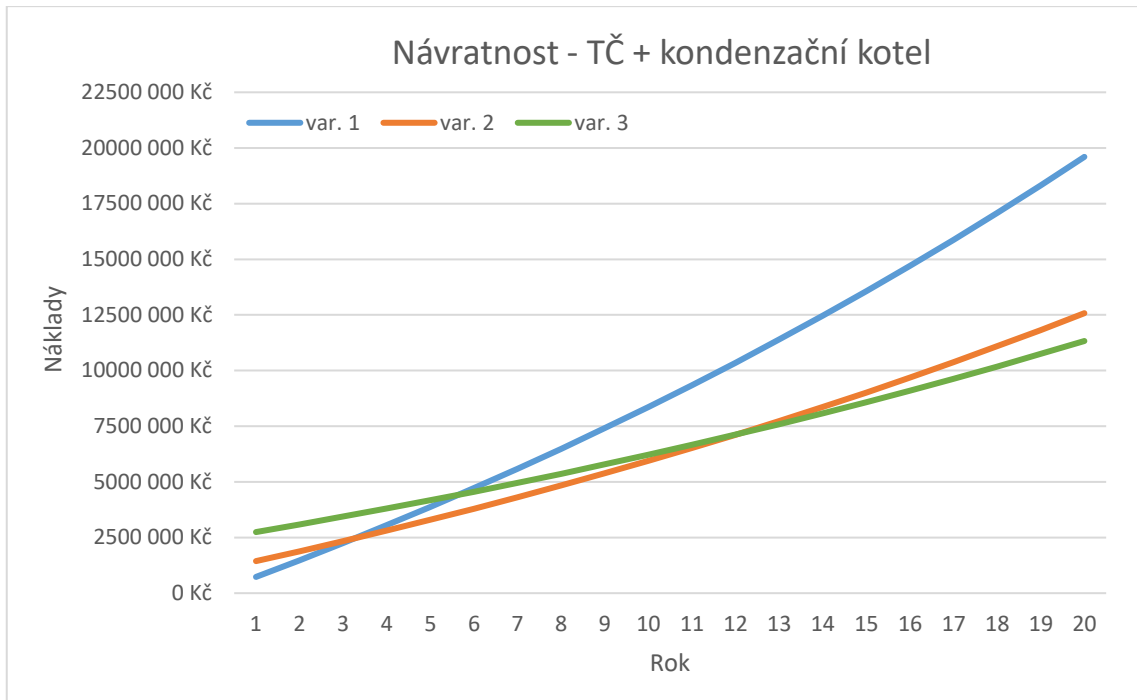
K vytápění a přípravě TV se využijí dvě tepelná čerpadla Bosch Compress 5000AW 22 O v kombinaci s plynovým kotlem. Dále se v kotelně uvažuje akumulční zásobník a dva zásobníky teplé vody, jelikož zásobník napojený na TČ slouží k předehřevu TV.

Cenové pořizovací náklady a příjmy

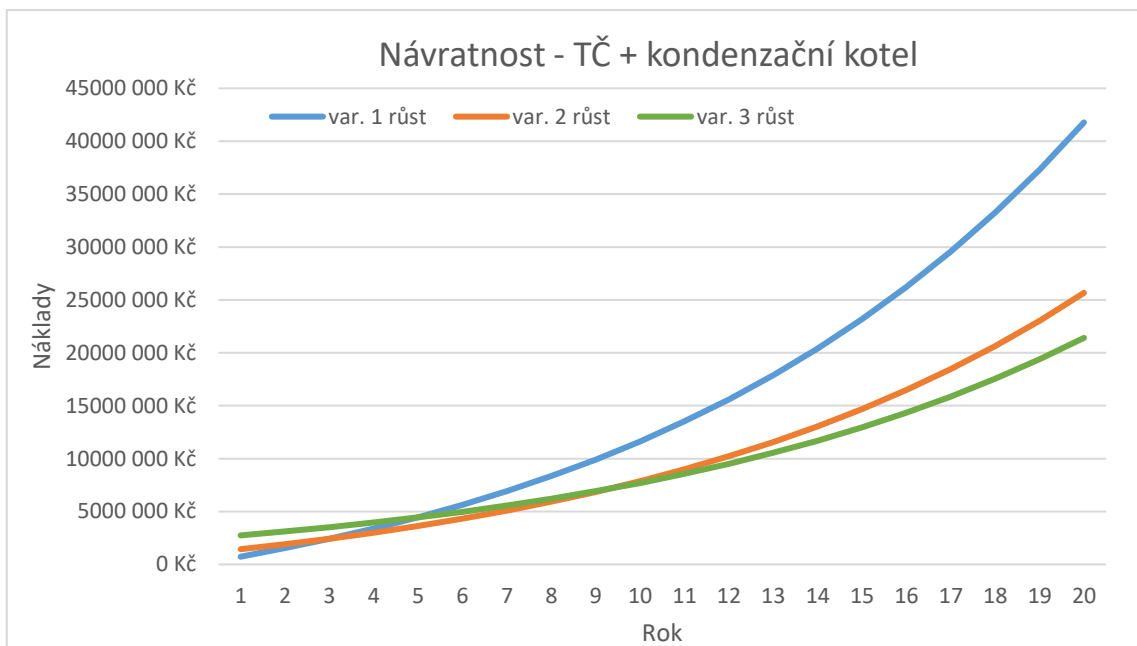
Typ náklady/příjmy	Cena
Izolace EPS	918 705 Kč
Okna	1 101 223 Kč
TČ – nabídka Buderus	1 403 000 Kč
Dotace – zateplení	459 352 Kč
Dotace – okna	550 611 Kč

Tabulka 37: TČ + zateplení – náklady/příjmy

Počítá se opět se dvěma novými variantami. Varianta č. 1 je beze změn na objektu, varianta č. 2 se stavebními úpravami a varianta č. 3 se stavebními úpravami v podobě zateplení a výměny oken, a navíc s přidáním TČ jako zdroje tepla. Růst cen energií zůstává 3 % a 10 % ročně.



Graf 26: Návratnost investice – TČ + zateplení – energie 3 %



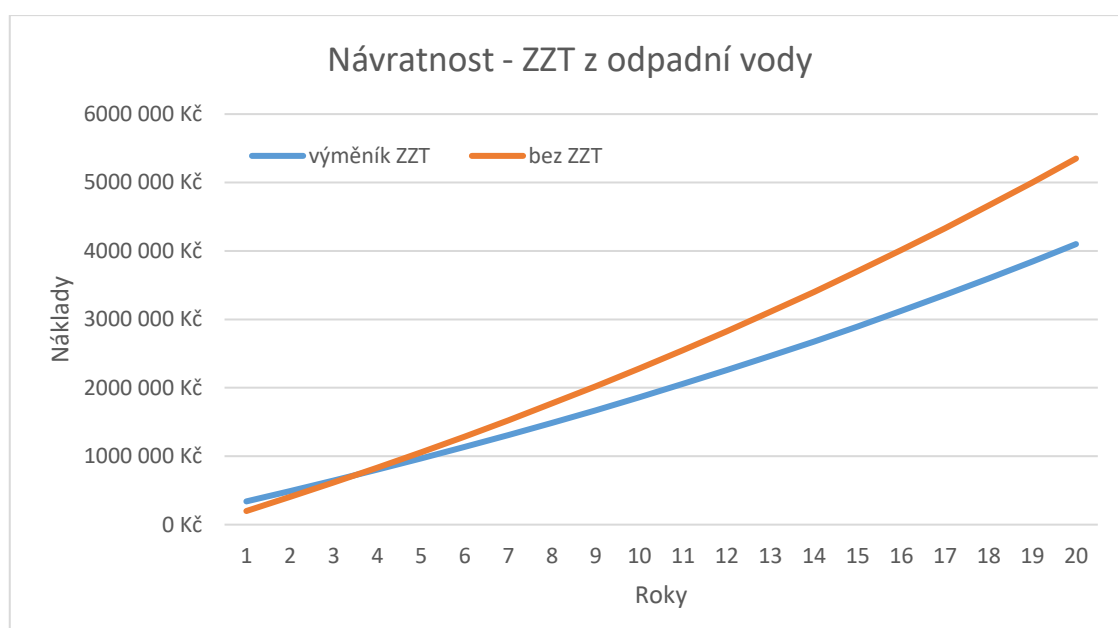
Graf 27: Návratnost investice – TČ + zateplení – energie 10 %

Z výsledků pro obě možnosti růstu cen je patrné, že varianty se zateplením se investičně vyplatí a návratnost je do 6 let. Pro růst cen o 3 % je varianta 3 úspornější po 13 letech, u růstu 10 % je to již po 10 letech.

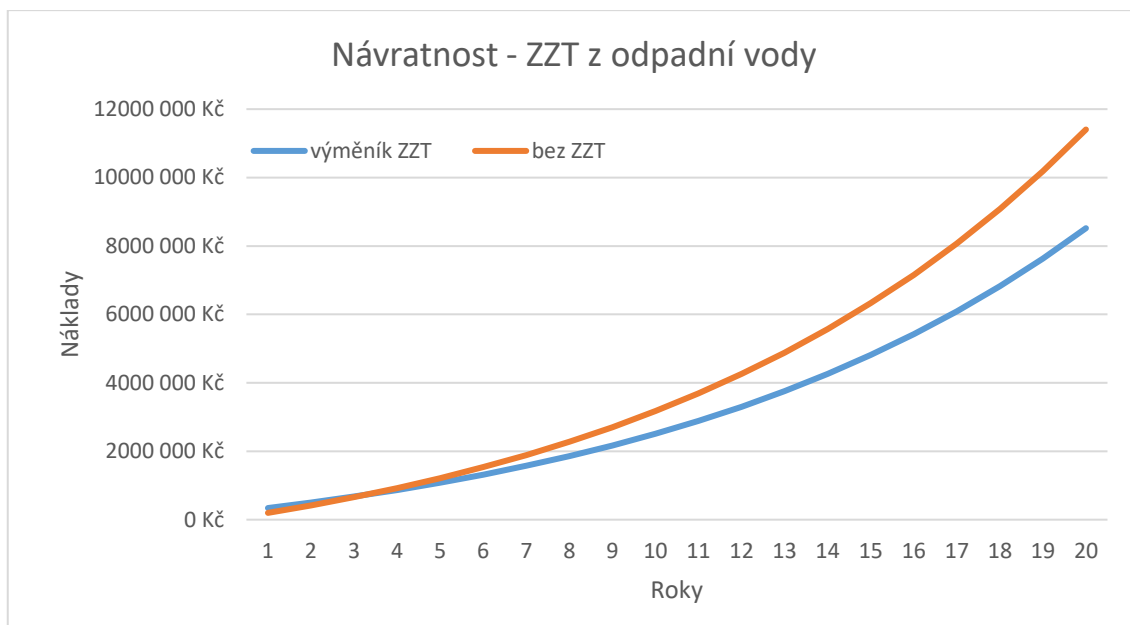
Výsledky jsou tedy obdobné jako u objektu č. 1. Důležitost zde hraje životnost zdroje tepla. Při rychlejším růstu cen energií se výhodnost využití alternativního zdroje tepla zvětšuje.

7.2.2 Zpětné získávání tepla z odpadní vody

Zpětné získávání tepla z odpadní vody je v objektu č. 2 zajišťováno pomocí 18 sprchových výměníků s celkovou hodnotou investice za tepelné výměníky 194 220 Kč. Účinnost ZZT je 40,5 % a počítá se s přírodní teplotou studené vody z tepelného výměníku 22,2 °C.



Graf 28: Návratnost investice – ZZT z odpadní vody



Graf 29: Návratnost investice – ZZT z odpadní vody

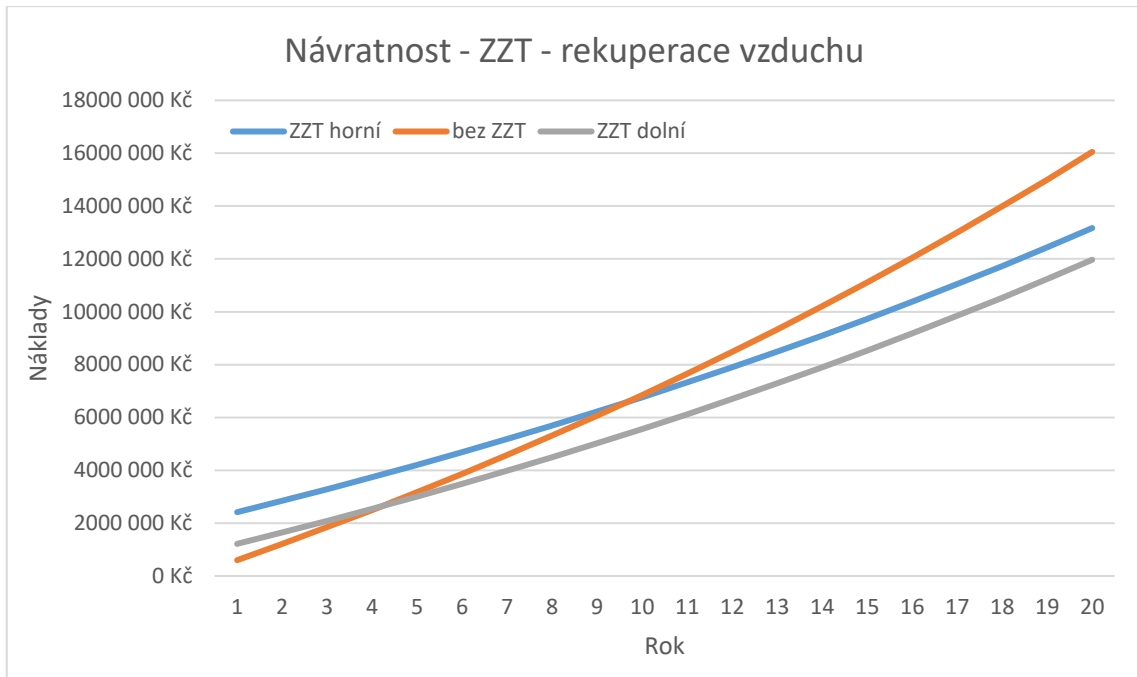
K úspoře potřeby tepla, a tedy celkových výdajů za teplo, dochází při růstu 3 % i 10 % po 4 letech (s podporou NZÚ). U tohoto bytového domu je nízká doba návratnosti důsledkem relativně vysokých tepelných ztrát systému na přípravu TV (viz. kapitola 5.2). Tato investice se tedy navrátí již po relativně krátké době.

7.2.3 Nucené větrání se zpětným získáváním tepla

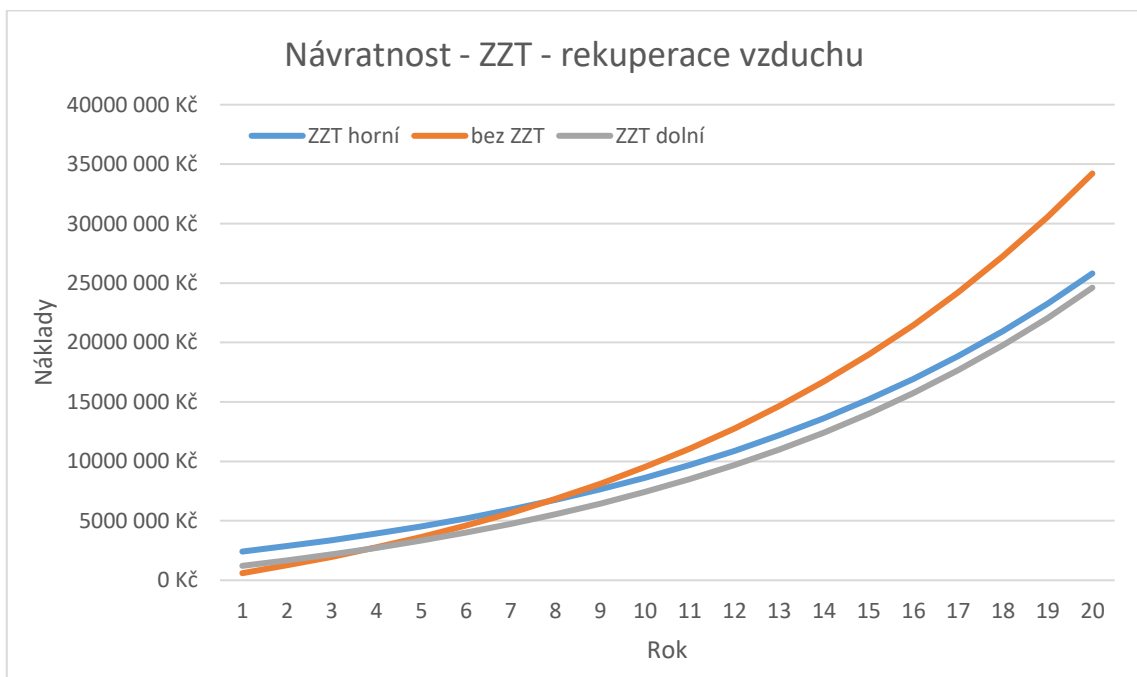
Nucené větrání se ZZT je zajištěno větrací jednotkou Atrea DUPLEX 1600 Flexi. V objektu č. 2 je potřeba větracího vzduchu celkem 1140 m³/h. Účinnost ZZT větrací jednotky pro přivedení požadovaného množství vzduchu je 85 %. Výše investice do vzduchotechnických rozvodu a dalšího příslušenství byla navržena stejným postupem jako u bytového domu č. 1.

Typ náklady/příjmy	Cena
Větrací jednotka	229 000 Kč
Rozvody VZT – dolní	1 200 000 Kč
Rozvody VZT – horní	2 400 000 Kč
Dotace	630 000 Kč

Tabulka 38: Nucené větrání se ZZT – náklady/příjmy



Graf 30: Návratnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 3 %



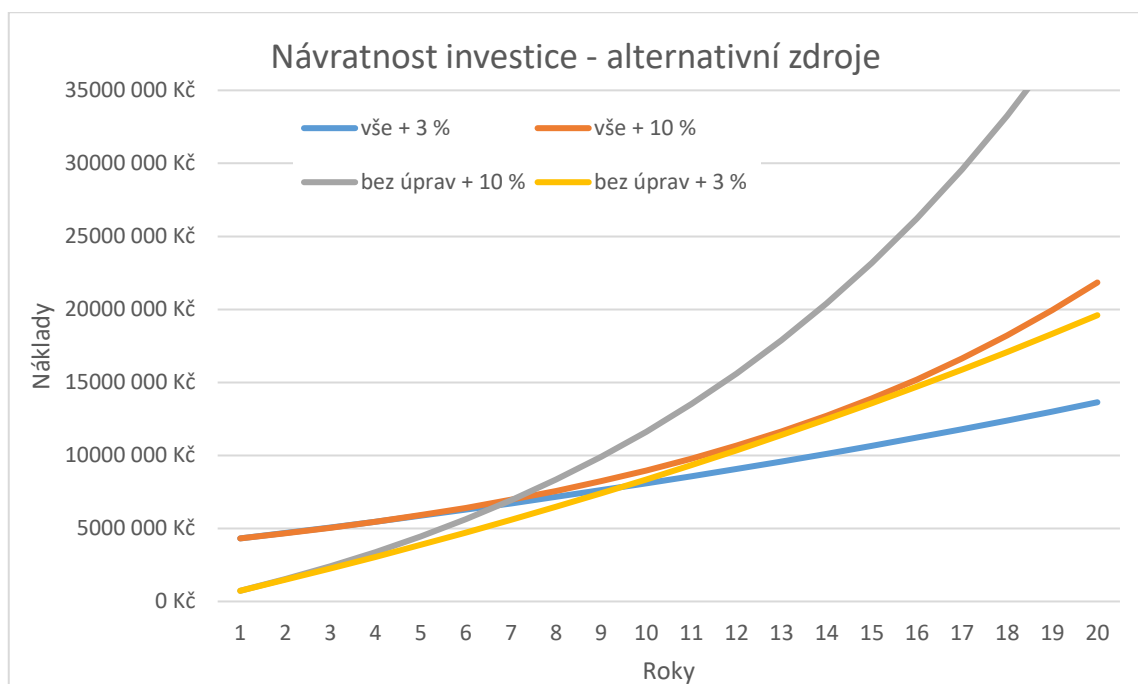
Graf 31: Návratnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 10 %

Návratnost investice při 3 % růstu cen energií je u ZZT s rekuperací vzduchu po 5 letech při dolní hranici a 10 letech při horní hranici pořizovacích nákladů za rozvody. Při vyšším růstu cen energií se rychlost návratu investice zkracuje. Zde tedy na rozdíl od objektu č. 1 vychází bilance pro využití nuceného větrání s rekuperací vzduchu pozitivně

pro obě varianty výpočtu (dolní i horní mez) a není návratnost na hraně životnosti zařízení.

7.2.4 Kombinace alternativních zdrojů energie

Pro možnost kombinace se předpokládá využití všech předchozích variant prezentovaných jednotlivě pro bytový dům č. 2. Pro rozvody vzduchotechniky a příslušenství se použije střední hodnota mezi dolní a horní hranicí investice.



Graf 32: Návratnost investice – alternativní zdroje

V případě, že se použijí všechny alternativní možnosti energetických opatření z předchozích částí dohromady, je návratnost počáteční investice po 10 letech pro pomalejší růst cen energií, respektive 8 let pro rychlejší růst. A stejně jako v předchozím případě je zjevné, že čím rychleji budou stoupat ceny energií, tím více se investice vyplatí.

Opět se ukázalo, jaká řešení využití alternativních zdrojů mají smysl. Velmi efektivní a s krátkou dobou návratnosti se ukázala stavební úprava na zlepšení tepelně technických vlastností objektu. Dále sprchový výměník k předeřevu studené vody. Pro objekt č. 2 bylo také nucené větrání se zpětným získáváním tepla využito jako vhodné

řešení s návratností do 10 let v závislosti na výdajích do rozvodů vzduchotechniky. A pokud se pro bytový dům č. 2 využijí všechny možnosti dohromady, úspora provozních nákladů je po 10 letech.

7.3 Alternativní zdroje – bytový dům č. 3

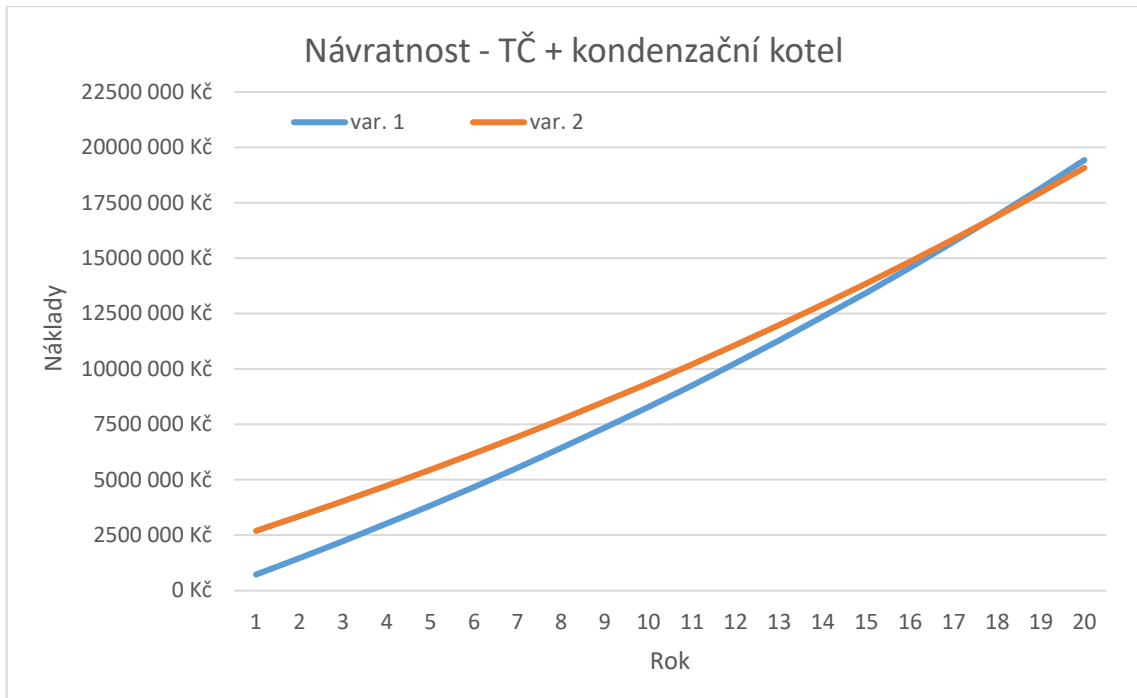
Pro bytový dům č. 3 není kotelna využívána pro přípravu TV, ale pouze pro vytápění. Z tohoto důvodu je i navržené TČ pouze pro vytápění. Dále nejsou použity sprchové výměníky pro předehřev TV.

7.3.1 Tepelné čerpadlo

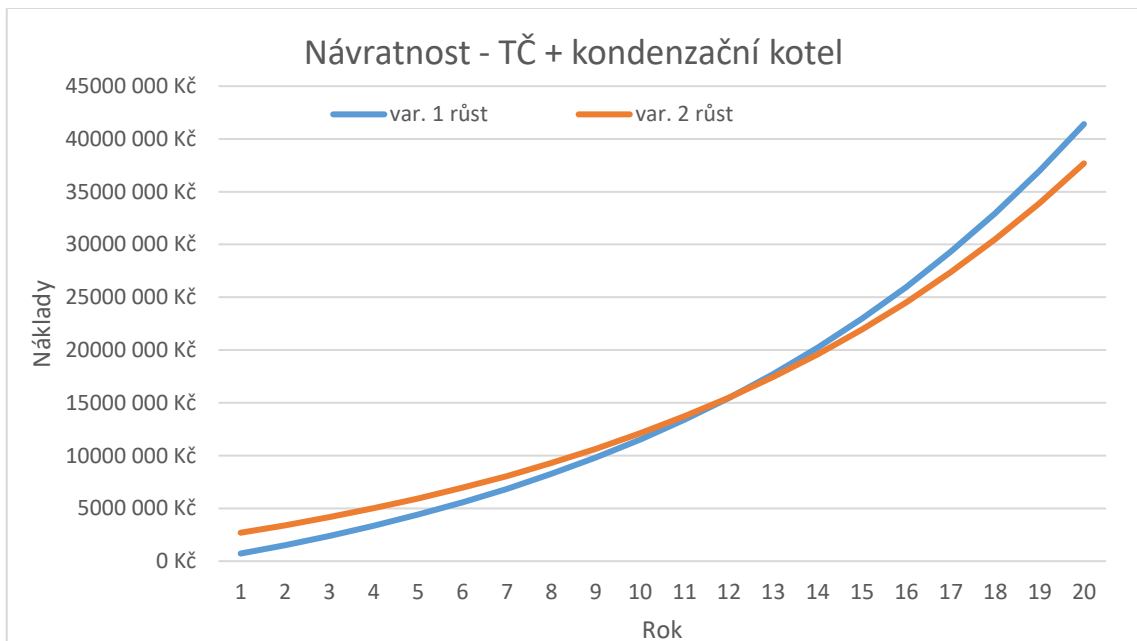
Objekt č. 3 už je zateplen a zasklení splňuje požadavky, neboť už jsou zde plastová okna umístěny. Tepelná ztráta objektu je 150 kW.

Vytápění objektu bude zajišťováno kombinací dvou tepelných čerpadel Bosch Compress 5000AW 38 O s dvěma plynovými kotly Buderus Logamax GB162-80, které se již nachází v kotelně. Dále zde bude pro účely vytápění umístěn akumulční zásobník. Cenová nabídka od firmy Buderus na TČ vychází na 2 053 000 Kč.

Počítáno bylo pouze s jednou novou variantou. Varianta 1 obsahuje stávající stav, což je zateplený objekt s plynovými kotli. Varianta 2 obsahuje zdroj tepla v podobě TČ.



Graf 33: Návratnost investice – TČ – energie 3 %



Graf 34: Návratnost investice – TČ – energie 10 %

Investice do tepelného čerpadla se z finančního hlediska při pomalejším růstu cen energií vyplatí až po 18 letech. Pokud se uvažuje rychlejší růst cen energií, tak se návratnost zkrátí na 13 let. Pro tento případ tedy záleží, jakou rychlostí budou výhledově

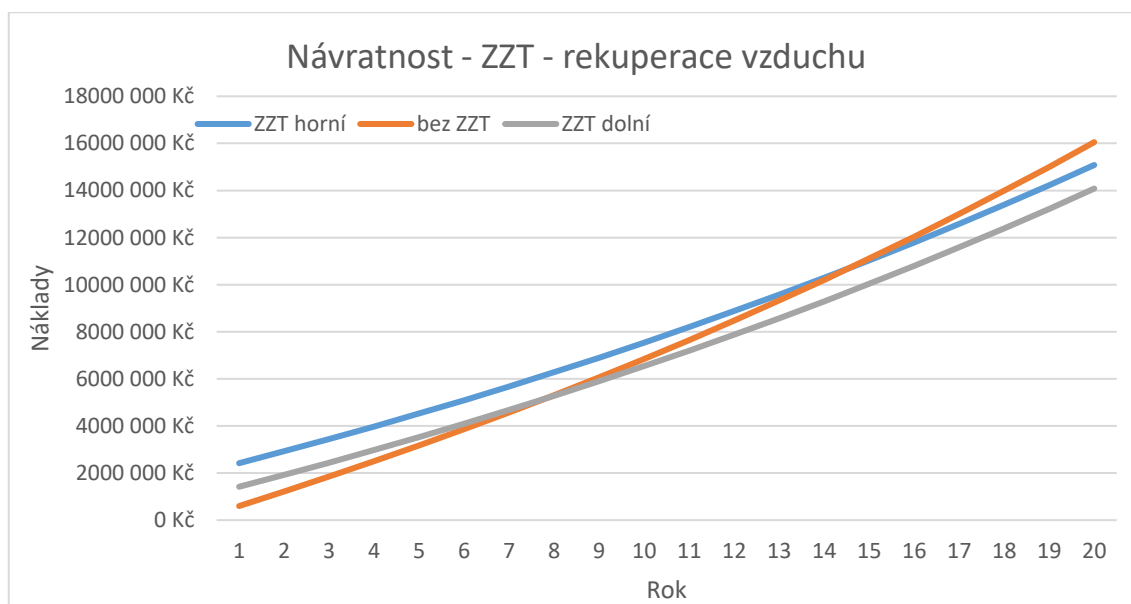
ceny energií stoupat. V případě, že se bude jednat o pomalý růst, návratnost nákladů do TČ se blíží jeho životnosti. Při turbulentnějším vývoji se návratnost zkracuje a využití TČ se začíná jevit jako vhodná volba.

7.3.2 Nucené větrání se zpětným získáváním tepla

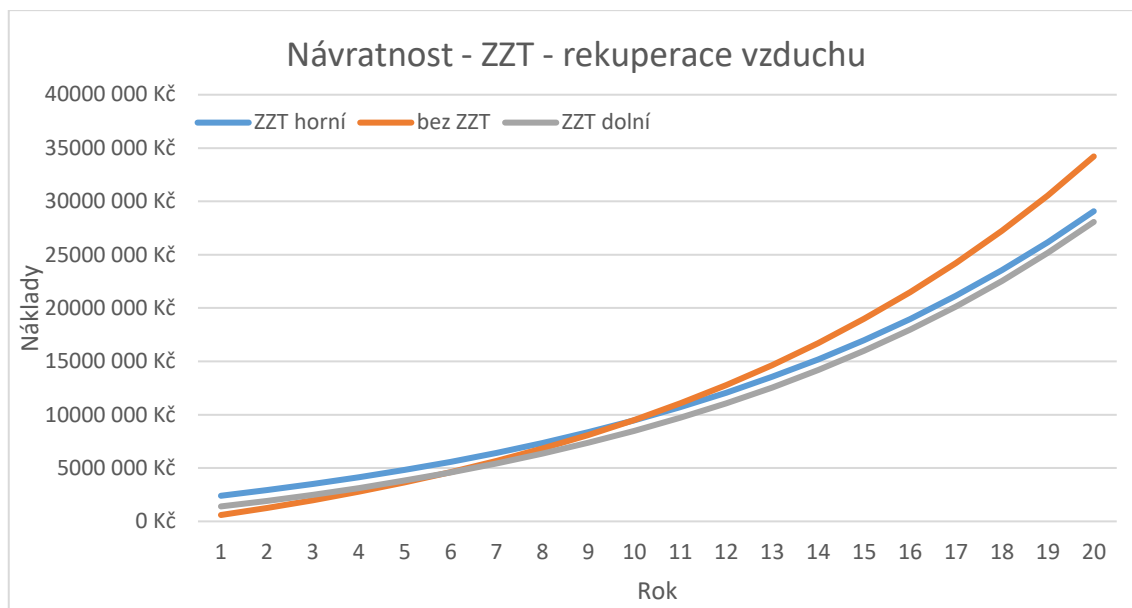
Nucené větrání v bytovém domě č. 3 bude zajišťováno větrací jednotkou Atrea DUPLEX 3600 Flexi, která má v sobě zabudováno zpětné získávání tepla. Do objektu je potřeba přivést 2750 m³/h s účinností ZZT 80 % dle technický údajů od výrobce. Výše investice do rozvodného potrubí a příslušenství byla určena stejným způsobem jako u předchozích objektů.

Typ náklady/příjmy	Cena
Větrací jednotka	329 000 Kč
Rozvody VZT – dolní	2 000 000 Kč
Rozvody VZT – horní	3 000 000 Kč
Dotace	1 400 000 Kč

Tabulka 39: Nucené větrání se ZZT – náklady/příjmy



Graf 35: Návratnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 3 %

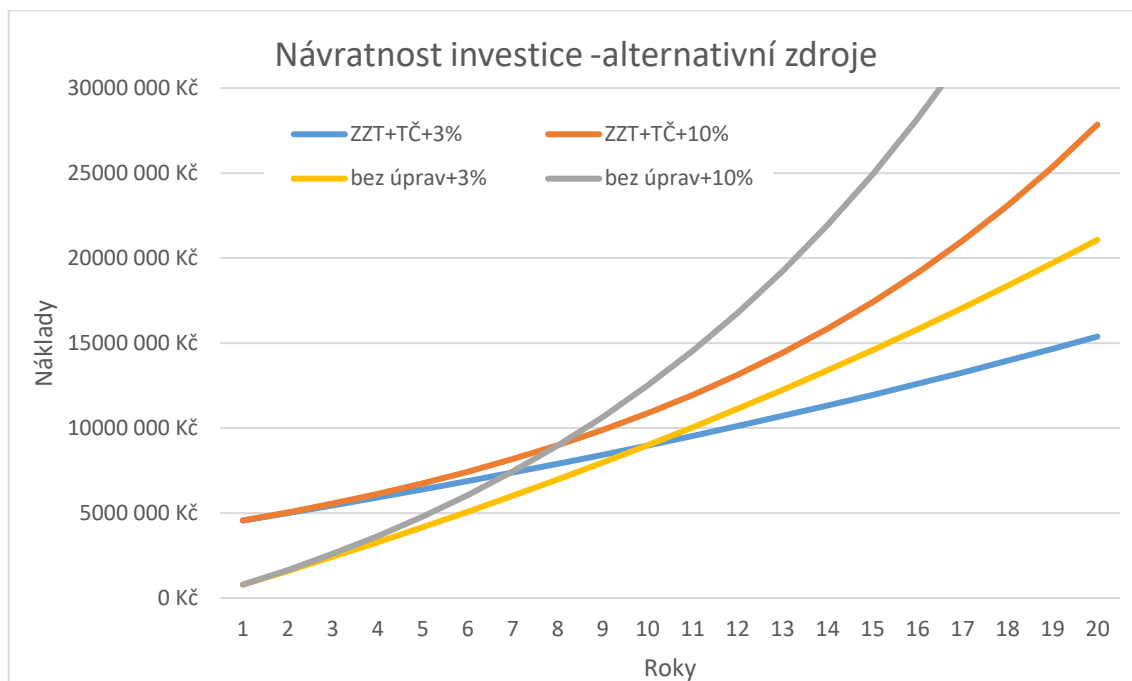


Graf 36: Návratnost investice – ZZT – rekuperace vzduchu – energie 10 %

Využití nuceného větrání s rekuperací vzduchu se u pomalejšího růstu cen navrátí finančně po 8 letech při dolní hranici za rozvody a po 15 letech při horní hranici za vzduchotechnické rozvody. U varianty s rychlejším růstem jsou návratnosti 7 let a 11 let. Důležitou roli při rozhodování o vhodnosti využití nuceného větrání hrají investice spojené s rozvody a příslušenstvím a životností zařízení, kdy po určité době je potřeba vyměnit komponenty zařízení, avšak rozvody s vyšší počáteční investicí vydrží let déle než některé komponenty ve vzduchotechnické jednotce. Při rychlejším růstu cen energií se poté zkracuje doba návratnosti.

7.3.3 Kombinace alternativních zdrojů energie

Kombinací alternativních zdrojů energie se rozumí využití výše prezentovaných variant u objektu č. 3 jako je kombinace TČ s plynovým kotlem a použití nuceného větrání se ZZT. Pořizovací náklady do vzduchotechnického rozvodu a příslušenství se berou jako střední hodnota horní a dolní hranice, tedy 2 500 000 Kč.



Graf 37: Návratnost investice – alternativní zdroje

V případě velké počáteční investice s využitím podpory dotačních programů je návratnost po 9 letech, respektive 10 letech pro rychlejší růst cen energií. To znamená, že neohledně na rychlost růstu se využití alternativních zdrojů dohromady vyplatí. S rychlejším růstem cen energií se úspora stejně jako u předchozích objektů zvyšuje.

8 Závěr

V rámci této diplomové práce byla vytvořena energetická studie spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro 3 různé bytové domy. Cílem bylo porovnat naměřená data skutečných spotřeb s výpočtovými metodami, které jsou v běžné praxi využívány pro energetické hodnocení budov. U výpočtových metod bylo snahou ukázat, jaký vliv mají různé parametry při návrhu, pokud jsou známy skutečné údaje nebo se pracuje s teoretickými hodnotami či doporučenými.

Na začátku se dle platných norem určily tepelné ztráty prostupem a větráním. Pro větrání se vytvořila predikce intenzity větrání okny dle chování uživatele v závislosti na venkovní teplotě. Hodnota průměrného měrného tepelného toku za uvažované období byla nižší o 10 % pro každý objekt oproti výpočtu s konstantní hodnotou pro intenzitu větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$. Dále se vypočítaly vnitřní tepelné zisky a vnější tepelné zisky. U vnitřních zisků byl důležitý počet osob v domě, který byl pro objekt č. 1 znám a pro ostatní objekty odhadnut na základě určitých parametrů. Byl uvažován teoretický počet osob, který byl vypočten dle podlahové plochy či dispozice bytu. Z těchto výsledků se nakonec získala spotřeba tepla.

Výpočtové metody byly rozděleny na 4 varianty pro vytápění, kdy dvě uvažovali s měsíčním krokem a další dvě s denním krokem výpočtu. U denní metody se skutečnými údaji o počtu osob a skutečné venkovní teplotě (Meteorologická stanice Praha-Libuš) se poté výsledek spotřeby tepla porovnal se skutečnou naměřenou spotřebou tepla a dosažením maximální shody se získal součinitel ztrát systému vytápění, který byl následně použit i pro další výpočtové metody.

Pro spotřebu tepla na přípravu teplé vody se uvažovalo s dávkou teplé vody na osobu, která byla dána z reálných naměřených hodnot. Porovnáním vypočtené spotřeby tepla na základě skutečné dávky na osobu a skutečného počtu osob se získal součinitel ztrát systému pro přípravu TV, který v sobě zahrnoval rozvody, kondenzační kotle i cirkulaci TV. Dále se také uvažovalo s teoretickou dávkou TV na osobu (dle platných norem) a teoretickým počtem osob (stejně jako u vytápění dle dispozic a velikosti bytů).

Na základě dostatku informací a údajů se musely některé parametry odhadovat či vytvářet model na základě podobnosti s jiným objektem, kde daný údaj k dispozici byl.

Z celkové spotřeby tepla a porovnáním výpočtových metod pro dané bytové domy bylo patrné, které údaje jsou při navrhování důležité. U spotřeby tepla na vytápění jsou výpočty přesnější, čím přesnější jsou údaje o venkovní teplotě. Vhodné je použít volně přístupná data z meteorologických stanic z okolí dané lokality. U výpočtu potřeby tepla na přípravu TV je počet osob blížící se reálnému obsazení domu velice důležitý. Tomu také odpovídá poté dávka TV na osobu a den. Neméně důležitý je také ztrátový součinitel soustavy, neboť může také vnášet značnou chybu do výpočtu. Tyto tři parametry hrají u výpočtu potřeby tepla na přípravu TV významnou roli.

Sestavené modely výpočtu také prokázaly, že důležitý je fakt, zda se jedná o zateplený či nezateplený objekt. Pokud je objekt nezateplený, spotřeba tepla na přípravu teplé vody se může pohybovat okolo 25 až 35 % z celkového dodaného tepla, což znamená i výrazně nižší váhu nejistot výpočtu ze strany spotřeby tepla na přípravu TV ve srovnání se spotřebou tepla na vytápění. Naopak pokud se jedná o zateplený objekt se váha nejistot výpočtu vyrovná a v případě např. pasivních domů nebo domů s téměř nulovou potřebou energie můžou mít systémy přípravy teplé vody daleko větší váhu na celkovou nejistotu výpočtů.

Nakonec byly pro jednotlivé objekty navrženy možné úpravy pro využití alternativních zdrojů energie se stanovením reálné doby a vypočteny návratnosti investice pro různé trendy růstu cen energií. Jednalo se o využití tepelných čerpadel, u kterých ale nejdříve předcházelo zateplení objektu, dále o využití zpětného získávání tepla z odpadního tepla v podobě sprchových výměníků pro předehřev studené vody, a nakonec využití nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Nejprve byly posuzovány jednotlivé varianty samostatně a poté všechny dohromady. Důležitým parametrem na délce návratnosti investice se ukázal růst cen energií. Cena za plyn či elektrickou energii roste významně díky geopolitickým jevům, proto bylo uvažováno s variantou konzervativnějšího růstu cen energií v podobě 3 % ročně, ale také s rychlejším růstem 10 % ročně.

Krátké doby návratnosti s velkým potenciálem dosažení úspor se ukázaly u zateplení s výměnou oken a využití sprchových výměníků pro jednotlivé byty s podporou z dotačního programu. Relativně nízká doba návratnosti cca do 10 let pak vyšla pro všechny řešené objekty při kombinaci všech variant s využitím alternativních zdrojů tepla ke snížení potřeby tepla.

9 Seznam zdrojů

- [1] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] ČSN EN 12831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [3] ČSN EN ISO 13770 *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [4] ČSN EN ISO 13790 *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [5] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet tepelných ztrát*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf.
- [6] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet potřeby tepla a paliva*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf.
- [7] VAVŘIČKA, Roman. *Příprava teplé vody*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/ZTI/NEW/004_TV_1.pdf.
- [8] *SVJ H45. SVJ H45* [online]. Dostupné z: <http://www.svjh455.cz/>
- [9] *Průměrné teploty, vlhkosti a entalpie venkovního vzduchu v Praze* [online]. Dostupné z: <https://www.vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/66-prumerne-teploty-vlhkosti-a-entalpie-venkovniho-vzduchu-v-praze>
- [10] *DUPLEX 650–3600 Flexi 2 - ATREA s.r.o.* [online]. ATREA s. [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-650-3600-flexi>
- [11] *Kalkulačka ceny rekuperační jednotky včetně montáže*. [online]. Copyright © 2022 [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.thermwet.cz/kalkulacka-ceny/>

- [12] *Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení. Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení* [online]. Copyright © Státní fond životního prostředí ČR [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [13] *Pražská plynárenská a.s. | Dodavatel energií i služeb. Pražská plynárenská a.s. | Dodavatel energií i služeb* [online]. Copyright ©2002 [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.ppas.cz/>
- [14] *Ceníky | Podpora | Skupina ČEZ* [online]. Copyright © 2022, ČEZ, a. s. [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>
- [15] *Plastová okna - SkladOken.cz. Skladová okna a dveře - SkladOken.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.skladoken.cz/plastova-okna>
- [16] *Compress 5000 AW | Tepelná čerpadla vzduch/voda | Tepelná čerpadla | Výrobky | Rodinné domy a byty. 301 Moved Permanently* [online]. Copyright © Bosch Termotechnika s.r.o. 2022, všechna práva vyhrazena [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.bosch-thermotechnology.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/compress-5000-aw-18789727-p/>
- [17] *Stabilizovaný polystyren Styrotrade EPS 150S - LevneStavebniny.cz. LevnéStavebniny.cz – prodej stavebnin a stavebního materiálu* [online]. Copyright © 2005 [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <https://www.levnestavebniny.cz/stabilizovany-polystyren-styrotrade-eps-150s-7893/>
- [18] *Sprchový výměník NELA | SAKAL. Document Moved* [online]. Copyright © 2022. All Rights Reserved. [cit. 22.06.2022]. Dostupné z: <http://sakal-ovt.cz/produkty/sprchovy-vymenik-nela/#!prettyPhoto>
- [19] *Výpočet a graf ekvitermní křivky* [online]. Dostupné z: <http://www.vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocety/50-vypocet-a-graf-ekvitermni-krivky>

10 Seznam příloh

Příloha 1 – Schéma kotelny – Heřmanova 45

Příloha 2 – Schéma kotelny – Heřmanova 41

Příloha 3 – Náhled výpočtu potřeby tepla na vytápění s denním krokem (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Příloha 4 – Náhled výpočtu potřeby tepla na vytápění s měsíčním krokem (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Příloha 5 – Náhled výpočtu potřeby tepla na přípravu TV (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Příloha 3 – Náhled výpočtu potřeby tepla na vytápění s denním krokem (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Datum	Počet hodin t_{hod}	Průměrná venkovní teplota t_{ep}	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy H_T	Potřeba tepla prostupem $Q_{H,pr}$	Intenzita větrání n	Měrný tepelný tok větráním H_v	Potřeba tepla větráním $Q_{H,ve}$	Celková potřeba tepla $Q_{H,h}$	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,am}$	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$	Bezrozměrný číselný parametr a_H	Bilanční poměr pro režim vytápění γ_{Ht}	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$	Redukční faktor na přerušené vytápění $a_{H,red}$	Potřeba tepla
																$Q_{H,ind}$ [kWh]
1.1.2012	24	8,3	2888	811	0,25	496	139	950	133	118	252	5,5	0,26	1		699
2.1.2012	24	8,8		776	0,25	496	133	910	133	118	252	5,5	0,28	1		658
3.1.2012	24	6,5		936	0,25	496	161	1 097	133	118	252	5,5	0,23	1		845
4.1.2012	24	4,9		1 047	0,2	397	180	1 227	133	118	252	5,6	0,21	1		975
5.1.2012	24	3,9		1 116	0,2	397	192	1 308	133	118	252	5,6	0,19	1		1 056
6.1.2012	24	2,9		1 185	0,2	397	204	1 389	133	118	252	5,6	0,18	1		1 137
7.1.2012	24	3,2		1 165	0,2	397	200	1 365	133	118	252	5,6	0,18	1	1	1 113
8.1.2012	24	3,8		1 123	0,2	397	193	1 316	133	118	252	5,6	0,19	1		942
9.1.2012	24	2,7		1 199	0,2	397	206	1 405	133	118	252	5,6	0,18	1		861
10.1.2012	24	4,3		1 088	0,2	397	187	1 275	133	118	252	5,6	0,2	1		1 316
11.1.2012	24	5,3		1 019	0,2	397	175	1 194	133	118	252	5,6	0,21	1		1 283
12.1.2012	24	6,3		950	0,25	496	163	1 113	133	118	252	5,5	0,23	1		1 438
13.1.2012	24	0,7		1 338	0,2	397	230	1 568	133	118	252	5,6	0,16	1		1 543
14.1.2012	24	1,1		1 310	0,2	397	225	1 535	133	118	252	5,6	0,16	1		1 275

Příloha 4 – Náhled výpočtu potřeby tepla na vytápění s měsíčním krokem (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Datum	Počet hodin t_{hod}	Průměrná venkovní teplota t_{ep}	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy H_T	Potřeba tepla prostupem Q_{tr}	Intenzita větrání n	Měrný tepelný tok větráním H_v	Potřeba tepla větráním Q_{hv}	Celková potřeba tepla Q_{th}	Vnitřní tepelné zisky $Q_{H,im}$	Solární tepelné zisky $Q_{H,so}$	Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$	Bezrozměrný číselný parametr a_H	Bilanční poměr pro režim vytápění γ_{Ht}	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$	Redukční faktor na pteřušené vytápění $a_{H,red}$	Potřeba tepla
																$Q_{H,red}$
	[hod]	[°C]	[W/K]	[kWh]	[1/h]	[W/K]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kWh]
Leden	744	1,9		38 979	0,2	397	6 694	45 673	4 133	3 673	7 806	5,6	0,17	1		37 867
Únor	696	-3,9		41 104	0,15	298	8 089	55 193	3 866	5 699	9 565	5,7	0,17	1		45 628
Březen	744	7,4		27 063	0,25	496	4 648	31 711	4 133	8 515	12 648	5,5	0,4	1		19 114
Duben	720	9,9		21 025	0,25	496	3 611	24 636	4 000	11 029	15 029	5,2	0,61	0,97		10 020
Květen	744	16,4		7 778	0,35	694	1 336	9 114	4 133	12 851	16 984	5,2	1,86	0,53		169
Červen	720	18,7		2 676	0,35	694	460	3 135	4 000	12 332	16 332	5,2	5,21	0,19	1	0
Červenec	744	19,7	2888	548	0,35	694	94	642	4 133	12 422	16 555	5,2	25,8	0,04		0
Srpen	744	20,4		0	0,35	694	0	0	4 133	13 371	16 504	5,2	0	0		0
Září	720	14,7		10 967	0,3	595	1 883	12 850	4 000	9 332	13 332	5,3	1,04	0,83		1837
Říjen	744	8,4		24 852	0,25	496	4 268	29 120	4 133	7 435	11 568	5,5	0,4	1		17 597
Listopad	720	5,7		29 649	0,25	496	5 092	34 740	4 000	3 863	7 435	5,5	0,23	1		26 879
Prosinec	744	0,5		41 807	0,2	397	7 180	48 987	4 133	2 529	6 662	5,6	0,14	1		42 325

Příloha 5 – Náhled výpočtu potřeby tepla na přípravu TV (rok 2012) – Heřmanova 45 – viz výpočtový excel na CD

Měsíc	Počet dnů	Potřeba TV (teoretická)	Snížená potřeba TV (teor.)	Potřeba TV (skutečná)	Snížená potřeba TV (skut.)
	n	$Q_{TV,teor}$	$Q_{TV,teor}$	$Q_{TV,skut}$	$Q_{TV,skut}$
	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	31	6 764	6 764	5 070	5 070
Únor	29	6 327	6 327	4 743	4 743
Březen	31	6 764	6 764	5 070	5 070
Duben	30	6 545	6 545	4 907	4 907
Květen	31	6 764	6 764	5 070	5 070
Červen	30	6 545	6 545	4 907	4 907
Červenec	31	6 764	5 073	5 070	3 803
Srpen	31	6 764	5 073	5 070	3 803
Září	30	6 545	6 545	4 907	4 907
Říjen	31	6 764	6 764	5 070	5 070
Listopad	30	6 545	6 545	4 907	4 907
Prosinec	31	6 764	6 764	5 070	5 070
			76 472		57 325