

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav techniky prostředí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Marat Ignatyev

03-IB-2015

Čestné prohlášení

Já, Marat Ignatyev, prohlašuji, že tuto práci pod názvem „Otopná soustava u budov s nízkou potřebou energie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením ing. Romana Vavříčky, Ph. D., s uvedením literatury na konci práce.

V Praze 29. 5. 2015

Poděkování

Chci poděkovat panu ing. Romanu Vavříčkovi, Ph. D. za odborné rady, věcné připomínky a věnovaný čas při vypracování mé diplomové práce.

ANOTACE

Cílem této diplomové práce je zjištění optimálního složení obvodových konstrukcí, také nejefektivnějšího způsobu dodávky tepla pomocí vícekritériálního rozhodování. Hlavním kritériem jsou finanční prostředky. Dále jsem navrhnul dílčí součásti otopné plochy: otopné plochy, systém distribuce a zdroj energie. Také jsem porovnával způsoby zásobování teplem.

Klíčová slova: nízkoenergetická budova, pasivní budova, otopná soustava, podlahové vytápění, solární soustava, tepelné čerpadlo.

ANNOTATION

The goal of master's thesis is to find out, which wall composition is optimal, also the most effective way of energy distribution through the use of multi-criteria decision analysis. The key criteria are financial means. Then I designed parts of heating system: heating face, pumps and power source. Also I compared ways of power source.

Key words: low-energy house, passive house, heating system, underfloor heating, solar system, heat pump.

OBSAH

1. POUŽITÉ ZNAČENÍ VELIČIN	6
2. ÚVOD	9
3. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O BUDOVÁCH.....	11
4. TEORETICKO-METODICKÁ ČÁST	13
4.1. Tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831	13
4.1.1. Měrné tepelné ztráty prostupem	14
4.1.2. Měrná tepelná ztráta větráním	15
4.2. Tepelné zisky dle ČSN EN 13 790	16
4.2.1. Solární zisky	16
4.2.2. Vnitřní zisky	17
4.2.3. Faktor využitelnosti tepelných zisků	17
4.3. Posouzení budov dle Vyhlášky 78/2013 Sb.....	17
4.3.1. Posouzení dle průměrné hodnoty součinitele prostupu tepla.....	18
4.4. Způsob vytápění a distribuce	18
4.4.1. Podlahové vytápění.....	18
4.4.2. Distribuce.....	19
4.5. Zdroj tepelné energie.....	20
4.5.1. Využití solárních zisků	20
4.6. Zabezpečovací zařízení	22
4.7. Pojistná zařízení	22
4.8. Regulace	23
4.9. Ekonomická část	24
5. PRAKTICKÁ ČÁST – VYTÁPĚNÍ	25
5.1. Tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831	25
5.2. Množství přeneseného tepla	29
5.3. Vnitřní zisky.....	31
5.4. Faktor využitelnosti tepelných zisků.....	32
5.5. Bilance tepla budov.....	33
5.6. Posouzení dle měrné potřeby tepla na vytápění.....	37
5.7. Známkování budov.....	37
5.8. Zdroje energie	38
5.8.1. Kotel na plynná paliva	38

5.8.2.	Využití nízkoenergetických zdrojů tepla	38
5.9.	Regulace	43
5.10.	Podlahové vytápění	44
5.10.1.	Příprava k instalaci	44
5.10.2.	Provedení otopných ploch v budovách	44
5.10.3.	Hydraulické vyvažování.....	45
6.	PRAKTICKÁ ČÁST – TEPLÁ VODA	46
6.1.	Zdroje energie	46
6.1.1.	Pokrytí potřeby energie na přípravu teplé vody.....	46
6.1.2.	Solární soustava	47
6.1.3.	Tepelné čerpadlo	50
7.	SHRNUTÍ CENOVÝCH NABÍDEKA EKONOMICKÉ ROZHODOVÁNÍ.....	52
7.1.	Závěr ekonomické části	54
8.	ZÁVĚR	57
9.	SEZNAM PŘÍLOH.....	58
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
11.	SEZNAM LITERATURY	59

1. POUŽITÉ ZNAČENÍ VELIČIN

<i>A</i>	[m ²]	plocha obvodové konstrukce
		také
<i>A</i>	[m ²]	celková podlahová plocha (dle [2])
<i>C</i>	[J/K]	tepelná kapacita zóny
<i>G</i>	[1]	činitel zohledňující vliv spodní vody
		také
<i>G</i>	[W/m ²]	solární konstanta
<i>I</i>	[kWh/m ²]	intenzita solárního záření
<i>S</i>	[m ²]	plocha podlahy
<i>T</i>	[W/m ²]	měrné vnitřní tepelné zisky

U	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla
\dot{V}	[m ³ /h]	objemový průtok vzduchu
také		
V	[m ³ /den.osoba]	denní dávka teplé vody
Q	[kWh]	tepelná energie
\dot{Q}	[kW]	tepelná ztráta
také		
\dot{Q}	[kW]	výkon systému
a	[1]	pomocný faktor pro využitelnost tepelných zisků
b	[1]	součinitel zohledňující rozdílné teploty v místnostech
c	[J/kg.K]	tepelná kapacita média
f	[1]	činitel zohledňující roční kolísání venkovních teplot
také		
f	[1]	činitel zohledňující rozdíl mezi průměrnou teplotou venkovního vzduchu v průběhu otopného období a výpočtovou venkovní teplotou
l	[m]	délka lineárního tepelného mostu
n	[1/h]	intenzita výměny vzduchu
m	[kg/h]	hmotnostní průtok otopného média
p	[1]	přirážka zohledňující navýšení výkonu zdroje
t	[°C]	teplota otopného média
také		
t	[°C]	teplota vzduchu (vnitřního a venkovního)
z	[1]	činitel ztrát v soustavě přípravy teplé vody
H	[W/K]	součinitel měrné tepelné ztráty
θ	[K]	teplota vzduchu (vnitřního a venkovního)

Φ	[W]	celková tepelná ztráta
γ	[1]	poměr zisků a ztrát
ζ	[1]	součinitel místní ztráty
η	[1]	faktor využitelnosti tepelných zisků
λ	[1]	součinitel třecí ztráty
ρ	[kg/m ³]	hustota otopného média
τ	[h]	časová konstanta (doba setrvačnosti) budovy
také		
τ	[h]	počet hodin v měsíci
ψ	[W/m.K]	součinitel lineárního tepelného mostu

INDEXOVÁNÍ

t_1	teplota vstupu otopného média (z otopné plochy)
také	
1	pořadí
2	teplota výstupu otopného média (z otopné plochy)
také	
2	pořadí
C	celkový bezrozměrný číselný parametr
$C,0$	počáteční hodnota bezrozměrného číselného parametru
T	prostup tepla skrz obklopující konstrukce
TV	teplo na přípravu teplé vody
V	prostup tepla větráním
a, b, c, d	pořadí
e	venkovní (teplota), průtok vzduchu (venkovního)
ep	průměrná venkovní teplota

i	vnitřní (teplota)
ie	prostup tepla konstrukcí
ij	prostup tepla přes nevytápěný prostor
iue	prostup tepla přes temperovaný prostor
g	prostup tepla zeminou
n	průtok vzduchu, potřebného na výměnu vzduchu v místnosti
$zisk, C$	tepelné zisky celkové
ztr, C	tepelné ztráty celkové
z	zátěž vnitřní (ztráty domácích zařízení)

2. ÚVOD

Ve svoji diplomové práci rozeberu rozdíl mezi nízkoenergetickou a pasivní budovou, jaké zařízení nutně musí obsahovat budova, aby se stala pasivní, jaké složení oproti požadavkům má mít. Nejdůležitější věcí této práce je rozhodnutí, jestli se finančně vyplatí investovat na pořízení budovy pasivního standartu.

Detailně se podívám na postup výpočtu pro stanovení tepelných ztrát, potřeb tepla, tepelných zisků. Zjistím, jaké by měly hodnocení všechny varianty budov v případě certifikaci budovy. Vyhláška 78/2013 Sb. v tom mně pomůže.

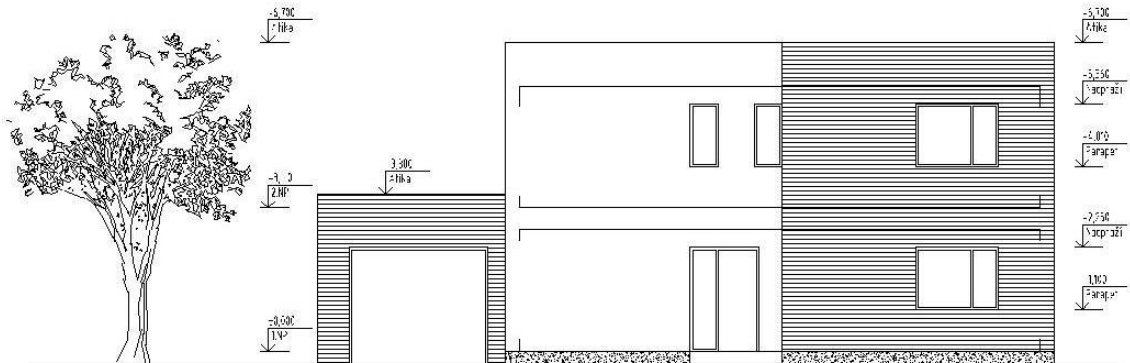
Kapitolou Zdroje energie chci zjistit, jestli cenově nepopulární tepelná čerpadla se mohou konkurovat s tradičním zdrojem tepla, například, plynovým kotlem, a jaké k tomu potřeba podmínky. Závěr kapitoly z ekonomického hlediska uspokojí budoucí investory, majitele budov.

Dále budou následovat konkrétní řešení, všechny dílčí komponenty otopné soustavy s popisem (také ilustrační foto), výkresová dokumentace (přílohy).

3. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O BUDOVÁCH

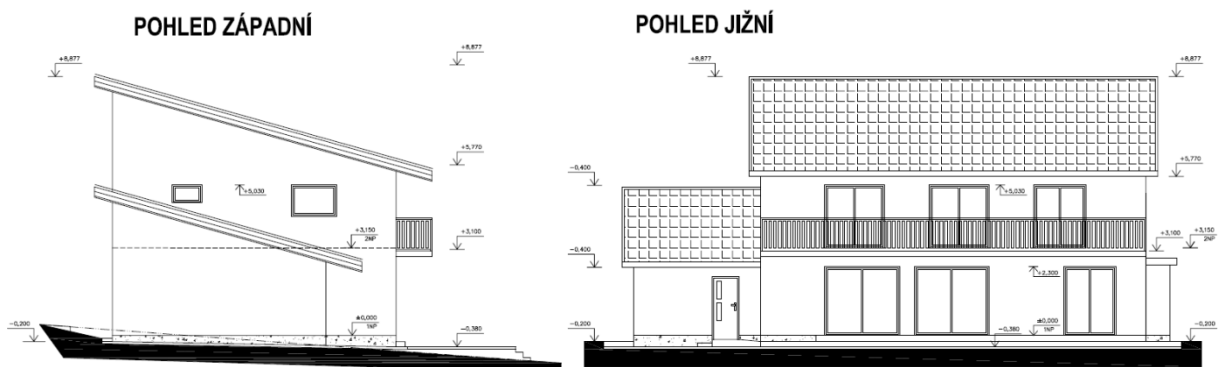
Budova č. 1: Nepodsklepený rodinný dvoupatrový dům s plochou střechou o celkové podlahové ploše 212,2 m², lokalita – město Zlín, orientace vstupu – jihovýchod. Nosné zdi středně těžké, vnitřní příčky z lehčeného betonové směsi. Přilehající garáž nemá vstup z vnitřního prostoru budovy, tedy nebude docházet k nežádoucí infiltraci.

Pohled jihovýchodní



Obr. 1: Fasáda budovy 1

Budova č. 2: Rodinný dvoupatrový dům bez sklepa, celková podlahová plocha 221,7 m², šikmou střechou se sklonem 15°, orientace vstupních dveří - východ. Středně těžké nosné a obklopující stěny, vnitřní zdi z lehčených betonových tvárníc. Velké prosklené plochy směrem na jih, balkon v 2. patře. Lokalita Střední Čechy.



Obr. 2: Fasáda budovy 2

Dále rozdělím každou budovu na dvě odlišné varianty z hlediska tepelně technického. Budova Zlín, varianta 1: součinitel prostupu tepla převzat z ČSN EN 73 0540-2: Požadavky. Vzduchotechnická soustava bez výměníku ZZT. Tatáž budova, varianta 2: vylepšené tepelné parametry zdí, podlah a střechy, jednotka ZZT ve vzduchotechnickém systému.

4. TEORETICKO-METODICKÁ ČÁST

Hlavní zákon, na který odkazují veškeré moje výpočty, je zákon zachování energie. Konkrétně tepelné energie. Průběžně budu odkazovat na normalizační dokumenty (normy ČSN EN a vyhlášky). Základní normu ve svojí práci považuju ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách [1]. Hodnoty z výpočtu dle [1] dále budu zpracovávat podle ČSN EN ISO 13 790: Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení [2]. Zjistím výslednou známku neboli třídu náročnosti budov. Tímto se zabývá vyhláška 78/2013 Sb.

4.1. Tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831

Cílem této kapitoly je přenesené teplo prostupem a přenesené teplo větráním. Jednoduše však k tomuto číslu nedostanu, vypočítám jej z tepelných ztrát. Zóna ve většině případů je tvořena jednou místností (zřídka dvěma a třemi). Hranice zón jsou vždy vedeny zděnou příčkou, tedy vzduch o nižší teplotě nepříjde do styku se vzduchem o vyšší teplotě. Tepelné ztráty dle ČSN EN 12 831:

$$\dot{\Phi} = \dot{\Phi}_T + \dot{\Phi}_V = (H_{T,ie} + H_{T,g} + H_{T,ij} + H_{T,iue} + H_V) \cdot [\Theta_i - \Theta_e] [\text{W}] \quad (1)$$

Člen rovnice	Popis
$H_{T,ie}$	součinitel měrné tepelné ztráty prostupem okolními plochami [W/K]
$H_{T,g}$	součinitel měrné tepelné ztráty zeminou [W/K]
$H_{T,ij}$	součinitel měrné tepelné ztráty přes nevytápěný prostor [W/K]
$H_{T,iue}$	součinitel měrné tepelné ztráty přes temperovaný prostor [W/K]
H_V	součinitel měrné tepelné ztráty větráním [W/K]
Θ_i	návrhová vnitřní teplota vzduchu [°C]
Θ_e	venkovní výpočtová teplota [°C]

4.1.1. Měrné tepelné ztráty prostupem

Rozepíšu jednotlivé součinitele tepelných ztrát. Měrná ztráta prostupem obklopujícími plochami se spočítá dle vzorce:

$$H_{T,ie} = \sum_a S_a \cdot U_a + \sum_b \psi_b \cdot l_b \quad [\text{W/K}] \quad (2)$$

S_a ... plocha všech okolních ploch prostoru [m^2]

U_a ... součinitel prostupu tepla konstrukce [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

ψ_b ... součinitel lineárního prostupu tepla [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]

l_b ... délka lineárního tepelného mostu [m]

Měrná ztráta zeminou vypadá takto:

$$H_{T,ig} = \left(\sum_b S_b \cdot U_b \right) \cdot G_w \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \quad [\text{W/K}] \quad (3)$$

S_c ... plocha podlahy [m^2]

U_c ... součinitel prostupu tepla podlahou [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

G_w ... činitel zohledňující vliv spodní vody

f_{g1} ... činitel zohledňující roční kolísání venkovních teplot (pevně dán – 1,45)

f_{g2} ... činitel zohledňující rozdíl mezi průměrnou teplotou venkovního vzduchu v průběhu otopného období a výpočtovou venkovní teplotou.

Měrná ztráta přes nevytápěný prostor má tvar:

$$H_{T,ij} = \left(\sum_c S_c \cdot U_c \right) \cdot \frac{t_i - t_j}{t_i - t_e} \quad [\text{W/K}] \quad (4)$$

U_d ... součinitel prostupu tepla příčky dělicí prostory [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

S_d ... plocha podlahy [m^2]

t_i ... teplota uvnitř prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

t_j ... teplota v nevytápěném prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

Měrná ztráta přes temperovaný prostor:

$$H_{T,iue} = \left(\sum_d S_d \cdot U_d \right) \cdot \frac{t_i - t_u}{t_i - t_e} [\text{W}/\text{K}] \quad (5)$$

U_e ... součinitel prostupu tepla příčky dělicí prostory [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

S_e ... plocha podlahy [m^2]

t_i ... teplota uvnitř prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

t_u ... teplota ve vytápěném prostoru s jinou teplotou [$^{\circ}\text{C}$]

4.1.2. Měrná tepelná ztráta větráním

Měrná ztráta větráním se určí dle vztahu:

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c [\text{W}/\text{K}] \quad (6)$$

$$\dot{V} = \max\{\dot{V}_e, \dot{V}_n\} \quad (7)$$

V ... objemový průtok vzduchu [m^3/s]

ρ ... hustota vzduchu [kg/m^3]

c ... tepelná kapacita vzduchu [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]

Objemový průtok se stanoví jako nejvyšší z hodnot:

Potřebné množství čerstvého vzduchu pro osoby [$35 \text{ m}^3/\text{h.osoba}$] anebo z intenzity výměny vzduchu v prostoru (rozděleno dle účelu místnosti) n

Účel místnosti	n [1/h]
Obytný prostor	0,5 nebo 0,3
Neobytný prostor	0,3
WC, koupelna	1
Ostatní místnosti	0,3

4.2. Tepelné zisky dle ČSN EN 13 790

Spolu se ztrátami zevnějšku i zevnitř na budovu působí tepelné zisky (někdy i zátěž), v otopném období rozhodně nebudou nevhod, neboť přispějí pozitivně na bilanci tepla na vytápění. Normy uvádějí zisky od solární energie a od veškeré domácí, kuchyňské a kancelářské techniky. Provedu rozbor dvou základních tepelných zisků.

4.2.1. Solární zisky

Intenzita vyzařovaného výkonu na povrchu Slunce je $60 \text{ MW}/\text{m}^2$, avšak na hranici atmosféry intenzita ozáření $G=1367 \text{ W}/\text{m}^2$. Kromě toho, v horní vrstvě dojde k odrazu, část energie se pohltí samotnou atmosférou, na povrch Země dopadá zhruba polovina hodnoty G . Energie od solárního záření, neboli tepelná zátěž, se stanoví zdlouhavým způsobem dle normy ČSN 73 0548. Postup je následující:

- Z intenzit slunečního ozáření a měrné doby slunečního svitu sečtením po hodinách se určí energie na metry čtverečné [$\text{W.h}/\text{m}^2$],
- Vypočítají se plochy na světové strany,
- Násobením těchto dvou hodnot se stanoví celkové solární záření za měsíc [Wh]

4.2.2 Vnitřní zisky

Tepelné zisky z domácí techniky, kuchyňských spotřebičů, kancelářské techniky (pro rodinný dům se předpokládá, že tyto techniky bude nezbytné minimum), rozvodů teplé a studené vody, kanalizačních potrubí, rozvodů vytápění a chlazení atd.

4.2.3 Faktor využitelnosti tepelných zisků

Skutečné tepelné zisky jsou nižší, nelze je využít v plné míře. Přepočet mezi teoretickou hodnotou a reálnou uvádí [2].

Směrodatná veličina je bezrozměrný poměr zisků k/ke ztrátám

$$\gamma_H^{a_c} = \frac{Q_{zisk,C}}{Q_{ztr,C}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right] \quad (8)$$

$$\gamma_H \geq 0 \text{ a } \gamma_H \neq 1 \Rightarrow \eta = \frac{1 - \gamma_H^{a_c}}{1 - \gamma_H^{a_c+1}} \quad (9)$$

Bezrozměrný parametr a_c se spočítá z dalších pomocných veličin, jakožto:

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}} \quad (10)$$

$\tau_{c,0}$... referenční konstanta budovy

τ ... časová konstanta budovy

4.3. Posouzení budov dle Vyhlášky 78/2013 Sb.

Určit kategorie, do kterých spadají budovy, mohu dle výše uvedené vyhlášky. Vyhláška zahrnuje dva odlišná měřítka, nejsou však vzájemně vylučující.

Veličina	Jednotka
Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla	W/m ² .K
Měrná potřeba tepla na vytápění	kWh/m ² .rok

4.3.1. Posouzení dle průměrné hodnoty součinitele prostupu tepla

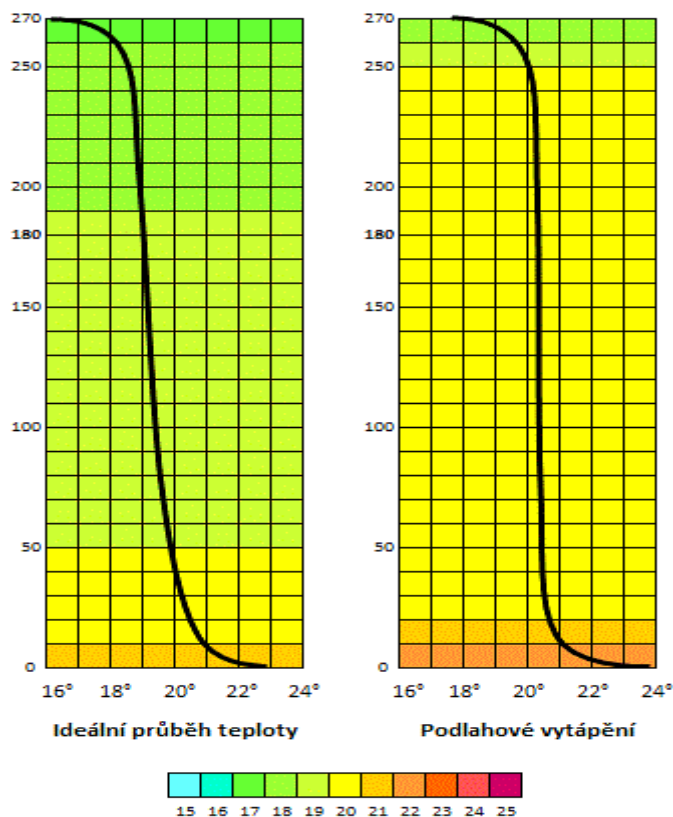
Průměrný součinitel prostupu tepla určím jednoduše matematickou metodou – váženým průměrem

$$U_m = \frac{\sum_a U_a \cdot S_a}{\sum_a S_a} \quad (11)$$

4.4. Způsob vytápění a distribuce

4.4.1. Podlahové vytápění

Otopná soustava zabudovaná v podlahové konstrukci má z hlediska teplotního gradientu nejlepší charakteristiku: pocit uspokojenosti při dotyku (chůzi) s podlahou, dále mírný pokles teploty v závislosti na výšce. Rozdíl teplot ve výškách 0,15m a 1,5 m dosahuje 2 až 4K [5], což je nejmenší ze všech druhů vytápění.



Obr. 3: Rozložení teplot s výškou nad podlahou

4.4.2. Distribuce

Základní zákon pro pohyb otopného média je popsán zjednodušeným tvarem Bernoulliho rovnice:

Úplné znění Bernoulliho rovnice:

$$p_1 + \frac{w_1^2}{2} \cdot \rho + g \cdot \Delta h_1 \cdot \rho = p_2 + \frac{w_2^2}{2} \cdot \rho + g \cdot \Delta h_2 \cdot \rho + \Delta p_{z12} \text{ [Pa]} \quad (12)$$

kde

p_1 – statický tlak na začátku sledovaného úseku,

p_2 – statický tlak na konci sledovaného úseku,

$\frac{w_1^2}{2} \cdot \rho$ - dynamický tlak na začátku sledovaného úseku,

$\frac{w_2^2}{2} \cdot \rho$ - dynamický tlak na konci sledovaného úseku,

$g \cdot \Delta h_1 \cdot \rho$ - nárůst/úbytek celkového tlaku v důsledku převýšení na začátku sledovaného úseku,

$g \cdot \Delta h_2 \cdot \rho$ - nárůst/úbytek celkového tlaku v důsledku převýšení na konci sledovaného úseku,

Δp_{z12} - ztrátový tlak (disipační) mezi odběrným místem 1 a 2.

Zjednodušený tvar rovnice pro otopné soustavy slovně: dopravní tlak čerpadla musí být větší nebo roven tlakovým ztrátám hydraulické větve

$$\Delta p_{\text{cerp}} \geq \Delta p_z \quad (13)$$

kde tlakové ztráty celkové se skládají ze ztrát třením podél rovných úseku potrubí (λ) a ztrát místních (ζ):

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\zeta \quad (14)$$

4.5. Zdroj tepelné energie

Existuje spousta metod stanovení instalačního výkonu kotle. Matematicky je vyjádřeno velice jednoduše – sečtením dílčích výkonů na pokrytí potřeby odběru energie.

Instalovaný výkon se vypočítá dle vzorce:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_z \cdot (1 + p_1 + p_2 + \dot{Q}_{TV}) \quad (15)$$

kde

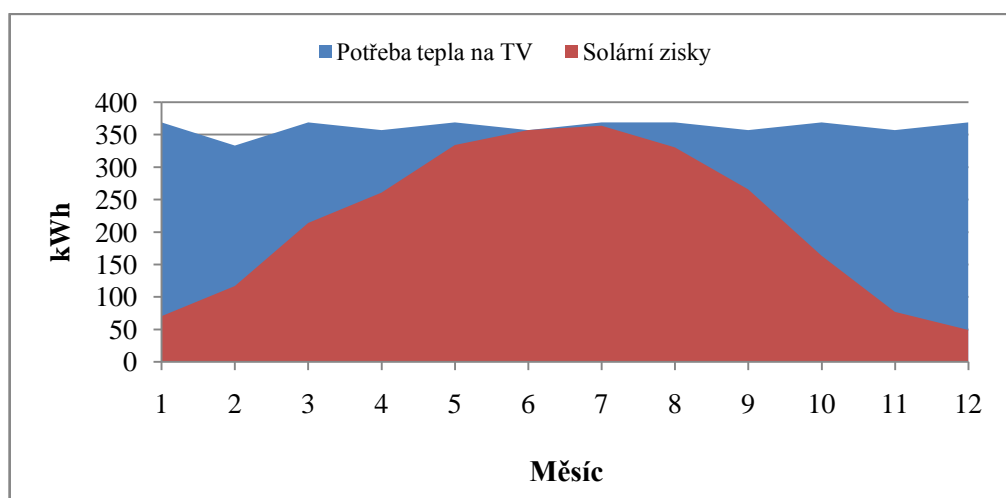
- Q_z ... tepelné ztráty,
 p_1 ... přírážka na urychlení zátopy,
 p_2 ... přírážka, zohledňující provoz
 Q_{TV} ... výkon potřebný k přípravě teplé vody

4.5.1. Využití solárních zisků

Příroda nám nabízí možnost alespoň částečně zajistit dodávku tepla pro normální provoz budovy. V dalších kapitolách povím o pokrytí potřeb energie z obnovitelných zdrojů. Jedna z možností je použití solárních kolektorů. Současné špičkové trubcové kolektory mají dobré provedení z hlediska materiálu a účinnosti. Energetická špička nastává v letních měsících, kdežto v zimě kvůli kratší době svitu dopadá na plochu kolektoru řádově jednotky až desítky kWh energie na metr čtverečný.

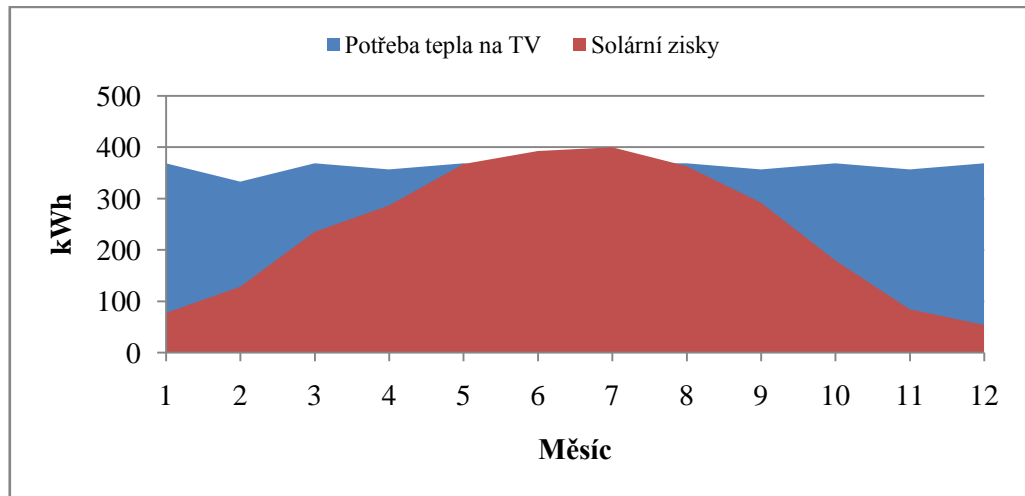
Proberu možnosti řešení krytí potřeby teplé vody solárními kolektory:

- Jedna z možností je „optimální“ - bez přebytku tepla



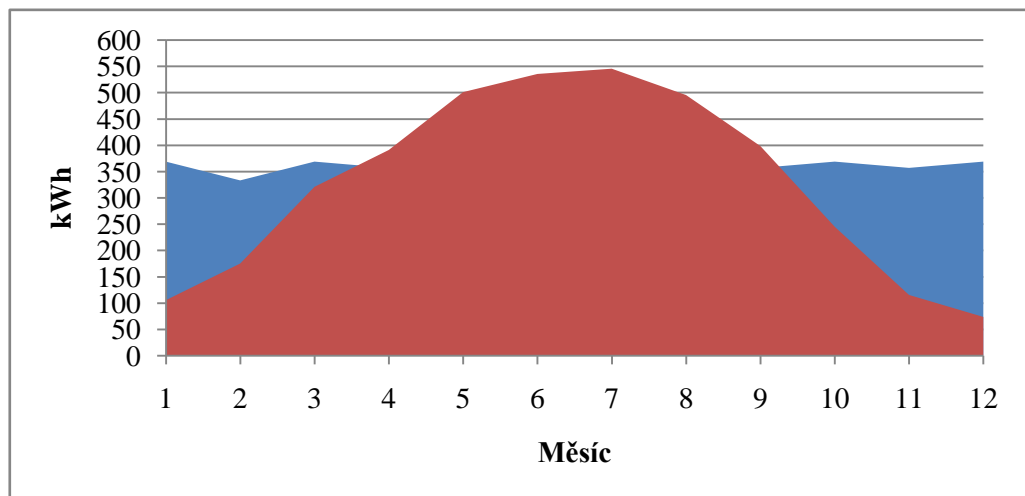
Obr. č. 4: Solární soustava bez přebytku tepla

- Druhá možnost s mírnými přebytky, budova se stává v červnu a červenci soběstačná, tj. nepotřebuje žádnou energii zvenčí.



Obr. č. 5: Solární soustava s mírnými přebytky tepla

- „Neefektivní“ úvaha, pokrytí potřeb energie na TV v delším časovém úseku, toto provedení má však více nevýhod: stagnace kolektorů při dosažení určité teploty v primárním okruhu, nevyužitelnost tepelných zisků v letních měsících (pokud na pozemku není bazén)



Obr. č. 6: Solární soustava s přebytky tepla

Solární zisky u „optimální“ provedení dokážou pokryt 58 % potřeby tepla na ohřev vody. Zvýšení plochy solárních kolektorů je zbytečné z důvodu rostoucí doby návratu investic na pořízení fototermiky. Kombinace příprava teplé vody a vytápění nepřipadá v úvahu, neboť podíl solárních zisků by nepřesahoval 14 % u „optimální“ verze.

4.6. Zabezpečovací zařízení

Tlaková nádoba zachytí případná objemová roztažnost vody v otopné soustavě. Velikost tlakové nádoby určím dle vztahu [6]:

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \quad (16)$$

kde

V_{et} objem expanzní tlakové nádoby [l]

V_o objem vody v otopné soustavě [l]

n součinitel zvětšení objemu [1]

η stupeň využití expanzní tlakové nádoby [1]

4.7. Pojistná zařízení

Moderní zdroje tepla jsou projektovány s pojistným zařízením – pojistným ventilem. Pokud zdroj tepla v sobě neobsahuje pojistný ventil, je potřeba jej navrhnout. Průřez ventilu je závislý na instalovaném výkonu kotle, tedy na maximálním výkonu kotle.

$$S [\text{m}^3/\text{h}] = Q [\text{kW}] \quad (17)$$

Slovně: průřez pojistného ventilu (rychlost proudění do 0,6 m/s) musí odpovídat maximálnímu výkonu zdroje energie.

4.8. Regulace

Tepelné ztráty jsou závislé na venkovní teplotě (č. vztahu), při sledování venkovních teplot je možné velice přesně pokrývat tepelné ztráty odpovídajícím výkonem otopné soustavy.

Regulovat lze:

- Vnitřní teploty – regulace výkonu buď zdroje, zóny otopného okruhu, nebo otopného tělesa či otopné plochy
- Venkovní teploty – regulace výkonu zdroje

Centrálně lze regulovat:

- Konstantním průtokem (kvalitativně) $m=konst$ – odpadá nutnost regulovat čerpadlo
- Konstantní teplotní spád (kvantitativně) $\Delta t=konst$ – měnný průtok, řízení průtoku na čerpadle

Regulace pohonných jednotek

Způsoby řízení čerpadel:

- Škrcením (throttling) – maření již vyrobené energie
- Obtokem (bypassing flow) – založeno na fyzikálním principu cesty nejmenšího odporu
- Pulzně-šířkovou modulací (frequency drive) – neoptimálnější způsob regulace čerpadel

4.9. Ekonomická část

Metoda doby návratnosti investic je jednoduchý, snadno srozumitelný způsob výpočtu vkladu investic, a ve svojí práci ji použiji. Doplním metodu mírou inflace, poté se od metody čisté současné hodnoty principiálně neliší. Vzorec pro výpočet vypadá takto:

$$D = \frac{IN}{CF} \quad (18)$$

kde IN – rozdíl investic,

CF – tok finančních prostředků za období (obvykle rok)

Po doplnění mírou inflace vzorec vypadá takto:

$$D = \frac{IN}{\sum CF \cdot (1+r)^j} \quad (19)$$

kde r – míra inflace [%]

Pomocí jednoduché metody doby návratnosti investic vypočítám delší časový úsek, po kterém s jistotou mohu říci, jaká z variant výhodnější z hlediska finančního.

5. PRAKTICKÁ ČÁST – VYTÁPĚNÍ

5.1. Tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831

Výpočet tepelných ztrát jsem prováděl pro každou zónu (prostor).

Hodnota součinitele prostupu tepla U se podle ČSN 73 0540-2 posuzuje na předmět zařazení budovy do kategorie (postačující, doporučené, pasivní). V kapitole Posouzení budov se na to podíváme podrobněji.

Předpokládám, že v budově bude bydlet 5 osob, celková potřeba čerstvého vzduchu 175 m³/h, kdežto požadavek na nezbytné množství větracího vzduchu je pro budovu Zlín – 241,6 m³/h, pro budovu Praha – 227,2 m³/h.

Stanovil jsem měrné tepelné ztráty budov, následně tepelné ztráty. Sloupec Vnitřní návrhová teplota je pouze informativní, výsledná tepelná ztráta se určí ze základního rozdílu teplot, tedy všechny měrné tepelné ztráty narostou činitelem b zohledňujícím poměr skutečného rozdílu teplot a výpočtového.

Tab. 1: Měrné tepelné ztráty a celkové tepelné ztráty budovy Zlín, varianta 1

Poř. č.	Místnost	Podlahová plocha	Měrná tepelná ztráta prostupem	Měrná tepelná ztráta větráním	Celkové měrné tepelné ztráty	Tepelná ztráta prostupem	Tepelná ztráta větráním	Celkové tepelné ztráty
		[m ²]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W]	[W]	[W]
101	zádveří	3,8	3,8	1,2	5,0	100	50	150
102	Skład	2,25	1,1	0,0	1,1	50	0	50
103	schodiště	5,37	1,1	0,0	1,1	50	0	50
104	WC	8,4	1,6	8,8	10,4	50	300	350
105	Pokoj	14,96	5,5	4,7	10,2	200	150	350
106	spíž	1,92	0,6	0,0	0,6	0	0	0
107	Kuchyně	6,54	2,0	6,8	8,9	50	200	250
108	Jídelna	7	10,0	3,7	13,6	300	100	400
109	Obývací pokoj	31,56	10,5	16,5	27,0	350	550	900
110	garáž	31,77	11,2	10,0	21,2	350	300	650
111	Dílna	7,18	4,1	2,3	6,4	150	50	200
								0
201	chodba	15,35	5,3	0,0	5,3	150	0	150
202	WC+Prádelna	8,04	2,8	7,2	10,0	100	250	350
203	pokoj	17,28	4,8	4,6	9,4	150	150	300
204	šatna	7,59	2,2	0,0	2,2	50	0	50
205	pokoj	13,2	5,0	3,5	8,5	150	100	250
206	pokoj	14,6	5,2	3,9	9,1	150	150	300
207	WC+Koupelna	9,12	3,2	8,1	11,3	100	250	350
208	balkón	0,87	2,4	0,0	2,4	100	0	100
103	Schodiště	5,37	0,5	0,0	0,5	0	0	0
		212,17	83,0	81,3	164,3	2600	2600	5200

Tab. 2: Měrné tepelné ztráty a celkové tepelné ztráty budovy Zlín, varianta 2

Poř. č.	Místnost	Podlahová plocha	Měrná tepelná ztráta prostupem	Měrná tepelná ztráta větráním	Celkové měrné tepelné ztráty	Tepelná ztráta prostupem	Tepelná ztráta větráním	Celkové tepelné ztráty
		[m ²]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W]	[W]	[W]
101	zádveří	3,8	3,5	0,3	3,8	100	0	100
102	Skład	2,25	0,9	0,0	0,9	50	0	50
103	schodiště	5,37	0,8	0,0	0,8	50	0	50
104	WC	8,4	1,1	1,8	2,9	50	50	100
105	Pokoj	14,96	4,5	1,0	5,5	150	50	200
106	spíž	1,92	0,4	0,0	0,4	0	0	0
107	Kuchyně	6,54	1,6	1,4	3,0	100	50	150
108	Jídelna	7	9,4	0,8	10,2	300	50	350
109	Obývací pokoj	31,56	8,3	3,5	11,8	250	100	350
110	garáž	31,77	10,9	2,1	13,0	350	50	400
111	Dílna	7,18	3,7	0,5	4,1	100	0	100
								0
201	chodba	15,35	5,1	0,0	5,1	150	0	150
202	ložnice	8,04	2,6	1,5	4,1	100	50	150
203	pokoj	17,28	4,5	1,0	5,5	150	50	200
204	šatna	7,59	2,0	0,0	2,0	50	0	50
205	pokoj	13,2	4,6	0,7	5,4	150	0	150
206	pokoj	14,6	4,9	0,8	5,7	150	50	200
207	WC+Koupelna	9,12	3,0	1,7	4,7	100	50	150
208	balkón	0,87	2,4	0,0	2,4	100	0	100
103	Schodiště	5,37	0,5	0,0	0,5	0	0	0
		212,17	74,7	17,1	91,8	2450	550	3000

Poznámka: Výška konstrukce obklopující schodiště se skládá z výšek 1. a 2. patra, je vypočtena individuálně.

Tab. 3: Měrné tepelné ztráty a celkové tepelné ztráty budovy Praha, varianta 1

Poř. č.	Místnost	Podlahová plocha	Měrná tepelná ztráta prostupem	Měrná tepelná ztráta větráním	Celkové měrné tepelné ztráty	Tepelná ztráta prostupem	Tepelná ztráta větráním	Celkové tepelné ztráty
		[m ²]	[W/K]	[W/K]	[W/K]	[W]	[W]	[W]
101	Obývací pokoj	36,7	12,5	19,5	32,0	400	600	1000
102	Kuchyň	9,8	3,5	10,4	13,9	100	350	450
103	Chodba	8,4	1,3	0,0	1,3	50	0	50
104	Schodiště	7,4	2,4	0,0	2,4	100	0	100
105	Zádveří	6,8	3,4	2,2	5,5	100	100	200
106	Šatna	3,6	2,5	0,0	2,5	100	0	100
107	Pracovna	11,0	6,5	3,5	10,0	200	100	300
108	WC	2,7	1,6	2,9	4,5	50	100	150
109	Komora	3,4	0,8	0,0	0,8	50	0	50
110	Technická místnost	5,5	1,6	1,8	3,3	50	50	100
111	Spíž	2,3	0,2	0,0	0,2	0	0	0
112	Garáž	25,0	11,3	8,0	19,3	350	250	600
								0
201	Chodba	7,6	1,6	0,0	1,6	50	0	50
202	Ložnice	20,9	6,2	5,7	11,9	200	200	400
203	Pokoj	19,0	4,2	5,2	9,4	150	150	300
204	Pokoj	20,3	7,6	5,5	13,2	250	200	450
205	Šatna	5,9	2,5	0,0	2,5	100	0	100
206	Koupelna	11,3	4,9	10,2	15,2	150	350	500
207	WC	2,0	0,9	1,8	2,7	50	50	100
208	Balkón	12,1	0,0	0,0	0,0	0	0	0
		221,7	75,5	76,5	152,0	2500	2500	5000

Tab. 4: Měrné tepelné ztráty a celkové tepelné ztráty budovy Praha, varianta 2

Poř. č.	Místnost	Podlahová plocha [m ²]	Měrná tepelná ztráta prostupem [W/K]	Měrná tepelná ztráta větráním [W/K]	Celkové měrné tepelné ztráty [W/K]	Tepelná ztráta prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celkové tepelné ztráty [W]
101	Obývací pokoj	36,7	10,0	4,1	14,1	300	150	450
102	Kuchyň	9,8	2,8	2,2	5,0	100	100	200
103	Chodba	8,4	0,8	0,0	0,8	0	0	0
104	Schodiště	7,4	2,1	0,0	2,1	100	0	100
105	Zádveří	6,8	3,0	0,5	3,4	100	0	100
106	Šatna	3,6	2,1	0,0	2,1	100	0	100
107	Pracovna	11,0	5,5	0,7	6,3	200	0	200
108	WC	2,7	1,4	0,6	2,0	50	0	50
109	Komora	3,4	0,6	0,0	0,6	0	0	0
110	Technická místnost	5,5	1,3	0,4	1,6	50	0	50
111	Spíž	2,3	0,1	0,0	0,1	0	0	0
112	Garáž	25,0	10,7	1,7	12,4	350	50	400
								0
201	Chodba	7,6	1,5	0,0	1,5	50	0	50
202	Ložnice	20,9	5,9	1,2	7,1	200	50	250
203	Pokoj	19,0	7,2	1,1	8,3	250	50	300
204	Pokoj	20,3	10,4	1,2	11,6	350	50	400
205	Šatna	5,9	2,3	0,0	2,3	100	0	100
206	Koupelna	11,3	4,7	2,1	6,8	150	50	200
207	WC	2,0	0,9	0,4	1,2	50	0	50
208	Balkón	12,1	0,0	0,0	0,0	0	0	0
		221,7	73,3	16,1	89,4	2500	500	3000

Poznámka: schodiště zasahuje dvě patra, avšak tepelná ztráta části schodiště v druhém patře je zahrnuta v tepelné ztrátě chodby

5.2. Množství přeneseného tepla

Závěrem kapitoly uvedu teplo přenesené prostupem a větráním pro měsíc listopad. Dále, v každé kapitole a podkapitole budu počítat jen s měsícem listopad. Hodnoty tepelných ztrát prostou matematickou operací přetvořím na množství tepla, a to násobením časem. Norma ČSN EN 13 790 uvádí pojem přenesené teplo prostupem či větráním.

Přenos tepla prostupem

$$Q_{T,A}=H_T \cdot \Delta t \cdot \tau \text{ [W/K} \cdot \text{K} \cdot \text{h]}=101,9 \cdot (17,2-3,2) \cdot 720=1029,43 \text{ [kWh]},$$

$$Q_{T,B}=H_T \cdot \Delta t \cdot \tau \text{ [W/K} \cdot \text{K} \cdot \text{h]}=107,9 \cdot (16,3-3,2) \cdot 720=1019,7 \text{ [kWh]},$$

Přenos tepla větráním

$$Q_{T,A}=H_T \cdot \Delta t \cdot \tau \text{ [W/K} \cdot \text{K} \cdot \text{h]}=81,3 \cdot (17,2-3,2) \cdot 720=821,7 \text{ [kWh]},$$

$$Q_{T,B}=H_T \cdot \Delta t \cdot \tau \text{ [W/K} \cdot \text{K} \cdot \text{h]}=76,5 \cdot (16,3-3,2) \cdot 720=723,0 \text{ [kWh]},$$

Tab. 5: Energie dopadla na průsvitné a neprůsvitné plochy v závislosti na měsíci a světové orientaci

Měsíc	Počet dnů n [den]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Solární záření za měsíc [kWh/m ²]			
			Sever	Jih	Východ	Západ
Leden	31	-1,3	8	34	14	14
Únor	28	-0,1	13	51	26	26
Březen	31	3,7	25	74	47	47
Duben	30	8,1	36	86	74	74
Květen	31	13,3	49	87	87	87
Červen	30	16,1	52	76	90	90
Červenec	31	18	51	78	84	84
Srpen	31	17,9	42	96	80	80
Září	30	13,5	29	78	53	53
Říjen	31	8,3	19	74	39	39
Listopad	30	3,2	9	45	18	18
Prosinec	31	0,5	6	29	11	11

Tab. 6: Orientace obvodových konstrukcí (budova Zlín)

Světová orientace	Neprůsvitná plocha [m ²]	Průsvitná plocha [m ²]
S	71,70	2,91
Z	93,11	2,60
J	100,94	2,43
V	92,86	3,54

Tab. 7: Orientace obvodových konstrukcí (budova Praha)

Světová orientace	Neprůsvitná plocha [m ²]	Průsvitná plocha [m ²]
S	76,09	2,07
Z	42,03	0,90
J	132,84	16,22
V	29,93	0,90

Poznámka: plochy jsou vypočítány s ohledem na korekce, v této fázi plochy mohou sčítat.

$$Q_{T,A} = I * A \text{ [kWh/m}^2 * \text{m}^2 \text{]} =$$

$$= 9 * (71,70 + 2,91) + 18 * (93,11 + 2,60) + 45 * (100,94 + 2,43) + 18 * (92,86 + 3,54) = 246,1 \text{ [kWh]};$$

$$Q_{T,B} = I * A \text{ [kWh/m}^2 * \text{m}^2 \text{]} =$$

$$= 9 * (76,09 + 2,07) + 18 * (42,03 + 0,9) + 45 * (132,84 + 16,22) + 18 * (29,93 + 0,9) = 444,3 \text{ [kWh]};$$

5.3. Vnitřní zisky

Vnitřní zisky vypočítám z průměrné hodnoty tepelné zátěže vnitřních prostor [3,1 W/m²].

$$Q_{T,A} = T_z * \tau * S \text{ [W/m}^2 * \text{h} * \text{m}^2 \text{]} = 3,1 * 720 * 212,2 = 362,6 \text{ [kWh]},$$

$$Q_{T,B} = T_z * \tau * S \text{ [W/m}^2 * \text{h} * \text{m}^2 \text{]} = 3,1 * 720 * 221,7 = 366,4 \text{ [kWh]}$$

5.4. Faktor využitelnosti tepelných zisků

Spočítám faktor využitelnosti tepelných zisků znovu pro listopad.

Budova Zlín:

$$\gamma_H = \frac{Q_{zisk,C} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right]}{Q_{ztr,C} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right]} = \frac{246.1 + 362.6}{1159.1 + 952.2} = 0.292$$

$$\tau = \frac{C_m}{H_T + H_V} = \frac{165000 \cdot A_f}{H_T + H_V} = \frac{165000 \cdot 212.7}{101.9 + 81.3} = 191065 \text{ s} = 53 \text{ h}$$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} = 1 + \frac{53}{15} = 4.54$$

$$\eta = \frac{1 - \gamma_H^{a_C}}{1 - \gamma_H^{a_C+1}} = \frac{1 - 0.292^{4.54}}{1 - 0.292^{5.54}} = 0.997$$

Budova Praha:

$$\gamma_H = \frac{Q_{zisk,C} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right]}{Q_{ztr,C} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWh}} \right]} = \frac{444.3 + 366.4}{1188.6 + 842.7} = 0.269$$

$$\tau = \frac{C_m}{H_T + H_V} = \frac{165000 \cdot A_f}{H_T + H_V} = \frac{165000 \cdot 221.6}{107.9 + 76.5} = 198375 \text{ s} = 55 \text{ h}$$

$$a_C = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}} = 1 + \frac{55}{15} = 4.67$$

$$\eta = \frac{1 - \gamma_H^{a_C}}{1 - \gamma_H^{a_C+1}} = \frac{1 - 0.269^{4.67}}{1 - 0.269^{5.67}} = 0.998$$

5.5. Bilance tepla budov

Tab. 8: Bilance budovy Zlín, varianta 1

Celková bilance tepla [kWh]						
Měsíc	Teplo prostupem [kWh]	Teplo větráním [kWh]	Solární zisky [kWh]	Vnitřní zisky [kWh]	Faktor využitelnosti tepelných zisků η_H	Energetická náročnost [kWh]
Leden	1253,5	1228,4	191,9	374,7	0,9995	1916
Únor	1065,3	1043,9	321,4	338,5	0,9978	1451
Březen	944,8	925,8	541,1	374,7	0,9848	969
Duben	651,4	638,3	768,1	362,6	0,8815	293
Květen	352,0	344,9	888,2	374,7	0,5384	17
Červen	173,3	169,8	888,6	362,6	0,2739	0
Červenec	61,8	60,5	853,7	374,7	0,0995	0
Srpen	67,9	66,6	846,7	374,7	0,1101	0
Září	328,7	322,1	599,3	362,6	0,6414	34
Říjen	660,7	647,5	474,5	374,7	0,9551	497
Listopad	944,2	925,2	246,1	362,6	0,9974	1262
Prosinec	1142,4	1119,5	155,5	374,7	0,9994	1732
Ročně	7645,9	7492,4	6774,9	4412,0		8171
						[kWh/m ² .rok]
						38,51

Tab. 9: Bilance budovy Zlín, varianta 1 (denostupňová metoda)

Denostupňová metoda						
Otopné období [dnů]	Počet hodin [h]	Návrhová vnitřní teplota [°C]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Venkovní návrhová teplota t_e [°C]	ε [-]	Potřeba tepla [kWh]
225	24	17,1	4	-12	0,857375	9962,1

Tab. 9: *Bilance budovy Zlín, varianta 2*

Celková bilance tepla [kWh]						
Měsíc	Teplo prostupem [kWh]	Teplo větráním [kWh]	Solární zisky [kWh]	Vnitřní zisky [kWh]	Faktor využitelnosti tepelných zisků η_H	Energetická náročnost [kWh]
Leden	1128,7	258,0	191,9	374,7	0,9996	820
Únor	959,2	219,2	321,4	338,5	0,9959	521
Březen	850,7	194,4	541,1	374,7	0,9388	185
Duben	586,5	134,0	768,1	362,6	0,6310	7
Květen	316,9	72,4	888,2	374,7	0,3083	0
Červen	156,0	35,7	888,6	362,6	0,1532	0
Červenec	55,6	12,7	853,7	374,7	0,0556	0
Srpen	61,2	14,0	846,7	374,7	0,0615	0
Září	295,9	67,6	599,3	362,6	0,3779	0
Říjen	594,9	136,0	474,5	374,7	0,8125	41
Listopad	850,1	194,3	246,1	362,6	0,9946	439
Prosinec	1028,6	235,1	155,5	374,7	0,9995	734
Ročně	6884,4	1573,4	6774,9	4412,0		2748
						[kWh/m ² .rok]
						12,95

Tab. 10: *Bilance budovy Zlín, varianta 2 (denostupňová metoda)*

Denostupňová metoda						
Otopné období [dnů]	Počet hodin [h]	Návrhová vnitřní teplota [°C]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Venkovní návrhová teplota t_e [°C]	$\varepsilon[-]$	Potřeba tepla [kWh]
225	24	17,1	4	-12	0,857375	5565,9

Denostupňovou metodou výpočet ukazuje pro variantu 1 a 2: 9962,1 kWh/rok resp. 5570,1 kWh/rok. Za použití výměníku zpětného získávání tepla denostupňová metoda již není vhodná, rozdíl metod pak dosahuje řadově desítek procent.

Tab. 11: *Bilance budovy Praha, varianta 1*

Celková bilance tepla [kWh]						
Měsíc	Teplo prostupem [kWh]	Teplo větráním [kWh]	Solární zisky [kWh]	Vnitřní zisky [kWh]	Faktor využitelnosti tepelných zisků η_H	Energetická náročnost [kWh/rok]
Leden	1112,1	1126,9	337,6	378,6	0,9986	1523,7
Únor	943,6	956,2	511,3	342,0	0,9930	1052,4
Březen	831,2	842,3	756,9	378,6	0,9578	585,9
Duben	565,3	572,8	903,0	366,4	0,7955	128,2
Květen	292,1	296,0	939,2	378,6	0,4432	4,0
Červen	130,4	132,2	842,9	366,4	0,2171	0,0
Červenec	28,1	28,5	855,9	378,6	0,0458	0,0
Srpen	33,7	34,1	1008,5	378,6	0,0489	0,0
Září	271,8	275,4	803,9	366,4	0,4636	4,6
Říjen	572,9	580,5	743,0	378,6	0,8567	192,5
Listopad	831,6	842,7	444,3	366,4	0,9901	871,7
Prosinec	1011,0	1024,5	286,2	378,6	0,9985	1371,6
Ročně	6623,6	6712,1	8432,7	4457,9		5734,8
						[kWh/m ² .rok]
						25,87

Tab. 12: *Bilance budovy Praha, varianta 1 (denostupňová metoda)*

Denostupňová metoda						
Otopné období [dnů]	Počet hodin [h]	Návrhová vnitřní teplota t_i [°C]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Venkovní návrhová teplota t_e [°C]	$\varepsilon[-]$	Potřeba tepla [kWh]
225	24	16,3	4	-12	0,857375	8673,9

Tab. 13: *Bilance budovy Praha, varianta 2*

Celková bilance tepla [kWh]						
Měsíc	Teplo prostupem [kWh]	Teplo větráním [kWh]	Solární zisky [kWh]	Vnitřní zisky [kWh]	Faktor využitelnosti tepelných zisků η_H	Energetická náročnost [kWh/rok]
Leden	1079,7	236,7	337,6	378,6	0,9975	601,9
Únor	916,1	200,8	511,3	342,0	0,9746	285,2
Březen	807,1	176,9	756,9	378,6	0,8212	51,5
Duben	548,8	120,3	903,0	366,4	0,5261	1,3
Květen	283,6	62,2	939,2	378,6	0,2623	0,0
Červen	126,7	27,8	842,9	366,4	0,1277	0,0
Červenec	27,3	6,0	855,9	378,6	0,0269	0,0
Srpen	32,7	7,2	1008,5	378,6	0,0288	0,0
Září	263,9	57,8	803,9	366,4	0,2749	0,0
Říjen	556,2	121,9	743,0	378,6	0,6014	3,6
Listopad	807,4	177,0	444,3	366,4	0,9605	205,7
Prosinec	981,6	215,1	286,2	378,6	0,9971	533,8
Ročně	6430,9	1409,5	8432,7	4457,9		1683,1
						[kWh/m ² .rok]
						7,59

Tab. 14: *Bilance budovy Praha, varianta 2 (denostupňová metoda)*

Denostupňová metoda						
Otopné období [dnů]	Počet hodin [h]	Návrhová vnitřní teplota t_i [°C]	Střední teplota t_{ep} [°C]	Venkovní návrhová teplota t_e [°C]	ϵ [-]	Potřeba tepla [kWh]
225	24	16,3	4	-12	0,857375	5099,7

Denostupňová metoda udává 8673,9 kWh/rok pro variantu 1 a 5100,8 kWh/rok. Použití výměníku ZZT metoda denostupňů nepředpokládá.

Mám všechny veličiny pro třídění objektu:

Průměrný součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]		
Budova Zlín	Varianta 1	0,16
	Varianta 2	0,15
Budova Praha	Varianta 1	0,154
	Varianta 2	0,145

5.6. Posouzení dle měrné potřeby tepla na vytápění

Měrná potřeba tepla na vytápění viz poslední řádky v celkových bilancích budov

Měrná potřeba tepla na vytápění [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{rok}$]		
Budova Zlín	Varianta 1	38,51
	Varianta 2	12,97
Budova Praha	Varianta 1	30,84
	Varianta 2	7,59

5.7. Známkování budov

Poznámka: určil jsem pouze tepelnou bilanci tepla na vytápění, další položky jako chlad, osvětlení mohou záporně ovlivnit celkové hodnocení budovy, ale toto není součástí mé práce.

Musím předem říct, že smím posoudit energetickou náročnost jen z hlediska vytápění. Teplo na přípravu teplé vody zůstane neměnné, i když se změní způsob dodání energie (hlavním ovlivňujícím prvkem – počet osob a denní dávka, kterou nikterak nedokážu změnit)

Známkování budov		
Budova Zlín	Varianta 1	Velmi úsporná
	Varianta 2	Mimořádně úsporná
Budova Praha	Varianta 1	Velmi úsporná
	Varianta 2	Mimořádně úsporná

5.8. Zdroje energie

Zabývám se v této kapitole porovnáním dvou použitých mnou typů dodávky tepla.

Prvním je plynový kondenzační kotel, druhým je tepelné čerpadlo typu vzduch-voda.

5.8.1. Kotel na plynná paliva

Vstupní údaje:

Budova		Tepelná ztráta Q [kW]	Rozsah instalovaného výkonu [kW]
Zlín	Nízkoenergetická	5,3	3,3-13,0
	Pasivní	2,9	3,3-13,0
Praha	Nízkoenergetická	4,9	3,3-13,0
	Pasivní	2,9	3,3-13,0

Výhody kotle na plyn:

- Dobrá regulovatelnost
- Nevzniká odpad (na rozdíl od kotlů na tuhá paliva)
- Vynikající účinnosti přeměny tepla
- Kompaktnost

Použil jsem v tomto projektu kondenzační kotel od společnosti Buderus, obchodní název Logamax GB172.

5.8.2. Využití nízkoenergetických zdrojů tepla

Tepelná čerpadla na trhu v České Republice jsou představena širokým výběrem výrobců. Avšak podrobnou technickou dokumentaci nabízí výrobci PZP a Buderus. Konkrétně od výrobce PZP model Performance výkonové řady 08, od výrobce Buderus obchodní značení Logatherm WPL10 IK. Při porovnání použiju kritéria: sezonní topný faktor ϵ , tepelný výkon Q, příkon na čerpadle P. Hodnoty tepelného výkonu a příkonu na čerpadle jsou pro podmínky: výstup z kondenzační jednotky 35 °C (předpokládaný výrobcem rozdíl teplot otopné vody a střední teploty na výměníku 2-3 K)

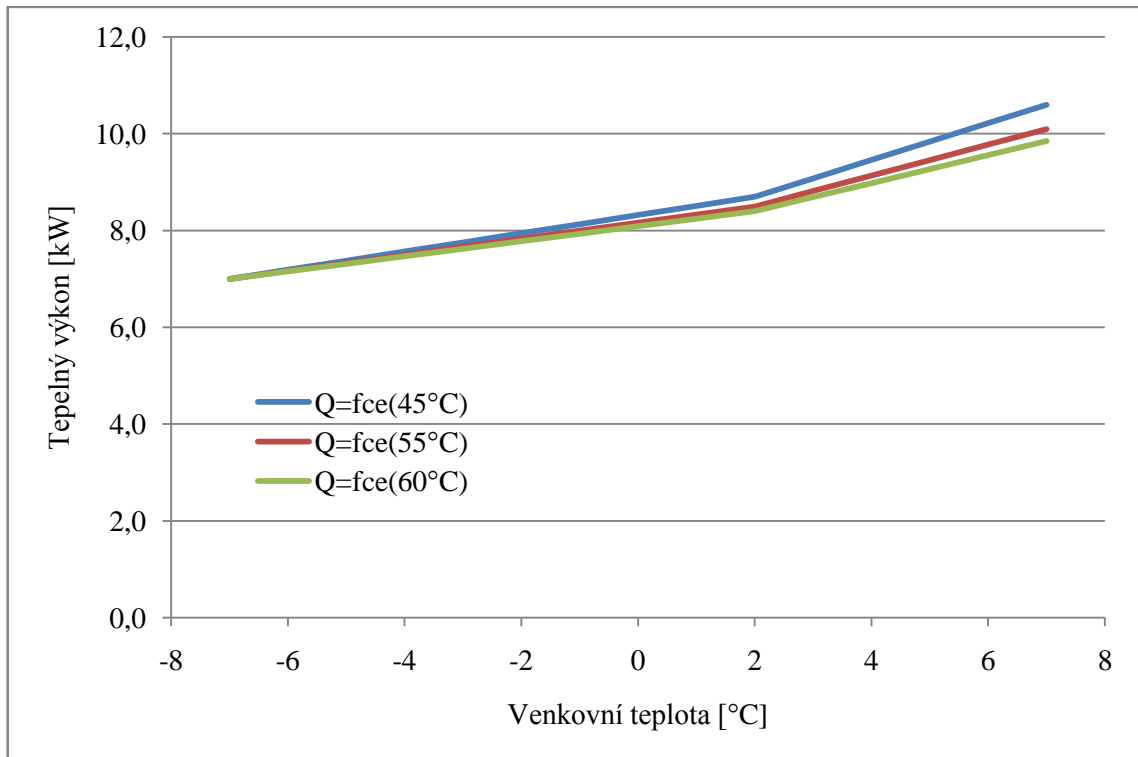
Tab. 15: Porovnání tepelných čerpadel

Měsíc	Počet dnů n [den]	Střední teplota t_{ep} [°C]	PZP Perfomance-08			Buderus Logatherm WPL 10 IK		
			Tepelný výkon kW	Příkon kW	COP -	Tepelný výkon Q kW	Příkon P kW	COP -
Leden	31	-1,3	8,3	2,3	3,4	10,0	3,0	3,3
Únor	28	-0,1	8,7	2,3	3,5	10,3	3,0	3,4
Březen	31	3,7	9,7	2,3	3,9	11,4	3,1	3,6
Duben	30	8,1	11,0	2,4	4,3	12,5	3,1	4,0
Květen	31	13,3	12,4	2,4	4,9	13,9	3,2	4,3
Červen	30	16,1	13,2	2,4	5,2	14,6	3,2	4,5
Červenec	31	18	13,7	2,4	5,3	15,1	3,2	4,7
Srpen	31	17,9	13,7	2,4	5,3	15,1	3,2	4,7
Září	30	13,5	12,5	2,4	4,9	13,9	3,2	4,4
Říjen	31	8,3	11,0	2,4	4,4	12,6	3,1	4,0
Listopad	30	3,2	9,6	2,3	3,9	11,2	3,1	3,6
Prosinec	31	0,5	8,8	2,3	3,6	10,5	3,0	3,4
					3,9			4,0

Tepelné čerpadlo Perfomance 11 jednoznačně má výhodu před konkurenčním Logatherm WPL 12 IK. Při zhruba stejném tepelném výkonu příkon na čerpací jednotce je u produktu PERFOMANCE 11 je výhodnější jak z hlediska energetického, tak i z finančního.

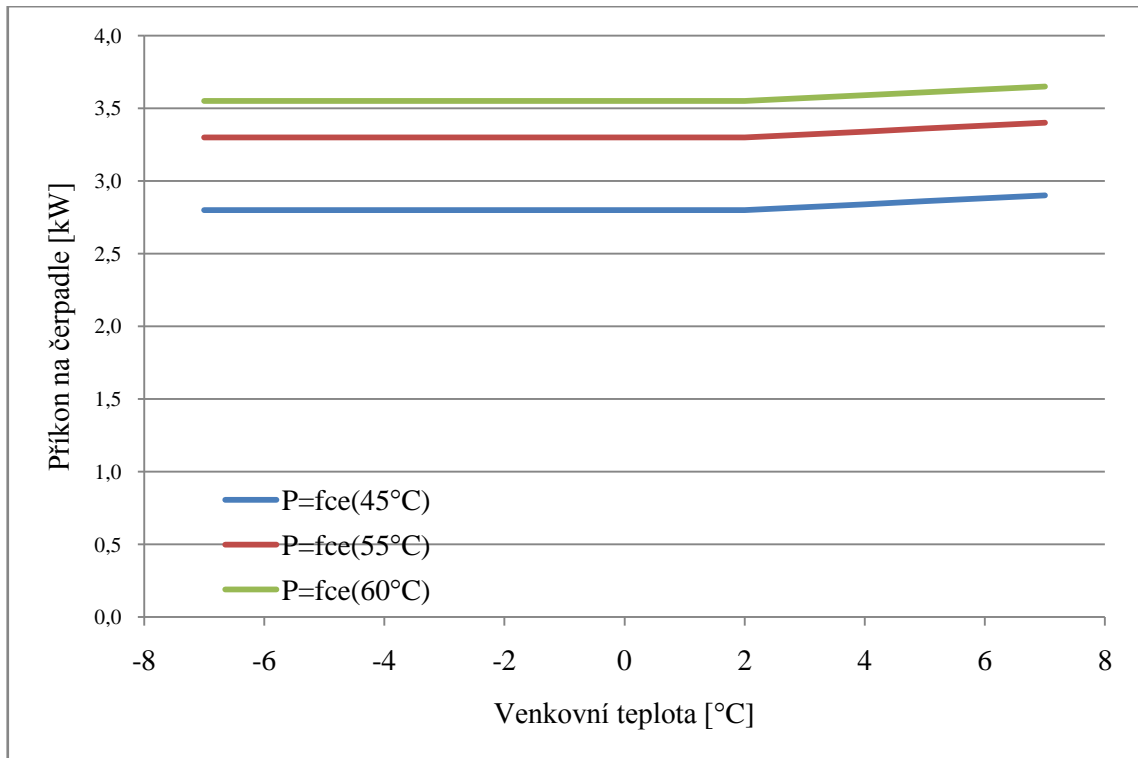
Výrobek PZP Perfomance má pro období celého roku průměrný topný faktor 3,9. Sezonní topný faktor, výpočtem stanovený za pomoci četnosti výskytu venkovních teplot během otopného období – 3,3.

Tepelný výkon tepelného čerpadla, příkon na pohonné jednotce a topný faktor je závislý na teplotě venkovního vzduchu. Kromě toho, je závislý na výstupní teplotě z kondenzátoru.

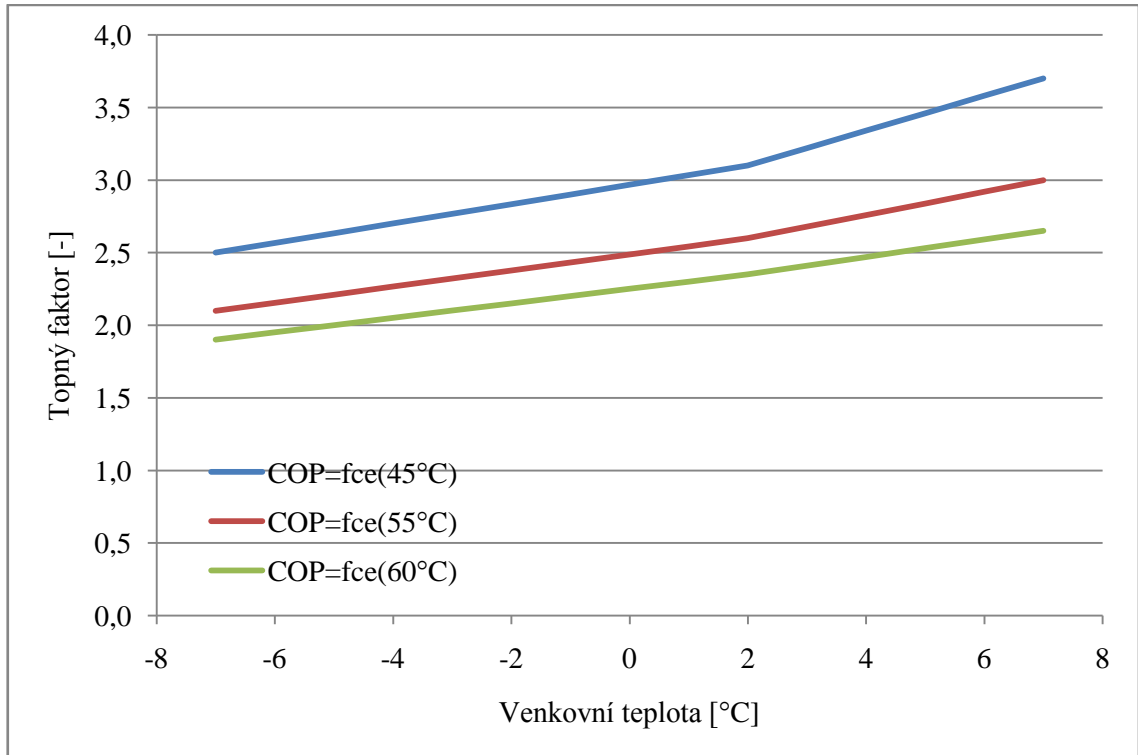


Obr. č. 7: Závislost tepelného výkonu na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru

Tabulky výkonu tepelného čerpadla dle normy EN 14511:2011 jsou udávány pro venkovní teploty -7 °C , -2 °C a 7 °C . Hodnoty mezi těmito veličinami jsou získány interpolací jednoduchou matematickou funkcí $y=kx+q$, to je sice hrubý předpoklad, ale křivky vyššího řádu by zbytečně zkomplikovaly výpočet.



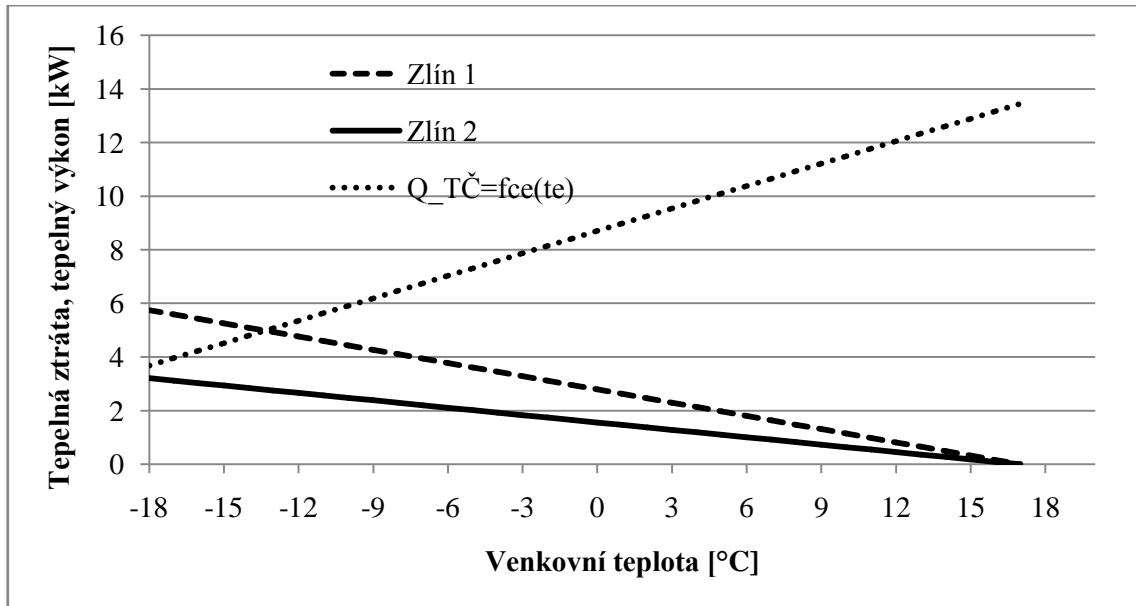
Obr. č. 8: Závislost příkonu na pohonné jednotce na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru



Obr. č. 9: Závislost topného faktoru na pohonné jednotce na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru

Bivalentní provoz dle teploty

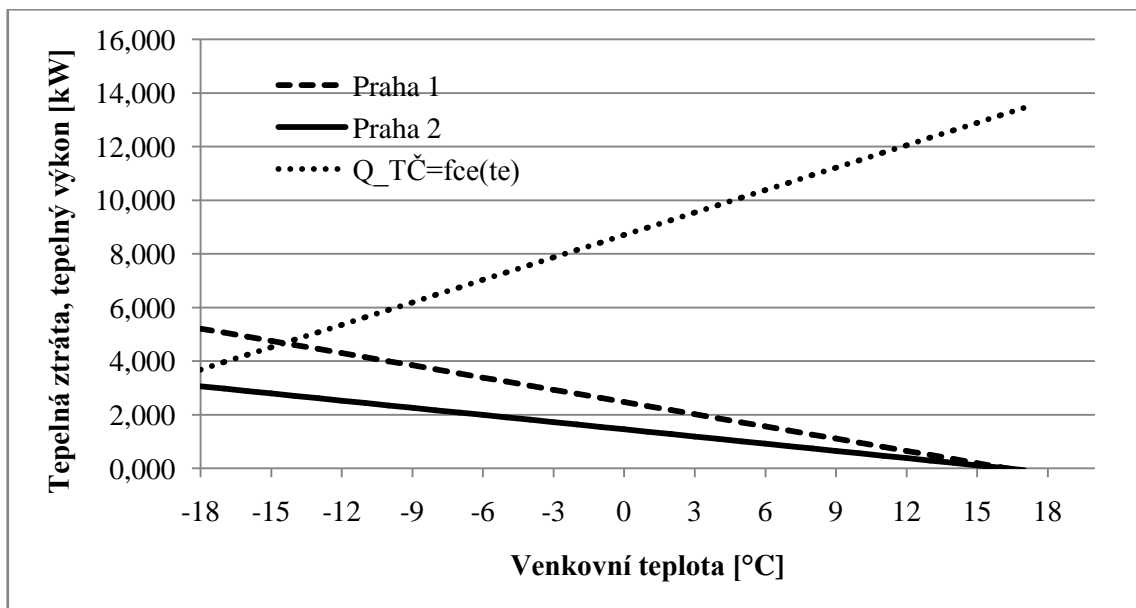
Budova Zlín



Obr. č. 10: Bivalentní provoz tepelného čerpadla pro budovu Zlín

Bod bivalence dle teploty u varianty nízkoenergetické je $t_e = -13,2$ °C, kdežto u varianty pasivní je $t_e = -19,7$ °C. Tedy, mohou říci, že topné tyče budou přispívat jen v extrémních případech.

Budova Praha



Obr. č. 11: Bivalentní provoz tepelného čerpadla pro budovu Praha

Téměř totožný případ: bod bivalence dle teploty $t_e = -14,0 \text{ }^\circ\text{C}$, resp. $t_e = -20,1 \text{ }^\circ\text{C}$, při dosažení těchto teplot má zasáhnout topné tyče instalované v akumulární nádrži o celkovém výkonu 9 kW.

5.9. Regulace

Navrhuji kvalitativní regulaci zdroje dle venkovní teploty s vazbou na vnitřní teplotu (na rozdělovači-sběrači jsou osazeny termostatické hlavice s odděleným čidlem teploty). Čerpadla na otopných okruzích nejsou regulována.

Provozní stavy soustavy:

1. Normální stav – zdroj pracuje dle naprogramovaných rovnic teploty otopné vody odpovídající venkovním teplotám (vstup a výstup)
2. Přerušeni – dojde v případě, když jsou všechny termostatické ventily zavřeny
 - Pokud na všech rozdělovačích-sběračích nulový průtok (průtokoměry s analogovým výstupem) zdroj tepla buď přepne na nádrž s teplou vodou, nebo vypne
 - Pokud aspoň jeden rozdělovač-sběrač má nenulový hmotnostní průtok, zdroj běží v normálním stavu
3. Noční útlum – od 23 hodin a do 5 hodin ráno (lze nastavit dle přání), soustava vydává 75 % potřebného výkonu
4. Nenormální stav – hmotnostní průtok či teploty vstup/výstup neodpovídají hodnotám naprogramovaným.
5. Nouzový stav – povel STOP všem jednotkám v otopné soustavě.
6. Duplicitní stav (pouze TČ) – bivalentní provoz zdrojů energie (topné tyče a kondenzační jednotka tepelného čerpadla)

5.10. Podlahové vytápění

Samotné zabudování či instalace do podlahové konstrukce je však složitější, než konvenční vytápění. Pozdější zásah a jakákoliv oprava již nebude možná, jedinečně bourat betonovou směs.

5.10.1. Příprava k instalaci

Přízemí - na betonovou desku (nosnou konstrukci) se pokládá hydroizolace. Následující vrstva betonová nebo anhydritová. Zhruba uprostřed této vrstvy jsou otopné trubky, přichycené k rastru tenkými drátky. Po úplném zatuhnutí (přibližně za měsíc) se provádí tlaková zkouška. Poté se na stavební lepidlo (záleží na typu podlahové krytiny) nalepí buď kachlice nebo PVC.

Nadzemní podlaží – na betonové desce analogicky s přízemím položeny hydroizolační role. K omezení toku směrem dolů je použita polystyrenová deska tloušťky 5 cm. Dále konstrukčně skladba je totožná se skladbou v přízemí, a to betonová či anhydritový potěr s trubkami uprostřed, stavební lepidlo, krytina.

5.10.2. Provedení otopných ploch v budovách

Rodinný dům Zlín

Nízkoenergetická varianta:

Celkem 14 otopných podlahových ploch. Bude použito 2 rozdělovače-sběrače od výrobce Ivar. Distribuce teplonosné látky je uskutečňována čerpadly od výrobce Grundfos. Primární okruh mezi kotlem a rozdělovačem je z plastového izolovaného potrubí DN32.

Pasivní varianta:

Počet otopných ploch – 14, počet rozdělovačů – 2 (Ivar), distribuce pomocí čerpadel Grundfos. Primární okruh – izolované plastové potrubí o světlosti DN32.

Rodinný dům Praha

Nízkoenergetická varianta:

Zabudováno 15 otopných ploch. 2 rozdělovače-sběrače (od podniku Ivar). Čerpadla

v okruzích od výrobce Grundfos. Okruh mezi kotlem a rozdělovačem je z plastového izolovaného potrubí DN32.

Pasivní varianta:

Počet otopných ploch – 13, počet rozdělovačů – 2 (Ivar), distribuce pomocí čerpadel Grundfos. Okruh kotel-rozdělovače – izolované plastové potrubí o světlosti DN32.

5.10.3. Hydraulické vyvažování

Metoda je totožná jako u konvenční otopné soustavy. Každá otopná plocha představuje pro pohonnou jednotku tlakovou ztrátu. Na vyšší úrovni pak rozdělovač/sběrač vystupuje také jako tlaková ztráta, kterou čerpadlo vestavené v kotli má utáhnout. Viz tabulky v příloze.

6. PRAKTICKÁ ČÁST – TEPLÁ VODA

Představím si, že řeším projekt téměř totožný: k otopné soustavě přibude příprava teplé vody. Počet variant se navýší na tři. Přibude ještě kombinovaná varianta plynového kondenzačního kotle a solárních kolektorů.

6.1. Zdroje energie

6.1.1. Pokrytí potřeby energie na přípravu teplé vody

Teplu potřebné na ohřev teplé vody se spočítá dle kalorimetrické rovnice, uvedené v [7], takto:

$$Q_{TV} = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (20)$$

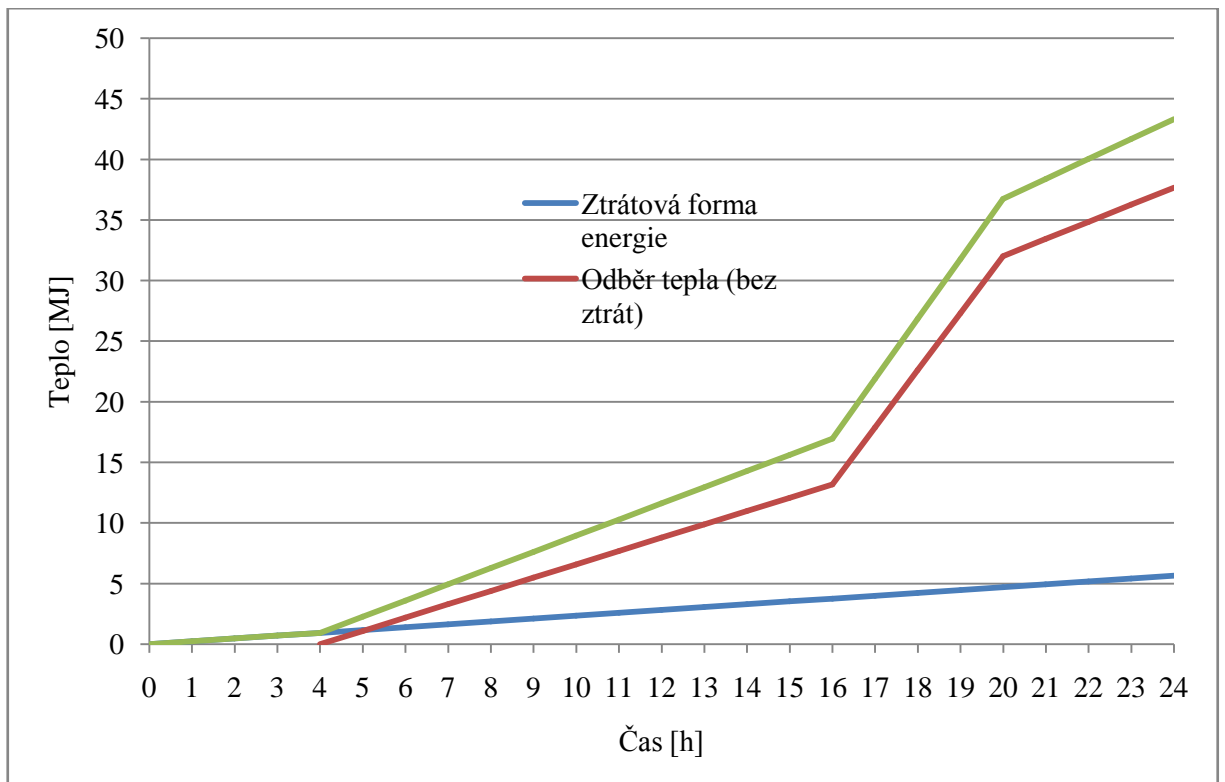
V ...denní dávka teplé vody [$m^3/\text{den.osoba}$]

ρ ...hustota vody [kg/m^3]

c ...tepelná kapacita vody [$J/kg.K$]

t_2 ...teplota ohřáté vody [$^{\circ}C$]

t_1 ...teplota studené vody [$^{\circ}C$]



Obr. č. 12: Odběr teplé vody po celý den

Touto problematikou se zabývá ČSN EN 15316-1: Všeobecné požadavky a ČSN EN 15316-2: Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy. Téměř všechny veličiny jsou konstanty, teplotu studené vody lze brát jako neměnnou po celý rok, jediné, co mě zajímá v normě je denní dávka teplé vody, doporučená hodnota pro rodinné domy se pohybuje kolem 40-50 litrů na osobu za den, tj. 0,04-0,05 $m^3/den.osoba$. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je přibližně 12 kWh/den resp. 320 $kWh/měsíc$. Za rok se spotřebuje 3776 kWh . Dodávka energie bude probíhat v noci, tedy v době nočního útlumu vytápění.

6.1.2. Solární soustava

Primární a sekundární okruh soustavy je dodán od podniku Buderus. Obchodní názvy výrobků: vakuový kolektor Logasol SKR12, kompletní solární stanice Logasol KS0105, solární zásobník Logalux SM.

Podrobněji k vakuovým kolektorům. Vlastnosti, nezbytné pro výpočet tepelného užitku, jsou převzaty z technického popisu výrobku (tabulka na konci podkapitoly).

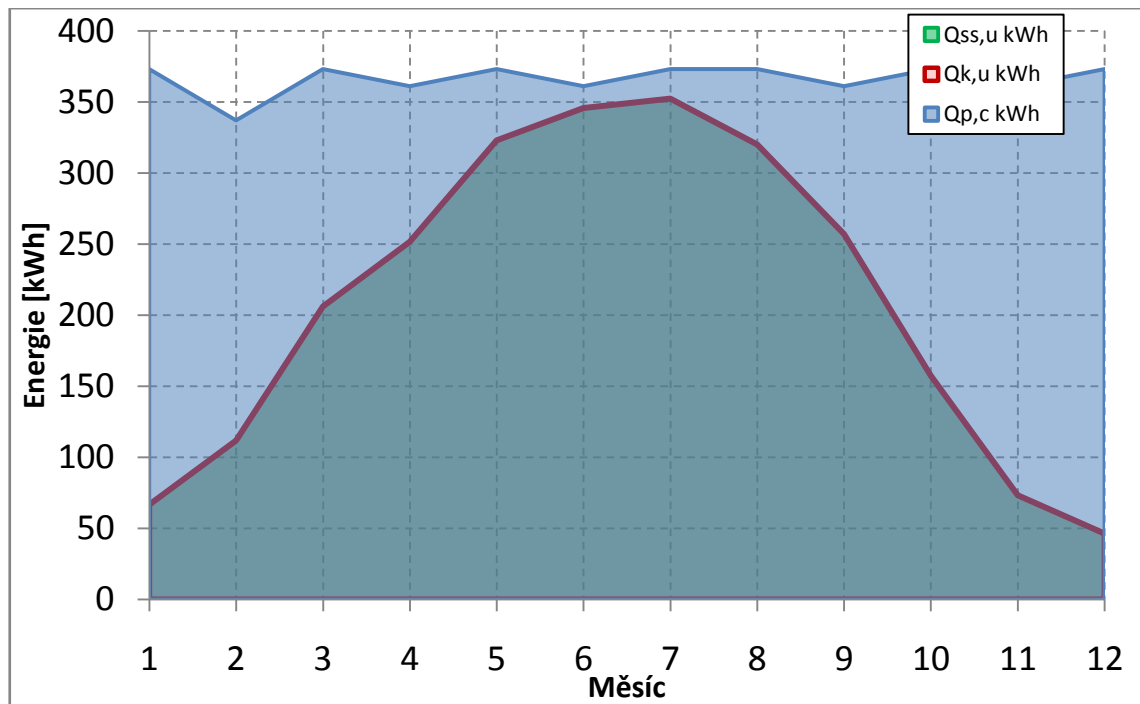
Kompletní solární stanice není nic jiného, než kompaktně uspořádaná měřicí zařízení (tlakoměr a teploměr) a sada ventilů na případ servisního nebo jiného zásahu. Materiál distribuční sítě je měď, výhody oproti jiným materiálům jsou: spojování (měkká pájka), délková roztažnost ($\alpha=10^{-6} [K^{-1}]$).

Zásobník má dva ohřívací hady, tedy na případ stagnace solárních kolektorů apod., druhý otopný had má být napojen na nezávislý od venkovních podmínek zdroj tepla.

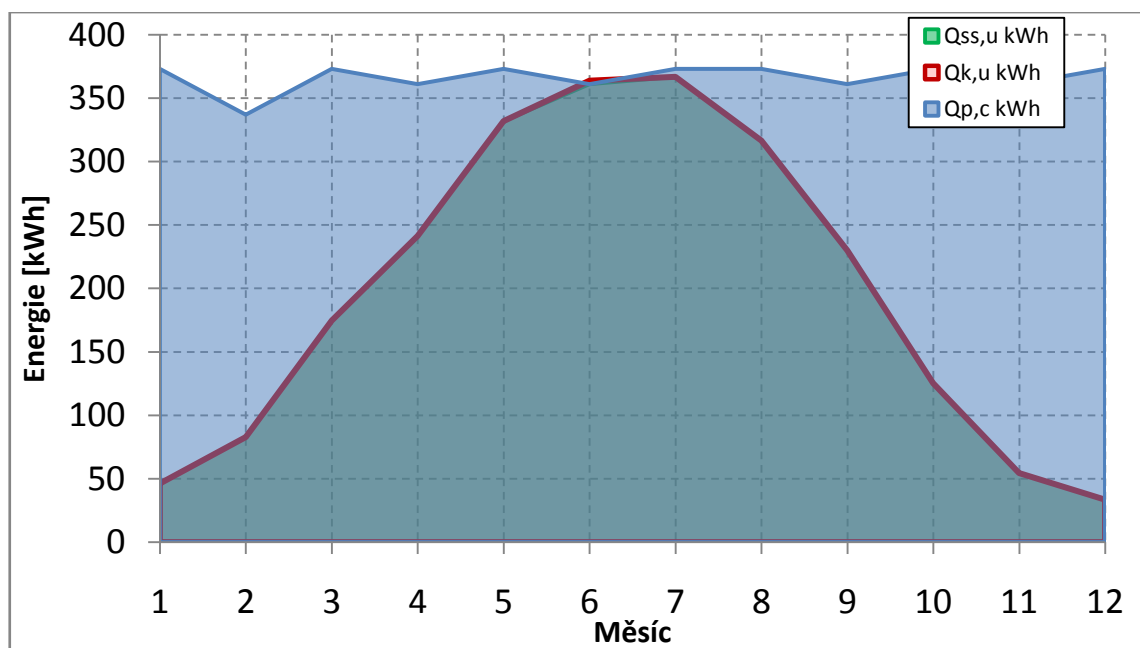
Uspořádání solárních soustav na konstrukcích budov

Stavba v okolí města Zlín – na ploché střeše pod úhlem 45° , azimut 0° (jih). Dva kolektory o celkové ploše apertury $5,4 m^2$.

Stavba v okolí města Praha – na střeše se sklonem 15° (azimut střechy 0°) jsou umístěny kolektory o celkové ploše $5,4 m^2$.



Obr. č. 13: Tepelná bilance solární soustavy (budova Zlín)



Obr. č. 14: Tepelná bilance solární soustavy (budova Praha)

Tab. č. 28: Technické údaje solárního kolektoru Logasol SKR 12

Vakuový trubkový kolektor	jednotka	Logasol SKR12.1R CPC
Počet trubíc	–	12
Celková plocha (vnější)	m ²	2,9
Plocha apertury (vstupu světla)	m ²	2,57
Objem absorberu	l	2,36
Selektivita		
stupeň absorpce	%	> 0,95
stupeň emise	%	< 0,05
Hmotnost	kg	44
Optická účinnost η_0	%	64,4
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru		
k1	W/(m ² · K)	0,749
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru		
k2	W/(m ² · K ²)	0,005
Tepelná kapacita c	kJ/(m ² · K)	9,18
Jmenovitý průtok V	l/h	92
Stagnační teplota	°C	301
Max. provozní tlak (zkušební tlak)	bar	10
Minimální zisk kolektoru (pro BAFA)	kWh/(m ² · a)	> 525

6.1.3. Tepelné čerpadlo

Porovnávám znovu dva výrobky od podniků PZP a Buderus.

Tab. 29: Porovnání tepelných čerpadel

Měsíc	Počet dnů n [den]	Střední teplota t_{ep} [°C]	PZP Perfomance-08			Buderus Logatherm WPL 10 IK		
			Tepelný výkon kW	Příkon kW	COP -	Tepelný výkon Q [kW]	Příkon P [kW]	COP [-]
Leden	31	-1,3	8,0	3,6	2,2	8,2	4,2	1,9
Únor	28	-0,1	8,2	3,6	2,3	8,5	4,5	1,9
Březen	31	3,7	8,9	3,6	2,5	9,2	5,4	2,1
Duben	30	8,1	9,8	3,6	2,7	10,1	6,4	2,2
Květen	31	13,3	10,8	3,7	3,0	11,2	7,6	2,4
Červen	30	16,1	11,4	3,7	3,1	11,7	8,2	2,5
Červenec	31	18	11,8	3,7	3,2	12,1	8,7	2,6
Srpen	31	17,9	11,7	3,7	3,2	12,1	8,7	2,6
Září	30	13,5	10,9	3,7	3,0	11,2	7,6	2,4
Říjen	31	8,3	9,9	3,6	2,7	10,2	6,4	2,2
Listopad	30	3,2	8,9	3,6	2,4	9,1	5,3	2,1
Prosinec	31	0,5	8,3	3,6	2,3	8,6	4,6	2,0
					2,4			2,1

Poznámka: nižší topný faktor oproti tepelným čerpadlům pro účel vytápění je dán vyšší teplotou na výstupu z kondenzátoru – 60 °C.

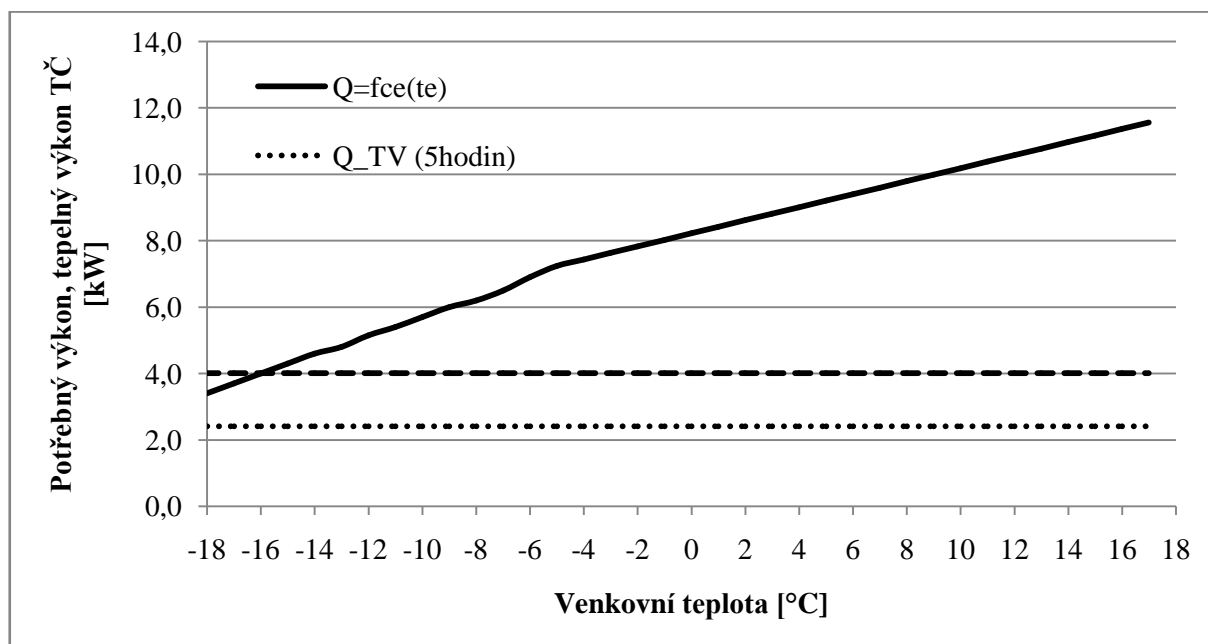
Podobně jako v kapitole vytápění určím sezonní topný faktor, tentokrát po dobu celého roku. SCOP (60°C)=2,0 [-].

Souběžný provoz otopné soustavy a přípravy teplé vody se mě dovoluje poptávat na energii v celkové hodnotě (teplo na vytápění+teplo na teplou vodu). Uvedu níže poptávku energetických dodavatelů.

Pasivní varianta ukazuje, že aplikace tepelného čerpadla s velice nízkým sezonním topným faktorem negativně ovlivňuje finanční bilanci. Podle mého názoru v tomto příkladě se přímo nabízí instalace solární techniky.

Bod bivalence u přípravy teplé vody

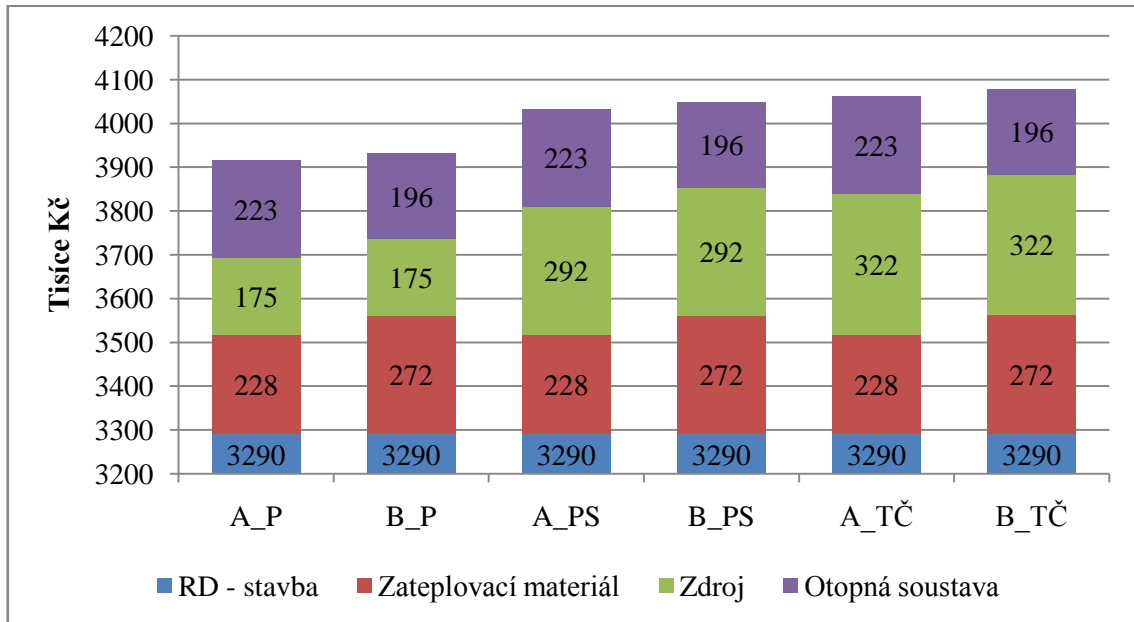
Obdobně jako u tepelného čerpadla pro vytápění zjistím, kdy a za jakých podmínek nastává bivalentní provoz.



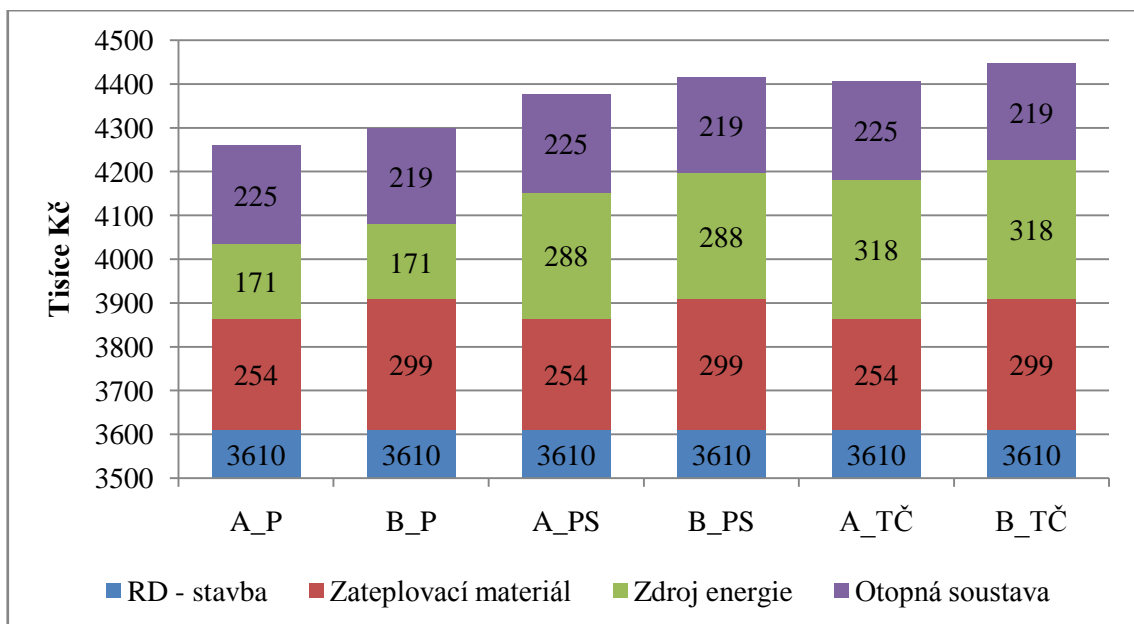
Obr. č. 15: Bivalentní provoz TČ pro vytápění a přípravu teplé vody

7. SHRnutí CENOVÝCH NABÍDEKA EKONOMICKÉ ROZHODOVÁNÍ

Materiálem pro rozhodnutí mezi variantami složení obvodové a podlahové konstrukce má sloužit výkaz výměr v etapě projektování (viz výkaz výměr). Pro investora (budoucího majitele) je důležité, jaké provozní náklady bude vyžadovat instalovaná soustava otopní a vzduchotechnická. Kritérium, jak jsem uvedl výše, je pouze finanční.

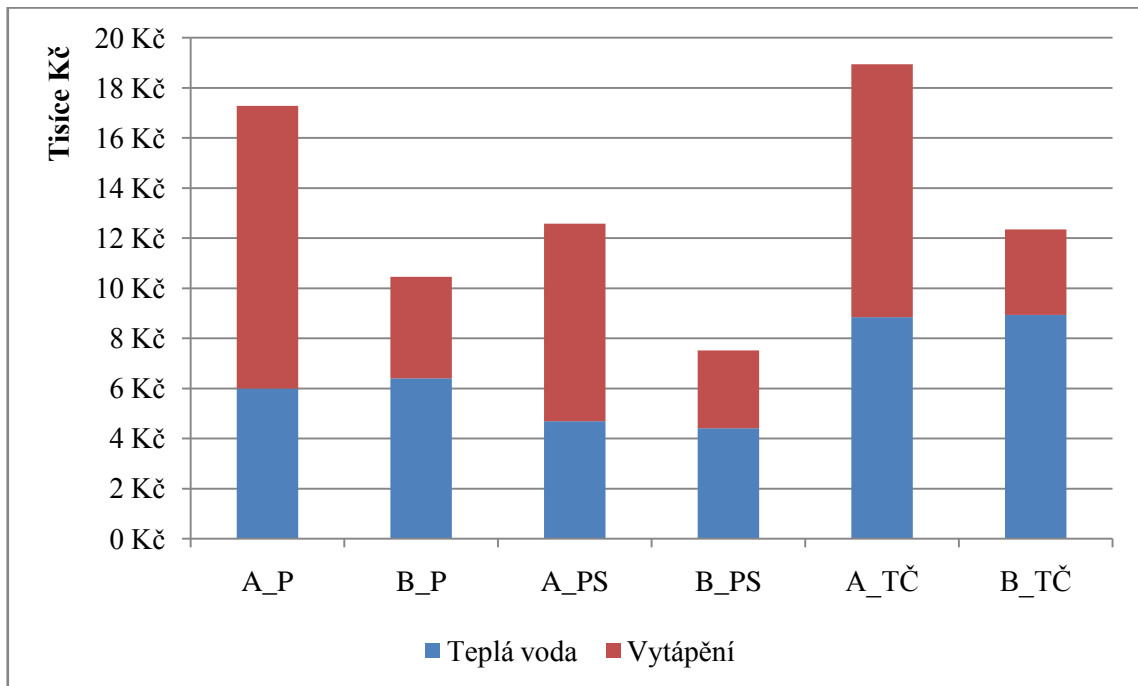


Obr. č. 16: Budova Zlín, pořízení stavby

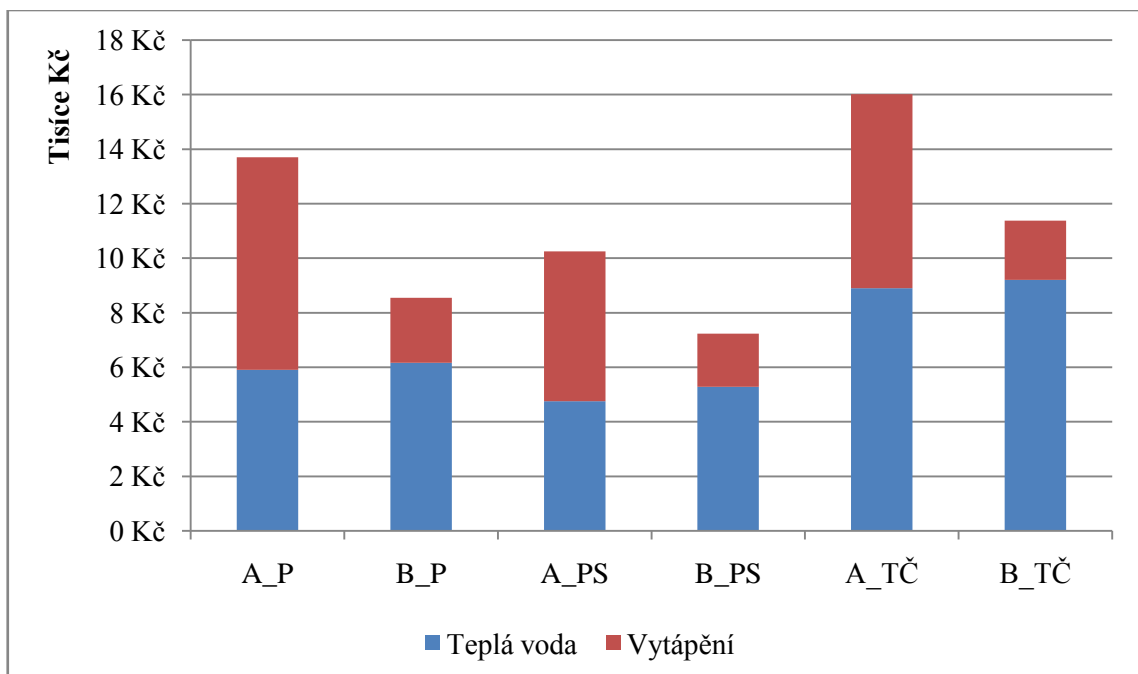


Obr. č. 17: Budova Praha, pořízení budovy

Pak na řadu přichází porovnání cenových nabídek od dodavatelů energie [8]. Sloupcové grafy usnadňují výběr způsobu zásobování teplem. Podíváme se na to.



Obr. č. 18: Budova Zlín, náklady na provoz



Obr. č. 19: Budova Praha, náklady na provoz

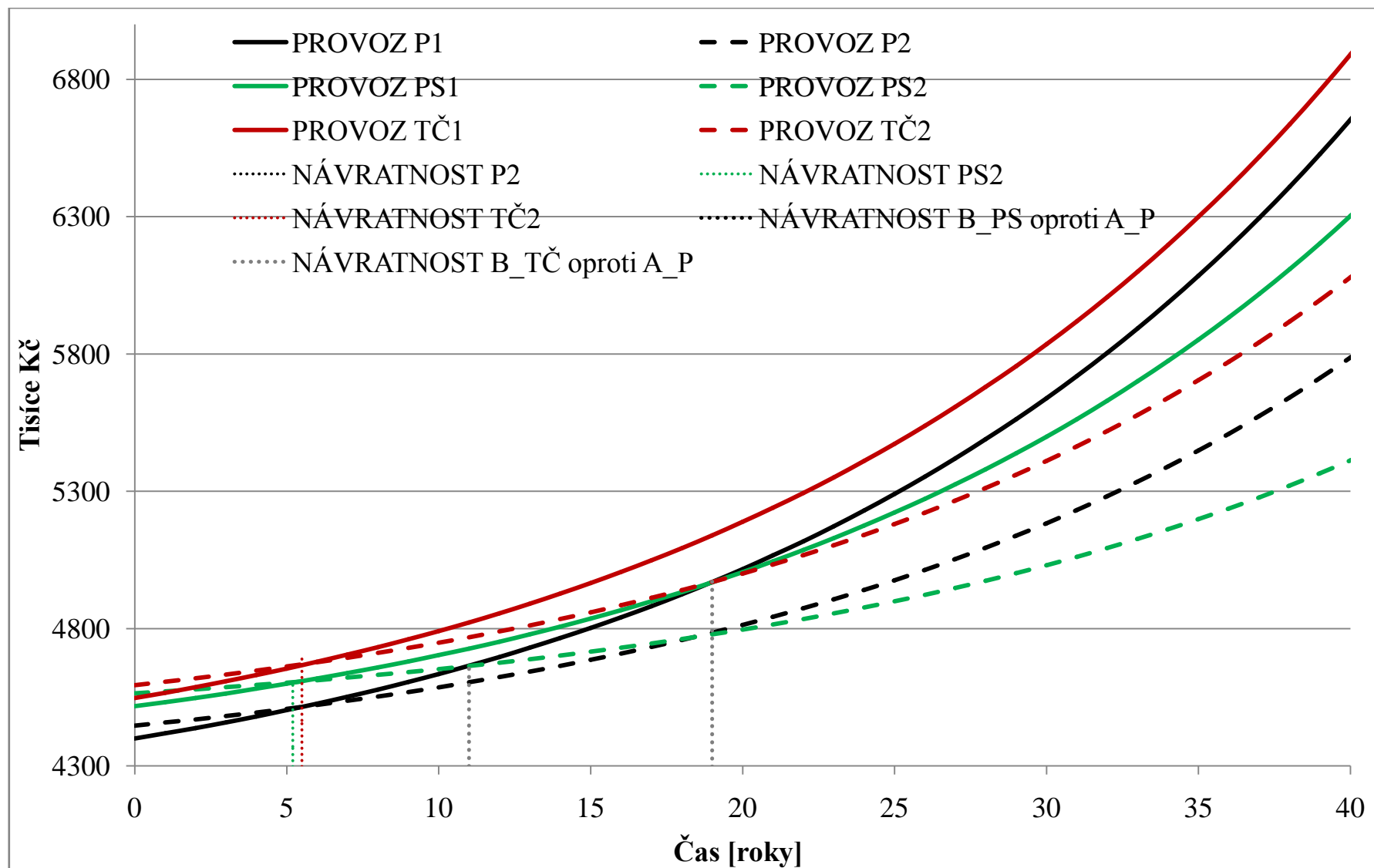
Ryzé vytápění: čísla jasně vypovídají o výhodě elektrické energie oproti plynu, zřejmě je to dáno lepší využitelností tepelného čerpadla (Nízké teploty otopné vody- vyšší sezonní topný faktor). Rozhodující ve výběru dodavatele a způsobu dodávky energie zůstává na investorovi, jestli zbývající služby jako svícení a vaření bude řešeno nějakým jiným zdrojem, popř. dodavatelem.

7.1.Závěr ekonomické části

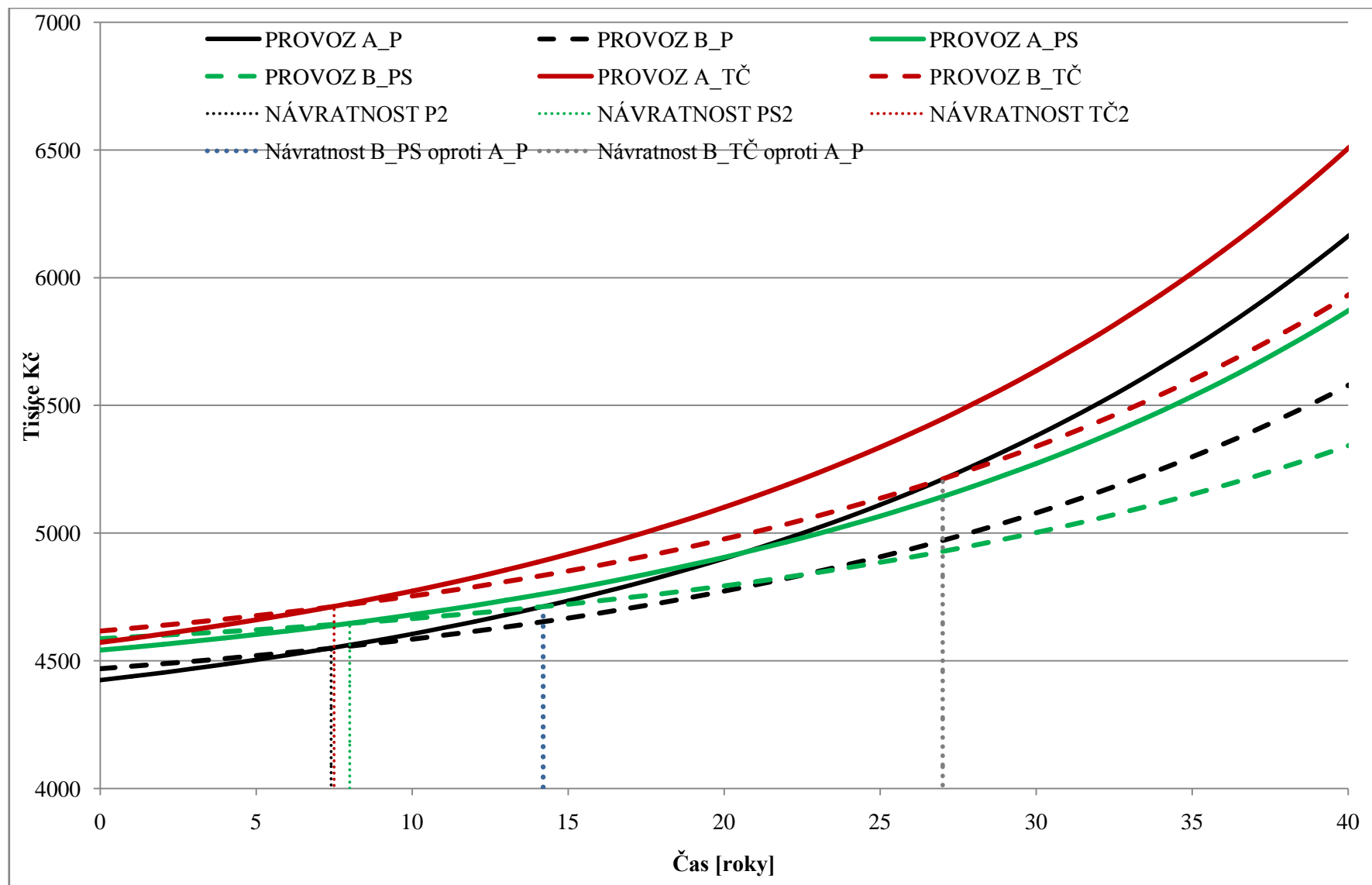
Budu-li sledovat provozní náklady na normální běh budovy (pouze otopná soustava), zjistím, že se připlácet na izolačním materiálu vyplatí. Rozdíl investic zhruba 50 tis. Kč se vrátí po 8 letech. Pro investora taková grafická informace je lákavá. Tyká se to všech způsobů dodání energie, jak elektřina, tak i plyn.

Poznámky ke grafům:

Kombinovanou soustavu plynového kotle a solárních kolektorů jsem zahrnul do společného grafu, i když rozhodování o soustavě pro teplou vodu a vytápění přijde později.



Obr. č. 20: Doba návratnosti investic, budova Zlín



Obr. č. 21: Doba návratnosti investic, budova Praha

8. ZÁVĚR

Probral jsem dvě odlišné varianty tepelně-technického uspořádání budov, a mohu říct následující: radím všem investorům a majitelům investovat na kvalitnější tepelnou izolaci, u budovy s celkovou podlahovou plochou kolem 200 m² se investice vrací do 8 let. Moje odpověď na otázku jestli se má zateplovat – ano. Na základě informací o nízkoenergetických a pasivních budovách jsem kompletně navrhnul otopnou soustavu: stanovení tepelných ztrát, tepelných bilancí, návrh otopných ploch (podlahové vytápění), zdroje energie, systém MaR a všechny ostatní nezbytně potřebné součásti soustavy.

Jednoznačně říct, že jedna varianta zdroje a dodavatele je oproti ostatním má navrch, nemůžu. Avšak pokusím se. Pouze vytápění (bez přípravy teplé vody) rodinného domu s nízkým teplotním spadem a vysokým topným faktorem bude mít výhodu z hlediska finančního. Otázkou pak zůstává příprava teplé vody.

Oproti běžnému otopnému systému (+příprava teplé vody) s plynovým kondenzačním kotlem se nabízí dvě možnosti: kombinace kotle na plyn a solárních kolektorů a tepelné čerpadlo. Příspěvek od solárních kolektorů kladně ovlivní roční provozní fakturu. S jistotou tvrdím o mnou prostudovaných budovách, že při zateplené budově na úrovni pasivního standardu vrací se investice na tepelné čerpadlo do 22 let, investice na kombinovanou soustavu – kolem 13 let.

9. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace: RD Zlín (nízkoenergetická a pasivní varianta)
12 ks
2. Výkresová dokumentace RD Praha (nízkoenergetická a pasivní varianta)
12 ks
3. Výkresová dokumentace: Schéma zapojení (Zlín)
3 ks
4. Výkresová dokumentace: Schéma zapojení (Praha)
3 ks
5. Svazek tabulek (stavební výměry)
18 str.

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

- 1) *Fasáda budovy 1*
- 2) *Fasáda budovy 2*
- 3) *Rozložení teplot s výškou nad podlahou*
- 4) *Solární soustava bez přebytku tepla*
- 5) *Solární soustava s mírnými přebytky tepla*
- 6) *Solární soustava s přebytky tepla*
- 7) *Závislost tepelného výkonu na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru*
- 8) *Závislost příkonu na pohonné jednotce na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru*
- 9) *Závislost topného faktoru na pohonné jednotce na venkovní teplotě a výstupní teplotě z kondenzátoru*
- 10) *Bivalentní provoz tepelného čerpadla pro budovu Zlín*
- 11) *Bivalentní provoz tepelného čerpadla pro budovu Praha*
- 12) *Odběr teplé vody po celý den*
- 13) *Tepelná bilance solární soustavy (budova Zlín)*
- 14) *Tepelná bilance solární soustavy (budova Praha)*
- 15) *Bivalentní provoz TČ pro vytápění a přípravu teplé vody*
- 16) *Budova Zlín, pořízení stavby*
- 17) *Budova Praha, pořízení stavby*

- 18) *Budova Zlín, náklady na provoz*
- 19) *Budova Praha, náklady na provoz*
- 20) *Doba návratnosti investic, budova Zlín*
- 21) *Doba návratnosti investic, budova Praha*

11. SEZNAM LITERATURY

- [1] ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu
- [2] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky
- [3] ČSN EN ISO 13 790: Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení
- [4] Vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov
- [5] Portál TZB-Info: Podlahové vytápění, obrázek 6
<http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [6] Portál TZB-Info: Návrh expanzní nádoby
<http://www.tzb-info.cz/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [7] Článek z časopisu Vytápění Větrání Instalace z listopadu 2012: Potřeba tepla pro přípravu teplé vody
- [8] Internetový zdroj <http://kalkulator.tzb-info.cz/>