

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**NÁVRH ZPŮSOBU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY
TEPLÉ VODY BYTOVÉHO DOMU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. BELINDA KARLOVÁ

Vedoucí diplomové práce :

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2016/2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Karlová Jméno: Belinda Osobní číslo: 373578

Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Inteligentní budovy

Studijní obor: Inteligentní budovy

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh způsobu vytápění a přípravy teplé vody bytového domu

Název diplomové práce anglicky: Design of heating system and domestic hot water preparation of a multiapartment house

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je navrhnout způsob vytápění a přípravy teplé vody v rekonstrukci bytového domu z 30. let.

1. Rešerže se zaměřením na identifikaci potencionálních variant, výběr varianty a její ekonomické posouzení.

- zdroj tepla, využití obnovitelných zdrojů

- ekonomické hodnocení vybraných variant, zhodnocení technické proveditelnosti, výběr vhodné varianty.

2. Zpracování projektu vybrané varianty:

- vytápění objektu,

- příprava TV,

Seznam doporučené literatury:

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

Petráš, D., Obnovitelné zdroje energie pro nízkoteplotné systémy

Matuška, T., Solární zařízení v příkladech

Jméno vedoucího diplomové práce: Miroslav Urban

Datum zadání diplomové práce: 28. 2. 2017 Termín odevzdání diplomové práce: 21. 5. 2017

 Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

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

V Praze dne 19.5.2017

.....

Bc. Belinda Karlová

Poděkování:

Touto cestou bych chtěla poděkovat Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za trpělivost a rady při zpracování této práce. Také bych chtěla poděkovat svému nejbližšímu okolí za velkou podporu během studií.

V Praze dne 19.5.2017

.....
Bc. Belinda Karlová

Anotace

Obsahem diplomové práce je návrh optimálního způsobu vytápění a ohřevu teplé vody pro vybraný bytový dům.

Návrh otopných těles a podlahového vytápění a dimenzování potrubí je proveden na základě stanovení tepelných ztrát objektu výpočtem. Potřeba teplé vody pro dimenzování zásobníku byla určena dle druhu objektu a počtu obyvatel.

Dále jsou porovnány 3 možná řešení vytápění a ohřevu TV:

- Soustava s plynovým kondenzačním kotlem
- Soustava s tepelným čerpadlem a bivalentním zdrojem
- Soustava s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory

Všechny soustavy jsou uvažovány s jednotným tepelným spádem 55/40.

Ekonomické zhodnocení se zabývá návratností investice. Zahrnuje pořizovací cenu, spotřebu zemního plynu, spotřebu elektrické energie a náklady na údržbu.

Pro vybrané řešení je vypracována projektová dokumentace.

Klíčová slova:

Tepelné čerpadlo, plynový kondenzační kotel, solární kolektory, vytápění, ohřev teplé vody

Annotation

The content of diploma thesis is the design of an optimal way of heating and warming hot water for a selected block of flats. The design of radiators and floor heating and dimensioning of pipes is based on the calculation of heat losses of the object. The need of hot water for dimensioning of a reservoir was determined by the type of an object and a number of inhabitants.

Next, three possible solutions to heating and warming of WW are compared.

- Gas condensing boiler system
- Heat pump and bivalent source system
- Gas condensing boiler and solar collectors system

All systems are considered to have a united heat gradient of 55/40. Economic evaluation deals with return of investment. It includes the purchase cost, natural gas consumption, electricity consumption and maintenance costs. The project documentation is prepared for the selected solution.

Keywords:

Heat pump, condensing gas boiler, solar collectors, heating, domestic hot water preparation

Obsah

Cíl práce	3
Úvod	3
1. Popis objektu	4
2. Návrhové teploty	6
3. Tepelně technické vlastnosti budovy.....	6
3.1. Tepelné ztráty jednotlivých místností	6
4. Návrh otopných těles a podlahového vytápění.....	7
4.1. Kontrola teplotního spádu	8
4.2. Podlahové vytápění	10
4.3. Výpočet teplovodního podlahového vytápění	11
5. Výpočet energie potřebné pro ohřev TV	13
5.1. Postup výpočtu dle ČSN 06 0320.....	14
5.1.1. Stanovení potřeby tepla	16
5.2. Výpočet energie potřebné pro ohřev TV dle DIN 4708	22
5.3. Návrh zohledňující přednostní přípravu TV	23
6. Volba a popis zvolených zdrojů tepla	25
6.1. Soustava s kondenzačním plynovým kotlem.....	25
6.2. Soustava s tepelným čerpadlem.....	27
6.2.1. Zjednodušený výpočet délky zemní sondy pro TČ země/voda	29
6.2.2. Zjednodušený výpočet plochy povrchového výměníku pro TČ země/voda.....	31
6.2.3. Tepelné čerpadlo vzduch/voda	31
6.3. Soustava s plynovým kondenzačním kotlem a se solárními kolektory	35
6.3.1. Řešení ohřevu TV v soustavě se solárními kolektory	36
6.3.2. Potřeba tepla pro přípravu TV solárními kolektory.....	37
6.3.3. Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy	38
7. Ekonomické zhodnocení	41
7.1. Ekonomické zhodnocení soustavy s plynovým kondenzačním kotlem	41
7.1.1. Celková cena soustavy	41
7.1.2. Náklady na vytápění a ohřev TV zemním plynem	41
7.1.3. Náklady na elektrickou energii.....	42
7.1.4. Shrnutí nákladů soustavy.....	43
7.2. Ekonomické zhodnocení soustavy s tepelným čerpadlem vzduch/voda	43
7.2.1. Celková cena soustavy	43
7.2.2. Náklady na elektrickou energii.....	43
7.2.3. Shrnutí nákladů soustavy.....	45

7.3.	Ekonomické zhodnocení soustavy s plynovým kondenzačním kotlem pro vytápění a solárními kolektory pro ohřev TV	45
7.3.1.	Celkovou cenu soustavy:	45
7.3.2.	Náklady na vytápění a ohřev TV zemním plynem	45
7.3.3.	Náklady na elektrickou energii	46
7.3.4.	Shrnutí nákladů soustavy	47
7.4.	Celkové ekonomické zhodnocení	47
	Závěr	48
	Seznam použité literatury	49
	Seznam použitých zkratk a symbolů	50
	Přílohy	53

Cíl práce

Cílem práce je navrhnout způsob vytápění a přípravy teplé vody v rekonstrukci bytového domu z 30. let. Vybrat optimální řešení s ohledem na plánovanou rekonstrukci domu, jejíž součástí bude zateplení objektu a výměna výplní stavebních otvorů.

Úvod

V dnešní době si uvědomujeme nutnost změny svých postojů k čerpání nerostného bohatství Země a ke znečišťování životního prostředí. Snaha o omezení využívání neobnovitelných zdrojů vede k realizaci různých úsporných opatření. U stávajících staveb se lze zaměřit na opatření vedoucí ke snižování spotřeby paliv a energií, které slouží k zajištění tepelné pohody uživatelů. Na energetickou náročnost objektů mají vliv tepelně technické vlastnosti jednotlivých stavebních konstrukcí, způsob provozování staveb a v neposlední řadě také energetická účinnost instalovaných zařízení. Snahu o šetrný přístup k fosilním palivům podporuje také stát a formou různých typů dotací (např. NZU a IROP) zvýšenou měrou přispívá k většímu zájmu investorů a konečných uživatelů budov mimo jiné o moderní ekologické zdroje tepla.

1. Popis objektu

V této práci se zabývám rekonstrukcí bytového domu z 30. let minulého století, nacházejícího se v Plzni. Tento dům je nepodsklepený, se čtyřmi nadzemními podlažími a obytným podkrovím, zastřešen sedlovou střechou. Postaven je v rámci řadové uliční zástavby, kde svoji severní a jižní částí sousedí s dalšími bytovými domy.

V přízemí domu se nachází obchod se zázemím a vlastním vchodem z ulice, chodba se schodištěm a výtahem vedoucím do vyšších podlaží, technické zázemí a dvě garážová stání. Ve vyšších patrech jsou vždy dva byty na patře o velikosti 2+1 a 2+kk. V podkroví se nachází jeden byt o velikosti 5+kk a dvěma koupelnami.

Bytový dům bude kompletně zateplen kontaktním zateplovacím systémem a budou vyměněny všechny výplně otvorů za plastové s izolačním dvojsklem.

V původním stavu je objekt vytápěn lokálně – každý byt má vlastní plynový kotel, v obchodě jsou plynová topidla WAW.

Zastavěná plocha BD	178,17 m ²
Plocha obchodu	44,414 m ²
Plocha bytů A	70,20 m ²
Plocha bytů B	66,67 m ²
Plocha podkrovního bytu	138,81 m ²
Obestavěný prostor	3064,0 m ³

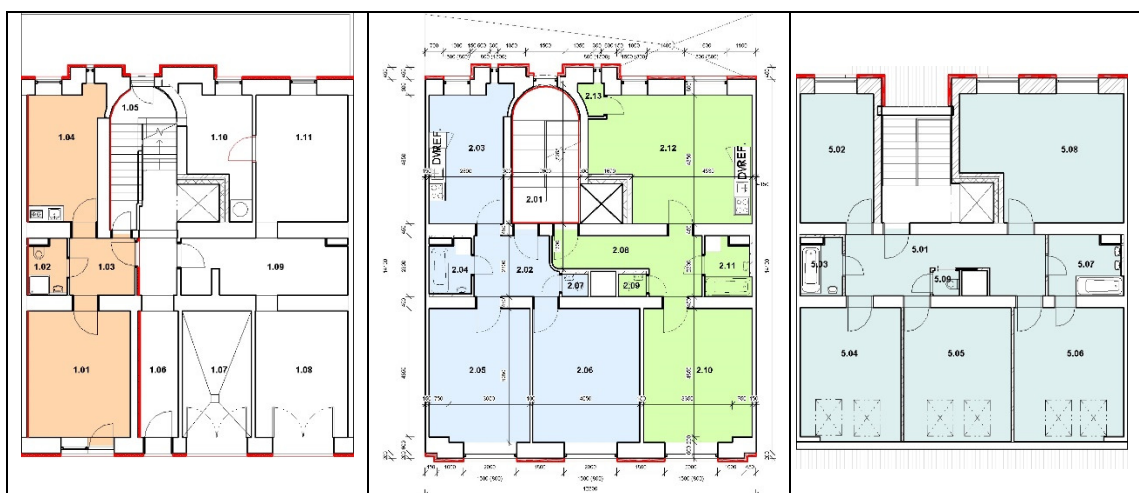


Schéma 1 – Rozdělení ploch v domě



Pohled z ulice



Pohled z vnitrobloku



Vstupní chodba



Pohled na podestu

Foto 1 – Stávající stav bytového domu

2. Návrhové teploty

Vnitřní výpočtové teploty jsem zvolila dle ČSN EN 12831. Pro obývané vytápěné místnosti jsem počítala s hodnotou 20 °C a pro koupelny 24 °C. V bytech B je navíc vytápěná i chodba a to na 20 °C. V části určené pro obchod s oblečením počítám s teplotou 20 °C, v koupelně 24 °C. Nevytápěné místnosti jsou ohřívány pomocí tepelných ztrát z místností vytápěných. Zvolené i vypočtené teploty jednotlivých místností shrnují následující tabulky.

Výpočtové teploty	°C
Teplota za konstrukcí sousedního objektu - koupelna	24
Teplota za konstrukcí sousedního objektu - pokoj	20
Teplota za konstrukcí sousedního objektu - technické zázemí	5
Teplota za konstrukcí sousedního objektu - obchod	5
Vnější výpočtová teplota	-15
Teplota zeminy	5

Tab. 1 – Výpočtové teploty

3. Tepelné technické vlastnosti budovy

Ochlazované svislé konstrukce budovy jsou z cihel plných pálených tl. 600 mm, svislé konstrukce k sousedním objektům jsou z cihel plných pálených tloušťky 225 mm. Podlaha ve styku se zemí je tvořena betonovou deskou tloušťky 100 mm. Stropy domu jsou dřevěné trámové se škvárovým násypem. Střecha je sedlová s keramickou krytinou. Dům bude kompletně zateplen kontaktním zateplovacím systémem, viz schémata v příloze P1. Výplně otvorů budou vyměněny za nové s izolačním dvojsklem. Podrobná specifikace konstrukcí je uvedena v 111 příloze P2.

Energetickou náročnost budovy jsem spočetla za použití programu PROTECH.

3.1. Tepelné ztráty jednotlivých místností

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty použité pro výpočet celkové ztráty objektu.

Skupina	Místnost	Teplota [°C]	Ztráta [W]	Celkem [W]	Plocha [m ²]
Obchod	Prodejna	20	1388		25,17
	Chodba	18	-		5,78
	Koupelna	24	334		3,92
	Zázemí	20	937	2659	20,62
Byt 1A	Chodba	19	-		7,74
	Kuchyně	20	1034		19,39
	Koupelna	24	394		5,92
	Pokoj 1	20	535		23,78
	Pokoj 2	20	703		25,56
	WC	18	-	2666	1,25

Skupina	Místnost	Teplota [°C]	Ztráta [W]	Celkem [W]	Plocha [m ²]
Byt 1B	Chodba	20	240		10,37
	WC	18	-		1,25
	Pokoj	20	676		24,91
	Koupelna	24	441		6,56
	Obývací pokoj	20	1607	2964	35,82
Byt 2A	Chodba	19	-		7,74
	Kuchyně	20	1034		19,39
	Koupelna	24	394		5,92
	Pokoj 1	20	535		23,78
	Pokoj 2	20	599		25,56
	WC	18	-	2562	1,25
Byt 2B	Chodba	20	194		10,37
	WC	18	-		1,25
	Pokoj	20	556		24,91
	Koupelna	24	402		6,56
	Obývací pokoj	20	1434	2586	35,82
Byt 3A	Chodba	19	-		7,74
	Kuchyně	20	1034		19,39
	Koupelna	24	394		5,92
	Pokoj 1	20	535		23,78
	Pokoj 2	20	599		25,56
	WC	18	-	2562	1,25
Byt 3B	Chodba	20	194		10,37
	WC	18	-		1,25
	Pokoj	20	556		24,91
	Koupelna	24	402		6,56
	Obývací pokoj	20	1434	2586	35,82
Podkroví	Chodba	19	-		7,74
	Pracovna	20	1126		19,39
	Koupelna	24	430		5,92
	Pokoj 1	20	695		23,78
	Pokoj 2	20	776		25,56
	WC	18	-		1,25
	Chodba	20	243		10,37
	WC	18	-		1,25
	Pokoj	20	728		24,91
	Koupelna	24	441		6,56
	Obývací pokoj	20	1605	6044	35,82
Celková ztráta objektu				24629	

Tab. 2 – Tepelné ztráty místností

4. Návrh otopných těles a podlahového vytápění

Při návrhu otopných těles a podlahového vytápění vycházím z tepelných ztrát jednotlivých místností. V případě otopných těles zvažuji velikosti jednotlivých oken a výšky parapetu. Teplotní spád otopné soustavy jsem zvolila 55/40, protože při nižším teplotním spádu by bylo

třeba osadit příliš velká otopná tělesa. Vyšší teplotní spád by zas nebyl vhodný pro nízkoteplotní rozvody.

Pro rozvod topné vody jsem zvolila nízkoteplotní dvoutrubkovou soustavu.

V prostoru obchodu jsou celkem 3 otopná tělesa. Dvě desková tělesa Radik VK typ 33 a jedno trubkové těleso Koralux linear komfort, vše od výrobce značky Korado.

Byty typu A (2+1) a B (2+kk) jsou vytápěné deskovými otopnými tělesy Radik VK v jednotlivých místnostech a trubkovými tělesy Koralux linear v koupelnách.

Podkrovní byt 5+kk je vytápěn pomocí podlahového vytápění při použití teplotního spádu 50/40. V koupelnách je podlahové vytápění doplněno trubkovými otopnými tělesy Koralux linear komfort.

4.1. Kontrola teplotního spádu

Délka otopného tělesa by měla být, z důvodu zajištění tepelné pohody, stejná nebo větší než délka okna:

$$L_{OT} \geq L_{OK},$$

kde

L_{OT} délka otopného tělesa [m]

L_{OK} délka okna [m]

Součin čelní plochy tělesa a rozdílu mezi střední teplotou tělesa a teplotou vnitřního vzduchu se musí rovnat nebo být větší než součin plochy okna a rozdílem teploty vnitřního vzduchu a teploty povrchu okna:

$$L_{OT} * H_{OT} * (t_{OT} - t_i) \geq L_{OK} * H_{OK} * (t_i - t_{OK}).$$

Z tohoto vzorce vyjádřím střední teplotu otopného tělesa:

$$t_{OT} \geq t_i * \left(1 + \frac{H_{OK}}{H_{OT}}\right) - t_{OK} * \frac{H_{OK}}{H_{OT}},$$

kde

t_i vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_{OK} povrchová teplota okna na vnitřní straně [°C]

H_{OK} výška okna [m]

H_{OT} výška otopného tělesa [m]

Povrchovou teplotu okna získám ze vztahu:

$$k_{OK} * (t_i - t_e) = \alpha_{i,OK} * (t_i - t_{OK}),$$

kde

k_{OK} součinitel prostupu tepla okna, udává výrobce [$W/m^2 * K$]

$\alpha_{i,OK}$ součinitel přestupu tepla na vnitřní straně okna [$W/m^2 * K$] jeho velikost se uvažuje stejná jako při výpočtu tepelných ztrát dle ČSN 06 0210

$$(\alpha_{i,OK} = 8 W/m^2 * K)$$

t_e venkovní oblastní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]

Podle vypočtené teploty t_{OK} volím příslušný teplotní spád otopné soustavy tak, aby střední teplota tělesa byla nejlépe teplotou vratné vody. Teplotní spád se pak volí ideálně 10 a 15 K.

Pro ověření návrhu jsem vybrala největší okno v objektu a to v pokoji v bytě typu A. Jde o okno s rozměry 2000/1500 (800) mm.

$$t_{OK} = 20 * \left(1 - \frac{1,1}{8}\right) - 15 * \frac{1,1}{8} = 15,1875 [^{\circ}C]$$

$$t_{OT} \geq 20 * \left(1 + \frac{2,0}{0,5}\right) - 15,1875 * \frac{2,0}{0,5} = 39,25 [^{\circ}C]$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že zvolený tepelný spád 55/40 vyhovuje.

V tabulce 3 jsou uvedena vybraná tělesa, jejich výkon přepočítaný na zvolený spád 55/40 a jejich rozměry.

Místnost	Typ	L_{OT} [mm]	H_{OT} [mm]	t [mm]	Q [W]
1.01	Radik 33 VK	1600	400	155	1411
1.02	Koralux linear komfort	500	1820	35	367
1.04	Radik 33 VK	900	500	155	942
2.03	Radik 22 VK	1200	500	100	1095
2.04	Koralux linear komfort	600	1820	35	432
2.05	Radik 11 VK	1800	500	63	784
2.06	Radik 11 VK	1800	500	63	784
2.08	Radik vertikál M 10	400	1600	52	277
2.10	Radik 11 VK	1800	500	63	784
2.11	Koralux linear max	600	1820	35	478
2.12	Radik 22 VK	1400	500	100	1020
2.12	Radik 22 VK	1000	500	100	729
3.03	Radik 22 VK	1200	500	100	1095
3.04	Koralux linear komfort	600	1820	35	432
3.05	Radik 11 VK	1800	500	63	784

Místnost	Typ	L_{or} [mm]	H_{or} [mm]	t [mm]	Q [W]
3.06	Radik 11 VK	1800	500	63	784
3.08	Radik vertikál M 10	400	1600	52	277
3.10	Radik 11 VK	1800	500	63	784
3.11	Koralux linear komfort	600	1820	35	432
3.12	Radik 22 VK	1400	500	100	1020
3.12	Radik 22 VK	800	500	100	583
4.03	Radik 22 VK	1200	500	100	1095
3.04	Koralux linear komfort	600	1820	35	432
3.05	Radik 11 VK	1800	500	163	784
3.06	Radik 11 VK	1800	500	63	784
3.08	Radik vertikál M 10	400	1600	52	277
3.10	Radik 11 VK	1800	500	63	784
3.11	Koralux linear komfort	600	1820	35	432
3.12	Radik 22 VK	1400	500	100	1020
3.12	Radik 22 VK	800	500	100	583

Tab. 3 – Výběr otopných těles

4.2. Podlahové vytápění

Při výpočtu podlahového vytápění je důležité zaručit, aby střední povrchová teplota nepřekročila hygienická maxima a přitom aby tepelný výkon podlahové otopné plochy pokryl tepelné ztráty dané místnosti. Pro návrh je důležitá přesná specifikace vrstev stropní konstrukce včetně nášlapné vrstvy podlahy. Jako nevhodné nášlapné vrstvy pro podlahové vytápění jsou například textilní krytiny s délkou vlasu nad 10mm, pryžové podložky a parkety z měkkého dřeva. Naopak mezi nejvhodnější krytiny patří keramické a kamenné dlaždice, které se lepí do cementového potěru nebo betonové mazaniny. Koberce, které lze pro podlahové vytápění použít, jsou od výrobce označeny speciálním symbolem. Při použití parket se volí tvrdé dřevo s tloušťkou do 8 mm.

Pokud je koberec použitý na podlahu s instalovaným podlahovým vytápěním, tepelný odpor musí být menší než 0,17 m²K/W. Symbol, který znamená, že podlaha může být instalována v kombinaci s podlahovým topením je na obrázku.



Obr.1 – Piktogram krytiny vhodné k použití při podlahovém vytápění

Zdroj: <https://www.floorwood.cz/clanky/znaceni-a-piktogramy-podlahovin/>

Teplotní spád pro návrh podlahového vytápění volím 50/40.

4.3. Výpočet teplovodního podlahového vytápění

Propustnost tepla vrstvami nad trubkami směrem nahoru určuje vztah:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}},$$

kde

a tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami [m]

λ_a součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami [W/m*K]

Tepelná propustnost vrstev pod trubkami se určí ze vztahu:

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda'_p}},$$

kde

b tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami [m]

λ_b součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami [W/m*K]

Charakteristické číslo podlahy se vypočítá ze vztahu:

$$m = \sqrt{\frac{2 * (\Lambda_a - \Lambda_b)}{\pi^2 * \lambda_d * d}},$$

kde

Λ_a tepelná propustnost vrstev nad trubkami [W/m²*K]

Λ_b tepelná propustnost vrstev pod trubkami [W/m²*K]

λ_d součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zality trubky [W/m*K]

d vnější průměr trubek [m]

Střední povrchová teplota podlahové otopné plochy nemá z fyziologických důvodů převyšovat hodnoty:

$t_p = 27 \div 28^\circ\text{C}$ u místností pro trvalý pobyt

$t_p = 30 \div 32^\circ\text{C}$ u pomocných místností, kde člověk jen příležitostně přechází

$t_p = 32 \div 34^\circ\text{C}$ u místností, kde člověk převážně chodí bos

Střední povrchová teplota podlahové otopné plochy je dána vztahem:

$$t_p = t_i + \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} * \left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \right) * \frac{tgh \left(m * \frac{l}{2} \right)}{m * \frac{l}{2}},$$

kde

t_p střední povrchová teplota podlahové otopné plochy [°C]

t_i vnitřní návrhová teplota místnosti [°C]

t_{w1} teplota vody vstupní [°C]

t_{w2} teplota vody výstupní [°C]

m charakteristické číslo podlahy [m^{-1}]

l rozteč trubek [m]

Měrný tepelný tok do vytápěné místnosti:

$$q = \alpha_p * (t_p - t_i).$$

Ztrátový měrný tepelný tok do místnosti dolů (stejně teploty):

$$q' = \frac{\Lambda_b}{\Lambda_a} * \alpha'_p * (t_p - t_i).$$

Měrný tepelný tok směrem dolů by neměl překročit 10-15% měrného tepelného toku do vytápěné místnosti. Hodnotu měrného tepelného toku lze ovlivnit tloušťkou tepelné izolace.

Podlahová plocha potřebná k instalaci otopného hadu:

$$S_p = \frac{Q_c}{q + q'} \text{ [m}^2\text{]},$$

kde

Q_c tepelná ztráta místnosti [W]

Od celkové plochy místnosti je třeba odečíst plochu, kam se trubky nepokládají. Šířka této plochy, tzv. okrajové plochy je závislá na charakteristickém čísle podlahy r :

$$r = \frac{2,3}{m}$$

Dále se musí počítat s vlivem nábytku a to tak, že:

- vliv nábytku na vysokých nohách lze zanedbat,
- nábytek na nízkých nohách výkon podlahového vytápění na dané ploše snižuje o 50%,

- u nábytku se soklem se celá plocha, kterou zabírá sokl nábytku, odečítá od podlahové plochy místnosti.

Celkový tepelný příkon podlahové otopné plochy je pak následující:

$$Q_{PC} = S_p * (q + q') [W]$$

Místnost	Délka otopného hadu [m]	Plocha [m ²]	Výkon [W]
5.02	63,51	8,95	1118
5.03	19,64	0,85	86,17
5.04	69,10	13,90	1243,64
5.05	67,93	15,13	1335,57
5.06	62,66	15,57	1374,41
5.07	17,59	2,78	281,85
5.08	79,89	20,40	1800,77

Tab. 4 – Podlahové vytápění

5. Výpočet energie potřebné pro ohřev TV

Teplotu vstupní vody uvažuji 10 °C a teplotu výstupní vody 55 °C. Objem teplé vody (dále jen TV) uvažuji 50 l/osoba, přičemž je systém navrhován pro 20 osob bydlících celkem v sedmi bytech a 2 osoby pracující v obchodě. Pro srovnání použiji postup dle normy ČSN 06 0320, německé normy DIN 4708 a výpočet pro přednostní ohřev teplé vody.

Vstupní parametry	Obchod	Byty
Počet osob	2	20
Provoz zóny	8:00-17:00	0:00-24:00
Doba úklidu	17:30-19:30	
Činnost	mytí rukou	umývání těla a rukou
	umývání nádobí	vaření
	úklid	úklid

Tab. 5 – Provoz ve vytápěných prostorách

Vstupní hodnoty	
Měrná tepelná kapacita vody	$c=1,163 [kWh/(m^3 \cdot K)]$
Koeficient z	$z=0,5 [-]$
Plocha obchodu	$A=44,58 [m^2]$
Teplota studené vody	$\theta_1=10 [^\circ C]$
Teplota teplé vody	$\theta_2=55 [^\circ C]$

Tab. 6 – Vstupní hodnoty

5.1. Postup výpočtu dle ČSN 06 0320

Norma ČSN 06 0320 stanovuje postup návrhu zařízení pro přípravu TUV. Vycházím z empiricky stanovených potřeb teplé vody a za předpokladu teploty studené vody $\theta_1=10\text{ }^\circ\text{C}$ a teploty před výtokovou armaturou $\theta_2=55\text{ }^\circ\text{C}$. Výpočet jsem provedla pro dvě varianty – pracovní den a víkendový den. Ve víkendovém provozu se na snížení potřeby teplé vody projeví uzavřený obchod.

Pro výpočet jsem použila normové hodnoty uvedené v příloze C normy ČSN 06 0320.

Potřeba teplé vody (dále jen TV) pro mytí osob V_o v dané periodě se stanoví ze vztahu:

$$V_o = n_i * \Sigma V_d$$
$$\Sigma V_d = \Sigma(n_d * U_3 * t_d * p_d) .$$

Potřeba TV pro mytí nádobí V_j v dané periodě se stanoví ze vztahu:

$$V_j = n_j * V_d .$$

Potřeba TV pro úklid a pro mytí podlah V_u v dané periodě se stanoví ze vztahu:

$$V_u = n_u * V_d .$$

Celková spotřeba TV V_{2p} v dané periodě se stanoví jako:

$$V_{2p} = V_o + V_j + V_u ,$$

kde:

- V_o potřeba TV pro mytí osob v dané periodě [m^3]
- V_d objem dávky (tab. 2 přílohy C, norma ČSN 06 0320) [m^3]
- V_j potřeba TV pro umytí nádobí v dané periodě [m^3]
- V_u potřeba TV pro úklid a pro mytí podlah v dané periodě [m^3]
- V_{2p} celková potřeba TV v dané periodě [m^3]
- n_i počet uživatelů [-]
- n_j počet jídel [-]
- n_d počet dávek [-]
- n_u počet (výměr) ploch [-]
- U_3 objemový průtok TV o teplotě θ_3 do výtoku (ČSN 06 0320, tab. C)
[m^3/h]
- t_d doba dodávky [h]

p_d součinitel prodloužení doby dodávky –

1: čistý provoz,

1,5: špinavý provoz,

2: značně špinavý provoz

Vybrané údaje z přílohy C, normy ČSN 06 0320

Parametr	Značka	Jednotka	Baterie			
			Umyvadlo	Dřez	Sprcha	Vana
Teplota na výtoku	θ_4	°C	40	55	40	40
Průtok vody o teplotě θ_4 na výtoku	U_4	dm ³ /s	0,06	0,08	0,095	0,2
		m ³ /hod	0,21	0,3	0,34	0,7
Přítok TV 55 °C do výtoku	U_3	dm ³ /s	0,04	0,08	0,065	0,13
		m ³ /hod	0,14	0,3	0,23	0,47
Tepelný výkon přítoku TV	q_v	kW	7,3	15,7-24,4	12	24,6

Tab. 7 – Charakteristiky výtoků dle ČSN 06 0320

Druh objektu	Měrná jednotka	Činnost	Spotřeba V_{2p} [m ³ /per]	Teplo Q_{2p} [kWh/per]	Součinitel současnosti s
Stavby pro bydlení	1 osoba	Umývání, vaření, úklid	0,082	4,3	do 35 os. = 1,0

Tab. 8 – Bilance potřeby TV a tepla dle ČSN 06 0320

Činnost	Doba dodávky t_d		Objem dodávky V_d		Teplo v dodávce Q_2	
	[s]	[h]	[dm ³]	[m ³]	[kWh]	
Mytí osob - umyvadlo $U_3=0,14$ m ³ /hod	Mytí rukou	50	0,014	2	0,002	0,1
	Mytí těla	260	0,071	10	0,01	0,52
Sprcha $U_3=0,23$ m ³ /hod	400	0,11	25	0,025	1,32	
Vana $U_3=0,47$ m ³ /hod	300	0,085	40	0,04	2,1	
Délka vany 1600 mm	610	0,17	80	0,08	4,2	
Mytí nádobí	$U_3=0,30$ m ³ /hod $\theta_4=55$ až 80°C na jedno jídlo		1	0,001	0,05	
Pouze výdej jídel			2	0,002	0,1	
Vaření + výdej						
Mytí podlahy + úklid	$U_3=0,30$ m ³ /hod $\theta_4=55$ °C na 100 m ²		20	0,02	1,05	

Tab. 9 – Potřeba TV o teplotě $\theta_3=55$ °C dle ČSN 06 0320

5.1.1. Stanovení potřeby tepla

Potřeba tepla odebráno z ohřívače v TV během jedné periody Q_{2p} se stanoví ze vztahu:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} .$$

Teoretické teplo odebrané z ohřívače v době jedné periody Q_{2t} se stanoví ze vztahu:

$$Q_{2t} = c * V_{2p} * (\theta_2 - \theta_1) .$$

Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV v době jedné periody Q_{2z} se stanoví ze vztahu:

$$Q_{2z} = Q_{2t} * z ,$$

kde:

- Q_{2p} teplo dodané ohřívačem do TV během periody [kWh]
- Q_{2t} teoretické teplo odebrané z ohřívače do TV během periody [kWh]
- Q_{1p} teplo dodané ohřívačem do TV během periody [kWh]
- Q_{2z} teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV v době periody [Wh]
- V_{2p} celková potřeba TV v dané periodě [m³]
- θ_1 teplota studené vody [°C]
- θ_2 teplota teplé vody [°C]
- z koeficient zohledňující ztráty tepla při ohřevu a distribuci TV [-]

Křivka odběru TV je závislost odběru tepla Q_2 z ohřívače na čase t během periody, což je v tomto případě jeden den. Hodnoty pro její stanovení jsem získala časovým rozborem odběru.

Stanovení objemu zásobníku teplé vody:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c * (\theta_2 - \theta_1)} ,$$

kde:

- V_z objem zásobníku teplé vody [m³]
- ΔQ_{max} největší možný rozdíl tepla mezi Q_1 a Q_2 [kWh]
- c měrná tepelná kapacita vody [kWh/m³*K]
- θ_1 teplota studené vody [°C]
- θ_2 teplota teplé vody [°C]

Potřeba teplé vody

Byty				Obchod			
Činnost	n [-]	V_{2p} [m ³ /den]	$n \cdot V_{2p}$	Činnost	n [-]	V_{2p} [m ³ /den]	$n \cdot V_{2p}$
Umývání	20	0,082	1,64	Umyvadlo	2	0,02	0,04
Vaření				Sprcha	2	0,04	0,08
Úklid				Úklid	1	0,02	0,02
Celkem			1,64	Celkem			0,04

Tab. 10 – Potřeba TV v bytech a v obchodě

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody dle druhu budovy

Byty				$z=0,5$	$Q_{2p}=Q_{2t}+Q_{2z}$
Činnost	n [-]	Q_{2t} [kWh]	$n \cdot Q_{2t}$ [kWh]	$Q_{2z}=z \cdot Q_{2t}$ [kWh]	$Q_{1p}=Q_{2p}$ [kWh]
Umývání	20	4,3	86	43	129
Vaření					
Úklid					
Celkem			86	43	129

Tab. 11 – Potřeba tepla v bytech

Obchod				$z=0,5$	$Q_{2p}=Q_{2t}+Q_{2z}$
Činnost	n [-]	Q_{2t} [kWh]	$n \cdot Q_{2t}$ [kWh]	$Q_{2z}=z \cdot Q_{2t}$ [kWh]	$Q_{1p}=Q_{2p}$ [kWh]
Umyvadlo	2	0,8	1,6	0,8	2,4
Sprchy	2	1,4	2,8	1,4	4,2
Úklid	1	0,8	0,8	0,4	1,2
Celkem			5,2	2,6	7,8

Tab. 12 – Potřeba tepla v obchodě

Pracovní den

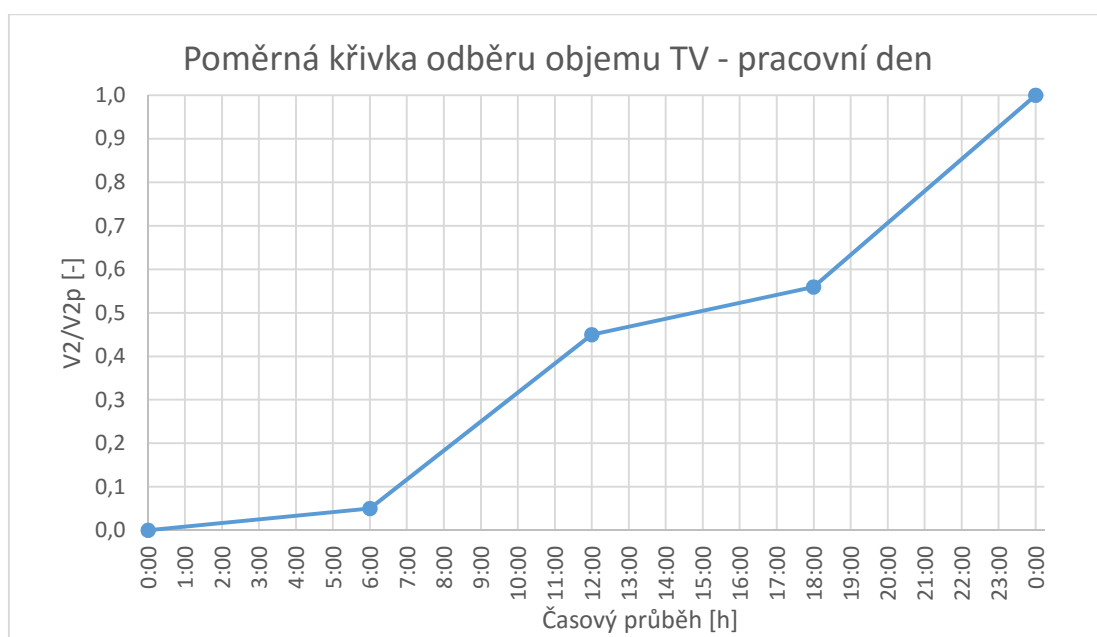
Pracovní den - byty				Pracovní den - obchod			
Interval	Podíl	V_{2p} [m ³ /den]	Q_{2t} [kWh/den]	Interval	Podíl	V_{2p} [m ³ /den]	Q_{2t} [kWh/den]
0-6	0,05	0,082	4,3	0-6	0,05	0,002	0,26
6-12	0,4	0,656	34,4	6-12	0,4	0,016	2,08
12-18	0,1	0,164	8,6	12-18	0,5	0,02	2,6
18-24	0,45	0,738	38,7	18-24	0,05	0,002	0,26
Celkem		1,64	86	Celkem		0,04	5,2

Tab. 13 – Teoretické teplo odebrané z ohříváče v době periody, pracovní den

Potřeba teplé vody pro obě zóny			
Hodina	Byty V_{2p} [m ³]	Obchod V_{2p} [m ³]	Celkem V_{2p} [m ³]
0:00	0	0	0
6:00	0,082	0,002	0,084
12:00	0,738	0,018	0,756
18:00	0,902	0,038	0,94
0:00	1,64	0,04	1,68

Tab. 14 – Celková potřeba TV, pracovní den

Vypočtené hodnoty uvedené v tabulce Tab. 14 jsem vynesla do grafu.



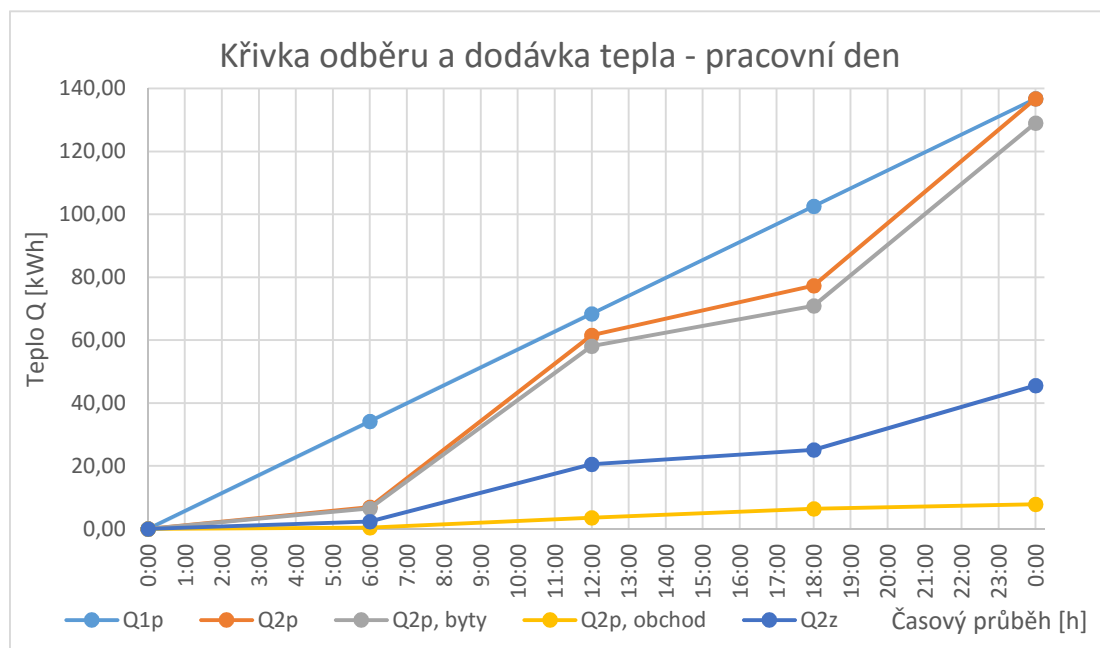
Graf 1 – Poměrný odběr TV – pracovní den

V Tab. 15 jsou vyjádřeny hodnoty potřebného tepla Q_{2t} , Q_{2z} a Q_{2p} , jednotlivě pro obě zóny a též v součtu a následně množství tepla Q_{1p} , Q_{2p} a $Q_{1p}-Q_{2p}$ pro provoz v pracovních dnech.

Čas	Q_{2t} [kWh]			Q_{2z} [kWh]			Q_{2p} [kWh]			Q_{1p} [kWh]	$Q_{1p}-Q_{2p}$ [kWh]
	Byty	Obchod	B+O	Byty	Obchod	B+O	Byty	Obchod	B+O		
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	4,30	0,26	4,56	2,15	0,13	2,28	6,45	0,39	6,84	34,20	27,36
12:00	38,70	2,34	41,04	19,35	1,17	20,52	58,05	3,51	61,56	68,40	6,84
18:00	47,30	4,94	52,24	23,65	1,43	25,08	70,95	6,37	77,32	102,60	25,28
24:00	86,00	5,20	91,20	43,00	2,60	45,60	129,00	7,80	136,80	136,80	0,00

Tab. 15 – Potřeba tepla pro ohřev TV

Hodnoty z Tab. 15 jsou zaneseny do grafu:



Graf 2 – Odběr a dodávka tepla pro ohřev TV

Víkendový den

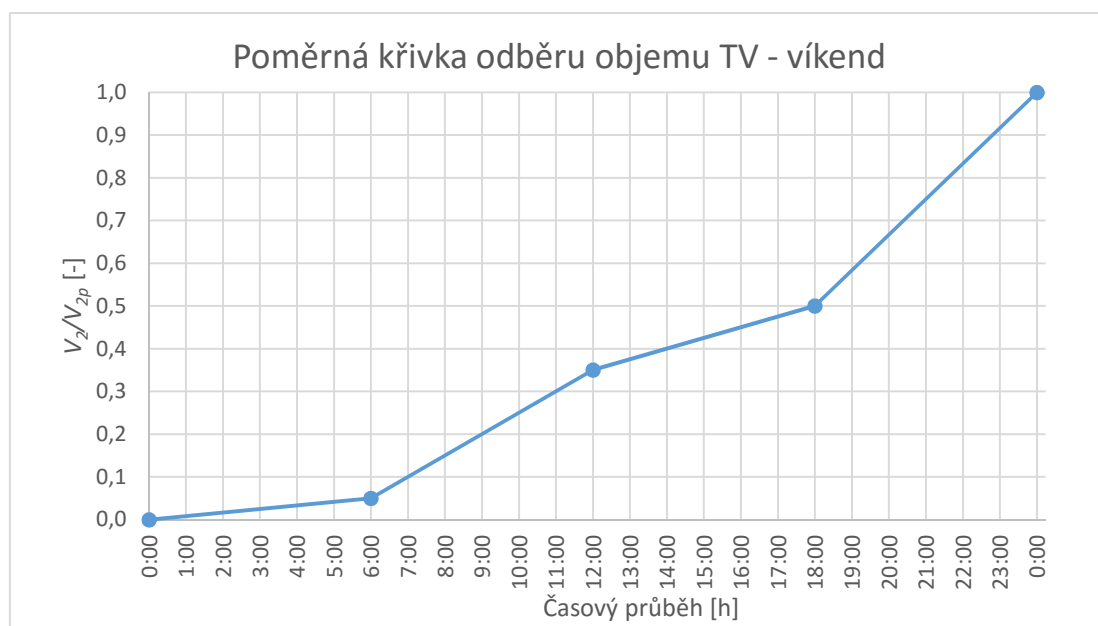
Víkendový den - byty				Víkendový den - obchod			
Interval	Podíl	V_{2p} [m ³ /den]	Q_{2t} [kWh/den]	Interval	Podíl	V_{2p} [m ³ /den]	Q_{2t} [kWh/den]
0-6	0,05	0,082	4,3	0-6	0	0	0
6-12	0,3	0,492	25,8	6-12	0	0	0
12-18	0,15	0,246	12,9	12-18	0	0	0
18-24	0,5	0,82	43	18-24	0	0	0
Celkem		1,64	86	Celkem		0	0

Tab. 16 – Teoreticky odebrané teplo z ohřívače v době periody, víkend

Potřeba teplé vody pro obě zóny			
Hodina	Byty V_{2p} [m ³]	Obchod V_{2p} [m ³]	Celkem V_{2p} [m ³]
0:00	0	0	0
6:00	0,082	0	0,082
12:00	0,574	0	0,574
18:00	0,82	0	0,82
0:00	1,64	0	1,64

Tab. 17 - Celková potřeba TV, víkend

Vypočtené hodnoty uvedené v tabulkách Tab. 16 a Tab. 17 jsou vstupními hodnotami pro určení poměrné křivky odběru TV o víkendu.



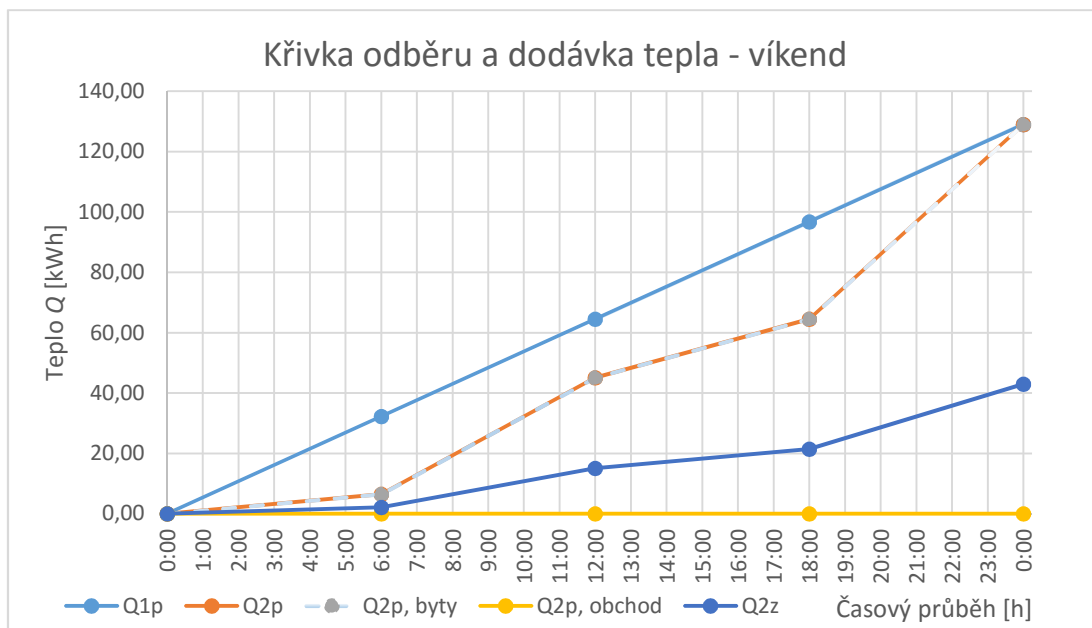
Graf 3 – Poměrný odběr TV - víkend

V Tab. 18 jsou vyjádřeny hodnoty potřebného tepla Q_{2t} , Q_{2z} a Q_{2p} , jednotlivě pro obě zóny a též v součtu a následně množství tepla Q_{1p} , Q_{2p} a $Q_{1p}-Q_{2p}$ pro víkendový provoz.

Čas	Q_{2t} [kWh]			Q_{2z} [kWh]			Q_{2p} [kWh]			Q_{1p} [kWh]	$Q_{1p}-Q_{2p}$ [kWh]
	Byty	Obchod	B+O	Byty	Obchod	B+O	Byty	Obchod	B+O		
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	4,30	0,00	4,30	2,15	0,00	2,15	6,45	0,00	6,45	32,25	25,80
12:00	30,10	0,00	30,10	15,05	0,00	15,05	45,15	0,00	45,15	64,50	19,35
18:00	43,00	0,00	43,00	21,50	0,00	21,50	64,50	0,00	64,50	96,75	32,25
24:00	86,00	0,00	86,00	43,00	0,00	43,00	129,00	0,00	129,00	129,00	0,00

Tab. 18 - Potřeba tepla pro ohřev TV

Objem zásobníku TV se dle ČSN 06 0320 stanoví pomocí křivek dodávky tepla a odběru tepla. Zakreslením křivek do společného grafu lze získat představu o největším možném rozdílu dodávky a odběru tepla Q_{1p} a Q_{2p} . Ten představuje nutnou zásobu tepla, ze které se stanoví velikost zásobníku V_z .



Graf 4 - Odběr a dodávka tepla pro ohřev TV

Z grafu 4 je patrné, že největší rozdíl mezi dodávkou a odběrem tepla je v 18:00. Na rozdíl množství tepla se dimenzuje objem zásobníku TV.

Shrnutí výsledků pro pracovní den i víkendový režim

Potřeba tepla	Pracovní den	Víkendový den
Denní potřeba tepla	136,8 [kWh]	129 [kWh]
Denní potřeba TV	1,68 [m ³]	1,64 [m ³]
Objem zásobníku TV	0,588 [m ³]	0,693 [m ³]

Tab. 19 – Potřeba tepla a množství teplé vody v obou provozech

Ve víkendovém provozu se projevila potřeba většího objemu zásobníku TV, který se musí zohlednit při návrhu na velikosti zásobníku.

Jmenovitý tepelný výkon ohřevu – 9,12kW.

5.2. Výpočet energie potřebné pro ohřev TV dle DIN 4708

Výchozím parametrem v DIN 4708 je definice jednotkového bytu, kde je uvažován koeficient potřeby $N=1$. Tento koeficient je poté porovnáván s posuzovanou budovou.

Ve vybraném bytovém domě se nachází

- 6 bytů s normální výbavou (umyvadlo a dřez v kuchyni se nezohledňuje)
 - o 3 byty o velikosti 2+1, 3 byty o velikosti 2+kk
- 1 byt s komfortní výbavou (umyvadlo, dřez, bidet se nezohledňuje)

$$N = \frac{\sum(n * p * \sum w_v)}{(p * w_v)_{nom}}$$

kde:

- N koeficient potřeby [-]
- n počet bytů [-]
- p koeficient obsazenosti, nebo počet osob [-]
- w_v potřeba tepla odběrných míst [kWh]

Počet místností	r [-]	2	2,5	3	3,5	4	5
Koeficient obsazenosti	p [-]	2,00	2,30	2,7	3,1	3,5	4,3

Odběrné místo	Odebírané množství vody V [dm³]	Potřeba tepla w_v [kWh]
koupací vana 1600x700 [mm]	140	5,82
umyvadlo na ruce	9	0,35
umyvadlo	17	0,7

Tab. 20 – Hodnoty dle DIN 4708

Jednotkový byt dle DIN 4708 má definovanou klasickou koupelnovou vanu a 4 místnosti, proto:

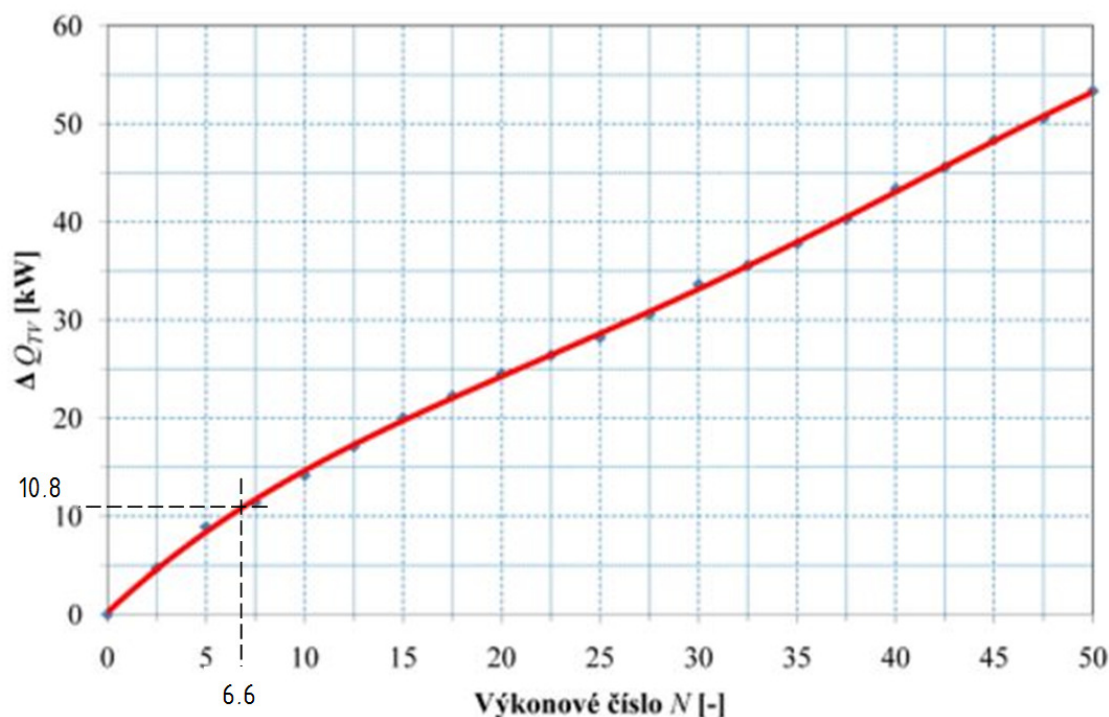
$$Q_{nom} = (p * w_v)_{nom} = 3,5 * 5,82 = 20,37 \text{ [kWh]}$$

Po dosazení do rovnice pro koeficient potřeby:

$$N = \frac{3 * 2,3 * (5,82 + 0,35) + 3 * 2 * (5,82 + 0,35) + 1 * 4,3 * (5,82 * 2 + 0,7 + 0,35)}{20,37}$$

$$N = \frac{134,16}{20,37} = 6,586$$

Zvýšený výkon kotle užitého kromě vytápění i k ohřevu TV dle výkonového čísla N



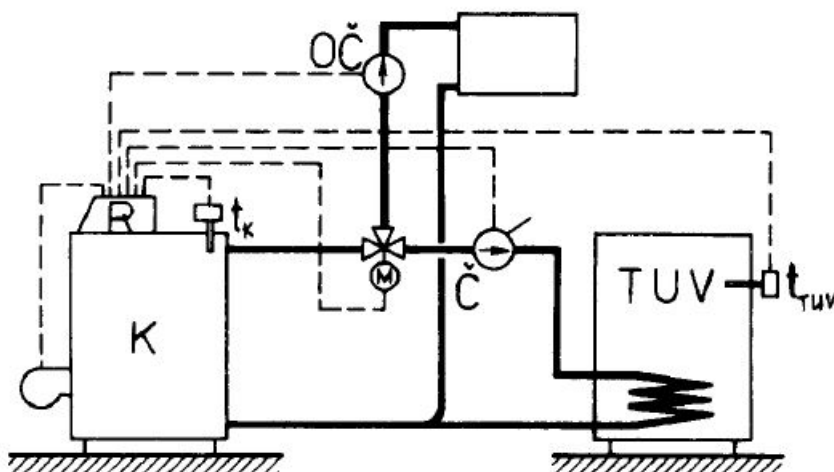
Graf 5 – Přírůstek výkonu kotle užitého i k ohřevu TV dle DIN 4708

5.3. Návrh zohledňující přednostní přípravu TV

Obě výše zmíněné normy, ČSN 06 0320 i DIN 4708, předpokládají obecný průběh odběrné křivky TV, ať už s postupným navyšováním odběru nebo při odběru, kde na začátku periody objem pomalu stoupá, uprostřed dosahuje své maximum a poté zas pozvolna klesá. Tento předpoklad se využívá v okamžiku, kdy pro přípravu TV uijeme samostatný zdroj tepla. Možnost, kdy se používá zdroj tepla zároveň pro vytápění i pro ohřev TV, normy blíže neřeší. Norma DIN 4708 pro tento případ používá diagram pro zvýšení výkonu kotle (viz Graf 5), který lze aplikovat za předpokladu, že k nahřátí zásobníku dochází při současném provozu otopné soustavy.

V praxi se často využívá u menších bytových domů systém přednostního ohřevu TV. Zdroj tepla se v tomto případě navrhuje podle potřebného výkonu pouze na vytápění a nepřičítá se k němu výkon potřebný pro ohřátí TV, protože potřeba tepla na ohřev TV je ve většině případů menší (v řádu procent), než potřeba tepla pro vytápění.

Spínací diference se volí 5 – 10K. Doba dohřátí by neměla být dlouhá, aby nedošlo k ovlivnění tepelné pohody ve vytápěném prostoru vlivem přerušování dodávky tepla. V případě řešeného bytového domu, tedy u těžké stavby s velkou akumulací schopností zdiva, by doba dohřevu neměla překročit 20 minut.



Obr. 2 – Schéma zapojení kotle při přednostní přípravě TV
 Zdroj: *Regulace v technice prostředí*, Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Postup při návrhu objemu zásobníku vychází z předpokladu, že tepelný výkon zdroje tepla je větší či roven požadovanému tepelnému výkonu pro přípravu TV

$$Q_k \geq Q_{TV}$$

Vybraný nepřímo ohříváný zásobník pracuje na principu přirozeného vztlaku, proto musím do výpočtu zahrnout tzv. korekční faktor odběru, který má pro vertikální zásobník pro ohřev vody do 20minut hodnotu 0,94.

$$Q_k = \frac{V_{TV} * y * \rho * c * X_p}{\tau_a} \rightarrow V_{TV} = \frac{Q_k * \tau_a}{y * \rho * c * X_p},$$

kde

- Q_k Výkon kotle [W]
- V_{TV} objem zásobníku TV [m³]
- τ_a doba ohřevu při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s]
- ρ hustota vody při střední teplotě zásobníků [kg/m³]
- c měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg*K]
- X_p spínací diference pro dohřev TV [K]
- y korekční faktor odběru tepla ze zásobníku [-]

$$V_{TV} = \frac{25\,000 * 900}{0,94 * 1\,000 * 4\,000 * 10} = 0,598 \text{ [m}^3\text{]}$$

Z těchto možností jsem vybrala variantu přednostního ohřevu TV s velikostí zásobníku 750 litrů.

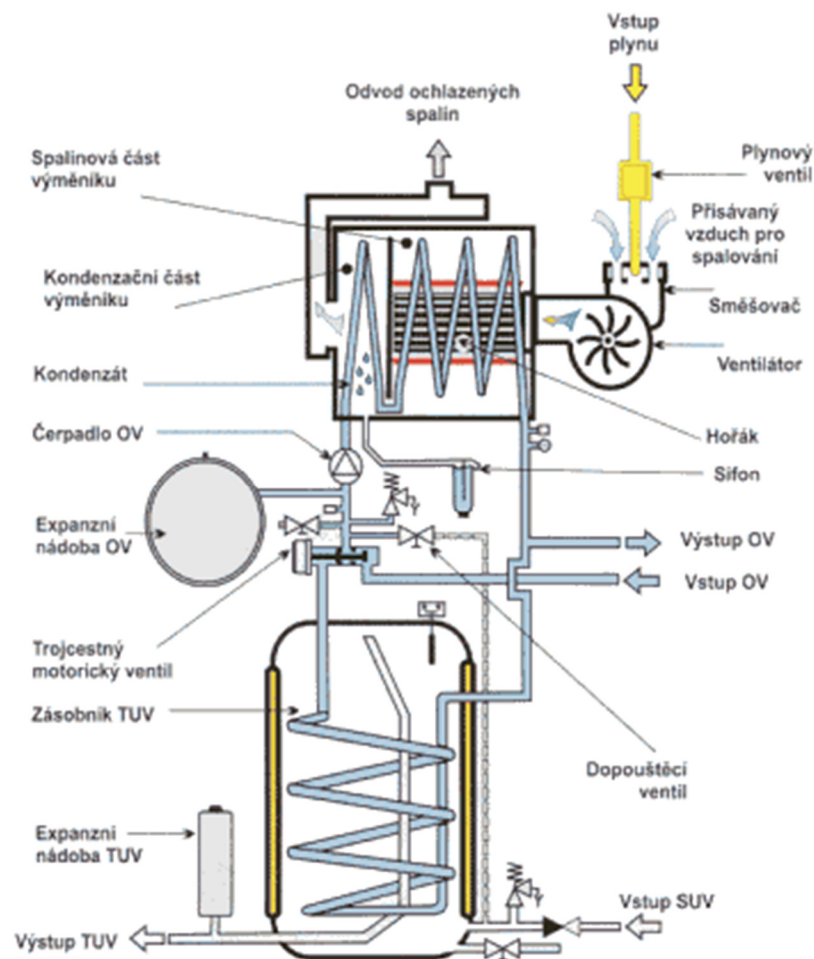
6. Volba a popis zvolených zdrojů tepla

Na základě hodnot získaných předcházejícími výpočty jsem uvažovala soustavy, které tyto požadavky na vytápění a ohřev TV splňují. Jsou to:

- Soustava s plynovým kondenzačním kotlem
- Soustava s tepelným čerpadlem
- Soustava s kondenzačním plynovým kotlem a solárními kolektory

6.1. Soustava s kondenzačním plynovým kotlem

Princip kondenzačního kotle spočívá v tom, že se dále využívá vodní pára ze spalin, které vznikají jako odpad při spalování plynu. Kondenzační kotel má dvě komory. V hlavní (spalovací) komoře probíhá spalování plynu, druhá komora slouží ke kondenzačnímu procesu. Využije se teplo ze spalování plynu a následně také teplo z uvolněných spalin. Vzniklé spaliny přechází z hlavní spalovací komory do kondenzační komory tvořené teplosměnnou plochou, na které kondenzuje vodní pára obsažená ve spalinách. Ke kondenzaci dochází při teplotách topné vody pod rosným bodem, což je v rozmezí $50 \div 55 \text{ }^\circ\text{C}$. Získání tepla z kondenzačního procesu umožňuje až o 11% vyšší účinnost ve srovnání s tradičním plynovým kotlem. Princip kondenzačního kotle je znázorněn na Obr. 3.



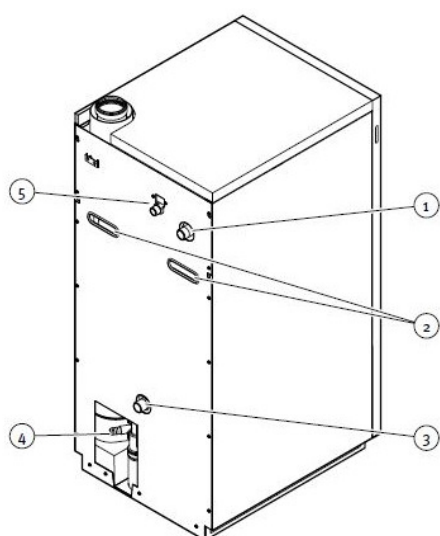
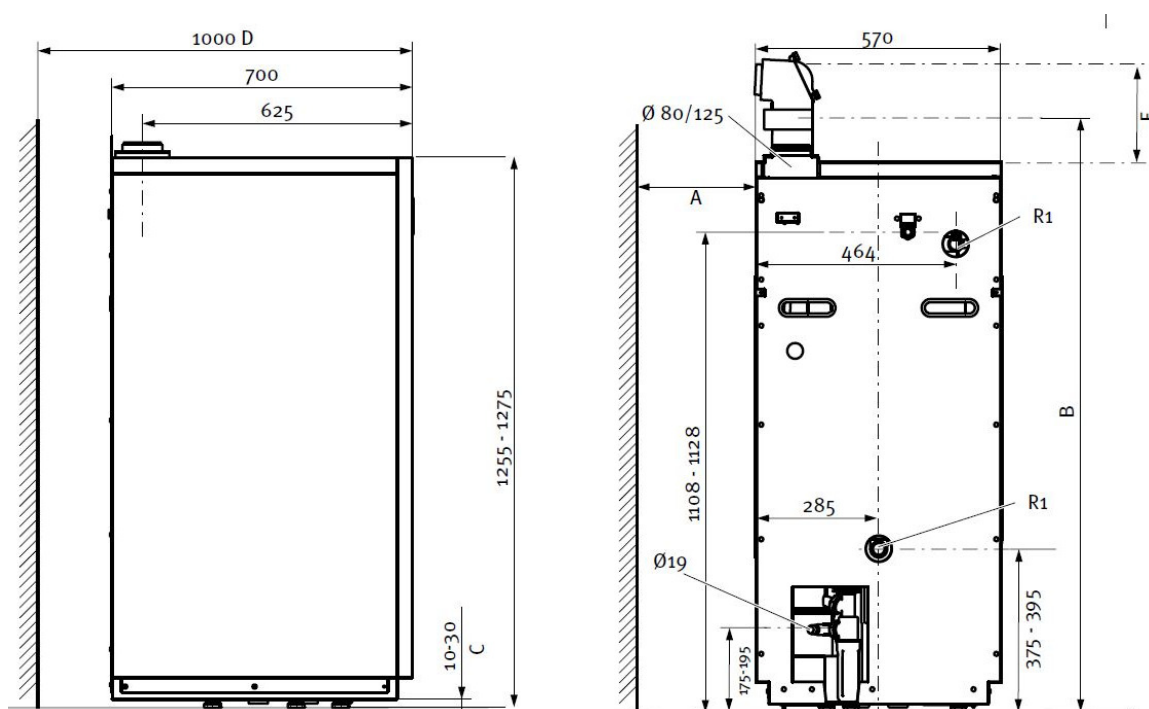
Obr. 3 – Pracovní schéma kondenzačního kotle

Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/767-kotel-budoucnosti-ktery-laka-svou-cenou>

Kondenzační kotle mohou být závěsné nebo stacionární. Součástí sestavy s kondenzačním kotlem je vždy zásobník na TV. V zásobníku je teplo přinášené médiem z kotle předáváno z topné spirály do teplé užitkové vody. Zásobník může být zabudovaný přímo v kotli, nebo může být samostatný.

Vzhledem k tomu, že je do objektu přivedena plynová přípojka, se varianta s plynovým kotlem přímo nabízí.

Pro vytápění i ohřev teplé vody jsem pro tuto sestavu zvolila plynový kondenzační kotel od firmy Protherm, model Medvěd Condens 25KKS. Rámcové rozměry kotle jsou na Obr. 4.



Legenda

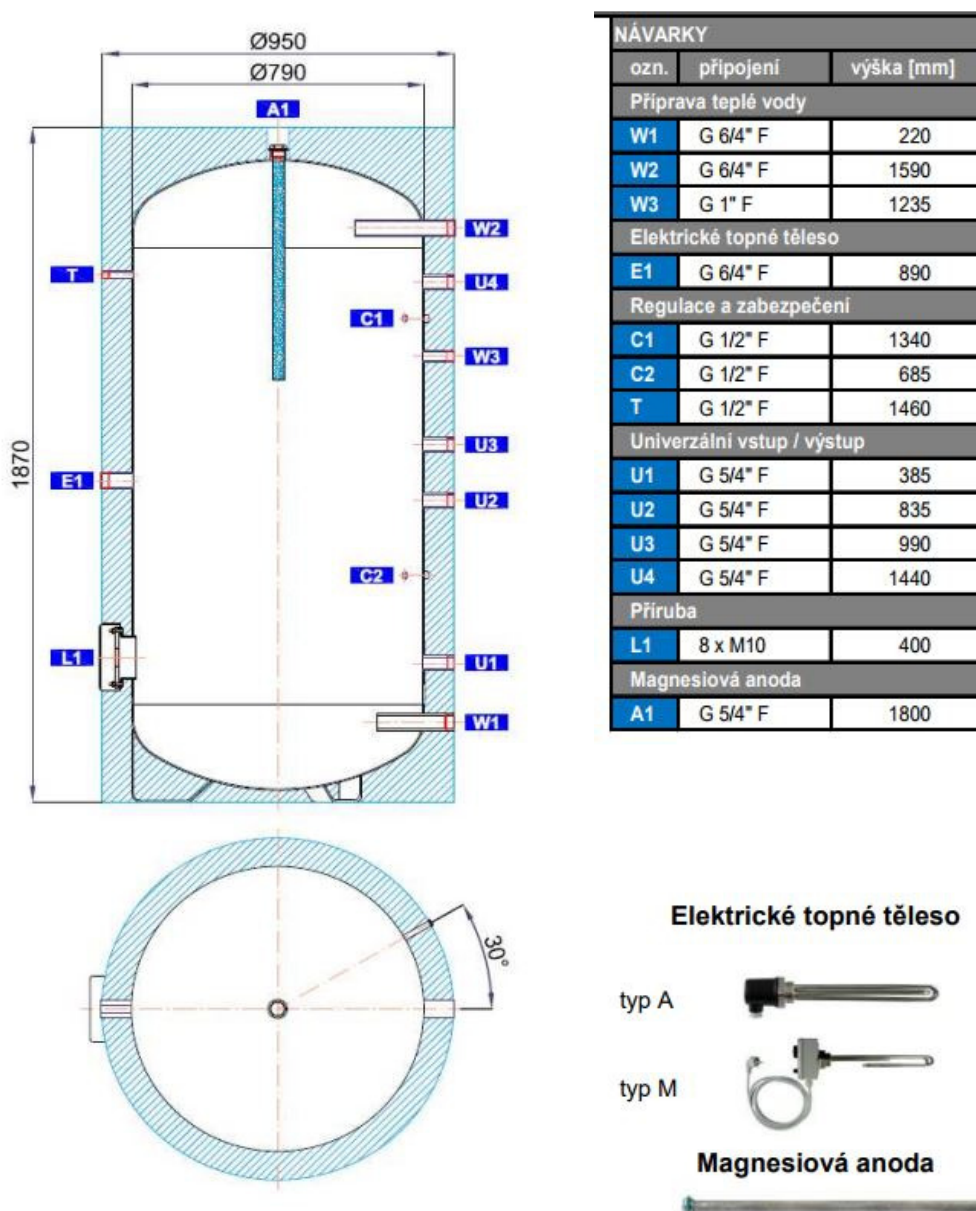
- 1 výstup do topení
 - 2 otvory na uchopení kotle
 - 3 1'' zpátečka topení
 - 4 \varnothing 19mm odvod kondenzátu
 - 5 $\frac{3}{4}$ '' plynová přípojka
- A min. 500 mm
 B min 1185 mm (připojení odvodu spalin s mezikusem s měřícím otvorem)
 C patky výškově nastavitelné o 20 mm
 D požadovaná vzdálenost od stěny 300 mm pro příslušenství skupiny trubek a čerpadla na kondenzát
 E min 500 mm

Obr. 4 –Kondenzační kotel Protherm, model Medvěd Condens 25KKS

<https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/product-detail-page-9216.html>, návod k instalaci, návod k obsluze

Kotel je umístěn na patkách cca 20mm nad zemí v místnosti 1.11. Odkouření je řešeno odvodem pomocí kouřovodu do komína. Schéma zapojení kotle a zásobníku na teplou vodu do otopné soustavy je znázorněno v příloze P3.

Zásobník na teplou vodu jsem zvolila od firmy Regulus, model RBC 750 s užitným objemem 763 litrů. Důležité rozměry zásobníku jsou na Obr. 5.



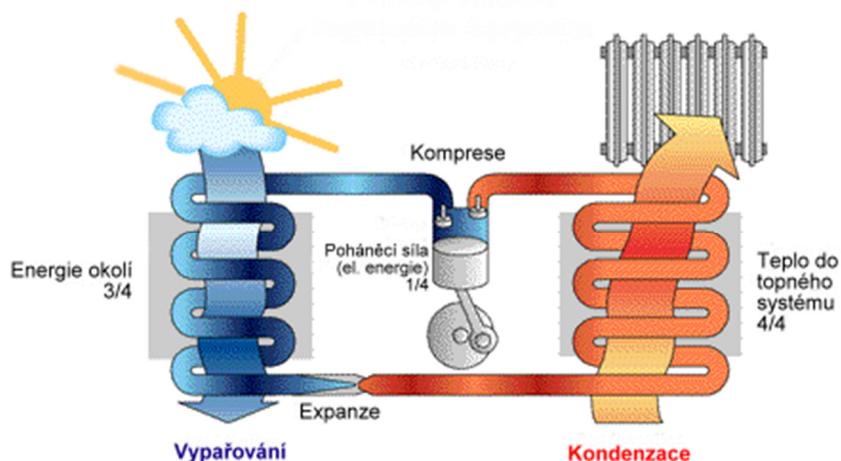
Obr. 5 – Zásobník Regulus, model RBC 750
<http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-750>, technický list RBC 750

6.2. Soustava s tepelným čerpadlem

Provozem tepelného čerpadla lze ekonomicky získat relativně malý výkon. Proto se využívá tam, kde jsou budovy postaveny z nových materiálů nebo kde jsou použity zateplovací technologie. Pořizovací cena systémů s tepelným čerpadlem je v porovnání s klasickými

způsoby vytápění několikanásobně vyšší, ale při současných stoupajících cenách energií se doba návratnosti investice zkracuje.

Na Obr. 6 je znázorněn princip tepelného čerpadla. Plynné chladicí medium, např. nemrznoucí kapalina, se nejprve pomocí kompresoru stlačí. Následně proudí do kondenzátoru. Při změně skupenství odevzdá skupenské teplo, zkondenzuje. Průchodem expanzní tryskou se sníží tlak a teplota chladicího media. Ve výparníku tak může skupenské teplo opět přijmout a odpařit se před tím, než se znovu vrátí do kompresoru.



Obr. 6 – Princip tepelného čerpadla

Zdroj: <http://www.plynoservis.cz/tepelna-čerpadla>

Podle druhu prostředí, ze kterého se odebírá teplo a teplosměnného média lze použít tyto možnosti provedení:

- **Tepelné čerpadlo země/voda**

Tepelné čerpadlo (dole jen TČ) obsahuje dva výměníky. V prvním výměníku předává teplo chladicí medium (chladicím médiem je nemrznoucí kapalina o nízké teplotě varu, která proudí v zemním kolektoru z plastové trubky umístěném v nezamrzné hloubce v zemi) plynnému médiu v okruhu s kompresorem. Stlačením v kompresoru se plyn zahřeje. V druhém výměníku pak plyn předá teplo topné vodě. Zemní kolektor může být plošný nebo umístěný ve vrtu.

- **Tepelné čerpadlo vzduch/voda**

Teplo se v tomto případě odebírá vně budovy ze vzduchu proudícího přes výparník, jako u klasické klimatizace, a převádí se do vody. Efektivnost řešení je nepříznivě ovlivněna závislostí na teplotě venkovního vzduchu. Při nižších teplotách musí systému s ohřevem pomáhat elektrický kotel. V porovnání s TČ typu země/voda jsou ale pořizovací náklady nižší. Také instalace je nenáročná.

- **Tepelné čerpadlo voda/voda**

Teplo získává tento typ TČ nejčastěji ze studniční vody. Podmínky provozu a údržby jsou velmi náročné. Je třeba vybudovat studnu čerpací, ze které se teplo

získává a která by se neměla vyčerpat, a studnu vsakovací, do které se pomocí výparníku předává.

- **Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch**

Tento typ TČ může pracovat v obou směrech – ohřívat i ochlazovat. V první řadě slouží jako klimatizace, která v chladných měsících roku může pracovat opačně, tzn. přitápět. Při použití k vytápění u nízkoenergetické budovy je výhodou tohoto typu TČ, že nepotřebuje budovat teplovodní soustavu.

Vzhledem k umístění domu s možností využít přilehlou zahradu se nabízí varianta země/voda. V porovnání s variantou vzduch/voda má tato varianta velkou výhodu v bezhlučném a bezúdržbovém řešení, navíc je zde až 30% nižší spotřeba elektřiny.

6.2.1. Zjednodušený výpočet délky zemní sondy pro TČ země/voda

Výpočet dle normy ČSN EN 15450, vycházející z německé směrnice VDU 4640-2.

Chladicí výkon výparníku:

$$\Phi_{ch} = \Phi_{TC} \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 30,72 * \left(1 - \frac{1}{4,44}\right) = 23,8 \text{ ,}$$

kde

Φ_{ch} chladicí výkon výparníku [kW]

Φ_{TC} topný výkon [kW]

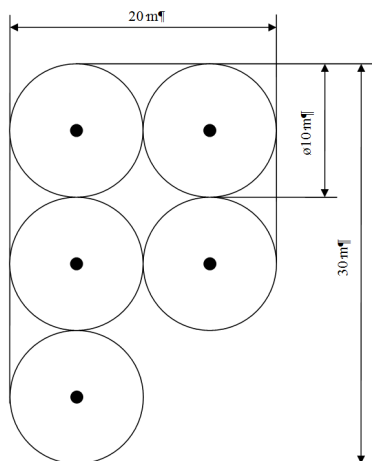
COP topný faktor [-]

ČSN EN 15450 uvádí v tabulce A.3 přílohy A měrné odběrové tepelné toky q_l [W/m] zemní sondy pro různé druhy zemního masívu a roční doby provozu tepelného čerpadla. Roční doba provozu tepelného čerpadla pro kombinaci vytápění a přípravy teplé vody je 2400 h/rok. Měrný odběrový tepelný tok pro běžné podloží a vodou nasycený sediment $1,5 < \lambda < 3,0$ W/m*K a dobu provozu 2400 hodin je 50 W/m.

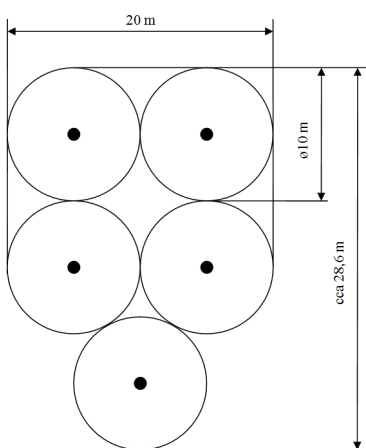
Potřebná délka zemní sondy se pak stanoví ze vztahu:

$$L = \frac{1000 * \Phi_{ch}}{q_1} = \frac{1000 * 23,8}{50} = 476 \text{ [m] .}$$

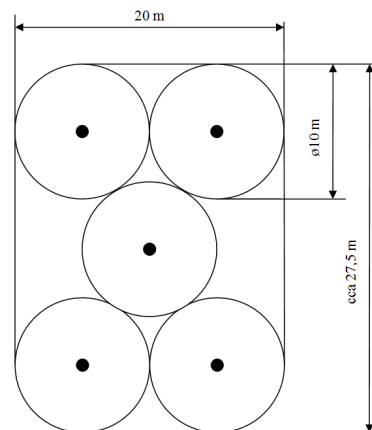
Z tohoto vychází 5 vrtů po 100 metrech. Odstup jednotlivých vrtů by neměl být menší než 10 metrů.



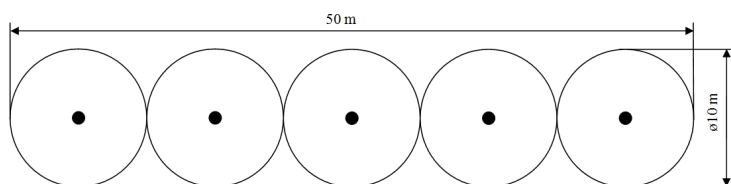
Varianta I



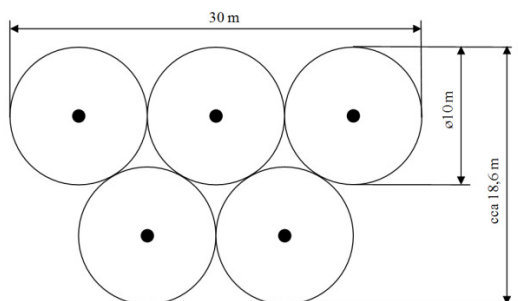
Varianta II



Varianta III



Varianta IV



Varianta V

Minimální rozměry pozemků
potřebné pro jednotlivé
varianty:

Varianta I: 20 x 30 m

Varianta II: 20 x 28,6 m

Varianta III: 20 x 27,5 m

Varianta IV: 10 x 50 m

Varianta V: 18,6 x 30 m

Obr.7 – Varianty rozmístění vrtů

Pozemek, který je k dispozici, svými rozměry 19,5 x 13 m žádné z uvedených variant nevyhovuje.

6.2.2. Zjednodušený výpočet plochy povrchového výměníku pro TČ země/voda

Chladicí výkon výparníku:

$$\Phi_{ch} = \Phi_{TC} \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 30,72 * \left(1 - \frac{1}{4,44}\right) = 23,8 \text{ [kW]} .$$

Doba provozu tepelného čerpadla je 2400 h/rok protože jde opět o kombinaci vytápění a přípravu teplé vody. Druh zemního masivu je vlhká, soudržná půda. Měrný odběrový tepelný tok je tedy dle normy ČSN EN 15450 16÷24 W/m².

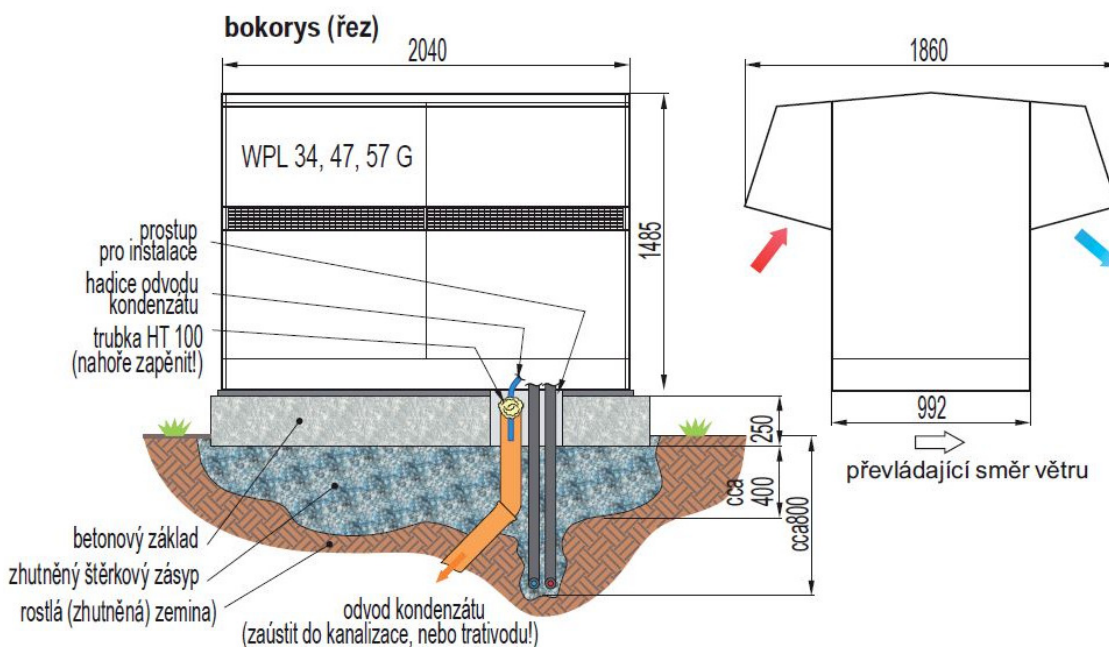
Potřebná plocha zemního výměníku se následně vypočte jako:

$$A = \frac{1000 * \Phi_{ch}}{q_A} = \frac{1000 * 23,8}{20} = 1190 \text{ [m}^2\text{]} .$$

Pozemek, který je k dispozici, svými rozměry 19,5 x 13 m, tedy 235,5 m² požadavku velikosti plochy povrchového výměníku nevyhovuje.

6.2.3. Tepelné čerpadlo vzduch/voda

V sestavě s tepelným čerpadlem jsem vybrala tepelné čerpadlo od firmy Stiebel Eltron, model WPL 47. Mez použitelnosti na straně topení je maximálně 60 °C, tím vyhovuje zvolenému teplotnímu spádu 55/40. Do sestavy dále navrhuji akumulční zásobník stejného výrobce SBP 1000 E s jmenovitým objemem 1000 litrů.



Obr. 8 – TČ vzduch/voda WPL 47

Zdroj: www.stiebel-eltron.cz, *stavební připravenost*

Stanovení bodu bivalence

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty od výrobce TČ vzduch/voda při venkovních teplotách od 20 °C do -20 °C. Z výkonu TČ pro různé venkovní teploty uvedené v této tabulce je patrné, že topný faktor s klesající teplotou klesá vlivem snižujícího se výkonu tepelného čerpadla. Topný faktor se určí ze vztahu:

$$COP = \frac{P}{P_o} [-],$$

kde

P výkon [kW]

P_o příkon [kW]

COP topný faktor [-]

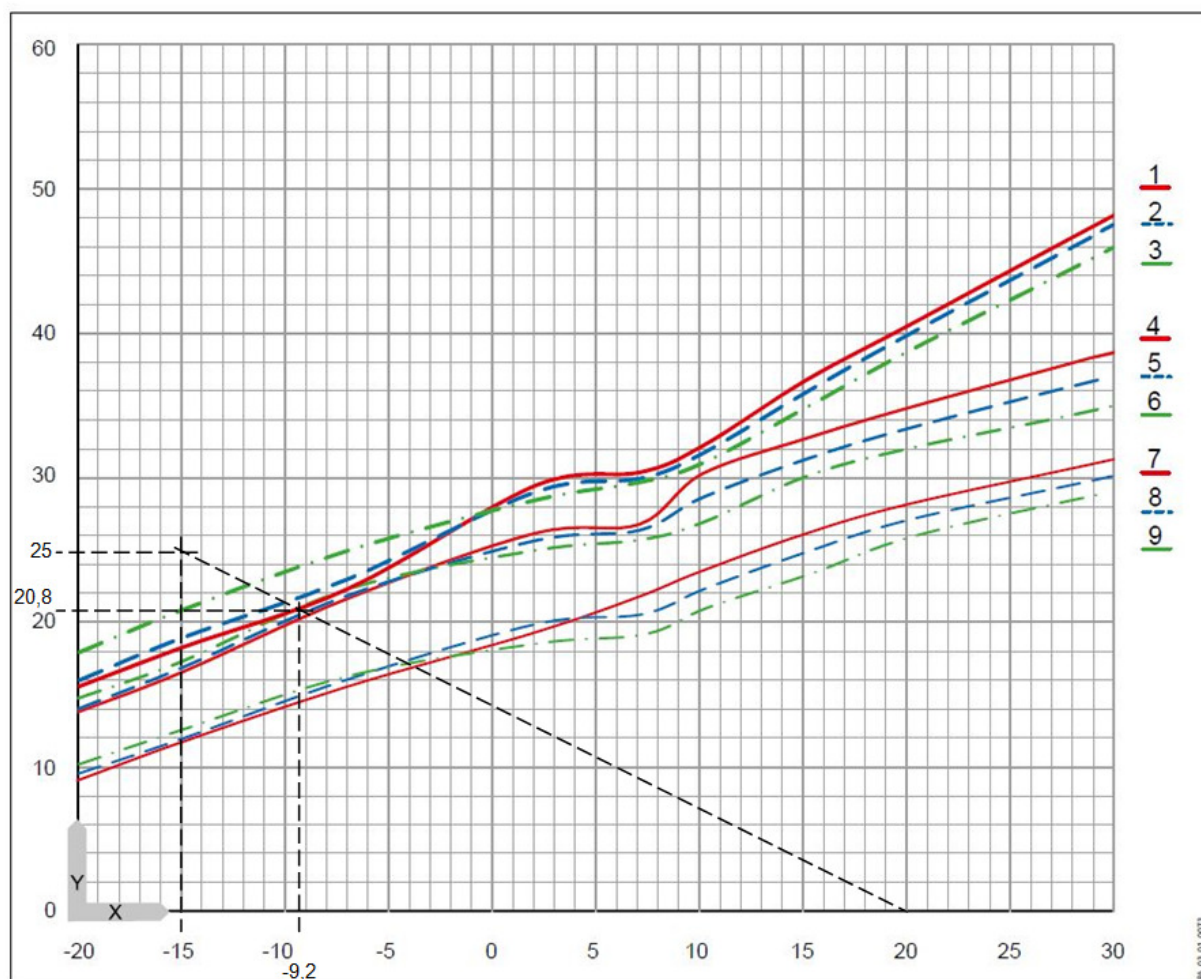
Venkovní teplota [°C]	Topný výkon [kW]	Příkon [kW]	Topný faktor [kW]
	55 °C	55 °C	55 °C
-20	15,40	9,20	1,7
-15	17,90	9,30	1,9
-7	22,80	10,20	2,2
2	25,40	10,50	2,4
7	26,10	9,70	2,7
10	27,30	9,80	2,8
15	30,40	10,00	3
20	32,30	10,20	3,2

Tab. 21 – výkon TČ pro různé venkovní teploty

Zdroj: www.stiebel-eltron.cz, příručka pro plánování tepelných čerpadel

Tepelná ztráta objektu s klesající venkovní teplotou stoupá a výkon tepelného čerpadla naopak s klesající venkovní teplotou klesá. Při teplotě, kde již není tepelné čerpadlo schopné zvládnout potřebný výkon, je nutné použít bivalentní zdroj tepla.

Určení bodu bivalence z grafu výkonu tepelného čerpadla vzduch/voda.

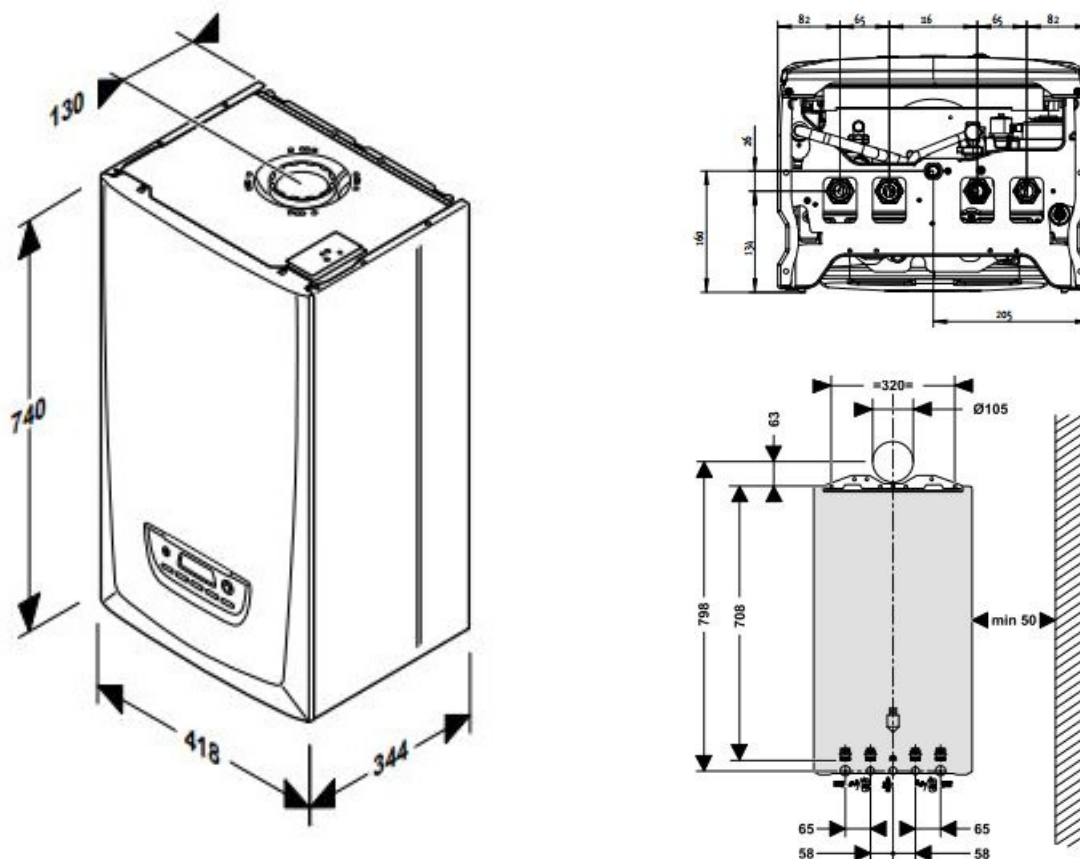


X	Venkovní teplota [°C]	5	Teplota topné vody 45 °C, WPL 47
Y	Topný výkon [kW]	6	Teplota topné vody 55 °C, WPL 47
1	Teplota topné vody 35 °C, WPL 57	7	Teplota topné vody 35 °C, WPL 34
2	Teplota topné vody 45 °C, WPL 57	8	Teplota topné vody 45 °C, WPL 34
3	Teplota topné vody 55 °C, WPL 57	9	Teplota topné vody 55 °C, WPL 34
4	Teplota topné vody 35 °C, WPL 47		

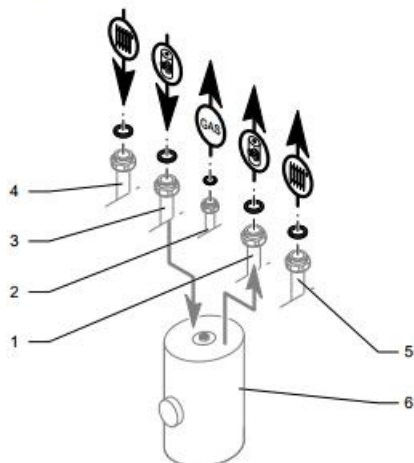
Graf 6 – Údaje o výkonu tepelného čerpadla
www.stiebel-eltron.cz, příručka pro plánování tepelných čerpadel

Bod bivalence určuje průsečík přímky znázorňující ztrátu řešeného bytového domu s křivkou č. 6. Tento bod tedy připadá na teplotu -9,2 °C. Výkon bivalentního zdroje musí být minimálně 5 kW. Tento výkon navrhuji pokrýt připojením plynového kondenzačního kotle od firmy Protherm, model Panther Condens 12 KKO.

Schéma zapojení soustavy do systému viz příloha P4.



Zapojení se zásobníkem vody



Legenda

- 1 Přívod otopné vody ze zásobníku TV 3/4"
- 2 Přívod plynu 1/2"
- 3 Výstup otopné vody pro zásobník TV 3/4"
- 4 Výstup otopné vody 3/4"
- 5 Vstup otopné vody 3/4"
- 6 Zásobník vody

Obr. 9 – Plynový kondenzační kotel Panther Condens

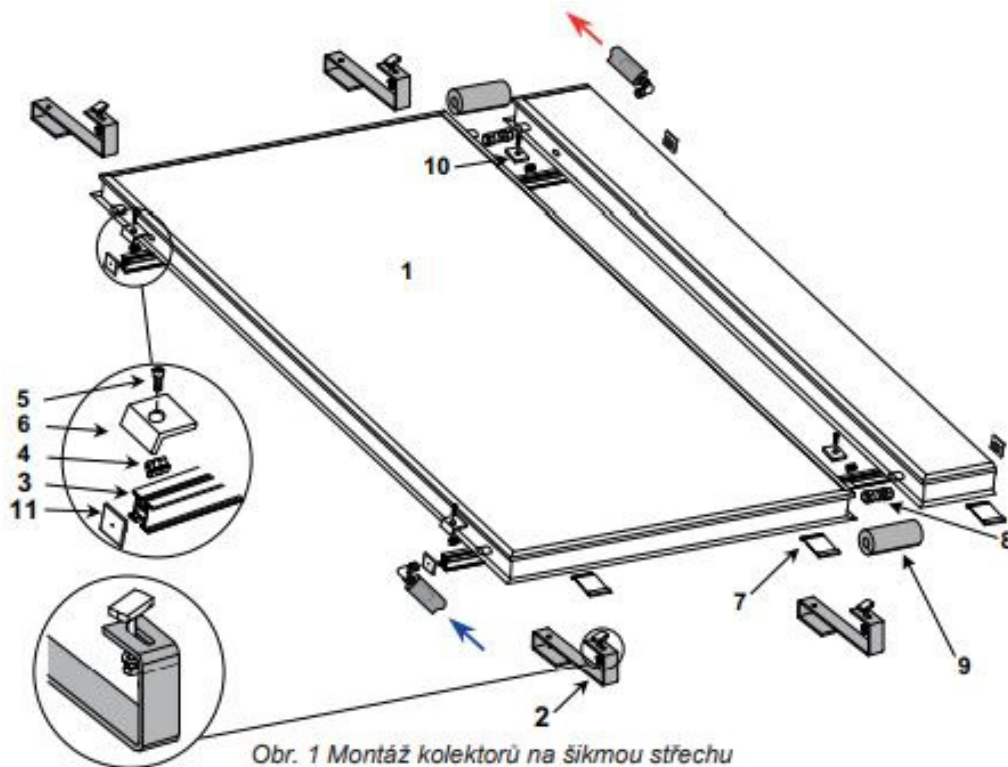
<https://www.protherm.cz/files/downloads/projekcni-podklady/pp-1-3-panther-condens-verze-5-653509.pdf>

TČ vzduch/voda je umístěno ve venkovním prostředí na betonovém základu. Z důvodu pro Plzeň převládajícího směru větru ze západu je třeba stranu pro nasávání vzduchu TČ orientovat na východ.

6.3. Soustava s plynovým kondenzačním kotlem a se solárními kolektory

Princip kondenzačního kotle je popsán v kapitole 6.1. Princip solárního kolektoru spočívá ve využití tepla ze slunečních paprsků, které absorbuje plocha uvnitř panelu. Solární panely jsou např. deskové ploché, trubcové vakuové, ploché vakuové. Materiál absorbéru má vliv na schopnost pohlcování slunečního záření. Od absorbéru se ohřívá nemrznoucí kapalina v solárním panelu, která dále proudí do výměníku. Sálání získaného tepla zpět z kolektoru do okolního prostředí omezují izolační materiály nebo vakuum. Kolektor shora kryje sklo.

Při použití soustavy s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory jsou zdroje dodávky tepla pro vytápění a pro ohřev TV odděleny. Pro dodávku tepla k vytápění jsem navrhla plynový kondenzační kotel od firmy Protherm, model Medvěd Condens 25 KKS. V této variantě se pro ohřev TV kotel nevyužívá. Zdroje tepla pro ohřev TV jsem navrhla solární kolektory od firmy Regulus, model KPG1+. Pro dohřev vody, v případě nepříznivého počasí, je instalováno v zásobníku TV od firmy Regulus, modul RBC 750 elektrické topné těleso s maximálním výkonem 12 kW.



Obr. 1 Montáž kolektorů na šikmou střechu

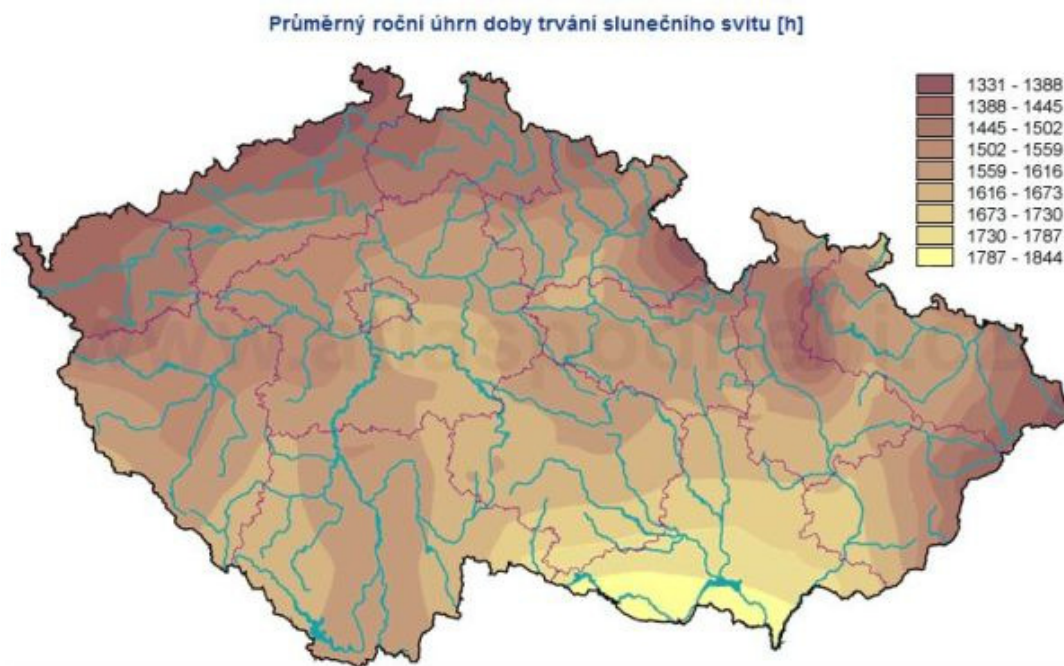
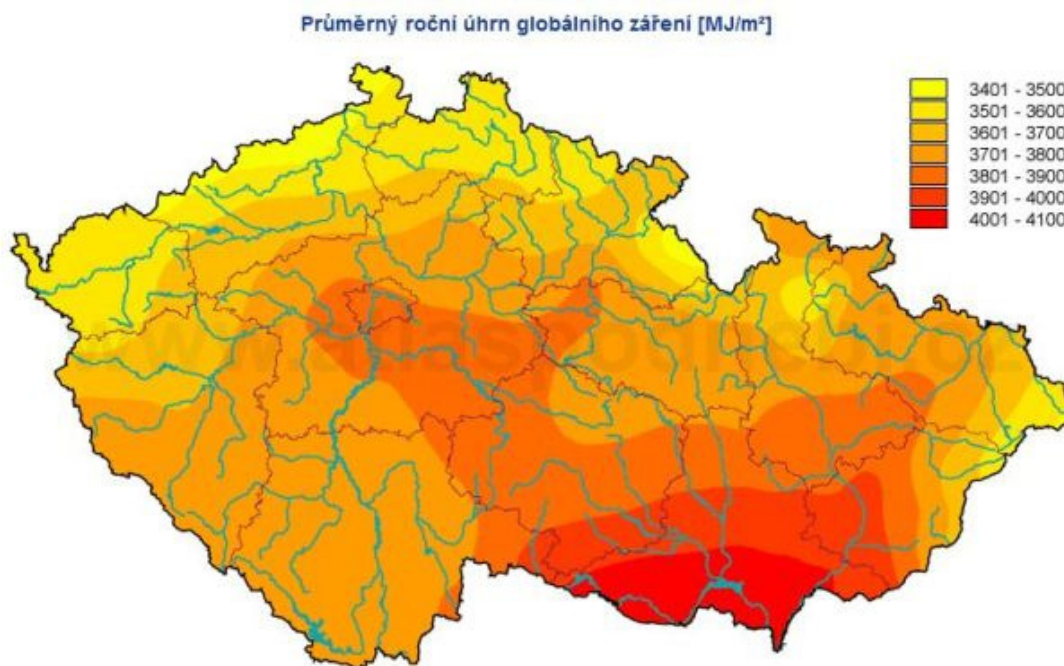
- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 plochý kolektor | 7 držák montážní pro spodek kolektoru |
| 2 střešní hák se šroubem M8 | 8 svěrné šroubení pro propojení kolektorů |
| 3 hliníkový H profil | 9 izolace \varnothing 35 / 19 mm |
| 4 matice M8 do H profilu | 10 destička přítlačná mezi 2 kolektory |
| 5 šroub M8x16 s imbusovou hlavou | 11 krytka H profilu |
| 6 přídržná destička kolektoru | |

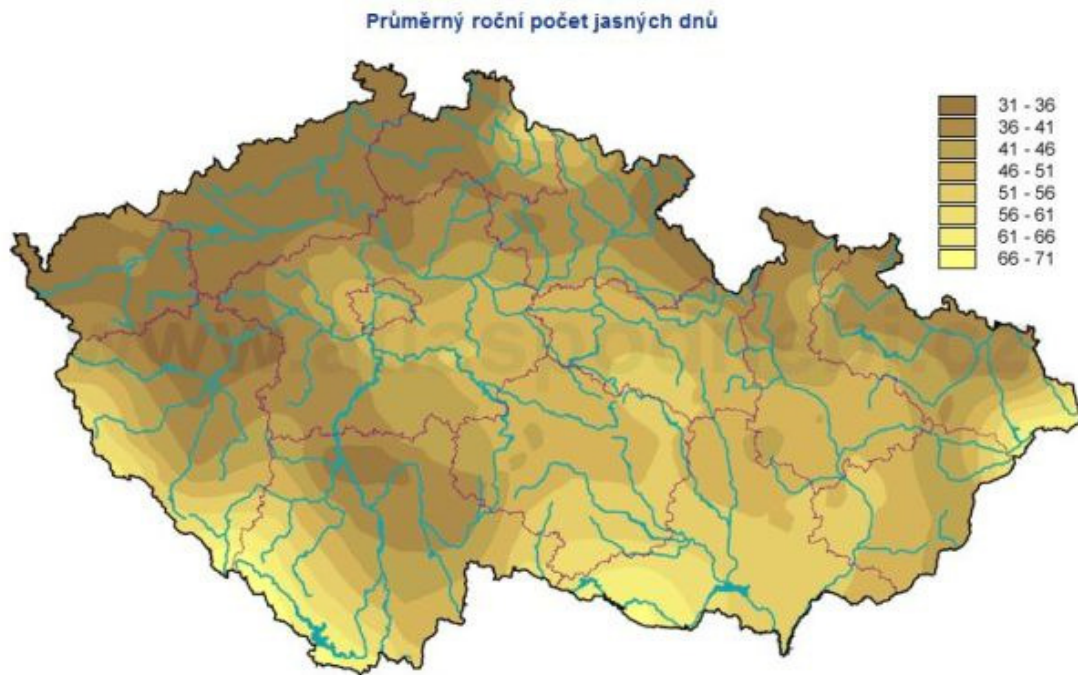
Obr. 10 – Solární kolektor

Zdroj: http://www.regulus.cz/download/navody/cz/nn_cz_navod_slunecni-kolektor-kpg1-.pdf

6.3.1. Řešení ohřevu TV v soustavě se solárními kolektory

Slunce může za jasného dne dodat 800-1100 W/m² globálního záření. Důležitým faktorem využití je intenzita záření a počet hodin slunečního svitu, ev. také součinitel znečištění atmosféry. Využití sluneční energie není na všech místech stejné. Roční objem globálního záření v některých oblastech ČR dosahují přes 1140 kWh/m².





Obr. 11 – Sluneční záření na území ČR

Zdroj: <http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termicky-systemu/>

Sluneční kolektory budou umístěné na obou stranách střechy, na západní a východní straně. V praxi se doporučuje kolektory umístit přednostně na jižní stranu. Tuto stranu u řešeného bytového domu nemáme k dispozici. Pro získání údajů o využitelnosti solárních kolektorů je třeba spočítat intenzitu středního slunečního záření a účinnost solárního kolektoru. Sklon kolektorů bude odpovídat sklonu střechy, tedy na západní straně 15° a na východní straně domu 30° .

Mnou použitý výpočet udává pouze přibližné výsledky, protože nezohledňuje velikost zásobníku a tepelné ztráty jsou započteny paušální přírůžkou ze zisků. Pro ekonomické a energetické hodnocení návrhu je však tato metodika dostačující.

6.3.2. Potřeba tepla pro přípravu TV solárními kolektory

Potřeba tepla pro ohřev TV jsem stanovila výpočtem pomocí software Protech. Potřeba tepla pro ohřev TV je pro řešený bytový dům $15\,257$ kWh/rok. Předpokládám rovnoměrné rozložení potřeby TV v jednotlivých měsících, proto $Q_{TV} = 15257/12 = 1271$ kWh/měsíc.

6.3.3. Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy

Je proveden dle TNI 73 0331.

Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů $Q_{k,u}$ je dán vztahem:

$$Q_{k,u} = 0,9 * \eta_k * n * H_{T,den} * A_k * (1 - p),$$

kde

- η_k průměrná denní (měsíční) účinnost slunečního kolektoru
- n počet dní v daném měsíci [-]
- $H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření [kWh/m²*den]
- A_k plocha apertury solárního kolektoru [m²]
- p hodnota srážky tepelných zisků z kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy

Srážka z tepelných zisků ze solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát v případě přípravy teplé vody od 50 do 200m² odpovídá tabulkové hodnotě $p = 0,05$.

Průměrná denní účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 * \left(\frac{t_{k,m} - t_{es}}{G_{T,m}} \right) - a_2 * \frac{(t_{k,m} - t_{es})^2}{G_{T,m}},$$

kde

- η_k průměrná denní účinnost solárního kolektoru [-]
- $G_{T,m}$ střední sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů [W/m²]
- $t_{k,m}$ průměrná teplota teplotnosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne [°C]
- t_{es} průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [°C]
- η_0 optická účinnost [-]
- a_1 lineární součinitel tepelné ztráty [W/m²*K²]

Hodnota optické účinnosti η_0 lineárního součinitele tepelné ztráty a_1 a kvadratického součinitele tepelné ztráty kolektoru a_2 vztahené k ploše apertury solárního kolektoru poskytuje výrobce.

Průměrná teplota teplotnosné kapaliny $t_{k,m}$ pro přípravu teplé vody s pokrytím více než 70 % je 50 °C.

Vybraný solární kolektor - Regulus KPG1 +				
Účinnost		absorbér	apertura	celk. plocha
η_{0a}	[-]	0,816	0,786	0,749
a_{1a}	[w/m ² K]	3,9	3,747	3,58
a_{2a}	[W/m ² K ²]	0,0049	0,0048	0,0045

Tab.22 – Solární kolektor - hodnoty udávané výrobcem

Střední hodnota slunečního záření G_{tm} - azimutový úhel osluněné plochy $\gamma=90^\circ$												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15°	175	252	360	438	488	502	490	453	382	283	195	150
30°	174	247	347	417	460	473	462	429	365	275	192	150

Tab.23 – Střední hodnota slunečního záření

Střední teplota v době slunečního svitu - t_{es} [°C]												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dny	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$t_{e,s}$	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5

Tab.24 – Střední teplota v době slunečního svitu

Teoretická doba slunečního svitu τ_s [h/den]												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
τ_s	8	10	12	14	15	16	16	14	12	11	9	8

Tab.25 – Teoretická doba slunečního svitu

Dávka měsíčního slunečního ozáření H [kWh/m ² *měsíc]												
azimutový úhel osluněné plochy $\gamma=90^\circ$												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	20,8	37,0	70,7	112,3	145,8	145,4	142,1	133,9	84,2	55,8	24,5	14,9
30	20,1	35,6	68,4	108,0	138,4	139,7	135,4	127,2	80,6	53,6	24,5	14,9

Tab.26 – Měsíční sluneční ozáření

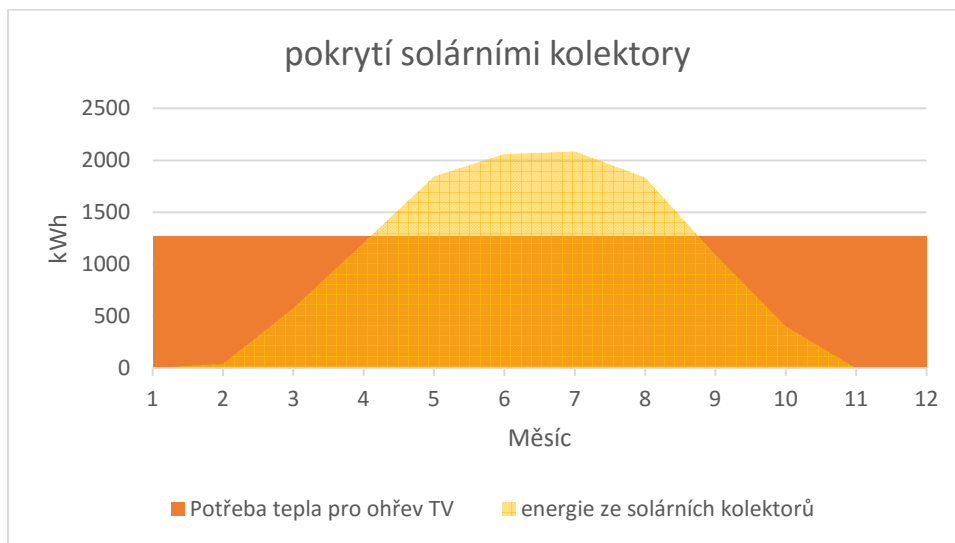
Průměrná denní účinnost solárního kolektoru η_k [-]												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	0	0,052	0,308	0,446	0,519	0,558	0,568	0,551	0,474	0,284	0	0
30	0	0,037	0,290	0,429	0,502	0,544	0,555	0,538	0,460	0,270	0	0

Tab.27 – účinnost solárního kolektoru

Teoretický měsíční využitelný zisk ze solárních kolektorů $Q_{k,u}$ [kWh/měsíc]												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	0	78,3	890,7	2048,8	3092,6	3320,3	3303,2	3020,0	1632,8	649,3	0	0
30	0	68,4	1033,7	1973,7	3057,2	3553,5	3653,1	3098,7	2007,5	694,7	0	0

Tab.28 – Využitelný zisk ze solárních kolektorů

Doba slunečního svitu a intenzita záření jsou závislé na ročním období. Následující graf ukazuje pokrytí potřeby tepla pro ohřev TV teplem ze solárních kolektorů v jednotlivých měsících roku.



Graf 7 – Pokrytí potřeby tepla na ohřev TV teplem ze solárních kolektorů

Zatímco v letních měsících je dodávka tepla pro ohřev TV dostatečná, v zimních měsících je nutno TV ohřívat ještě jiným zdrojem.

7. Ekonomické zhodnocení

Předchozími výpočty se ukázaly být uskutečnitelnými řešeními vytápění a ohřevu TV pro zadané podmínky rekonstruovaného domu tyto možnosti:

- Soustava s plynovým kondenzačním kotlem
- Soustava s tepelným čerpadlem vzduch/voda
- Soustava s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory

Konečný výběr bude záviset na ekonomických podmínkách realizace.

7.1. Ekonomické zhodnocení soustavy s plynovým kondenzačním kotlem

Ekonomické zhodnocení se skládá z celkové ceny soustavy, nákladů na zemní plyn a nákladů na elektrickou energii.

7.1.1. Celková cena soustavy

Prvek	ks	obj. č.	typ	cena bez DPH [Kč]	cena s DPH [Kč]
Plynový kondenzační kotel Medvěd condens	1	10013665	25KKS	41 900	50699
Zásobník na teplou vodu Regulus	1	6480	RBC 500	28 990	35078
Ekvitermní regulace MiGo	1	20197231	MiGo	5 390	6522
Expanzní nádoba	1	13736	HS025231	890	1077
Připojovací komínová sestava Ø 80/125	1	20079336	-	3 930	4755
Komínové zakončení	1	20079293	-	890	1077
Trubka sousá Ø 80/125 mm, 1 m	14	20109180	-	21 420	25 914
Trubka sousá Ø 80/125 mm, 0,2 m, s kontrolním otvorem	1	20131255	-	1 640	1984
Člen rozvojovací 2 x Ø 80 mm pro kondenzační kotel	1	20221288	-	1 290	1561
Celkem				106 340	128 667

Tab.29 – Pořizovací cena soustavy s plynovým kondenzačním kotlem

7.1.2. Náklady na vytápění a ohřev TV zemním plynem

Energie potřebná pro vytápění se započítáním účinnosti kotle:

$$Q_{celk,r,\eta} = \frac{Q_{celk,r}}{\eta},$$

kde

$Q_{celk,r,\eta}$ celková energie za rok při započítání účinnosti kotle [MWh]

η účinnost kotle [-]

Pro výpočet uvažuji jako dodavatele plynu Innogy Energie s.r.o, ceník platný od 1. 1. 2017. Přehled cen zemního plynu jsem převzala z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

Dodavatel	Roční odběr v pásmu [MWh/rok]	Dvousložková cena (vč. DPH)	
		Cena za odebíraný plyn [Kč/MWh]	Stálý měsíční plat [Kč]
Innogy Energie s.r.o.	nad 25 do 45	1256,29	509,79

Tab.30 – Ceník dodavatele zemního plynu

Celkové teplo pro vytápění + ohřev TV $Q_{celk,r}$ 39,89 MWh
 Účinnost kondenzačního kotle η_{kond} 95%

Celková cena za vytápění zemním plynem v prvním roce $N_{celk, kond,1}$ se pak vypočte jako:

$$N_{celk,kond,1} = Q_{celk,r,\eta} * C_p + 12 * C_m ,$$

kde

$N_{celk, kond,1}$ celková cena za vytápění a ohřev TV v prvním roce [Kč]

C_p cena plynu při odběru 45÷63 [MWh/rok]

C_m měsíční paušál při odběru 45÷63 [MWh/rok]

Celková částka za vytápění a ohřev TV zemním plynem za 10let

$$N_{celk,kond,10} = 10 * N_{celk,kond,1}$$

7.1.3. Náklady na elektrickou energii

Pro výpočet uvažuji jako dodavatele elektřiny PRE (Pražská energetika a.s.), ceník platný od 1. 1. 2017. Přehled cen elektrické energie jsem převzala z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie>

Předpokládám průměrnou spotřebu elektrické energie pro provoz elektrických spotřebičů jako myčka, pračka, TV, PC.

Typ odběratele	Spotřeba [kWh/rok]	Počet bytů [-]	Σ spotřeb [kWh/rok]
Byty typu A	3200	3x	9600
Byty typu B	1800	3x	5400
Byt typu C	3200	1x	3200
Obchod	1800	1x	1800
Spotřeba za budovu celkem			20000

Tab. 31 – Potřeba elektrické energie

Tarif D 02d – jednotarifová sazba (pro střední spotřebu)

Cena za 1MWh 4070,34 [Kč/MWh]

Jistič do 3x10 A do 1x25 A včetně 146,29 [Kč/měsíc]

7.1.4. Shrnutí nákladů soustavy

Pořizovací cena a provozní náklady za 10 let [Kč]	
Pořizovací cena jednotlivých prvků vč. DPH	128 667
Celková cena za vytápění o ohřev TV	587 483
Částka za el energii	831 622
Celková cena	1 522 633

Tab.32 – Náklady soustavy

7.2. Ekonomické zhodnocení soustavy s tepelným čerpadlem vzduch/voda

7.2.1. Celková cena soustavy

Prvek	ks	obj. č.	typ	cena bez DPH [Kč]	cena s DPH [Kč]
Tepelné čerpadlo WPL 47 Stiebel eltron	1	228836	WPL 47	445 600	534 720
Akumulační zásobník SBP 1000 E	1	227564	SBP 1000 E	31 570	37 884
Zásobník na teplou vodu Regulus	1	6480	RBC 500	28 990	35 078
Plynový kotel Protherm Panther	1	10017367	12 KKO	37 010	44 782
Expanzní nádoba	1	13736	HS025231	890	1 077
Celkem				544 060	653 541

Tab.33 - Pořizovací cena soustavy s tepelným čerpadlem

7.2.2. Náklady na elektrickou energii

Sazba D 56d – dvoutarifní sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1.dubna 2005 a operativním řízením platosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin.

Vysoký tarif 2545,17 [Kč/MWh]

Nízký tarif 2135,43 [Kč/MWh]

Stálý měsíční plat za elektřinu 95,59 [Kč/měsíc]

Jistič 3x32 A 515,34 [Kč/měsíc]

Spotřeba el. energie v domácnostech 20 [MWh/rok] (stejný předpoklad jako v předchozí variantě)

Celkovou spotřebu S pro vytápění spočítám z aproximace výkonu, příkonu a COP pro jednotlivé měsíce v roce, ve kterých vytápím objekt									
Měsíc	1	2	3	4	5	9	10	11	12
t_m [°C]	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	13,5	8,3	3,2	0,5
Q_{vyt} [kWh]	6162,00	4860,00	3444,00	1106,00	62,00	169,00	1978,00	4244,00	5556,00
výkon [kW]	24,45	24,79	25,64	26,54	29,35	29,47	26,62	25,57	24,97
příkon [kW]	10,39	10,43	10,23	9,74	9,93	9,94	9,74	10,31	10,45
COP [-]	2,35	2,38	2,51	2,72	2,96	2,96	2,73	2,48	2,39
Spotřeba [kWh/měsíc]	2618,53	2044,77	1374,11	405,89	20,98	57,00	723,73	1711,21	2325,20

Tab.34 – Celková spotřeba elektrické energie

Celková spotřeba elektrické energie na vytápění za rok je potom 11,28 [MWh/rok].

Potřebu teplé vody uvažuji během roku rovnoměrnou.

Potřeba tepla na ohřev TV	
t_m [°C]	7,7
Q_{vyt} [kWh]	15257
výkon [kW]	26,38
příkon [kW]	9,72
COP [-]	2,71399177
Spotřeba [kWh/rok]	5621,61

Tab.35 – Potřeba tepla na ohřev TV

Celkovou cenu za elektrickou energii spotřebovanou na vytápění za první rok provozu potom určím z rovnice:

$$N_{vyt} = T_{vys} * S * \frac{1}{12} + T_{niz} * S * \frac{11}{12},$$

kde

N_{vyt} celková cena elektrické energie za vytápění [Kč]

T_{vys} cena za vysoký tarif [Kč]

T_{niz} cena za nízký tarif [Kč]

Stejným principem dostanu cenu za elektrickou energii spotřebovanou na ohřev TV za první rok provozu.

7.2.3. Shrnutí nákladů soustavy

Pořizovací cena a provozní náklady za 10 let [Kč]	
Pořizovací cena jednotlivých prvků vč. DPH	653 541
Celková cena za vytápění o ohřev TV	873 950
Celková cena	1 527 491

Tab.36 – Náklady soustavy

K celkové ceně je třeba připočítat ještě dohřev TV pomocí plynového kotle v době nepříznivého počasí.

7.3. Ekonomické zhodnocení soustavy s plynovým kondenzačním kotlem pro vytápění a solárními kolektory pro ohřev TV

7.3.1. Celkovou cenu soustavy:

Prvek	ks	obj. č.	typ	cena bez DPH [Kč]	cena s DPH [Kč]
Plynový kondenzační kotel Medvěd condens	1	10013665	25KKS	41 900	50699
Zásobník na teplou vodu Regulus	1	6480	RBC 500	28 990	35078
Ekvitermní regulace MiGo	1	20197231	MiGo	5 390	6522
Expanzní nádoba	1	13736	HS025231	890	1077
Přípojovací komínová sestava Ø 80/125	1	20079336		3 930	4755
Komínové zakončení	1	20079293		890	1077
Trubka souosá Ø 80/125 mm, 1 m	14	20109180		21 420	25914
Trubka souosá Ø 80/125 mm, 0,2 m, s kontrolním otvorem	1	20131255		1 640	1984
Člen rozdělovací 2 x Ø 80 mm pro Medvěd Condens	1	20221288		1 290	1561
Solární kolektor Regulus	12	14857	KPG1+	143 880	174 096
Celkem				250 220	302 763

Tab.37 - Pořizovací cena soustavy s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory

7.3.2. Náklady na vytápění a ohřev TV zemním plynem

Pro výpočet uvažuji jako dodavatele plynu Innogy Energie s.r.o, ceník platný od 1. 1. 2017. Přehled cen zemního plynu jsem převzala z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

Dodavatel	Roční odběr v pásmu [MWh/rok]	Dvousložková cena (vč. DPH)	
		Cena plynu [Kč/MWh]	Stálá měsíční platba [Kč]
Innogy Energie s.r.o.	nad 25 do 45	1256,29	509,79

Tab.38 - Ceník dodavatele zemního plynu

Celkové teplo pro vytápění	$Q_{celk,r}$	24,629 [MWh]
Účinnost kondenzačního kotle	η_{kond}	95 [%]

Postup výpočtu spotřeby zemního plynu je stejný jako u varianty soustavy s plynovým kondenzačním kotlem.

7.3.3. Náklady na elektrickou energii

Pro výpočet uvažuji jako dodavatele elektřiny PRE, ceník platný od 1. 1. 2017. Přehled cen elektrické energie jsem převzala ze stránky: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie>

V následující tabulce je procentuální pokrytí potřeby TV ohřáté solárními kolektory, ze kterého jsem následně dopočítala množství energie potřebné pro dohřev TV.

Procentuální pokrytí TV solárními panely P						
Měsíc	1	2	3	4	5	6
sklon 15°+30°	0,0	44,0	577,3	1206,8	1844,9	2062,1
Q_{tv} [kW]	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4
% pokrytí	0,00	3,46	45,41	94,91	145,11	162,19
Měsíc	7	8	9	10	11	12
sklon 15°+30°	2086,9	1835,6	1092,1	403,2	0,0	0,0
Q_{tv} [kW]	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4	1271,4
% pokrytí	164,14	144,38	85,90	31,71	0,00	0,00

Tab.39 - Procentuální pokrytí potřeby TV solárními kolektory

Množství tepla nepokryté solárními kolektory se vyjádří pomocí vztahu:

$$Q = Q_{tv} - (P/100 * Q_{tv}).$$

	Množství tepla nutného dodat v jednotlivých měsících [kW]											
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q [kW]	1271,4	1227,4	694,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	868,2	1271,4	1271,4

Tab.40 – Množství tepla nepokryté solárními kolektory

Spotřeba el. energie v domácnostech 20 [MWh/rok] (jako v předchozí variantě)

Sazba D 25d – dvoutarifní sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin.

Vysoký tarif	4369,55 [Kč/MWh]
Nízký tarif	1904,32 [Kč/MWh]
Stálý měsíční platba za elektřinu	95,59 [Kč/měsíc]
Jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně	191,06 [Kč/měsíc]

7.3.4. Shrnutí nákladů soustavy

Pořizovací cena a provozní náklady za 10 let [Kč]	
Cena kondenzačního kotle vč. DPH	302 763
Celková cena za vytápění o ohřev TV vč. DPH	379 617
Částka za el energii vč. DPH	978 255
Celková cena	1 669 635

Tab.41 – Náklady soustavy

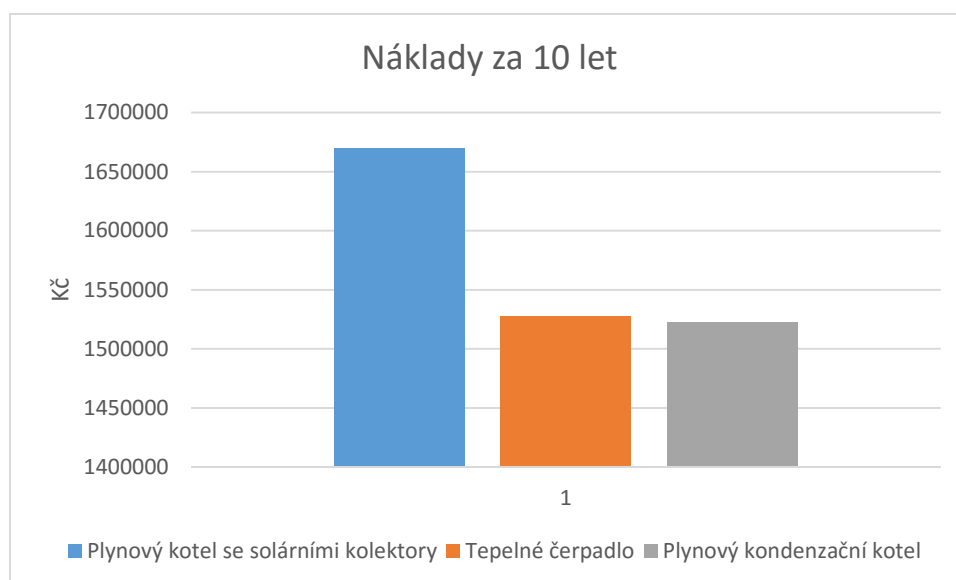
7.4. Celkové ekonomické zhodnocení

Porovnání nákladů jednotlivých hodnocených soustav nám pomůže vybrat řešení pro realizaci prováděnou v současné době. Do budoucnosti se výhodnost řešení může měnit v souvislosti s pohybem cen fosilních paliv a energií a také se snižováním pořizovacích cen soustav vlivem technického pokroku. Hledám soustavu, která má nejmenší součet pořizovacích nákladů a nákladů na provoz během 10 roků.

Soustava	Náklady soustavy
Plynový kotel se solárnímu kolektory	1 669 635
Tepelné čerpadlo	1 527 491
Plynový kondenzační kotel	1 522 633

Tab.42 – Náklady soustavy

Soustava na vytápění a ohřev TV, která využívá plynový kotel k vytápění a solární panely pro ohřev TV, je nejnákladnější. Tato varianta je tedy pro rekonstrukci bytového domu nevhodná.



Graf 8 – Porovnání nákladů jednotlivých soustav za 10 let

Z hlediska spolehlivosti dodávek potřebného objemu tepla, prostorové náročnosti a provozní uživatelské přívětivosti jsem zvolila pro realizaci soustavu s plynovým kondenzačním kotlem

Závěr

Po výběru tří realizovatelných řešení jsem provedla ekonomické hodnocení každé varianty. Na základě tohoto zhodnocení jsem vybrala jako optimální řešení soustavu s plynovým kondenzačním kotlem od firmy Protherm, model Medvěd condens.

Pro toto řešení jsem vypracovala technickou dokumentaci, která je v příloze.

Cíl práce jsem splnila.

Seznam použité literatury

- [1] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [2] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [3] ČSN EN 12831 *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Březen 2005
- [4] ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním*. Květen 1994
- [5] ČSN 06 0320 *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektován*. Zář 2006
- [6] MATUŠKA, T, *Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze
- [7] Protherm, katalogové listy, ceník
- [8] Stiebel eltron, katalogové listy, schéma zapojení, ceník
- [9] Regulus, katalogové listy, ceník
- [10] Portál www.tzb-info.cz

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol	Význam
a	tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami [m]
a_l	lineární součinitel tepelné ztráty [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$]
A_k	plocha apertury solárního kolektoru [m^2]
b	tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami [m]
c	měrná tepelná kapacita [$\text{kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$]
C_m	měsíční paušál při odběru 45÷63 [MWh/rok]
COP	topný faktor [-]
C_p	cena plynu při odběru 45÷63 [MWh/rok]
d	vnější průměr trubek [m]
GT, m	střední sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů [W/m^2]
H_{OK}	výška okna [m]
H_{OT}	výška otopného tělesa [m]
$H_{T, den}$	skutečná denní dávka slunečního ozáření [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{den}$]
k_{OK}	součinitel prostupu tepla okna, udává výrobce [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
l	rozteč trubek [m]
L_{OK}	délka okna [m]
L_{OT}	délka otopného tělesa [m]
m	charakteristické číslo podlahy [m^{-1}]
N	koeficient potřeby [-]
n, nd, ni, nj, nu	počet [-]
$N_{celk, kond, 1}$	celková cena za vytápění a ohřev TV v prvním roce [Kč]
N_{vyt}	celková cena elektrické energie za vytápění [Kč]
p	koeficient obsazenosti, nebo počet osob [-]
P	výkon [kW]
p	hodnota srážky tepelných zisků z kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy
p_d	součinitel prodloužení doby dodávky [-]
P_o	příkon [kW]
Q_{1p}	teplo dodané ohřívačem do TV během periody [kWh]
Q_{2p}	teplo dodané ohřívačem do TV během periody [kWh]
Q_{2t}	teoretické teplo odebrané z ohřívače do TV během periody [kWh]
Q_{2z}	teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV v době periody [Wh]
Q_c	tepelná ztráta místnosti [W]
$Q_{celk, r}$	Celkové teplo pro vytápění [MWh]
$Q_{celk, r, \eta}$	celková energie za rok při započítání účinnosti kotle [MWh]
Q_k	Výkon kotle [W]

r	charakteristické číslo podlahy [-]
t_d	doba dodávky [h]
t_e	venkovní oblastní výpočtová teplota [°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [°C]
t_i	vnitřní výpočtová teplota [°C]
$t_{k,m}$	průměrná teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne [°C]
$T_{niž}$	cena za nízký tarif [Kč]
t_{OK}	povrchová teplota okna na vnitřní straně [°C]
t_P	střední povrchová teplota podlahové otopné plochy [°C]
T_{vys}	cena za vysoký tarif [Kč]
t_{w1}	teplota vody vstupní [°C]
t_{w2}	teplota vody výstupní [°C]
U_3	objemový průtok TV [m ³ /h]
V_{2p}	celková potřeba TV v dané periodě [m ³]
V_{2p}	celková potřeba TV v dané periodě [m ³]
V_d	objem dávky [m ³]
V_j	potřeba TV pro umytí nádobí v dané periodě [m ³]
V_o	potřeba TV pro mytí osob v dané periodě [m ³]
V_{TV}	objem zásobníku TV [m ³]
V_u	potřeba TV pro úklid a pro mytí podlah v dané periodě [m ³]
V_z	objem zásobníku teplé vody [m ³]
w_v	potřeba tepla odběrných míst [kWh]
X_p	spínací diference pro dohřev TV [K]
y	korekční faktor
z	koeficient zohledňující ztráty tepla při ohřevu a distribuci TV [-]
ΔQ_{max}	největší možný rozdíl tepla mezi Q_1 a Q_2 [kWh]
$\alpha_{i,OK}$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně okna [W/m ² *K]
η, η_0, η_k	účinnost [-]
η_{kond}	účinnost [-]
λ_a	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami [W/m*K]
λ_b	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami [W/m*K]
λ_d	součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zalaty trubky [W/m*K]
Λ_a	tepelná propustnost vrstev nad trubkami [W/m ² *K]
Λ_b	tepelná propustnost vrstev pod trubkami [W/m ² *K]
ρ	hustota vody při střední teplotě zásobníků [kg/m ³]
τ_a	doba ohřevu při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s]

θ_1	teplota studené vody [°C]
θ_2	teplota teplé vody [°C]
Φ_{ch}	chladící výkon výparníku [kW]
Φ_{TC}	topný výkon [kW]

Přílohy

- P1 Schéma zateplení bytového domu
- P2 Specifikace stavebních konstrukcí bytového domu
- P3 Schéma zapojení plynového kondenzačního kotle do soustavy
- P4 Schéma zapojení TČ vzduch/voda do soustavy
- P5 Schéma zapojení plynového kondenzačního kotle se solárními kolektory do soustavy
- P6 Výpočet podlahového vytápění
- P7 Výpočet teplovodní dvoutrubkové otopné soustavy
- P8 Prováděcí dokumentace