

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**Porovnání provozních a investičních
nákladů na vytápění: otopná tělesa vs.
podlahová otopná plocha**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMÁŠ MRÁZ

1 – BS –2024



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mráz** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **501321**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Strojirenství**
 Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Porovnání provozních a investičních nákladů na vytápění: otopná tělesa vs. podlahová otopná plocha

Název bakalářské práce anglicky:

Comparison of the Operating and Acquisition Costs: Radiators vs. Floor Heating System

Pokyny pro vypracování:

Pro zadaný objekt vypočítejte tepelné ztráty a navrhnete jednak otopnou soustavu využívající otopná tělesa a také využívající podlahovou otopnou plochu. Jednotlivé systémy porovnejte jak hlediska provozních, tak i investičních nákladů. Část práce věnujte rovněž teplotním profilům a tepelnému komfortu při využívání těchto odlišných systémů vytápění.

Seznam doporučené literatury:

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02536-5.
 BAŠTA, Jiří. Otopné plochy. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6
 BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. Otopné soustavy teplovodní. 3., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, odborná sekce vytápění, 2008. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02064-6.
 BAŠTA, Jiří. Výkresová dokumentace ve vytápění. 2., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01465-0.
 LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01466-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D. Ú 12116

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

Datum zadání bakalářské práce: **08.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.06.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

8.4.2024
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Tato bakalářská se zabývá porovnáním provozních a investičních nákladů na vytápění soustavy s otopnými tělesy a soustavy s podlahovou otopnou plochou. K systému s otopnými tělesy jsem jako vhodný zdroj tepla zvolil plynový kondenzační kotel. K podlahové otopné ploše jsem vybral tepelné čerpadlo. Na konci práce se věnuji provozním a investičním nákladům obou variant.

Summary

This bachelor's thesis deals with the comparison of operational and investment costs for heating systems with radiators and systems with underfloor heating. For the system with radiators, I chose a gas condensing boiler as the appropriate heat source. For the underfloor heating system, I selected a heat pump. At the end of the thesis, I focus on the operational and investment costs of both options.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Porovnání provozních a investičních nákladů na vytápění: otopná tělesa vs. podlahová otopná plocha“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Boháče, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 6.6.2024

Tomáš Mráz

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jindřichu Boháčovi, Ph.D., za užitečné rady a zodpovídání mých dotazů stejně jako za čas a ochotu, kterou mi věnoval při vedení bakalářské práce.

Dále děkuji své rodině, spolužákům a všem, kteří mě podporovali během studia na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

Obsah

1	ÚVOD.....	14
2	TEPELNÁ POHODA	15
3	UMÍSTĚNÍ OBJEKTU.....	17
4	TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI KONSTRUKCÍ.....	18
5	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	20
5.1	ČSN EN 12831-1	21
5.1.1	Návrhová tepelná ztráta prostupem	21
5.1.2	Návrhová tepelná ztráta větráním	21
5.1.3	Výsledky výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty	23
6	POTŘEBA TEPLA	25
6.1	Potřeba tepla na vytápění.....	25
6.1.1	Vnější tepelné zisky	25
6.1.2	Vnitřní tepelné zisky	28
6.1.3	Výpočet potřeby tepla na vytápění	29
6.1.4	Výsledky potřeby tepla na vytápění.....	30
6.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	32
6.2.1	Výsledky potřeby tepla na přípravu teplé vody	32
6.3	Celková bilance potřeby tepla.....	34
7	OTOPNÉ SOUSTAVY	35
7.1	Verze s otopnými tělesy	36
7.1.1	Pokrytí tepelné ztráty	36
7.1.2	Hydraulický výpočet.....	38
7.1.3	Hydraulické vyvážení	41
7.1.4	Zdroj tepla.....	43
7.2	Verze s podlahovým vytápěním.....	45

7.2.1	Tepelně-technický výpočet	46
7.2.2	Hydraulický výpočet.....	48
7.2.3	Hydraulické vyvážení	49
7.2.4	Zdroj tepla.....	50
8	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ	53
8.1	Investiční náklady	53
8.2	Provozní náklady	55
8.3	Celkové náklady	56
9	DISKUSE.....	58
10	ZÁVĚR	60
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
12	PŘÍLOHY	64

Seznam použitého značení

$A_{c,pohledová}$	Pohledová plocha neprůsvitných částí	[m ²]
$A_{env,build}$	Plocha obálky zóny (budovy)	[m ²]
$A_{env,i}$	Obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím	[m ²]
$A_{env,z}$	Obálka rodinného domu ve styku s venkovním prostředím	[m ²]
A_{sol}	Solární sběrná plocha	[m ²]
$A_{w,pohledová}$	Pohledová plocha průsvitných částí	[m ²]
C_m	Vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
F_f	Podíl plochy rámu	[-]
$F_{r,i}$	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
$F_{sh,gl}$	Opravný činitel na vnitřní a vnější straně zastínění	[-]
F_{sh}	Opravný činitel na externí překážky stínění	[-]
F_w	Korekce pro nerozptylové zasklení	[-]
H_T	Měrný tepelný tok vstupem tepla celé budovy	[W/K]
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok do sousedních funkčních částí budovy	[W/K]
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory	[W/K]
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok do zeminy	[W/K]
H_V	Měrný tepelný tok větráním celé budovy	[W/K]
I_{50}	Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa	[h ⁻¹]
I_{sol}	Intenzita slunečního záření	[kWh/m ²]
Q_{2p}	Teplo dodané ohřívačem teplé vody	[kWh/den]

Q_{2t}	Teplo pro ohřev vody	[kWh/den]
Q_{2z}	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV	[kWh/den]
Q_C	Celková tepelná ztráta místnosti	[W]
$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,gn}$	Celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,nd}$	Potřeba tepla na vytápění	[kWh]
Q_{OT}	Skutečný tepelný výkon	[W]
$Q_{OT,N}$	Tepelný výkon při jmenovitém teplotním spádu	[W]
Q_{PC}	Tepelný příkon	[W]
R_e	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	[m ² K/W]
R_i	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	[m ² K/W]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
$U_{equiv,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou	[W/m ² K]
V_{2p}	Celková potřeba teplé vody	[m ³ /den]
V_{build}	Vnitřní objem vzduchu budovy	[m ³]
V_i	Objemový průtok daného okruhu	[m ³ /h]
V_p	Potřeba teplé vody na osobu na den	[l/os den]
$\dot{V}_{env,50}$	Průtok vzduchu obálkou při tlakovém rozdílu 50 Pa	[m ³ /h m ²]
$\dot{V}_{V,env,i}$	Průtok venkovního vzduchu prostupujícího obálkou budovy do místnosti	[m ³ /s]
$\dot{V}_{V,leak,i}$	Průtok venkovního vzduchu infiltrací	[m ³ /s]
$\dot{V}_{V,leak,z}$	Průtok vzduchu netěsnostmi do zóny	[m ³ /s]
$\dot{V}_{V,sup,i}$	Průtok nuceně přiváděného vzduchu	[m ³ /s]

$\dot{V}_{V,transfer,ij}$	Průtok převáděného vzduchu	[m ³ /h]
a	Tloušťka jednotlivých vrstev na střední rovinou trubek	[m]
a_H	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budov	[-]
$a_{H,0}$	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budov pro měsíční metodu	[-]
$a_{H,red}$	Redukční faktor na přerušované vytápění	[-]
b	Tloušťka jednotlivých vrstev pod střední rovinou trubek	[m]
c	Teplotní podílový součinitel	[-]
c_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg K]
c_w	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg K]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
d_{vn}	Vnější průměr trubek	[m]
f	Opravný součinitel zohledňující omezenou přítomnost osob v budově	[-]
$f_{U,k}$	Opravný číselný faktor zohledňující vliv vlastností stavebních částí	[-]
$f_{dir,z}$	Číselný faktor orientace zóny	[-]
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný součinitel do venkovního prostředí	[-]
$f_{qv,z}$	Součinitel objemového průtoku	[-]
$f_{\Delta t}$	Opravný součinitel na teplotní rozdíl	[-]
$f_{\theta_{ann}}$	Opravný součinitel zohledňující vliv změny venkovní teploty	[-]
g	Tíhové zrychlení	[m/s ²]
g_{gn}	Celková propustnost zasklení	[-]

h	Výška vodního sloupce	[m]
h_r	Součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně	[W/m ² K]
k	Drsnost potrubí	[m]
k_v	Jmenovitý průtok armaturou	[m ³ /h]
l	Délka potrubí daného úseku	[m]
l_{tr}	Rozteč trubek	[m]
m	Charakteristické číslo podlahy	[-]
n	Teplotní exponent otopného tělesa	[-]
n_{hod}	Počet hodin v měsíci	[h]
n_{os}	Počet osob v domácnosti	[os]
$p_{d,dov,A}$	Nejnižší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$p_{h,dov,A}$	Nejvyšší dovolený absolutní tlak	[kPa]
s_n	Tloušťka stavební části	[m]
w	Rychlost proudění kapaliny	[m/s]
z_{TV}	Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV	[-]
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² K]
$\Delta p_{H\dot{S}}$	Tlaková ztráta H šroubení	[Pa]
Δp_{POTR}	Tlaková ztráta potrubí	[Pa]
$\Delta p_{R\dot{S},TRV,(...)}$	Tlaková ztráta použité armatury	[kPa]
Δp_S	Tlaková ztráta sběrače	[Pa]
Δp_o	Tlaková ztráta okruhu	[Pa]
Δp_{zm}	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
Δp_{zt}	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$\Delta\theta$	Aritmeticky určený rozdíl teplot	[K]

$\Delta\theta_N$	Jmenovitý rozdíl teplot	[K]
$\Delta t_{e,r}$	Faktor osálení mezi stavebními prvky a oblohou	[K]
$\Delta\theta_{ln}$	Logaritmicky určený rozdíl teplot	[K]
Λ_a	Tepelná propustnost vrstev nad střední rovinou uložení trubek	[W/m ² K]
Λ_b	Tepelná propustnost vrstev pod střední rovinou uložení trubek	[W/m ² K]
$\Phi_{HL,i}$	Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,env,i}$	Tepelná ztráta větráním obálkou budovy	[W]
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,sup,i}$	Tepelná ztráta nuceným větráním	[W]
$\Phi_{V,transfer,i}$	Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti	[W]
$\Phi_{hu,i}$	Volitelný dodatečný zátopový výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{gain,i}$	Trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]
α_p	Celkový součinitel na přestup tepla na povrchu otopné plochy	[W/m ² K]
α_p	Celkový součinitel přestupu tepla na podlaze	[W/m ² K]
α_p'	Celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně podlahy	[W/m ² K]
$\alpha_{s,c}$	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[-]
γ_H	Bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
η	Stupeň využití expanzní nádoby	[-]
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
$\eta_{rec,z}$	Účinnost ZZT za venkovních návrhových podmínek	[-]

λ	Součinitel tření	[-]
λ_a	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev	[W/m K]
λ_b	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev	[W/m K]
λ_d	Tepelná vodivost materiálu, do kterého jsou zalaty trubky	[W/m K]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti dané části	[W/m K]
ξ_i	Příslušný součinitel místního odporu	[-]
ρ	Hustota vody	[kg/m ³]
ρ_A	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
τ	Časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	Referenční časová konstanta	[h]
$\theta_{exh,z}$	Teplota vzduchu odváděného ze zóny	[°C]
θ_{int}	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_p	Střední povrchová teplota	[°C]
$\theta_{rec,z}$	Teplota vzduchu za výměníkem zpětného získávání tepla	[°C]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_{e,0}$	Venkovní výpočtová teplota v poloze stavby	[°C]
$\theta_{exh,z}$	Teplota vzduchu odváděného ze zóny	[°C]
$\theta_{transfer,ij}$	Teplota převáděného vzduchu	[°C]
θ_{ep}	Průměrná venkovní teplota	[°C]
θ_1	Teplota studené vody	[°C]
θ_2	Teplota teplé vody	[°C]
θ_{int}'	Vnitřní teplota prostoru pod podlahou	[°C]
θ_m	Střední teplota otopné vody	[°C]
θ_{w1}	Teplota vstupní vody	[°C]

θ_{w2}	Teplota výstupní vody	[°C]
$\Phi_{r,i}$	Sálání vůči obloze	[kWh]
$\Phi_{s,o}$	Tepelný zisk na osobu	[W]
$\Phi_{s,p}$	Tepelný zisk spotřebičů a osvětlení na bytovou jednotku	[W]
$\Phi_{zisk,vnější}$	Vnější tepelné zisky	[kWh]
$\Phi_{zisk,vnitřní}$	Vnitřní tepelný zisk	[kWh]

1 ÚVOD

Téma vytápění je pro každého vlastníka nemovitosti zásadní, a to nejen z hlediska komfortu, ale také z ekonomického a ekologického pohledu. Vytápění představuje významnou položku rozpočtu domácností, nebo komerčních objektů. Je tedy důležité pečlivě zvážit, jaký způsob vytápění bude v dané situaci co nejefektivnější, jak z hlediska komfortu, tak z hlediska investičních či provozních nákladů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na porovnání dvou nejčastějších způsobů vytápění, tedy otopnými tělesy a podlahovou otopnou plochou. Otopná tělesa (OT), dnes nejčastěji desková, se vyznačují jednoduchou instalací a poměrně nízkými investičními náklady. Oproti tomu podlahové vytápění využívá systému trubek nebo elektrických topných rohoží instalovaných do konstrukce podlahy. Podlahové vytápění nabízí rovnoměrnější rozložení tepla a vyšší úroveň komfortu, ale za cenu vyšších investičních nákladů.

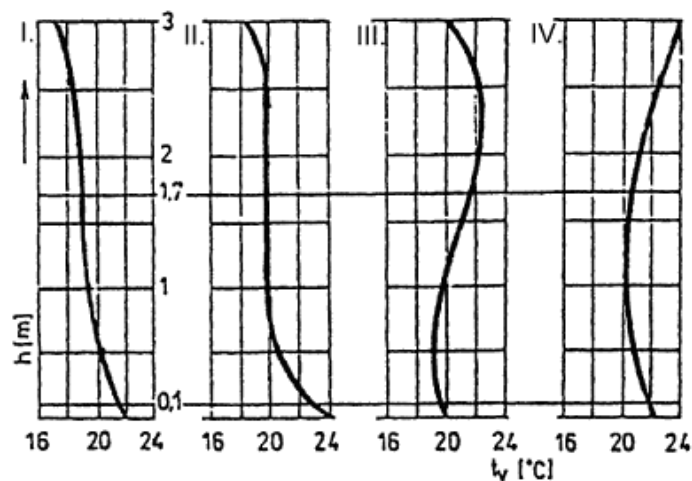
Cílem této bakalářské práce je porovnat provozní a investiční náklady spojené s těmito dvěma způsoby vytápění. Práce se zaměří na klíčové faktory, kterými jsou počáteční investice, spotřeba energie a úroveň komfortu, kterou každá z metod nabízí.

2 TEPELNÁ POHODA

Tepelná pohoda je stav, kdy se člověk cítí tepelně neutrálně. To znamená, že nepocituje ani chlad ani nadměrné teplo. Tento stav je důležitý nejen z hlediska komfortu, ale také z hlediska zdraví a produktivity člověka. [1]

Faktory ovlivňující tepelnou pohodu můžeme rozdělit do 3 skupin. Do první skupiny zařadíme teplotu vnitřního vzduchu, střední radiační teplotu, vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu. Druhá skupina obsahuje osobní faktory jako je tepelný odpor oblečení nebo hodnota metabolismu. Do poslední třetí skupiny řadíme věk, pohlaví, množství podkožního tuku a také adaptaci na vnitřní prostředí. Z těchto faktorů vyplývá, že tepelná pohoda vychází i ze subjektivního hodnocení. [2]

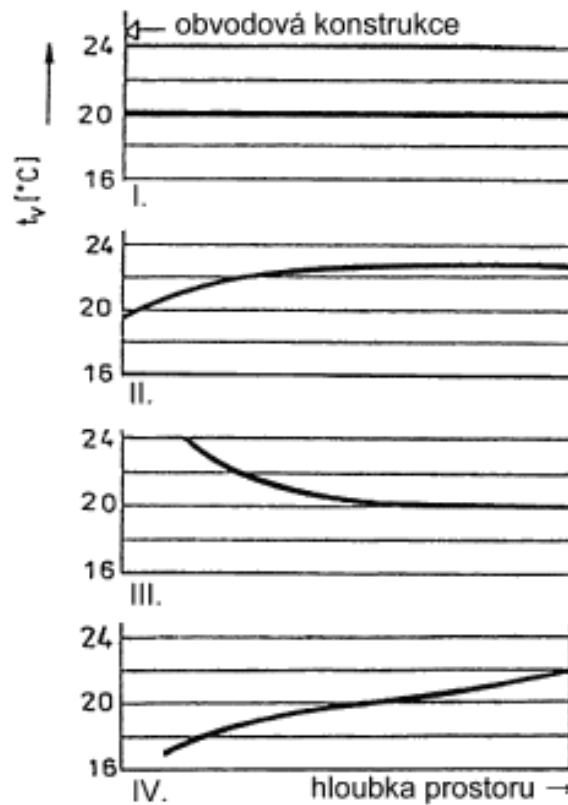
Důležitou roli hraje i prostorové rozložení teplot. Na obr. 1 můžeme vidět vertikální rozložení teploty vzduchu ve vytápěné místnosti pro různé druhy vytápění. Vertikální rozložení teplot uvnitř vytápěného prostoru je způsobené nerovnoměrným přívodem tepla a nerovnoměrným ochlazováním jednotlivých stěn. Vertikální nerovnoměrnost se zvyšuje se zvyšující se povrchovou teplotou otopné plochy. Z obr. 1 je patrné, že nejvíce se dokonalému průběhu blíží podlahové vytápění, je to dané nejnižší povrchovou teplotou otopné plochy. Podobného průběhu bychom mohli dosáhnout i otopnými deskovými tělesy typu 10 či 11, při nízkém teplotním spádu. [1]



Obr. 1 Vertikální rozložení teploty vzduchu ve vytápěné místnosti pro různé druhy vytápění

I. ideálně požadovaný průběh, II. podlahové vytápění s ochlazovaným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [28]

U horizontálního rozložení teplot (obr. 2) rozhoduje hlavně umístění otopné plochy ve směru od ochlazované konstrukce. I zde se u podlahového vytápění blížíme téměř k ideálnímu průběhu. [1]

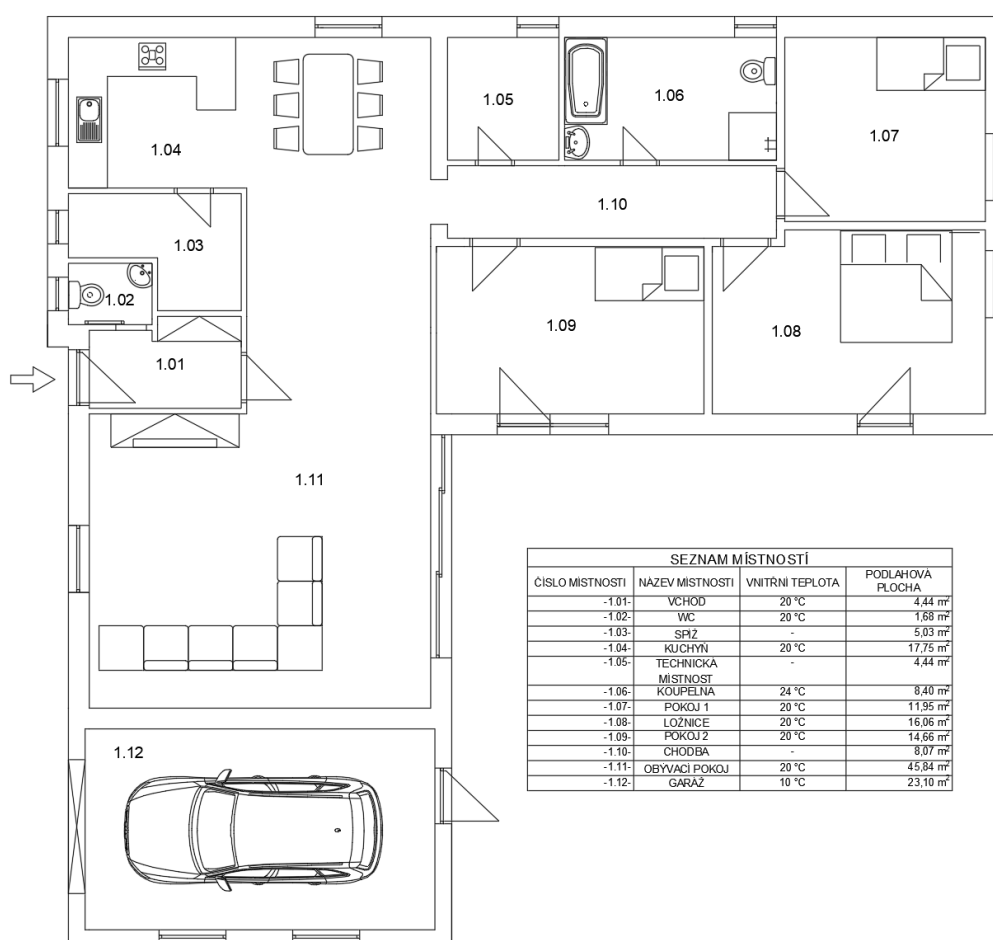


Obr. 2 Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti pro různé druhy vytápění I. ideálně požadovaný průběh, II. podlahové vytápění s ochlazovaným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [28]

3 UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

Objekt viz obr. 3 je umístěn v Neratovicích v obytné zóně. Jedná se o jednopodlažní nepodsklepený rodinný dům o rozloze 192 m² s dispozicí 4kk.

Venkovní výpočtová teplota je -12 °C a průměrná roční teplota je 4,1 °C. Všechna data z norem, včetně průměrné roční teploty, jsou vztahována k městu Mělník, které je nedaleko Neratovic. Na pozemku ani v sousedství nejsou žádné vysoké stromy ani stavby, tudíž je zde minimální stínění, které bude zohledněno ve výpočtu potřeby tepla v solárních ziscích.



Obr. 3 Půdorys rodinného domu

4 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI KONSTRUKCÍ

K zajištění tepelné pohody uvnitř budovy přispívají tepelně technické vlastnosti konstrukcí. Hlavními parametry jsou tloušťka s [m] a součinitel tepelné vodivosti λ [W/m K]. Pomocí vzorce (1) vypočítáme součinitel prostupu tepla U [W/m² K].

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_e} \quad (1)$$

- kde U je součinitel prostupu tepla [W/m² K],
 R_i tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [m² K/W],
 R_e tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [m² K/W],
 s_n tloušťka stavební části [m],
 λ_n součinitel tepelné vodivosti dané části [W/m K].

V tab. 1 jsou součinitele prostupu tepla stavebních otvorů, které jsem dohledal v katalogích výrobců. V tab. 2 jsou skladby použitých konstrukcí. Veškeré zdi jsou zhotoveny z tvárnic Ytong různých tlouštěk. Strop je ze sádkokartonových desek doplněných o izolaci. Systém podlahového vytápění vyžaduje jinou konstrukci podlahy než systém s otopnými tělesy. Po dohodě s vedoucím práce, jsem konstrukci podlahy pro potřeby výpočtu tepelných ztrát zvolil stejnou pro obě verze výpočtu. Podlaha 1 a podlaha 2 se mezi sebou liší pouze podlahovou krytinou. Podlaha 3 se nachází v garáži 1.12, která se od podlahy 2 liší tloušťkou izolace. Okna jsem vybral Vekra Komfort Evo. Tato okna s trojsklem jsou vhodná pro nízkoenergetické domy.

Všechny konstrukce splňují doporučené nebo alespoň požadované hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2. [3]

Tab. 1 Součinitelé prostupu tepla stavebních otvorů

Konstrukce	U [W/m ² K]	U_{dop} [W/m ² K]
Okna	0,71	1,2
HS portál	0,81	1,2
Vchodové dveře	0,8	1,2
Vnitřní dveře	2,15	
Garážová vrata	1	2,3

Tab. 2 Skladby použitých konstrukcí

Składba konstrukce	s_n [m]	λ_n [W/m K]	U [W/m ² K]	U_{dop} [W/m ² K]
Obvodová stěna 1				
vnitřní omítka	0,01	0,66	0,2	0,2
Ytong	0,375	0,08		
vnější omítka	0,01	0,66		
Obvodová stěna 2				
vnitřní omítka	0,01	0,66	0,25	0,2 ($U_{poz}=0,3$)
Ytong	0,3	0,08		
vnější omítka	0,01	0,66		
Vnitřní příčka 1				
vnitřní omítka	0,01	0,66	0,48	0,9
Ytong	0,15	0,08		
vnitřní omítka	0,01	0,66		
Vnitřní příčka 2				
vnitřní omítka	0,01	0,66	0,69	0,9
Ytong	0,1	0,08		
vnitřní omítka	0,01	0,66		
Strop				
sádkokarton	0,0125	0,22	0,19	0,2
izolace	0,2	0,04		
Podlaha 1				
keramická dlažba	0,015	1	0,17	0,3
bet. mazanina	0,04	1,2		
Tvrzený polystyren	0,2	0,037		
Podkladový beton	0,1	1,5		
Štěrkopískový podsyp	0,15	2		
Podlaha 2				
Dřevěná podlaha	0,015	0,1	0,17	0,3
bet. mazanina	0,04	1,2		
Tvrzený polystyren	0,2	0,037		
Podkladový beton	0,1	1,5		
Štěrkopískový podsyp	0,15	2		
Podlaha 3				
keramická dlažba	0,015	1	0,57	0,6
bet. mazanina	0,04	1,2		
Tvrzený polystyren	0,05	0,037		
Podkladový beton	0,1	1,5		
Štěrkopískový podsyp	0,15	2		

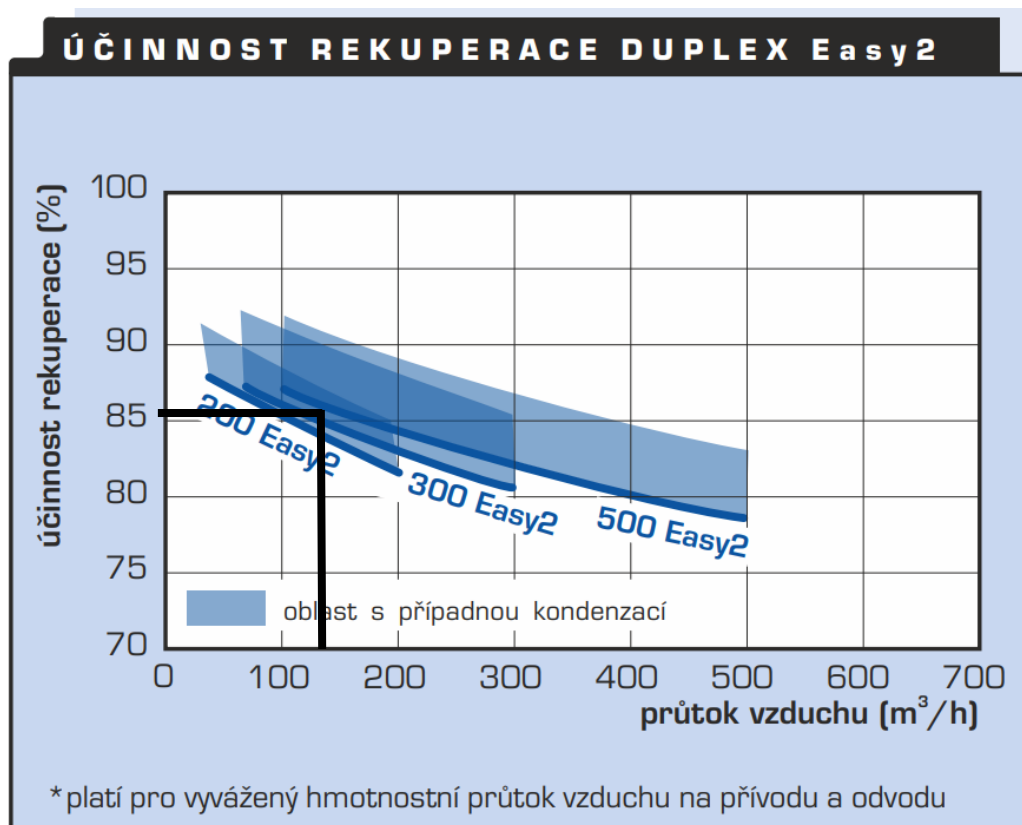
5 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Při výpočtu tepelných ztrát se určuje množství tepla, které uniká z budovy její obálkou a větráním. Tepelné ztráty se počítají pro každou místnost zvlášť a jejich součet tvoří celkovou tepelnou ztrátu objektu. Znalost hodnoty tepelné ztráty nám umožňuje navrhnout vhodné otopné plochy v jednotlivých místnostech a zvolit adekvátní zdroj tepla. Výpočty se provádějí za nejméně příznivých vnitřních i venkovních podmínek.

V této práci je pro výpočet tepelné ztráty využit zjednodušený postup z normy ČSN EN 12831-1 [4], který využívá přírážky na vliv tepelných mostů.

Tato norma se zabývá výpočtem tepelných výkonů pro vytápění v budovách. Jejím hlavním cílem je poskytnout metodiku pro stanovení tepelných ztrát a tepelných výkonů potřebných k vytápění prostorů v různých typech budov. [4]

V této práci hradí část tepelné ztráty větráním větrací jednotka Atrea Duplex 200 Easy2 [5] s účinností rekuperace až 91 %. Pro výpočet tepelné ztráty větráním uvažují účinnost rekuperace 85 % při průtoku 135 m³/h (trvalé větrání) odečtenou z grafu viz obr. 4. Dále se tato práce vzduchotechnice věnovat nebude.



Obr. 4 Účinnost rekuperace Duplex Easy2 [5]

5.1 ČSN EN 12831-1

Celková návrhová tepelná ztráta odpovídá součtu návrhové tepelné ztráty prostupem a návrhové tepelné ztráty větráním.

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (2)$$

kde $\Phi_{HL,i}$ je celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru [W],
 $\Phi_{T,i}$ návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru [W],
 $\Phi_{V,i}$ návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru [W],
 $\Phi_{hu,i}$ volitelný dodatečný zátopový výkon vytápěného prostoru [W],
 $\Phi_{gain,i}$ trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru [W].

5.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem

Jedná se o tepelnou ztrátu, která vzniká přímým prostupem tepla skrz obálku budovy a vypočítá se:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (3)$$

kde $H_{T,ie}$ je měrný tepelný tok do venkovního prostředí [W/K],
 $H_{T,ia}$ měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor [W/K],
 $H_{T,iae}$ měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory [W/K],
 $H_{T,iaBE}$ měrný tepelný tok do sousedních funkčních částí budovy [W/K],
 $H_{T,ig}$ měrný tepelný tok do zeminy [W/K],
 $\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota [°C],
 θ_e venkovní výpočtová teplota [°C].

5.1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním je stav, kdy teplo uniká z prostoru vlivem proudění vzduchu. K tomuto jevu dochází kvůli rozdílu teplot mezi místnostmi, nebo vnitřním a vnějším prostředím. Jedná se o součet tří složek. Tepelné ztráty nuceným větráním,

tepelné ztráty větráním obálkou budovy a tepelné ztráty převodem vzduchu ze sousedních místností.

$$\Phi_{V,i} = \Phi_{V,sup,i} + \Phi_{V,env,i} + \Phi_{V,transfer,i} \quad (4)$$

kde $\Phi_{V,sup,i}$ je tepelná ztráta nuceným větráním [W],
 $\Phi_{V,env,i}$ tepelná ztráta větráním obálkou budovy [W],
 $\Phi_{V,transfer,i}$ tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti [W].

Tepelná ztráta nuceným větráním

$$\Phi_{V,sup,i} = \dot{V}_{V,sup,i} \cdot \rho_A \cdot c_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{rec,z}) \quad (5)$$

kde $\dot{V}_{V,sup,i}$ je průtok nuceně přiváděného vzduchu [m³/s],
 ρ_A hustota vzduchu [kg/m³],
 c_p měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg K],
 $\theta_{rec,z}$ teplota vzduchu za výměníkem zpětného získávání tepla [°C].

Teplotu vzduchu za výměníkem zpětného získávání tepla (ZZT) vypočteme takto:

$$\theta_{rec,z} = \theta_{e,0} + \eta_{rec,z} \cdot (\theta_{exh,z} - \theta_{e,0}) \quad (6)$$

kde $\eta_{rec,z}$ je účinnost ZZT za venkovních návrhových podmínek [-],
 $\theta_{e,0}$ venkovní výpočtová teplota v poloze stavby [°C],
 $\theta_{exh,z}$ teplota vzduchu odváděného ze zóny [°C].

Venkovní výpočtová teplota $\theta_{e,0}$ je o 3 až 5 K nižší než venkovní výpočtová teplota θ_e .

Tepelná ztráta větráním obálkou budovy

$$\Phi_{V,env,i} = \dot{V}_{V,env,i} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (7)$$

kde $\dot{V}_{V,env,i}$ je průtok venkovního vzduchu prostupujícího obálkou budovy do místnosti [m³/s].

$$\dot{V}_{V,env,i} = f_{dir,z} \cdot \dot{V}_{V,leak,i} = 2 \cdot \dot{V}_{V,leak,i} \quad (8)$$

kde $f_{dir,z}$ je činitel orientace zóny [-],
 $\dot{V}_{V,leak,i}$ průtok venkovního vzduchu infiltrací [m^3/s].

$$\dot{V}_{V,leak,i} = \dot{V}_{V,leak,z} \cdot \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} \quad (9)$$

kde $\dot{V}_{V,leak,z}$ je průtok vzduchu netěsnostmi do zóny [m^3/s],
 $A_{env,i}$ obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím [m^2],
 $A_{env,z}$ obálka rodinného domu ve styku s venkovním prostředím [m^2].

$$\dot{V}_{V,leak,z} = \dot{V}_{env,50} \cdot A_{env,z} \cdot f_{qv,z} \quad (10)$$

kde $\dot{V}_{env,50}$ je průtok vzduchu obálkou při tlakovém rozdílu 50 Pa [$m^3/h \cdot m^2$],
 $f_{qv,z}$ součinitel objemového průtoku [-].

$$\dot{V}_{env,50} = \frac{I_{50} \cdot V_{build}}{A_{env,build}} \quad (11)$$

kde I_{50} je intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa [h^{-1}],
 V_{build} vnitřní objem vzduchu budovy [m^3],
 $A_{env,build}$ plocha obálky zóny (budovy) [m^2].

Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti

$$\Phi_{V,transfer,i} = \dot{V}_{V,transfer,ij} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{transfer,ij}) \quad (12)$$

kde $\dot{V}_{V,transfer,ij}$ je průtok přiváděného vzduchu [m^3/h],
 $\theta_{transfer,ij}$ teplota přiváděného vzduchu [$^{\circ}C$].

5.1.3 Výsledky výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty

Během výpočtu celkového návrhového tepelného výkonu Φ_{HL} jsem zvolil nulový dodatečný zátopový výkon Φ_{hu} a nulové tepelné zisky Φ_{gain} . Přírážku na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} jsem zvolil $0,02 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, tedy optimalizované řešení. Součinitele $f_{U,k}$ a $f_{ie,k}$ jsem zvolil 1. Při výpočtu tepelné ztráty větráním jsem uvažoval s rekuperací s účinností $\eta_{rec,z} = 0,85$. Intenzitu větrání I_{50} jsem zvolil $1,34 \text{ h}^{-1}$ (průměrná hodnota pro

nízkoenergetické domy) a součinitel objemového průtoku $f_{qv,z} = 0,05$. Všechny hodnoty jsem volil na základě prezentace [6].

V tab. 3 jsou výsledky výpočtu tepelných ztrát prostupem a větráním po místnostech. V posledním sloupci je jejich součet, tedy celková návrhová tepelná ztráta každé jednotlivé místnosti. Samotný výpočet je proveden v elektronické příloze 1. Celková návrhová tepelná ztráta je rovna 4,4 kW.

Tab. 3 Součet tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním

číslo pokoje	název místnosti	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
1.01	Vchod	119	14	132
1.02	WC	63	8	71
1.03	Spíž	32	13	45
1.04	Kuchyň	462	118	580
1.05	Technická místnost	49	17	65
1.06	Koupelna	286	102	388
1.07	Pokoj 1	290	99	389
1.08	Ložnice	412	126	538
1.09	Pokoj 2	323	88	412
1.10	Chodba	53	13	66
1.11	Obývací pokoj	895	164	1059
1.12	Garáž	528	80	607
SUMA		3511	842	4353

6 POTŘEBA TEPLA

Pro výpočet potřeby tepla jsem použil normu ČSN EN ISO 13 790, kterou jsem převzal z prezentace [7]. Potřebu tepla můžeme rozdělit na potřebu tepla na vytápění a potřebu tepla na přípravu teplé vody (TV).

6.1 Potřeba tepla na vytápění

Pro výpočet tepelné ztráty na vytápění použiji zjednodušenou měsíční metodu z prezentace [7]. Ve výpočtu se pracuje s průměrnými měsíčními venkovními teplotami pro Českou republiku viz tab. 4. Další nezbytnou částí výpočtu je stanovení vnitřních a vnějších tepelných zisků, které nám potřebu tepla na vytápění snižují.

Tab. 4 Průměrné měsíční teploty pro ČR [8]

Měsíc	Počet dnů	Průměrná venkovní teplota
	n	θ_{ep}
	[den]	[°C]
Leden	31	-1,3
Únor	28	-0,1
Březen	31	3,7
Duben	30	8,1
Květen	31	13,3
Červen	30	16,1
Červenec	31	18
Srpen	31	17,9
Září	30	13,5
Říjen	31	8,3
Listopad	30	3,2
Prosinec	31	0,5

6.1.1 Vnější tepelné zisky

Vnější tepelné zisky představují příspěvek k celkovým tepelným ziskům způsobených slunečním zářením během roku. Intenzitu slunečního záření ovlivňuje zejména poloha objektu, množství stínění v okolí, orientace sběrných ploch a mimo jiné i geometrie objektu. Všechny tyto skutečnosti je nutné ve výpočtu zohlednit. V tab. 5 jsou hodnoty střední venkovní teploty a intenzity solárního záření pro svislé stěny, v tab. 6 jsou hodnoty pro konstrukce se sklonem 30°, které použiji pro výpočet sálání vůči obloze.

Tab. 5 Intenzita slunečního záření na svislé stěny [8]

Měsíc	Počet dnů	Průměrná venkovní teplota	Celkové solární záření za měsíc na kolmou plochu				
	n		θ_{ep}	I_{sol} [kWh/m ²]			
	[den]	[°C]	Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
Leden	31	-1,3	8,2	34,2	14,1	14,1	23
Únor	28	-0,1	13,4	51,1	25,5	25,5	40
Březen	31	3,7	25,3	74,4	46,9	46,9	79
Duben	30	8,1	36	85,7	74,2	74,2	118
Květen	31	13,3	49,1	87	87	87	161
Červen	30	16,1	51,8	75,6	90	90	166
Červenec	31	18	51,3	78,1	84,1	84,1	162
Srpen	31	17,9	42,4	96	80,4	80,4	143
Září	30	13,5	28,8	77,8	53,3	53,3	96
Říjen	31	8,3	18,6	74,4	38,7	38,7	57
Listopad	30	3,2	9,4	45,4	18	18	24
Prosinec	31	0,5	6	29	11	11	17

Tab. 6 Intenzita slunečního záření na konstrukce se sklonem 30° [8]

Měsíc	Počet dnů	Průměrná venkovní teplota	Celkové solární záření na 30° sklon střechu			
	n		θ_{ep}	I_{sol} [kWh/m ²]		
	[den]	[°C]	Sever	Jih	východ	Západ
Leden	31	-1,3	11,9	32	20,1	20,1
Únor	28	-0,1	18,1	53,1	35,6	35,6
Březen	31	3,7	40,9	90,8	68,4	68,4
Duben	30	8,1	79,2	129	108	108
Květen	31	13,3	116,8	155	138,4	138,4
Červen	30	16,1	121,7	146	139,7	139,7
Červenec	31	18	118,3	146	135,4	135,4
Srpen	31	17,9	97,5	152	127,2	127,2
Září	30	13,5	54,7	104	80,6	80,6
Říjen	31	8,3	26,8	79,6	53,6	53,6
Listopad	30	3,2	12,2	41	25,4	25,4
Prosinec	31	0,5	8,9	25,3	14,9	14,9

Hodnoty z tab. 5 pro horizont, nebudu pro vlastní výpočet potřebovat. Řešený objekt nemá žádnou horizontální plochu. Střecha objektu je se sklonem 25°. Sklon 30° je nejbližší vyšší hodnota pro kterou norma udává intenzitu solárního záření.

Vnější tepelné zisky se počítají dle vzorce (13).

$$\Phi_{zisk,vnější} = F_{sh} \cdot \left(\sum A_{sol} \right) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \Phi_{r,i} \quad (13)$$

kde	$\Phi_{zisk,vnější}$	jsou vnější tepelné zisky [kWh],
	F_{sh}	opravný činitel na externí překážky stínění [-],
	A_{sol}	solární sběrná plocha [m ²],
	I_{sol}	intenzita slunečního záření [kWh/m ²],
	$F_{r,i}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [-],
	$\Phi_{r,i}$	sálení vůči obloze [kWh].

Solární sběrnou plochu musíme rozdělit na průhlednou (zejména okna) a neprůhlednou (obvodové stěny a střecha). Průhlednou sběrnou plochu vypočítáme dle vztahu (14).

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,pohledová} \quad (14)$$

kde	$F_{sh,gl}$	je opravný činitel na vnitřní a vnější straně zastínění [-],
	g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky [-],
	F_f	podíl plochy rámu [-],
	$A_{w,pohledová}$	pohledová plocha průsvitných částí [m ²].

Celkovou propustnost průhlednými prvky určíme ze vztahu (15):

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gn} \quad (15)$$

kde	F_w	je korekce pro nerozptylové zasklení [-],
	g_{gn}	celková propustnost zasklení [-].

Neprůhledná sběrná plocha se počítá dle vztahu (16):

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U \cdot A_{c,pohledová} \quad (16)$$

kde	$\alpha_{s,c}$	je pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků [-],
	R_{se}	tepelný odpor při přestupu na vnějším povrchu [m ² K/W],
	U	součinitel prostupu tepla [W/m ² K],
	$A_{c,pohledová}$	pohledová plocha neprůsvitných částí [m ²].

Pro určení vnějších tepelných zisků je ještě potřeba vypočítat sálání vůči obloze Φ_r pomocí vzorce (17). Každý povrch, který je vystaven obloze vyzařuje vůči ní teplo a je považován za sálavou plochu. Během dne tato plocha produkuje zápornou tepelnou ztrátu, tedy tepelný zisk. [9]

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad (17)$$

kde	h_r	je součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně [W/m ² K],
	$\Delta t_{e,r}$	faktor oslání mezi stavebními prvky a oblohou [K].

6.1.2 Vnitřní tepelné zisky

Zisky z různých zdrojů, včetně lidí, osvětlení nebo elektrických spotřebičů řadíme mezi vnitřní tepelné zisky. Pro rodinný dům se počítá se 70% přítomností osob (4 osoby) v domě a z toho na každou osobu spadá hodnota 100 W. Další 100 W připadá na každou bytovou jednotku. V tomto případě na celý rodinný dům. Měsíční vnitřní tepelné zisky jsou vypočteny dle vztahu (18).

$$\Phi_{zisk,vnitřní} = n_{hod} \cdot (n_{os} \cdot \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p}) \quad (18)$$

kde	$\Phi_{zisk,vnitřní}$	je vnitřní tepelný zisk [kWh] ,
	n_{hod}	počet hodin v měsíci [h],
	n_{os}	počet osob žijících v domácnosti [os],
	$\Phi_{s,o}$	tepelná zisk na osobu [W/os],
	f	opravný součinitel zohledňující omezenou přítomnost osob v budově [-],
	$\Phi_{s,p}$	tepelný zisk spotřebičů a osvětlení na bytovou jednotku [W].

6.1.3 Výpočet potřeby tepla na vytápění

Po výpočtu tepelných ztrát a tepelných zisků. Můžeme přistoupit k výpočtu potřeby tepla na vytápění dle vzorce (19).

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad (19)$$

kde	$Q_{H,nd}$	je potřeba tepla na vytápění [kWh],
	$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušované vytápění [-],
	$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla [kWh],
	$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků [-],
	$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky [kWh].

Tvar vzorce pro výpočet faktoru využitelnosti tepelných zisků závisí na hodnotě bilančního poměru pro režim vytápění γ_H .

Když je $\gamma_H > 0$ a zároveň se $\gamma_H \neq 0$, tak:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (20)$$

Když je $\gamma_H = 0$, tak:

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (21)$$

A nakonec když je $\gamma_H < 0$, tak:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (22)$$

kde	γ_H	je bilanční poměr pro režim vytápění [-],
	a_H	bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budov [-].

Bilanční poměr pro režim vytápění vypočteme dle vzorce (23).

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,ht}}{Q_{H,gn}} \quad (23)$$

Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budov, vypočteme pomocí vzorce (24).

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (24)$$

Kde $a_{H,0}$ je bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budov pro měsíční metodu [-],
 τ časová konstanta budovy [h],
 $\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta [h].

Časová konstanta budovy se vypočítá ze vztahu (25).

$$\tau = \frac{C_m}{\frac{3600}{H_T + H_V}} \quad (25)$$

Kde C_m je vnitřní tepelná kapacita budovy [J/K],
 H_T měrný tepelný tok prostupem tepla celé budovy [W/K],
 H_V měrný tepelný tok větráním celé budovy [W/K].

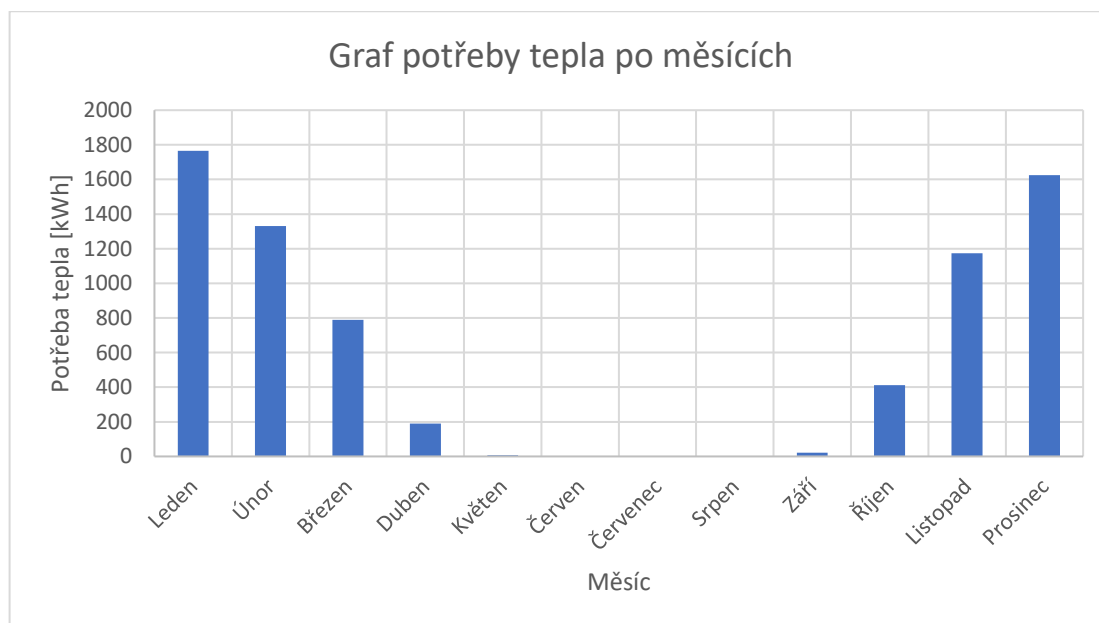
6.1.4 Výsledky potřeby tepla na vytápění

Roční potřeba tepla na vytápění činí 7300 kWh. Do tab. 7 jsem zanesl výsledné hodnoty potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé měsíce. Z tabulky vidíme, že v květnu a v září je potřeba velmi malá. Proto by bylo zajímavé se na tyto měsíce podívat denní metodou, jenž není součástí této práce, která by nám mohla dokázat, že na některé dny z těchto měsíců bude pravděpodobně vycházet nulová potřeba tepla na vytápění. Naopak nejvyšší potřeba tepla na vytápění je dle očekávání v lednu a v prosinci. Roční potřeba tepla na vytápění na 1 m² vytápěné podlahové plochy je 38 kWh/m². Tato hodnota odpovídá nízkoenergetickým domům.

Hodnoty z tab. 8 jsem pro větší přehlednost vložil do grafu (obr. 5).

Tab. 7 Výsledky potřeby tepla na vytápění

Měsíc	Celková potřeba tepla	Celkové tepelné zisky	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Potřeba tepla na vytápění
	$Q_{H,ht}$	$Q_{H,gn}$	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
	[kWh]	[kWh]	[-]	[kWh]
Leden	2131,78	365,79	0,9999	1766
Únor	1809,72	479,71	0,9991	1330
Březen	1597,76	828,07	0,9826	784
Duben	1091,44	1102,08	0,8314	175
Květen	572,44	1317,26	0,4310	5
Červen	264,57	1256,37	0,2105	0
Červenec	70,47	1264,69	0,0557	0
Srpen	81,15	1270,85	0,0639	0
Září	533,31	886,43	0,5826	17
Říjen	1106,46	735,91	0,9539	404
Listopad	1597,90	424,39	0,9991	1174
Prosinec	1939,53	315,07	0,9999	1624



Obr. 5 Grafické znázornění potřeby tepla na vytápění

6.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet potřeby tepla na přípravu TV vychází z počtu osob, které sdílejí domácnost, z potřeby TV na osobu, z teploty ohřáté vody a dalších parametrů (vztah 26). Potřeba tepla na přípravu teplé vody je na rozdíl od potřeby tepla na vytápění po celý rok stejná. Záleží pouze na počtu dní v daném měsíci.

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = \frac{(1 + z_{TV}) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \cdot 1000} \quad (26)$$

Kde	Q_{2p}	je teplo dodané ohřivačem teplé vody [kWh/den],
	Q_{2t}	teplo pro ohřev vody [kWh/den],
	Q_{2z}	teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh/den],
	z_{TV}	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV (volba 0,15) [-],
	V_{2p}	celková potřeba teplé vody [m ³ /den],
	ρ	hustota vody [kg/m ³],
	c_w	měrná tepelná kapacita vody [J/kg K],
	θ_1	teplota studené vody [°C],
	θ_2	teplota teplé vody [°C].

Celkovou potřebu teplé vody určíme z počtu osob v domácnosti a z potřeby teplé vody na osobu dle následujícího vztahu (27).

$$V_{2p} = n_{os} \cdot \frac{V_p}{1000} \quad (27)$$

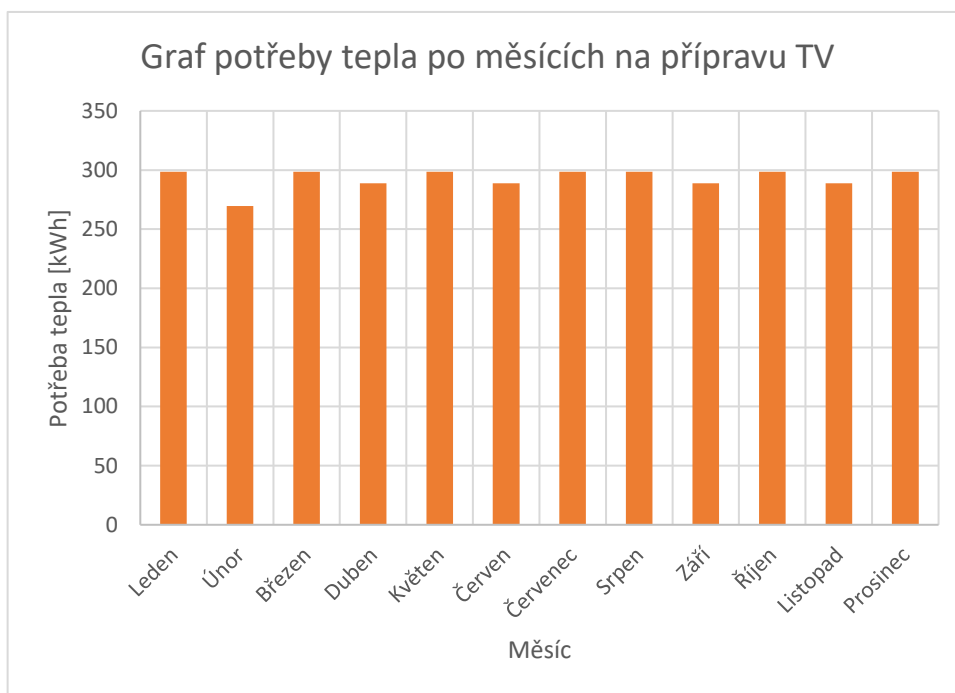
Kde	n_{os}	je počet osob v domácnosti (4 os) [os],
	V_p	potřeba teplé vody na osobu na den (volba 40 l/os den) [l/os den]

6.2.1 Výsledky potřeby tepla na přípravu teplé vody

Výsledky potřeby tepla na přípravu TV jsem zanesl do tab. 8 a pro lepší přehled i do grafu (obr. 6). Ve výpočtu jsem neuvažoval se skutečností, kdy některé domácnosti odjíždí na dovolenou (letní/zimní) a tudíž v tuto dobu lze očekávat nižší potřebu TV.

Tab. 8 Výsledky potřeby tepla na přípravu TV

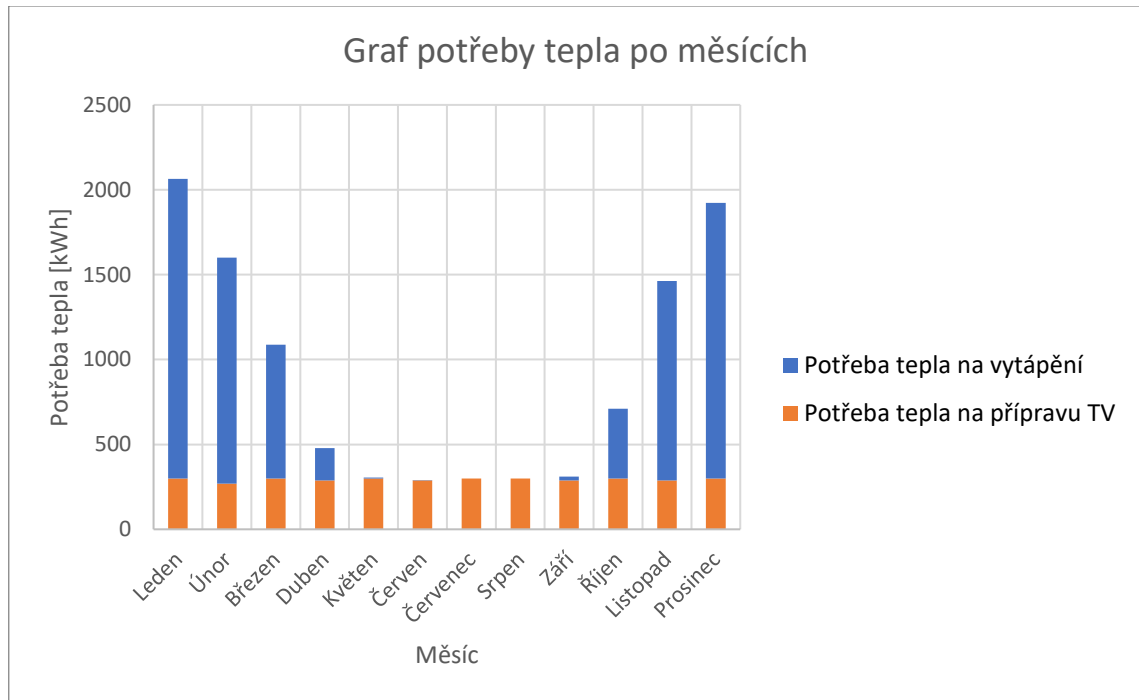
Měsíc	Počet dnů	Potřeba tepla na přípravu TV
	n	Q_{zp}
	[den]	[kWh]
Leden	31	298
Únor	28	270
Březen	31	298
Duben	30	289
Květen	31	298
Červen	30	289
Červenec	31	298
Srpen	31	298
Září	30	289
Říjen	31	298
Listopad	30	289
Prosinec	31	298



Obr. 6 Grafické znázornění potřeby tepla na přípravu teplé vody

6.3 Celková bilance potřeby tepla

Celková roční potřeba tepla je 10800 kWh. Graf v obr. 7 nám názorně ukazuje celkovou bilanci potřeby tepla v řešeném projektu. Nejvyšší celková potřeba tepla je v zimních měsících.



Obr. 7 Grafické vyjádření celkové bilance potřeby tepla na vytápění a na přípravu teplé vody

7 OTOPNÉ SOUSTAVY

Hlavním úkolem otopné soustavy (OS) je zajistit přenos tepla ze zdroje do jednotlivých vytápěných místností. Prostřednictvím různých otopných ploch udržuje OS v každé z místností předepsaný teplotní stav. [10]

Otopné soustavy lze dělit podle mnoha kritérií. Jedním z nejdůležitějších je na převážně konvektivní a převážně sálavé. Ostatní možná rozdělení viz skripta [1] a [10].

Převážně konvektivní soustavy využívají k předávání tepla do prostoru otopná tělesa, která dělíme dle druhu na:

- desková,
- článková,
- trubková,
- konvektory.

O výběru vhodného druhu otopného tělesa rozhoduje jak estetičnost, tak funkčnost. V dnešní době se nejčastěji používají desková otopná tělesa v kombinaci s trubkovými koupelnovými tělesy, která kromě pokrytí tepelné ztráty v koupelně jsou vhodná i pro sušení ručníků či jiného textilu.

Převážně sálavé systémy už podle názvu napovídají, že většina tepla je předávána sáláním. Dělíme je na:

- velkoplošné vytápění (podlahové, stěnové, stropní),
- vytápění zavěšenými sálavými panely,
- a vytápění světlými či tmavými plynovými zářiči.

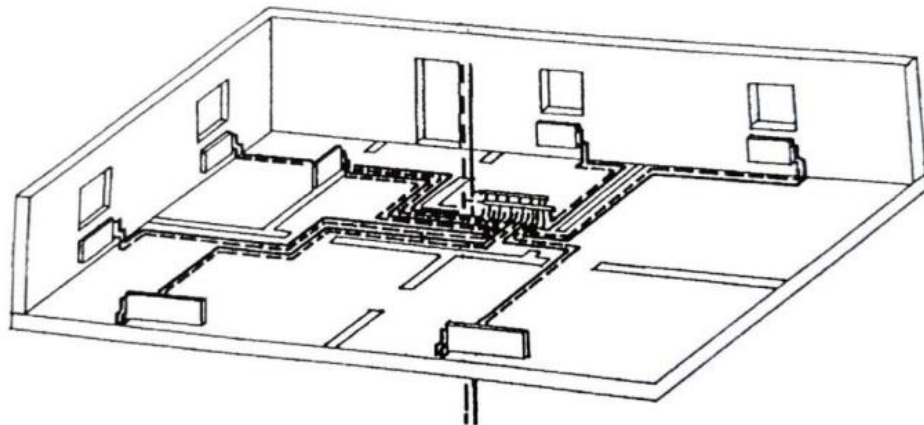
Sálavé panely i plynové zářiče jsou vhodné pro použití v průmyslových, nebo jiných velkoprostorových halách a svými parametry se nehodí pro rodinné domy.

Velkoplošné sálavé systémy i sálavé panely se dají využít nejen k vytápění, ale i k chlazení. Zejména systémy stropního chlazení jsou velmi oblíbené z důvodu vyšší kvality tepelného komfortu. [11]

Úkolem této bakalářské práce je navrhnout, jak systém s otopnými tělesy, tak systém s teplovodním podlahovým vytápěním a oba tyto systémy mezi sebou porovnat.

7.1 Verze s otopnými tělesy

Cílem této bakalářské práce je porovnat dva odlišné druhy otopných soustav. Po konzultaci s vedoucím práce, jsem se rozhodl u verze s otopnými tělesy (OT) zvolit hvězdicovou otopnou soustavu. Hvězdicová soustava (obr. 8) byla vybrána jako ta nejlépe porovnatelná s podlahovým vytápěním pro svojí speciální konstrukci využívající plastových rozvodů. Tyto rozvody jsou podobně jako u podlahového vytápění napojeny na patrový rozdělovač. [10]



Obr. 8 Hvězdicová otopná soustava [12]

7.1.1 Pokrytí tepelné ztráty

Nejprve je potřeba vhodně vybrat OT a rozmístit je v objektu. Výrobci otopných těles udávají jejich výkon pro jmenovitý teplotní spád, který je 75/65/20 °C. Znamená to, že teplota vstupní vody je 75 °C, výstupní 65 °C a teplota vzduchu v místnosti je 20 °C. V této verzi projektu jsem zvolil teplotní spád 45/35 °C a příslušnou teplotu vzduchu v dané místnosti. Přepočet výkonu těles při změně teplot závisí na teplotním podílovém součiniteli, který se vypočítá dle vzorce (28). [10]

$$c = \frac{\theta_{w2} - \theta_i}{\theta_{w1} - \theta_i} \quad (28)$$

kde	c	je teplotní podílový součinitel [-],
	θ_{w1}	teplota vstupní vody [°C],
	θ_{w2}	teplota výstupní vody [°C],
	θ_i	teplota vzduchu v místnosti [°C].

Podle hodnoty podílového součinitele postupujeme ve výpočtu následovně:

- $c \geq 0,7$, platí vztah (29):

$$Q_{OT} = Q_{OT,N} \cdot \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_N} \right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta\theta} \quad (29)$$

kde	Q_{OT}	je skutečný tepelný výkon [W],
	$Q_{OT,N}$	tepelný výkon při jmenovitém teplotním spádu [W],
	$\Delta\theta$	aritmeticky určený rozdíl teplot [K],
	$\Delta\theta_N$	jmenovitý rozdíl teplot [K],
	$f_{\Delta\theta}$	opravný součinitel na teplotní rozdíl [-],
	n	teplotní exponent otopného tělesa [-].

- $c < 0,7$, platí vztah (30):

$$Q_{OT} = Q_{OT,N} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_{ln}}{\Delta\theta_{N,ln}} \right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta\theta,ln} \quad (30)$$

kde $\Delta\theta_{ln} = \frac{\theta_{w1} - \theta_{w2}}{\ln\left(\frac{\theta_{w1} - \theta_i}{\theta_{w2} - \theta_i}\right)}$ je logaritmicke určený rozdíl teplot [K].

V řešeném projektu jsem při výběru těles využil webového programu firmy KORADO [13], který umožňuje zadání požadovaného teplotního spádu a sám tepelný výkon přepočítá. Kromě opravného součinitele na teplotní rozdíl, jsem použil i opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru viz tab. 9. V tab. 10 jsou vybraná tělesa přiřazena k jednotlivým místnostem. V místnostech 1.02, 1.03, 1.05 a 1.10 nebude žádné otopné těleso. Jejich tepelná ztráta je hrazena okolními místnostmi.

Tab. 9 Hodnoty opravného součinitele na umístění tělesa v prostoru [14]

umístění	f_p
pod oknem	1
Vedle okna	0,95
Naproti oknu	0,9

Tab. 10 Tepelný výkon OT přiřazených k jednotlivým místnostem

Číslo místnosti	Název místnosti	$\Phi_{HL,i}$ [W]	Q_{OT} [W]	Typ OT	Číslo OT
1.01	Vchod	132	258	VKL 20-500x1100	2
1.02	WC	71	0		
1.03	Spíž	45	0		
1.04	Kuchyň	580	665	VK 22-500x1600	1
1.05	Technická místnost	65	0		
1.06	Koupelna	388	489	VKL 20-500x1400 KORALUX 1459X600	6; 2
1.07	Pokoj 1	389	450	VK 21-500x1400	8
1.08	Ložnice	538	665	VK 22-500x1600	9
1.09	Pokoj 2	412	489	VK 21-500x1600	10
1.10	Chodba	66	0		
1.11	Obývací pokoj	1059	1131	VK 22-500x1200 VKL 22-500x1600	3; 5
1.12	Garáž	607	612	VK 21-500x1200	4
SUMA		4353	4759		

7.1.2 Hydraulický výpočet

Pro správné fungování otopné soustavy je nezbytné zajistit stejné tlakové ztráty pro všechny okruhy otopných těles. Hvězdicová soustava je charakteristická tím, že každé otopné těleso má vlastní hydraulický okruh. Pokud by nebyla zajištěná stejná tlaková ztráta každého jednotlivého okruhu, nelze zajistit projektem požadované průtoky. [10]

Tlakové ztráty Δp [Pa] jsou součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory viz vztah (31).

$$\Delta p = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} \quad (31)$$

kde Δp_{λ} je tlaková ztráta třením [Pa],

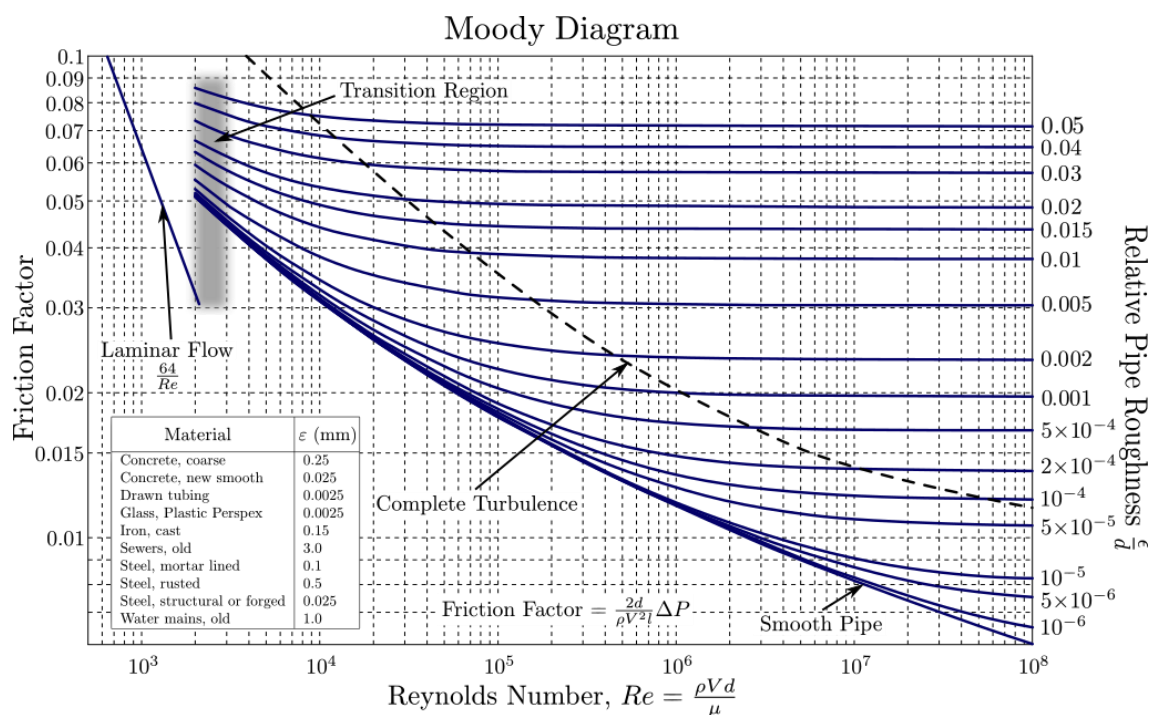
Δp_{ξ} tlaková ztráta místními odpory [Pa]

Třecí ztráty jsou způsobeny třením kapaliny o stěnu potrubí a jednotlivých vrstev kapaliny mezi sebou. Tato tlaková ztráta je dána vztahem (32)

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (32)$$

Kde λ je součinitel tření [-],
 l délka potrubí daného úseku [m],
 d vnitřní průměr potrubí daného úseku [m],
 ρ hustota kapaliny [kg/m³]
 w rychlost proudění kapaliny [m/s]

Součinitel tření je závislý na Reynoldsově čísle Re [-] a relativní drsnosti k/d [-]. Tato závislost je vyobrazena v Moodyho diagramu viz obr. 9.



Obr. 9 Moodyho diagram [15]

Moodyho diagram je rozdělen do třech oblastí. Oblast laminárního proudění je pro hodnoty Re do 2320 a platí pro ni vzorec (33). [16]

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (33)$$

Přechodová oblast pro Re od 2320 do 4000. Výpočet v této oblasti je proveden interpolací krajních hodnot viz vzorec (34). [16]

$$\lambda = \lambda_{2320} + \frac{\lambda_{4000} - \lambda_{2320}}{4000 - 2320} \cdot (Re - 2320) \quad (34)$$

Poslední turbulentní oblast je pro Re nad 4000 a platí zde Colerbrook-Whitova rovnice (35), ve které je nutné interpolovat. [16]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right) \quad (35)$$

Kde k je drsnost potrubí [m],
 d vnitřní průměr potrubí [m].

Pro tento projekt jsem se rozhodl použít potrubí ze síťovaného polypropylenu PEX-a od firmy REHAU, konkrétně typ RAUTITAN Flex. Drsnost potrubí k je 0,000007 m.

Tlaková ztráta místními odpory je způsobena koleny, oblouky atd. Vypočte se dle následujícího vztahu (36).

$$\Delta p_{zm} = \sum \xi_i \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (36)$$

kde ξ_i je příslušný součinitel místního odporu [-].

V následující tab. 11 jsou tlakové ztráty třením a místními odpory v potrubí všech úseků. Můžeme si všimnout velmi malých rychlostí a velmi malých tlakových ztrát, způsobených malými průtoky, které jsou pro hvězdicovou otopnou soustavu typické. Poslední řádek v tab. 11 patří úseku potrubí od kondenzačního kotle k sestavě rozdělovač/sběrač, který je proveden z mědi.

Tab. 11 Tlakové ztráty v potrubí jednotlivých úseků

Otopné těleso	úsek	m [kg/s]	d [m]	l [m]	w [m/s]	Δp_{zt} [Pa]	Δp_{zm} [Pa]	Δp_{POTR} [Pa]
OT1	1	0,0159	0,0116	2,70	0,151	80	29	109
	2	0,0159	0,0116	2,70	0,151	80	29	109
OT2	1	0,0062	0,0116	9,65	0,059	88	6	94
	2	0,0062	0,0116	9,60	0,059	87	6	93
OT3	1	0,0119	0,0116	14,10	0,114	248	19	267
	2	0,0119	0,0116	14,05	0,114	247	19	266
OT4	1	0,0146	0,0116	12,10	0,139	289	24	313
	2	0,0146	0,0116	12,15	0,139	290	24	314
OT5	1	0,0151	0,0116	11,35	0,144	295	26	321
	2	0,0151	0,0116	11,30	0,144	294	26	320
OT6	1	0,0073	0,0116	8,50	0,069	91	10	101
	2	0,0073	0,0116	8,55	0,069	92	10	102
OT7	1	0,0044	0,0116	6,30	0,042	41	3	44
	2	0,0044	0,0116	6,30	0,042	41	3	44
OT8	1	0,0107	0,0116	11,10	0,102	176	16	192
	2	0,0107	0,0116	11,10	0,102	176	16	192
OT9	1	0,0159	0,0116	12,00	0,151	357	46	403
	2	0,0159	0,0116	12,05	0,151	359	46	405
OT10	1	0,0117	0,0116	8,10	0,111	140	18	158
	2	0,0117	0,0116	8,15	0,111	140	18	158
K -> R/S	1	0,1137	0,0204	1,40	0,350	133	183	316
	2	0,1137	0,0204	1,40	0,350	133	183	316

7.1.3 Hydraulické vyvážení

K hydraulickému vyvážení soustavy bylo využito regulačních šroubení (RŠ) umístěných na sestavě rozdělovač/sběrač (IVAR.CS 553 DRS) a termostatických ventilů (TRV). I otevřená armatura se projevuje tlakovou ztrátou. Tlakovou ztrátu všech armatur vypočteme dle následujícího vzorce (37). [10]

$$\Delta p_{RŠ,TRV,(...)} = 100 \cdot \frac{V_i^2}{k_v^2} \quad (37)$$

kde $\Delta p_{RŠ,TRV,(...)}$ je tlaková ztráta použité armatury [kPa],
 V_i objemový průtok daného okruhu [m³/h],
 k_v jmenovitý průtok armaturou [m³/h].

Jmenovitý průtok armaturou pro jednotlivá nastavení zjistíme z technického listu výrobce.

V tab. 14 jsou tlakové ztráty, které způsobují jednotlivé armatury včetně stupně přednastavení RŠ a TRV pro jednotlivá OT. Hodnoty k_v pro jednotlivá přednastavení RŠ jsem odečetl z technického listu výrobce (tab. 12), stejně tak u TRV (tab. 13). H šroubení má $k_{vs} = 1,48$ a způsobuje tlakovou ztrátu $\Delta p_{H\check{S}}$, sběrač má $k_v = 2,5$ a způsobuje tlakovou ztrátu Δp_s .

Tabulka 12 k_v hodnoty přednastavení RŠ [17]

Pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Otáčky	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 3/4	3 1/2	5	6 1/4	7	7 1/2	8	Max
k_v	0,06	0,11	0,21	0,31	0,37	0,52	0,78	1,03	1,30	1,56	1,82	2,08	2,34	2,60

Tabulka 13 k_v hodnoty přednastavení ventilové vložky (TRV) [13]

Otopná tělesa v provedení VENTIL KOMPAKT bez přípojovacích armatur																
Ventil s termostatickou hlaví																
Stupeň nastavení ventilu	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
k_v [m ³ /h]	0,05	0,13	0,18	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66	0,71	0,75
Ventil bez termostatické hlavice																
Stupeň nastavení ventilu	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
k_v [m ³ /h]	0,05	0,16	0,22	0,27	0,33	0,38	0,41	0,43	0,54	0,65	0,82	0,98	1,11	1,23	1,33	1,43

Tab. 14 Stupeň přednastavení regulačních armatur a celková tlaková ztráta jednotlivých okruhů

Otopné těleso	Δp_{POTR} [Pa]	$\Delta p_{H\check{S}}$ [Pa]	Stupeň přednastavení TRV	Δp_{TRV+OT} [Pa]	Δp_s [Pa]	Stupeň přednastavení RŠ	$\Delta p_{R\check{S}}$ [Pa]	Δp_o [Pa]
OT1 (A1)	218	152	7,5	659	53	7	546	1627
OT2 (A2)	187	23	4,5	283	8	3	1133	1634
OT3 (A3)	533	85	8	332	30	6	691	1672
OT4 (A4)	627	128	7,5	558	45	8	265	1623
OT5 (A5)	640	137	8	533	48	8	283	1641
OT6 (A6)	202	32	3	722	11	4	722	1688
OT7 (A7)	88	12	1,5	793	4	3	583	1480
OT8 (A8)	383	69	5,5	562	24	6	562	1602
OT9 (A9)	807	152	8	590	53	14	49	1651
OT10 (A10)	317	82	6	553	29	6	664	1644
K -> R/S	631	-	-	-	2721	-	-	3351

7.1.4 Zdroj tepla

Pro verzi s otopnými tělesy volím jako zdroj tepla pro vytápění a pro přípravu teplé vody kondenzační plynový kotel Logamax plus GB122i-15 (obr. 10) s výkonem od 2,3 do 15 kW.

Kondenzační plynové kotle mají vysokou účinnost díky využívání tepla z kondenzace vodní páry ve spalinách [18]. Účinnost kotle při 30 % jmenovitého tepelného výkonu v nízkoteplotním režimu je dle energetického listu výrobce [19] 98,6 %.

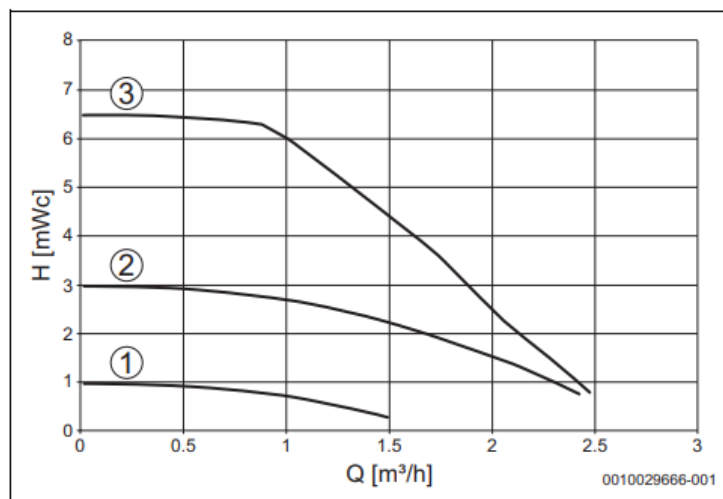
Součástí kotle je i oběhové čerpadlo a expanzní nádoba. Oba tyto komponenty se musí zkontrolovat, zda dostačují.



Obr. 10 Logamax plus GB122i-15 [20]

Oběhové čerpadlo

Navržená soustava má průtočné množství $\dot{V} = 0,488 \text{ m}^3/\text{h}$. Tlaková ztráta soustavy je 5 kPa. Čerpadlo bude řízeno na konstantní tlak. Na obr. 11 je charakteristika oběhového čerpadla. Z této charakteristiky můžeme říct, že oběhového čerpadlo dodávané s kondenzačním kotlem vyhovuje.



Obr. 11 Charakteristika oběhového čerpadla při konstantním tlaku [20]

Expanzní nádoba

Expanzní tlaková nádoba dodávána s kotlem má objem 12 l. Pro výpočet minimálního objemu expanzní nádoby jsem použil postup z prezentace [21].

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} + 100 \quad (38)$$

kde $p_{d,dov,A}$ nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa],
 h výška vodního sloupce [m],
 ρ hustota vody [kg/m³],
 g tíhové zrychlení [m/s²].

Protože je expanzní nádoba v úrovni otopné soustavy, která je pouze v rámci jednoho podlaží, tak volím $p_{d,dov,abs} = 150$ kPa. Hodnotu $p_{h,dov,A}$ jsem zvolil 450 kPa na základě přetlaku otevíracího ventilu 350 kPa zvětšeného o atmosférický tlak 100 kPa.

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{450 - 150}{450} = 0,67 \quad (39)$$

kde $p_{h,dov,A}$ nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa],
 η stupeň využití expanzní nádoby [-].

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_S \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 76 \cdot 0,00959}{0,67} = 1,42 \text{ l} \quad (40)$$

kde V_S je objem vody v otopné soustavě [m^3],
 n součinitel zvětšení objemu [-].

Součinitel zvětšení objemu n jsem odečetl z tab. 15, kde $\Delta\theta_{max}$ odpovídá teplotě vody na přívodu snížené o 10 K. Protože hodnota 35 K v tabulce není, aproximoval jsem mezi hodnotami pro 30 a 40 K.

Tab. 15 Hodnoty součinitele zvětšení objemu [21]

$\Delta\theta_{max}$	20	30	40	45	50	55	60	65	70
n	0,0041	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
$\Delta\theta_{max}$	75	80	85	90	95	100	105	110	115
n	0,03198	0,03553	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435

Z výsledku 1,42 l vyplývá, že expanzní nádoba vyhovuje s poměrně velkou rezervou.

7.2 Verze s podlahovým vytápěním

V této verzi projektu budu navrhovat podlahové vytápění řešeného rodinného domu. Teplotní spád jsem zvolil 38/30 °C. Otopná podlahová plocha bude v každé vytápěné místnosti kromě spíže 1.03, technické místnosti 1.05, chodby 1.10 a garáže 1.12, kde stejně jako v předchozí verzi bude instalováno deskové OT. V místnostech 1.03, 1.05 a 1.10 je tepelná ztráta hrazena okolními místnostmi.

Podlahové vytápění patří mezi systémy velkoplošného sálavého vytápění. Projektant se může rozhodnout mezi několika variantami provedení, která se dělí:

- podle způsobu provedení otopné plochy:
 - suchý způsob,
 - mokrý způsob,
 - modulové klima-desky,
 - kapilární rohože;
- podle způsobu pokládky otopného hadu:
 - meandr,
 - plošná spirála. [1]

U tohoto projektu jsem se rozhodl pro mokrý způsob pokládky, protože nám umožňuje použít velmi podobné složení podlahy, jako v předchozí variantě. Způsob pokládky otopného hadu se v praxi používá stejný v celém objektu. Volím meandr.

7.2.1 Tepelně-technický výpočet

Při výpočtu podlahové otopné plochy nesmí střední povrchová teplota překročit hygienické limity a musí svým výkonem pokrýt tepelnou ztrátu. Použitý výpočet vychází z teorie jednorozměrného vedení tepla a je podrobně popsán v [1].

Střední povrchová teplota θ_p [°C] se počítá ze vztahu (41):

$$\theta_p = \theta_i + \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (\theta_m - \theta_i) \cdot \frac{tgh \cdot \left(m \cdot \frac{l_t}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} \quad (41)$$

Kde θ_i je vnitřní výpočtová teplota [°C],
 θ_m střední teplota otopné vody [°C],
 m charakteristické číslo podlahy [-],
 Λ_a tepelná propustnost vrstev nad střední rovinou uložení trubek [W/m² K],
 α_p celkový součinitel na přestup tepla na povrchu otopné plochy [W/m² K],
 l_t rozteč trubek [m].

Charakteristické číslo podlahy m [1/m] při respektování válcového tvaru zdrojů tepla se počítá:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d_{vn}}} \quad (42)$$

kde λ_d je tepelná vodivost materiálu do kterého jsou zalaty trubky [W/m K],
 Λ_b tepelná propustnost vrstev pod střední rovinou uložení trubek [W/m² K],
 d_{vn} vnější průměr trubek [m].

Tepelná propustnost nad střední rovinou trubek se vypočítá:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad (43)$$

kde a je tloušťka jednotlivých vrstev na střední rovinou trubek [m],
 λ_a součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev [W/m K],
 α_p celkový součinitel přestupu tepla na podlaze [W/m² K].

Tepelná propustnost pod střední rovinou trubek se vypočítá obdobně:

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad (44)$$

kde b je tloušťka jednotlivých vrstev pod střední rovinou trubek [m],
 λ_b součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev [W/m K],
 α_p' celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně podlahy [W/m² K].

Nyní když známe střední povrchovou teplotu, můžeme vypočítat měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem nahoru q [W/m²].

$$q = \alpha_p \cdot (\theta_p - \theta_i) \quad (45)$$

Měrný tepelný tok podlahovou plochou směrem dolů q' [W/m²] se určuje různě. Záleží, zda je teplota nad a pod podlahou stejná, či nikoli. Pokud jsou vnitřní teploty rozdílné postupujeme takto:

$$q' = \alpha_p \cdot \frac{\Lambda_b}{\Lambda_a} \cdot (\theta_p - \theta_i) + \Lambda_b \cdot (\theta_i - \theta_i') \quad (46)$$

kde θ_i' je vnitřní teplota prostoru pod podlahou [°C].

Potřebnou otopnou plochu vypočteme následovně:

$$S_p = \frac{Q_c}{q} \quad (47)$$

Tepelný příkon Q_{PC} [W], který budeme potřebovat pro hydraulický výpočet se vypočítá:

$$Q_{PC} = S_{real} \cdot (q + q') \quad (48)$$

kde S_{real} je reálná plocha otopného hadu [m²].

Výsledky výpočtu jsem vložil do tab. 16. V tabulce si můžeme všimnout, že při porovnání tepelné ztráty $\Phi_{HL,i}$ s výkonem do místnosti Q [W] nemá úsek A7 dostatečný výkon.

Jedná se o úsek v koupelně, kde bude pro pokrytí tepelné ztráty přidáno elektrické trubkové otopné těleso s patronou o výkonu 300 W.

Tab. 16 Výsledky tepelně technického výpočtu podlahové otopné plochy

ÚSEK	$\Phi_{HL,i}$ [W]	θ_p [°C]	q [W/m ²]	q' [W/m ²]	S_{real} [m ²]	Q [W]	Q_{PC} [W]	
A1	613	25,8	70,0	3,8	11,3	791	833	
A2	204	27,1	85,5	4,1	3,8	325	340	
A3	395	25,8	70,0	3,8	10,8	756	796	
A4	315	25,8	70,0	3,8	8,6	602	634	
A5	461	25,8	70,0	3,8	12,6	882	929	
A6	607	Otopné těleso – garáž						
A7	420	29,1	61,0	4,2	4,7	287	307	
A8	389	24,1	49,0	4,4	10,6	519	565	
A9	538	23,9	46,6	4,3	14,2	662	723	
A10	412	23,9	46,6	4,3	11,0	513	560	
SUMA	4353					5335		

7.2.2 Hydraulický výpočet

Postup hydraulického výpočtu je shodný s výpočtem pro otopná tělesa (kapitola 7.1.2.). V tab. 17 jsou tlakové ztráty jednotlivých okruhů podlahové otopné plochy, v tab. 18 je hydraulický výpočet OT umístěného v garáži a úseku od vnitřní jednotky VJ k rozdělovači, který je proveden z mědi.

Tab. 17 Tlaková ztráta třením a místními odpory v jednotlivých úsecích


úsek	m [kg/s]	d [m]	l [m]	w [m/s]	Δp_{zt} [Pa]	Δp_{zm} [Pa]	Δp_{potr} [Pa]
A1	0,0249	0,13	44,35	0,188	2138	78	2215
A2	0,0102	0,13	36,9	0,077	391	19	410
A3	0,0238	0,13	57,8	0,180	2463	160	2623
A4	0,0189	0,13	35,7	0,143	824	62	886
A5	0,0277	0,13	57,6	0,210	3739	133	3872
A7	0,0092	0,13	30,8	0,069	294	13	307
A8	0,0169	0,13	90	0,128	1584	36	1620
A9	0,0216	0,13	84,5	0,163	2769	73	2842
A10	0,0167	0,13	61,2	0,127	1066	44	1110

Tab. 18 Tlaková ztráta třením a místními odpory OT v garáži

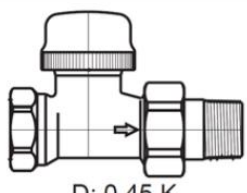
	úsek	m [kg/s]	d [m]	l [m]	w [m/s]	Δp_{zt} [Pa]	Δp_{zm} [Pa]	Δp_{potr} [Pa]
OT1	1	0,0183	0,0116	12,30	0,174	493	45	538
	2	0,0183	0,0116	12,25	0,174	491	45	536
VJ -> R	1	0,1698	0,0200	1,40	0,543	305	587	892
	2	0,1698	0,0200	1,40	0,543	305	587	892

7.2.3 Hydraulické vyvážení

Okruhy podlahového vytápění jsou napojeny na sestavu rozdělovač/sběrač IVAR.CS 553 DRS umístěnou v technické místnosti. Sestava je shodná s tou ve verzi s OT. Vyvažování probíhá jako v kapitole 7.1.3. K vyvážení soustavy byla využita RŠ, která jsou součástí sestavy rozdělovač/sběrač. Dále na každý úsek byly přidány TRV, které jsou osazeny hlavici pro regulaci na základě teploty v místnosti. Na úsek A7 bylo potřeba, z důvodu doregulování, přidat dodatečné přímé regulační šroubení (PRŠ). Hodnoty k_v pro PRŠ viz obr. 12 pro TRV viz obr. 13. V tab. 19 jsou hodnoty přednastavení RŠ, TRV a PRŠ pro jednotlivé úseky a jimi způsobené tlakové ztráty.

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	Max
K_v	0.14	0.20	0.31	0.43	0.60	0.79	1.00	1.20	1.35

Obr. 12 k_v hodnoty přednastavení PRŠ DN 15 [30]

ART. VD2101N + T3000 + T5000		Pp	qmN (kg/h)	$k_{v1}(\Delta t=-1K)$	$k_{v2}(\Delta t=-2K)$	qm max (kg/h)	a
 D: 0,45 K	DN10	6	180 ±10%	0.30	0.57	240	0.40
		5	155 ±10%	0.32	0.49	210	0.41
		4	115 ±15%	0.27	0.36	130	0.19
		3	90 ±15%	0.25	0.28	95	0.09
		2	60 ±20%	0.17	0.19	60	0
		1	30 ±40%	0.09	0.09	30	0

Obr. 13 k_v hodnoty přednastavení TRV [29]

Tab. 19 Hodnoty přednastavení regulačních armatur pro jednotlivé úseky

Okruh	Δp_{potr} [Pa]	Δp_s [Pa]	Stupeň přednastavení RŠ	$\Delta p_{RŠ}$ [Pa]	Stupeň přednastavení TRV	Δp_{TRV} [Pa]	Stupeň přednastavení PRŠ	$\Delta p_{PRŠ}$ [Pa]	Δp_o [Pa]
A1	2215	130	7	1332	5	3376			7054
A2	410	22	3	3065	2	3745			7242
A3	2623	118	7	1217	5	3084			7043
A4	886	75	4	4886	6	1445			7293
A5	3872	161	14	149	6	3102			7284
A6 (OT1)	1075	70	4	4551	6	1346		(HŠ) 200	7242
A7	307	18	3	2490	2	3041	3	1142	6997
A8	1620	60	4	3885	5	1555			7119
A9	2842	98	6	2255	6	1876			7070
A10	1110	59	4	3807	4	2823			7798

7.2.4 Zdroj tepla

Zdrojem tepla pro verzi s podlahovou otopnou plochou bylo zvoleno tepelné čerpadlo (TČ). Konkrétně Regulus RTC 6i (obr. 14) s tepelným výkonem 5,81 kW při podmínkách A2/W35, maximálních otáčkách kompresoru a topném faktoru 3,52 [22]. Kombinace tepelného čerpadla s podlahovým vytápěním představuje ideální kombinaci, která je výhodná jak pro životnost čerpadla, tak i z hlediska provozních nákladů. Tepelné čerpadlo nám poskytuje nižší energetickou závislost na externí síti a snižuje uhlíkovou stopu domácnosti.

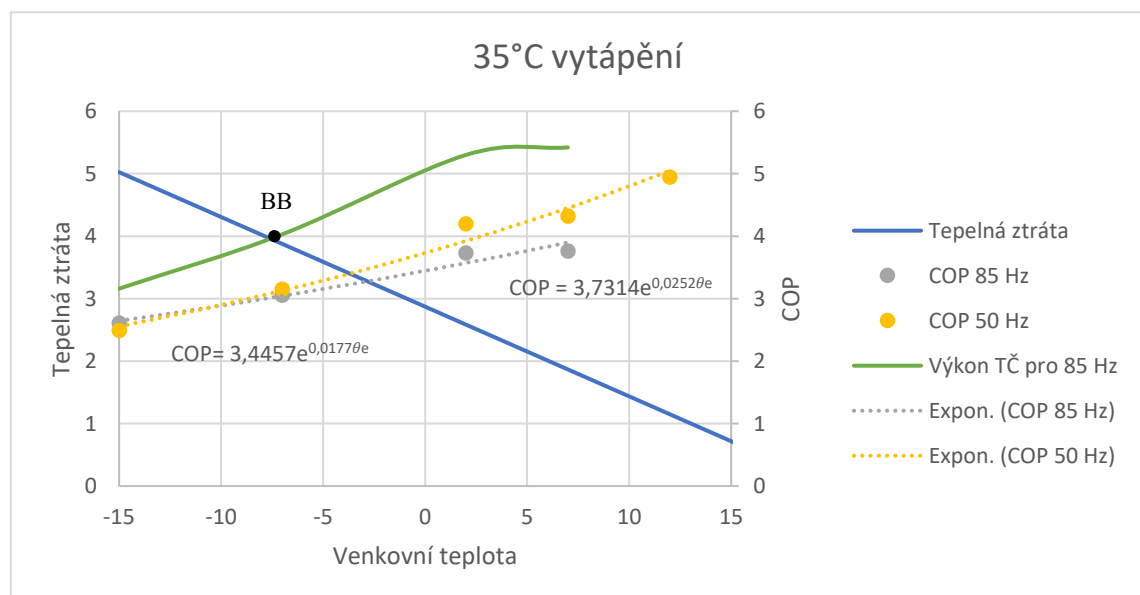


Obr. 14 Regulus RTC 6i [22]

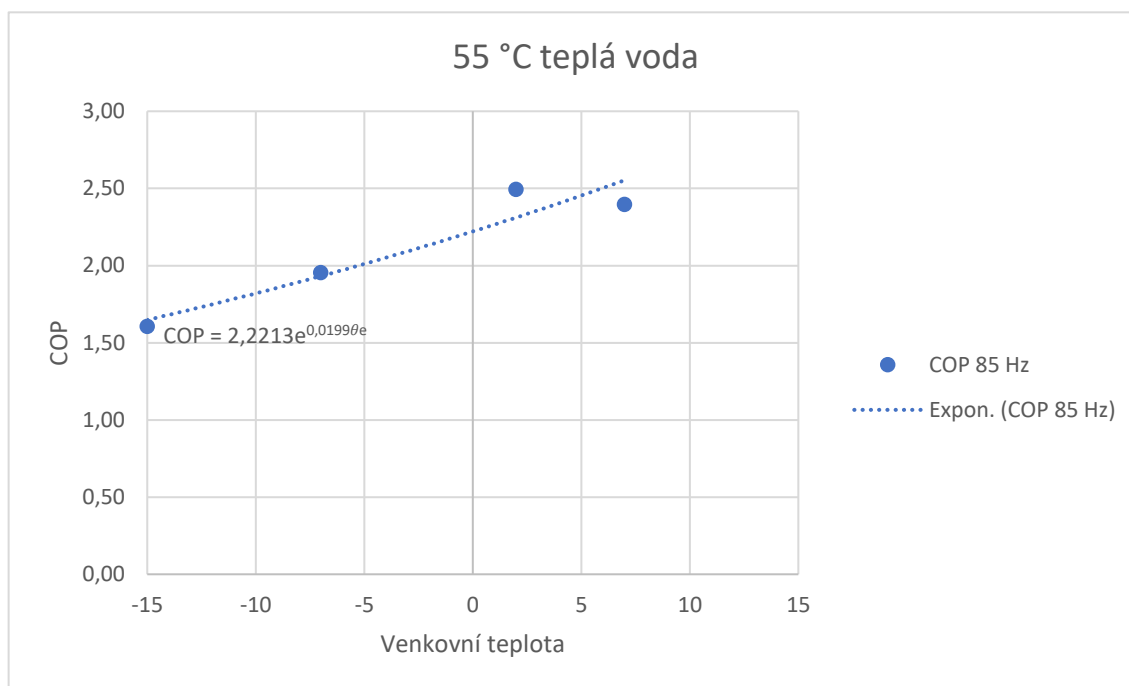
Tepelné čerpadlo bude využíváno, jak k vytápění, tak k přípravě teplé vody. Topný faktor COP [-] udává poměr mezi získanou tepelnou energií a elektrickou energií spotřebovanou tepelným čerpadlem. Dalším důležitým parametrem je bod bivalence (BB). Jedná se o teplotu, při které se zapíná záložní zdroj tepla, protože čerpadlo svým výkonem již nedokáže pokrýt tepelnou ztrátu domu a ohřev teplé vody.

Z technického listu výrobce [22] jsem odečetl hodnoty COP pro jednotlivé teploty venkovního vzduchu při konstantních otáčkách ventilátoru a vynesl je do grafů (obr. 15 a obr. 16). Pro režim vytápění bude čerpadlo pracovat ve dvou režimech v závislosti na venkovní teplotě. Pokud bude venkovní teplota nižší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ otáčky ventilátoru budou 85 Hz. V opačném případě budou 50 Hz. Pro ohřev teplé vody budou otáčky celý rok 85 Hz. Vynesené body jsem proložil exponenciální křivkou a pomocí rovnic jednotlivých křivek jsem stanovil přibližný topný faktor pro jednotlivé měsíce během roku. Jelikož se jedná o zjednodušenou aproximaci, vědomě se dopouštím při výpočtu určité chyby. Pro potřeby bakalářské práce je tato metoda dostačující. Výsledné hodnoty COP viz tab. 20.

V grafu (obr. 15) je rovněž vyznačen BB, který odpovídá teplotě $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 15 Grafické znázornění závislosti COP na venkovní teplotě při teplotě vody $35\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 16 Grafické znázornění závislosti COP na venkovní teplotě při teplotě vody 55 °C

Tab. 20 Hodnoty COP po měsících

Měsíc	Průměrná venkovní teplota	COP_{VYT}	COP_TV
	θ_{ep}		
	[°C]	[-]	[-]
Leden	-1,3	3,4	2,2
Únor	-0,1	3,4	2,2
Březen	3,7	4,1	2,4
Duben	8,1	4,6	2,6
Květen	13,3	5,2	2,9
Červen	16,1	5,6	3,1
Červenec	18	5,9	3,2
Srpen	17,9	5,9	3,2
Září	13,5	5,2	2,9
Říjen	8,3	4,6	2,6
Listopad	3,2	4,0	2,4
Prosinec	0,5	3,8	2,2

Oběhové čerpadlo a expanzní nádoba, které jsou součástí vnitřní jednotky TČ byly zkontrolovány stejně jako v kapitole 7.1.4. Obě zařízení vyhovují.

8 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

V této kapitole se budeme věnovat vzájemnému porovnání investičních a provozních nákladů u obou verzí výpočtu.

8.1 Investiční náklady

Do investičních nákladů jsem zahrnul kompletní otopnou soustavu, rozdíl ve skladbě podlahy pro jednotlivé verze a práci. Cena práce byla odhadnuta pomocí webových stránek [23]. V tab. 21 je výkaz výměr pro verzi s otopnými tělesy a v tab. 22 pro verzi s podlahovou otopnou plochou. Velký rozdíl v celkové ceně mezi jednotlivými verzemi tvoří rozdílné zdroje tepla. Pořizovací cena tepelného čerpadla je oproti kondenzačnímu kotli více jak dvojnásobně vyšší. Skladby podlah se mezi sebou liší přidáním systémové desky a větší vrstvou anhydritu. Rozdíl v ceně podlahy byl určen podle webové kalkulačky [24]. V ceně podlahy je zahrnuta i cena práce. Ceny jsou bez DPH.

Tab. 21 Výkaz výměr verze s OT

PRVEK	POČET KUSŮ/DÉLK A	CENA ZA KUS/METR	CENA CELKEM
	[ks]; [m]	[Kč/ks]; [Kč/m]	[Kč]
Korado Radik VK, VKL 500x1100x66	1	4706	4706
Korado Radik VK, VKL 500x1600x100	3	7799	23397
Korado Radik VK, VKL 500x1000x100	1	6021	6021
Korado Radik VK, VKL 500x1400x66	1	5318	5318
Korado Radik VK, VKL 500x1600x66	1	5726	5726
Korado Radik VK, VKL 500x1200x100	1	6614	6614
Korado Radik VK, VKL 500x1200x66	1	4910	4910
Koraluc Linear MAX – M 1495 x 600	1	4972	4972
Trubka RAUTITAN flex 16x2,2	195	49,4	9633
Cu Měděná truka 22x1	3	152	456
Izolace Mirelon 18/20	195	31,25	6093,75
Izolace Mirelon 22/20	3	34,9	104,7
Koleno 90° Rautitan PX 16-16	40	149	5960
Cu koleno 90° 22-22	2	24,18	48,36
Vekolux DN 15 H – šroubení	10	838	8380
HEIMER svěrné šroubení 16x2	20	86	1720
Sestava rozdělovač//sběrač + skříň, 10cestný, IVAR	1	14411	14411
Termostatická hlavice Heimeier Typ K	10	428	4280
Balíček Logamax plus GB122i-15 + Logalux S120/5 W + kouřovod + sání spalovacího vzduchu	1	61800	61800
Topenářské práce	1	79728	79728
			254 279 Kč

Tab. 22 Výkaz výměr verze s podlahovým vytápěním

PRVEK	POČET KUSŮ/DÉLKA	CENA ZA KUS/METR KATALOG	CENA KATALOG CELKEM
	[ks]; [m]	[Kč/ks]; [Kč/m]	[Kč]
Koralux Linerar Comfort E 1500x600	1	7192	7192
Korado Radik VK, VKL 500x1200x66	1	4910	4910
Univerzální trubka RAUTITAN flex 16x2,2	25	49,4	1235
Potrubí IVAR.PE-Xa	500	40	20000
Cu Měděná truka 22x1	3	152	456
Cu koleno 90° 22-22	2	24,18	48,36
Vekolux DN 15 H - šroubení	1	838	838
HEIMER svěrné šroubení 16x2	2	86	172
Izolace Mirelon 18/20	105	31,25	3281,25
Izolace Mirelon 22/20	3	34,9	104,7
Termostatický ventil IVAR.VD 2101N	9	359	3231
Regulační šroubení přímé IVAR.DD 301	1	338	338
Termostatická hlavice Heimeier Typ K	1	428	428
Termostatická hlavice s odděleným čidlem Siemens RTN 71	9	904	8136
Systémová izolační deska IVAR.TH15 P	170	371	63070
Rozdíl ceny anhydritové vrstvy	1	40000	40000
Sestava rozdělovač//sběrač + skříň , 10 cestný, IVAR	1	14411	14411
Tepelné čerpadlo RTC 6i + Regulus BOX + zásobník teplé vody 170 l včetně instalace	1	230000	230000
Topenářské práce	1	64700	64700
			462 551 Kč

8.2 Provozní náklady

V provozních nákladech je zahrnuta spotřeba plynu, elektrické energie a stálé měsíční poplatky, které se odvíjí od tarifu odběru a využívaného jističe. K oběma variantám jsem kvůli rozdílnému tarifu, a tedy i sazbě za něj, přičetl 2 MWh/rok elektrické energie. Jedná se o běžnou hodnotu, která odpovídá spotřebě elektrické energie na svícení a provoz běžných spotřebičů [25].

Jako dodavatele elektrické energie i plynu jsem zvolil ČEZ. Pro variantu s otopnými tělesy volím tarif D02d a rezervovaný příkon jističe 3x16 A. Pro verzi s podlahovým vytápěním tarif D56d a příkon jističe 3x20 A. Pro výpočet jsem použil ceníky platné od

1. 6. 2024 dostupné na webu [26]. Vzhledem k aktuální ekonomické situaci v České republice volím meziroční nárůst cen 5 %.

V jednotkové ceně za MWh elektrické energie u tarifu D56d jsem neuvažoval rozdíl mezi vysokým a nízkým tarifem. V aktuálním ceníku není rozdíl natolik velký, aby měl na výsledek práce zásadní vliv. V následujících tabulkách (tab. 23 a tab. 24) jsou náklady na provoz obou verzí během prvního roku provozu. Do stálých poplatků k verzi s otopnými tělesy jsem zahrnul i 2000 Kč ročně za revizi plynového kotle.

Tab. 23 Provozní náklady první rok provozu verze s podlahovým vytápěním

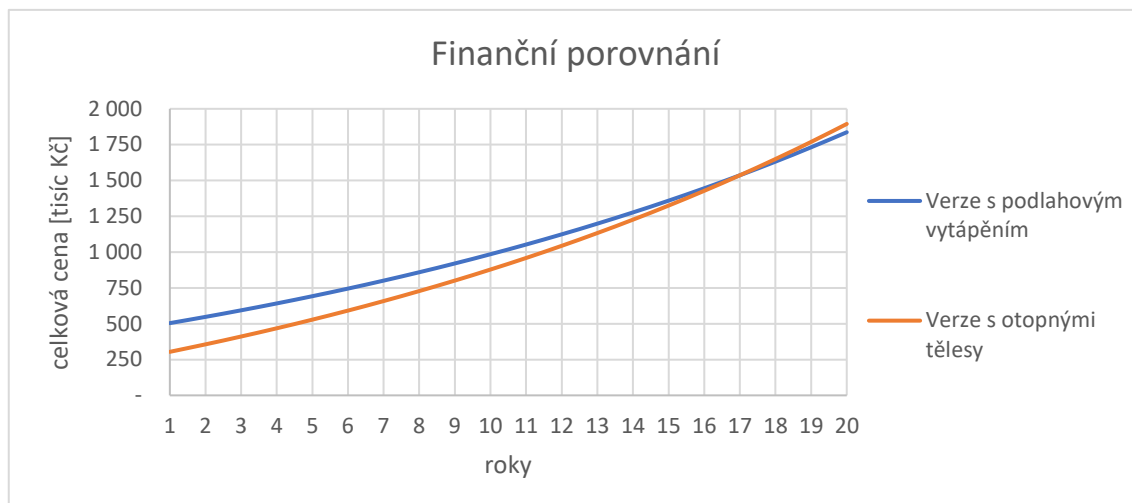
Verze s podlahovým vytápěním	Roční spotřeba [MWh]	Cena za MWh [Kč]	Stálé poplatky [Kč/rok]	Celkové provozní náklady [Kč/rok]
Elektrická energie	6,2	5 646,59	6 274,68	41 549

Tab. 24 Provozní náklady první rok provozu verze s otopnými tělesy

Verze s otopnými tělesy	Roční spotřeba [MWh]	cena za MWh [Kč]	Stálé poplatky [Kč/rok]	Celkové provozní náklady [Kč/rok]
Elektrická energie	2	7 080,70	3 816,00	49 604
Plyn	11	2 312,65	6 230,24	

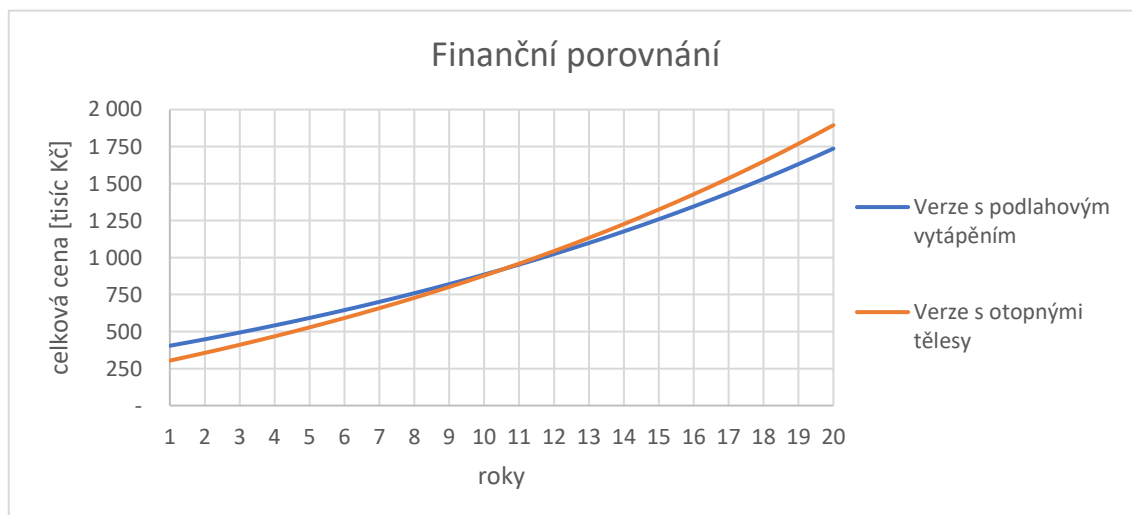
8.3 Celkové náklady

Pokud investiční i provozní náklady vložíme do jednoho grafu a podíváme se na vývoj v horizontu 20 let (uvažovaná životnost). Můžeme vidět, že po 17 letech dosáhnou obě varianty na stejnou hodnotu kumulativních nákladů. Po 20 letech dosáhneme rozdílu téměř 58 tisíc Kč ve prospěch varianty s podlahovým vytápěním viz graf (obr. 18).



Obr. 17 Grafické finanční porovnání s dotací

V případě dosažení státní dotace Nová zelená úsporám, mohou majitelé domů získat až 100 tisíc Kč na tepelná čerpadla vzduch – voda sloužící pro vytápění a ohřev teplé vody [27]. Takto se celkové náklady vyrovnají po 11 letech viz graf (obr. 17). Rozdíl v nákladech po 20 letech činí téměř 158 tisíc Kč ve prospěch varianty s podlahovým vytápěním.



Obr. 18 Grafické finanční porovnání bez dotace

9 DISKUSE

Cílem této bakalářské práce, bylo porovnat systém vytápění s otopnými tělesy se systémem vytápění s podlahovou otopnou plochou. Jako zdroj tepla pro soustavu s otopnými tělesy jsem zvolil plynový kondenzační kotel, zdrojem tepla pro podlahovou otopnou plochu je tepelné čerpadlo. Hlavními porovnávacími faktory byly investiční náklady, provozní náklady a úroveň komfortu.

Investiční náklady na otopnou soustavu s otopnými tělesy činily 255 tisíc Kč a na soustavu s podlahovou otopnou plochou 463 tisíc Kč. Největší rozdíl tvoří násobně vyšší cena tepelného čerpadla oproti plynovému kondenzačnímu kotli. Pořizovací náklady by mohly být nižší, pokud by vybavení bylo zakoupeno během nákupní akce, nebo pokud by bylo vše objednáno u jedné firmy, což by mohlo přinést výhodnější cenovou nabídku.

Provozní náklady jsou tvořeny jednotkovou cenou za MWh energie a stálými poplatky. U provozních nákladů jsem uvažoval 5% meziroční zdražování. Během prvního roku je rozdíl v ročních provozních nákladech otopných soustav 8 tisíc Kč. Poslední uvažovaný dvacátý rok tvoří rozdíl 20 tisíc Kč. Tento scénář ovšem nemusí nastat, a skutečné zdražování může být vyšší, nebo nižší. To by ovlivnilo reálné náklady na provoz obou systémů vytápění.

Při pohledu na finanční porovnání obou soustav viz grafy na obr. 16 a 17 můžeme zjistit, že dotace na tepelné čerpadlo tvoří zásadní rozdíl v ekonomické návratnosti soustav vůči sobě. V případě absence dotace nehraje ekonomický pohled na věc velkou roli. Ale i pokud získáme dotaci na tepelné čerpadlo, bude rozdíl v celkových nákladech po 20 letech „pouhých“ 158 tisíc Kč ve prospěch podlahového vytápění oproti otopným tělesům. I přes vyšší počáteční investiční náklady u podlahového vytápění, díky nižším provozním nákladům, se tato investice vyrovná v horizontu 17 let. S dotací na tepelné čerpadlo za 11 let.

Podlahové vytápění ve srovnání s otopnými tělesy poskytuje vyšší úroveň komfortu. Kromě rovnoměrné distribuce tepla po celé ploše místnosti zajišťuje (při správném návrhu) komfortní povrchovou teplotu podlahy pro chůzi bosýma nohama. Ovšem, jak je popsáno v kapitole 2, je tepelný komfort z velké části subjektivním pocitem. To, co je příjemné jednomu člověku, nemusí vyhovovat druhému.

Na základě výsledků v této bakalářské práci je ekonomicky výhodnější verze s podlahovým vytápěním. Nicméně je důležité zdůraznit, že soustavy s otopnými tělesy nejsou špatným řešením. Jsou cenově dostupnější z hlediska počátečních nákladů a mohou být ekonomicky výhodné v krátkodobém horizontu. Navíc, otopná tělesa poskytují rychlou odezvu na změny teploty, což může být výhodné v určitých situacích a typech objektů. Při volbě systému vytápění je tedy důležité zvážit nejen ekonomické faktory, ale také specifické potřeby daného objektu či preference investora s ohledem na energetickou nezávislost daného řešení.

10 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem porovnával systém vytápění s otopnými tělesy se systémem s podlahovou otopnou plochou. S ohledem na porovnávací faktory, kterými jsou investiční a provozní náklady, doporučuji za mnou uvažovaných podmínek použít soustavu s podlahovou otopnou plochou a tepelným čerpadlem. Tento systém se i přes vyšší investiční náklady, díky nižším provozním nákladům vyrovná soustavě s otopnými tělesy a kondenzačním plynovým kotlem za 11 až 17 let v závislosti na dotaci na TČ.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAŠTA, Jiří a Ondřej HOJER. *Sálavé a průmyslové vytápění*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2021. ISBN 978-80-01-06814-4.
- [2] CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. In: *Tzbinfo* [online]. 2000, 2. kapitola [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha, 2011.
- [4] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu*. 09/2018. Český normalizační institut.
- [5] ATREA. Atrea Duplex Easy2. ATREA. *Atrea* [online]. 1998 [cit. 2024-06-04]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-easy2>
- [6] Koncepční návrh větrání RD: Výpočet tepelných ztrát. In: *Vladimír Zmrhal* [online]. 2020 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/vladimir.zmrhal/language/cs/vyuka/oborovy-projekt-ii/>
- [7] Výpočet potřeby tepla a paliva. In: *Roman Vavříčka* [online]. 2017 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Projekt%20III.html>
- [8] ČESKÁ AGENTURA PRO NORMALIZACI. *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1*. 2020.
- [9] ŠIKULA, Ondřej a Jiří ŠÍMA. Chlazení sáláním proti noční obloze – teoretické zhodnocení v podmínkách ČR. *Tzbinfo* [online]. 2010 [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/7033-chlazení-saláním-proti-noční-obloze-teoretické-zhodnocení-v-podmínkách-cr>
- [10] BAŠTA, Jiří a Jindřich BOHÁČ. *Navrhování otopných soustav*. Společnost pro techniku prostředí – odborná sekce Vytápění, 2023. ISBN 978-80-02-03009-6.

- [11] ZMRHAL, Vladimír. Chladící stropy. In: *Vladimír Zmrhal* [online]. 2006 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/OT1_2006.pdf
- [12] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. 3. přepracované vydání. Společnost pro techniku prostředí – odborná sekce Vytápění, 2008. ISBN 978-80-02-02064-6.
- [13] KORADO. *Korado* [online]. 2024 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/>
- [14] JIŘÍ, Bašta. Otopné plochy (IV - 2.část): přepočet tepelného výkonu. In: *Tzbinfo* [online]. 2006 [cit. 2024-06-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3192-otopne-plochy-iv-2-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>
- [15] Moody chart. In: *Wikipedia* [online]. 2023 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart
- [16] REINBERK, Zděnek. Přibližný výpočet tlakové ztráty třením v potrubí. In: *Tzbinfo* [online]. 2001 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/potrubni-trasy-vodovod/1002-priblizny-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi>
- [17] *Technický list: Sestava rozdělovač / sběrač IVAR.CS 553 DRS* [online]. 2023.
- [18] VLADIMÍR, Valenta. Kondenzační kotel pro každého. In: *Tzbinfo* [online]. 2002 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>
- [19] *Energetický list Logamax plus GB122i-15 T H*. 2019.
- [20] *Návod k montáži Logamax plus GB122i-15 T H*. 2022.
- [21] Návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení. In: *Roman Vavříčka* [online]. 2017 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapani/003_Pojistne_a_zabezpecovaci_zarizeni.pdf

- [22] *Technický list: Tepelné čerpadlo vzduch/voda RTC 6i*. 2023.
- [23] CENÍKY ŘEMESEL. *CENÍK ŘEMESEL: TOPENÁŘI* [online]. 2012 - 2024 [cit. 2024-06-04]. Dostupné z: <https://www.cenikyremesel.cz/ceniky/topenari>
- [24] BORŮVKA A SYN S.R.O. *KALKULAČKA CENY LITÉ PODLAHY* [online]. 2024 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://www.litipodlah.cz/cena-lite-podlahy/#anhydrit>
- [25] Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu. In: SKUPINA ČEZ. *SKUPINA ČEZ* [online]. 2024 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/elektrina/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu-174046>
- [26] SKUPINA ČEZ. *SKUPINA ČEZ* [online]. 2024 [cit. 2024-05-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/>
- [27] MŽP. *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2024-06-02]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [28] JIŘÍ, Bašta. Velkoplošné vytápění (I): Úvod do problematiky. In: *Tzbinfo* [online]. 2006, 26.6.2006 [cit. 2024-06-01]. Dostupné z: <https://m.tzb-info.cz/3383-velkoplosne-vytapeni-i>
- [29] Technický list: TERMOSTATICKÝ VENTIL DVOUREGULAČNÍ – PŘÍMÝ. In: IVAR. *IVAR.CS* [online]. 2020 [cit. 2024-06-04]. Dostupné z: https://www.ivarcs.cz/storage/Folder_File/58001-60000/59679-file-CSTL-IVAR.VD-2101-N.pdf
- [30] Technický list: Regulační šroubení přímé. In: IVAR. *IVAR.CS* [online]. 2020 [cit. 2024-06-04]. Dostupné z: https://www.ivarcs.cz/storage/Folder_File/58001-60000/59697-file-CSTL-IVAR.DD-301.pdf

12 PŘÍLOHY

Přílohy na CD

Příloha 1: Výpočetní excel	(xls)
Příloha 2: Bakalářská práce – elektronická verze	(pdf)
Příloha 3: Výkresová dokumentace	(pdf)

Seznam výkresové dokumentace

01	Půdorys – otopná tělesa	(A2)
02	Rozvinuté schéma – otopná tělesa	(A2)
03	Schéma zapojení – otopná tělesa	(A3)
04	Půdorys – podlahové vytápění	(A2)
05	Rozvinuté schéma – podlahové vytápění	(A2)
06	Schéma zapojení – podlahové vytápění	(A3)