

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**STUDIE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO
DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMÁŠ TARABA

6 – BS – 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Taraba** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **459641**
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:

Studie vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Study of the Family House Heating

Pokyny pro vypracování:

Určete tepelně-technické parametry stávajícího dvoupodlažního rodinného domu a navrhnete opatření tak, aby bylo vyhověno normativním požadavkům. Pro nové tepelně-technické parametry objektu navrhnete optimální otopnou soustavu, otopné plochy a zdroj tepla.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Velkoplošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128s., ISBN 978-80-247-3524-5.
Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT, Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0
Bašta, J.: Otopné plochy Otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. 204 s. ISBN 978-80-01-05943-2.
Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní Sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **04.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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 použitých literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Souhrn

Tato bakalářská práce obsahuje studii vytápění stávajícího rodinného domu v Mělníku. Rozdělil jsem jí do kapitol podle řešené problematiky. Na začátku kapitol je vždy stručné shrnutí poznatků o dané problematice a možná řešení. Následuje výběr řešení a jeho praktické uplatnění. Každá kapitola končí shrnutím výsledků.

První kapitolou je úvod, který popisuje zadanou budovu.

Druhou kapitolou je výpočet tepelných ztrát budovy prostupem a větráním dle ČSN EN 12 831-1 a popis jednotlivých konstrukcí budovy pro něž byly stanoveny součinitele přestupu tepla U a přidána opatření, aby bylo dosaženo doporučených součinitelů přestupu tepla $U_{N,20}$ dle normy ČSN 73 0540.

Třetí kapitola obsahuje popis funkce otopné soustavy pro kompenzaci tepelných ztrát z druhé kapitoly.

Čtvrtá kapitola představuje koncové prvky, předávající teplo do vytápěných místností, otopná tělesa. Přehled typů otopných těles a určení tepelného výkonu otopných těles a jejich výběr pro tuto budovu.

Pátá kapitola popisuje rozvody otopné vody od zdroje tepla k otopným tělesům a zpět. Zabývá se možnostmi jejich oběhu, prostorového rozvržení, návrhu pro řešenou budovu a výslednou navrženou soustavou.

Šestá kapitola se zabývá zdrojem tepla, typy kotlů, zásobníkem teplé vody a jeho návrhem.

Sedmá kapitola ukazuje regulaci jednotlivých částí otopné soustavy.

Osmá kapitola řeší potřebu tepla a paliva.

Devátou kapitolou je závěr, kde jsou shrnuty výsledky bakalářské práce.

Summary

This bachelor thesis is study of the family house heating for specific house in town Mělník in Czech republic. It is divided in chapters containing solution of problems. At the beginning of each chapter is introduction to a solved problem and its possible solutions. Next part of the chapter contains chosen solution and its use. At the end of every chapter is its result.

Chapter one is introduction which contains description of the building.

Second chapter is about computation of heat loss of the building by heat penetration of construction and aeration according ČSN EN 12 831-1 standard. Description of structures of building for whom has been found coefficients of heat transmission. Then were added measures for matching recommended coefficient by ČSN 73 0540 standard.

Third chapter contains description of heating system of building for compensation of heat loss from second chapter.

Fourth chapter presents heaters, the ending elements of heating system, which pass the heat to the heated rooms. Overview of types of heaters and determination of heat output and selection for the building.

Fifth chapter describes manifolds of heating water from the heat source to the heaters and back. It shows possibilities of circulation, layouts, suggestions for the building and project.

Sixth chapter deals with heat source, types of boilers and hot water storage tank and project of both.

Seventh chapter shows regulation of the individual parts of the heating system.

Eighth chapter is about need of the heat and fuel.

Ninth chapter of the bachelor work is conclusion which contains results of the bachelor work.

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph. D. za vedení při psaní bakalářské práce a za jeho poskytnutý čas a rady. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a své přítelkyni za podporu během celého mého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Studie vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 02. 07. 2021

.....
Tomáš TARABA

Obsah

1.	Úvod	1
1.1.	Popis budovy	2
2.	Tepelné ztráty budovy	3
2.1.	Konstrukce budovy	3
2.2.	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru	6
2.3.	Tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	7
2.4.	Tepelná ztráta větráním	10
2.5.	Výpočet místnosti	11
2.6.	Výsledné tepelné ztráty budovy	13
3.	Otopná soustava	14
4.	Otopné plochy	15
4.1.	Typy otopných ploch	15
4.2.	Návrh otopných těles	16
4.3.	Přepočet výkonu otopných těles	16
5.	Rozvody otopné soustavy	19
5.1.	Druhy otopných soustav	19
5.2.	Volba otopné soustavy	21
5.3.	Návrh světlosti potrubí	22
6.	Zdroj tepla	25
6.1.	Návrh zdroje tepla	25
6.2.	Přednostní příprava teplé vody	25
6.3.	Zásobník teplé vody	26
7.	Regulace otopné soustavy	30
7.1.	Regulace tepelného výkonu	30
7.2.	Hydraulická regulace rozvodů	31
8.	Potřeba tepla a potřeba paliva	33
8.1.	Potřeba tepla pro vytápění	33
8.2.	Potřeba tepla pro ohřev teplé vody	34
8.3.	Potřeba paliva	35
8.4.	Provozní náklady soustavy	36
9.	Závěr	37
	Seznam použité literatury	38
	Seznam příloh	40

Soupis použitého značení

A_k	.... plocha stavební části	[m ²]
B'	.... geometrický parametr podlahové desky	[m]
c	.... měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku	[J/kg.K]
c	.... měrná tepelná kapacita	[kJ/kg.K]
c	.... měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
c_p	.... měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	[Wh/kg.K]
d	.... vnitřní průměr potrubí	[m]
e_d	.... opravný součinitel na zkrácený doby vytápění	[-]
e_i	.... opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty infiltrace a prostupem	[-]
e_t	.... opravný součinitel na snížení vnitřních teplot v místnosti během dne	[-]
$f_{GW,k}$	.... opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$f_{ie,k}$	.... teplotní opravný součinitel	[-]
f_m	.... opravný součinitel na odlišný průtok	[-]
f_n	.... opravný součinitel na počet článků	[-]
f_o	.... opravný součinitel na úpravu okolí	[-]
f_p	.... opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru	[-]
$f_{U,k}$	.... opravný součinitel zohledňující vlastnosti stavebních částí	[-]
f_x	.... opravný součinitel na připojení tělesa	[-]
$f_{\Delta t}$	.... opravný součinitel na teplotní rozdíl	[-]
$f_{\theta_{ann}}$	.... opravný součinitel na vliv změny venkovní teploty v průběhu roku	[-]
H_s	.... spalné teplo	[kJ/m ³]
$H_{T,ia}$	.... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,iae}$	.... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy	[W/K]
$H_{T,iBE}$	.... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu	[W/K]
$H_{T,ie}$	.... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	.... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]

k	.... součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.K]$
l	.... délka potrubí	$[m]$
n_d	... počet dávek	$[-]$
n_j	... počet jídel	$[-]$
n_u	... počet uživatelů	$[-]$
$n_{min,i}$	.... minimální intenzita větrání místnosti	$[1/h]$
n_{ot}	.... teplotní exponent otopného tělesa	$[-]$
N_{pl}	.... náklady na odběr plynu	$[Kč]$
n_u	... počet (výměra) ploch	$[-]$
p_d	... součinitel prodloužení doby dodávky	$[-]$
P_z	.... výkon zdroje tepla	$[kW]$
Q	.... tepelný výkon otopného tělesa	$[W]$
Q_{2p}	.... teplo dodané ohříváčem teplé vody	$[kWh/per]$
Q_{2t}	.... teplo pro ohřev vody	$[kWh/per]$
Q_{2z}	.... teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody	$[kWh/per]$
Q_d	.... teoretické potřeba tepla	$[J]$
$Q_{d,tv}$	.... potřeba tepla pro ohřev teplé vody	$[Wh/den]$
$Q_{k,N}$	.... jmenovitý tepelný výkon zdroje tepla	$[W]$
$Q_{TECH,r}$	.... potřeba tepla pro technologii	$[J]$
$q_{v,min,i}$	.... minimální objemový průtok místnosti	$[m^3/h]$
$Q_{TUV,r}$	.... potřeba tepla pro ohřev teplé vody	$[J]$
$Q_{VVT,r}$	.... potřeba tepla pro vytápění	$[J]$
$Q_{VZT,r}$	.... potřeba tepla pro ohřev vzduchu ve vzduchotechnické jednotce	$[J]$
Q_z	.... tepelná ztráta objektu	$[W]$
R	.... měrná tlaková ztráta	$[Pa/m]$
R_s	.... tepelný odpor stěny	$[m^2.K/W]$
R_x	.... tepelný odpor při přestupu tepla	$[m^2.K/W]$
s	.... tloušťka stěny	$[m]$
S_L	.... vnější teplosměnná plocha	$[m^2]$
t_1	.... teplota studené vody	$[°C]$
t_2	.... teplota teplé vody	$[°C]$
t_e	.... venkovní výpočtová teplota	$[°C]$

t_{es}	.... střední venkovní teplota během otopného období	[°C]
t_i	.... vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{is}	.... průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{wm}	.... střední teplota otopné vody	[°C]
U_3	... objemový průtok teplé vody při teplotě t_3 do výtoku	[m ³ /h]
$U_{equiv,k}$	.... ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části se zeminou	[W/m ² .K]
U_k	.... součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
U_p	.... potřeba paliva	[m ³]
V_{2p}	.... celková potřeba teplé vody	[m ³ /per]
$V_{2p,c}$	.... celková dávka teplé vody	[m ³ /den]
V_d	... objem dávky v dané periodě	[m ³]
V_i	.... vnitřní objem místnosti	[m ³]
V_j	.... potřeba teplé vody pro mytí nádobí	[m ³ /per]
V_o	.... potřeba teplé vody pro mytí osob	[m ³ /per]
V_u	.... potřeba teplé vody pro úklid	[m ³ /per]
V_z	.... objem zásobníku TV	[m ³]
w	.... rychlost proudění otopné vody	[m/s]
w_{ek}	.... ekonomická rychlost proudění otopné vody	[m/s]
X_p	.... spínací diference pro dohřev TV	[K]
y	.... korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV	[-]
z	.... energetické ztráty systému	[%]
z	.... hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy	[m]
z	.... poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody	[-]
Z	.... ztráta vřazenými odpory	[Pa]
\dot{V}	.... objemový průtok	[m ³ /s]
\dot{m}_w	.... hmotnostní průtok otopné vody tělesem	[kg/h]
α_x	.... součinitel přestupu tepla na stěně	[W/m ² .K]
Δp_c	.... celková tlaková ztráta	[Pa]
Δp_m	.... místní tlaková ztráta	[Pa]
Δp_t	.... tlaková ztráta vlivem tření	[Pa]
ΔQ_{max}	.... maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a křivkou odběru	[kWh]
ΔU_{TB}	.... přírážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² K]

ξ	.... součinitel místní ztráty	[-]
$\Phi_{gain,i}$	.... trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]
$\Phi_{HL,i}$	.... návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{hu,i}$	.... volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru v případě přerušovaného vytápění	[W]
Φ_{Ti}	.... návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
Φ_{Vi}	.... návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
λ	.... součinitel tření	[-]
λ	.... tepelná vodivost stěny	[W/m.K]
η_r	.... účinnost rozvodů vytápění	[-]
η_k	.... účinnost zdroje tepla	[-]
η_o	.... účinnost obsluhy a regulace otopné soustavy	[-]
θ_e	.... venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_{e,m}$	.... průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
$\theta_{ia(...)}$	.... výpočtová teplota v nevytápěném prostoru nebo vytápěném na jinou teplotu	[°C]
$\theta_{int,i}$	.... vnitřní návrhová teplota místnosti	[°C]
ρ	.... hustota	[kg/m ³]
τ	.... čas	[hod]
τ	.... doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev TV	[s]
τ_d	... doba dávky	[h]

1. Úvod

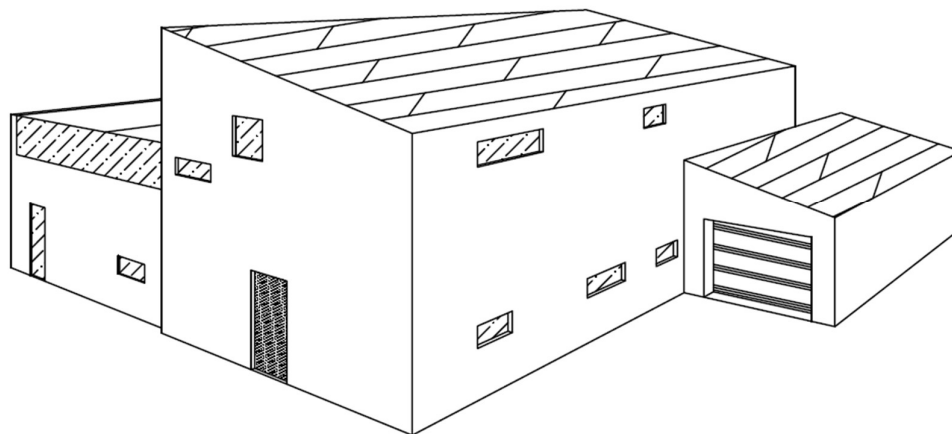
Tato bakalářská práce se zabývá vytápěním novostavby rodinného domu, jeho návrhem a regulací k docílení tepelné pohody prostředí domu. Přenos tepla probíhá třemi způsoby a to vedením, prouděním a sáláním. Vždy dochází k přenosu tepla všemi způsoby, vedením skrz konstrukce domu, prouděním větráním jednotlivých místností a sáláním konstrukcí. K pohodě prostředí je zároveň nutné dodržet určité množství přivedeného venkovního vzduchu pro odvod škodlivin (zejména CO₂), vlhkosti a pachů.

Teplu musíme dodávat anebo vyrábět z dodaných komodit. Ani jedna z možností není zadarmo a každá z nich je zatížena jinou finanční náročností a činní nás závislími na dodávkách od externích dodavatelů. Stále se zvyšující ceny energií a komodit spolu se současným směrem předpisů a zákonů nás nutí ke snižování spotřeby tepla.

Při návrhu nových budov či při rekonstrukcích je stále více třeba snižovat potřebu tepla na co nejnižší úroveň. Někdy je ovšem nutné uvažovat, zda je výhodnější vyšší hospodárnost s teplem nebo ekonomická náročnost projektu. Hospodárnost budovy ovšem neovlivňuje pouze samotná otopná soustava ale také konstrukce a zateplení domu, účelné rozvržení vnitřního uspořádání, hospodaření se zisky z oslunění a možnosti využití energie z obnovitelných zdrojů.

Při návrhu vytápění se čím dál tím víc dbá kromě ekonomické stránky i na stránku pohody užívání a v neposlední řadě i na estetickou stránku jednotlivých částí otopné soustavy.

V mé bakalářské práci jsem se snažil co nejvíce skloubit požadavky na straně investora s co nejvýhodnějším řešením z pohledu vytápění.



Obr. 1 Vizualizace domu v perspektivě, pohled ze severu

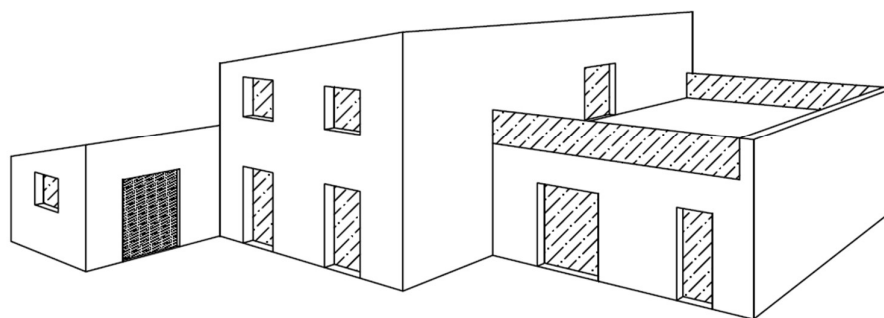
1.1. Popis budovy

Objektem, kterým se tato bakalářská práce zabývá, je rodinný dvoupodlažní nepodsklepený dům se šikmou střechou bez půdního prostoru. Dům je řešen pro rodinu s dětmi případně jako dvougenerační. Zastavěná plocha je 145 m² a vnitřní užitná plocha je 192 m². V přízemí domu je vstup z předzahrádky do zádveří, odkud je vstup do technické místnosti, kde se nachází zdroj tepla, a do haly, která tvoří páteřní prvek domu a odkud je vstup takřka do všech místností v přízemí. Z haly se můžeme dostat do koupelny, odděleného wc, pracovny, ložnice, schodiště do prvního patra a obývacího pokoje spojeného s kuchyní, z níž se dostaneme do spíže. Poslední místností v přízemí je garáž, do té se z domu nelze dostat přímo, ale přes venkovní prostor. V prvním patře tvoří hala opět páteřní prvek patra, z níž se můžeme dostat do dvou ložnic, odděleného wc, koupelny, šatny a na terasu nad obývacím pokojem.

Tab. 1 a Tab. 2 Označení místností a vnitřních výpočtových teplot přízemí a 1. N.P

Přízemí		
Číslo místnosti	místnost	ti
101	Zádveří	18
102	Hala	18
103	Schodiště	-
104	Spíž	-
105	Obývací pokoj a kuchyně	20
106	Ložnice	20
107	Pracovna	20
108	WC	20
109	Koupelna	24
110	Technická místnost	-

1. N. P.		
Číslo místnosti	místnost	ti
201	Šatna	20
202	Hala	18
203	Schodiště	-
204	Ložnice	20
205	Ložnice	20
206	WC	20
207	Koupelna	24



Obr. 2 Vizualizace domu v perspektivě, pohled z jihu

2. Tepelné ztráty budovy

V této kapitole se budu věnovat metodice výpočtu tepelných ztrát budovy a demonstřuji na konkrétní místnosti. K určení tepelné ztráty budovy je nutné určit tepelné ztráty pro jednotlivé vytápěné místnosti. Tepelné ztráty jednotlivých místností využiji v následujících kapitolách pro návržení otopných ploch jednotlivých místností a pro návrh zdroje tepla. Tepelné ztráty byly stanoveny dle ČSN EN 12 831-1 [2][4][23].

2.1. Konstrukce budovy

Jednotlivé konstrukce budovy se dělí na vertikální (zdi a příčky) a horizontální (podlahy a stropy). Další možností, jak dělit konstrukce je na konstrukce obálky budovy a vnitřní konstrukce budovy. Konstrukce obálky budovy zabezpečují oddělení vnitřních prostor a venkovního prostředí. Vnitřní konstrukce budovy – zdi, oddělují jednotlivé prostory. Mohou být nosné a podílet se tak na rozložení zatížení od výše položených konstrukcí do základů budovy a nenosné, které přenáší pouze vlastní hmotnost. Všechny konstrukce musí splnit požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle ČSN 73 0540-2:2011. Konstrukce domu byly navrženy, aby splnily doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$. Na přání investora byl vybrán stavební materiál od firmy Ytong Standard pro obvodové zdivo a Klasik vnitřní nenosné zdi.

Základy domu jsou základové pasy 1 m zapuštěné pod úroveň terénu na nichž je základová deska. Nad základovými pasy jsou nosné zdi s tloušťkou zdiva 300 mm a nenosné příčky s tloušťkou zdiva 100 a 150 mm. Stropní překlady jsou tvořeny betonovými panely.

Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla udává tepelný tok jednotkou plochy při jednotkovém rozdílu teploty. Stanoví se dle vzorce (1).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{R_1 + R_s + R_2} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (1)$$

U součinitel prostupu tepla $[W/m^2 \cdot K]$

α_x součinitel přestupu tepla na stěně $[W/m^2 \cdot K]$

s tloušťka stěny $[m]$

λ tepelná vodivost stěny $[W/m \cdot K]$

R_s tepelný odpor stěny $[m^2 \cdot K/W]$

R_x tepelný odpor při přestupu tepla $[m^2 \cdot K/W]$

Tab. 3 Hodnoty tepelného odporu podle směru přestupu tepla [4]

Tepelný odpor při přestupu tepla [m ² .K/W]	směr toku tepla		
	nahoru	vodorovně	dolů
R_{int}	0,1	0,13	0,17
R_{ext}	0,04	0,04	0,04

Konstrukce podlahy přízemí

Základová deska z armovaného betonu je uložena na vrstvě štěrkového podsypu. Na základové desce je dvojitá hydroizolace Gastek 40 a tepelná a kročejová izolace z polystyrenu. Následuje nosná část z betonové mazaniny s nášlapnou vrstvou z dlažby nebo vinylová krytina. Výpočtem zjištěná hodnota součinitele prostupu tepla $U = 0,304 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, která je takřka totožná s doporučenou hodnotou součinitele prostupu tepla $U_{\text{rec},20} = 0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Konstrukce podlahy 1. NP

Základem konstrukce jsou duté betonové překlady. Stropní podhled je tvořen sádrokartonem nahozeným vnitřní omítkou a uhlazen štěrkou. Na překladech je tepelná a kročejová izolace z polystyrenu, dále pak betonová mazanina s vinylovou krytinou. V koupelně a na toaletě je dlažba. Výpočtem zjištěná hodnota tepelného odporu $U = 0,344 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ při prostupu tepla směrem vzhůru a $U = 0,328 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ při prostupu tepla směrem dolů, které jsou nižší než doporučená hodnota prostupu tepla $U_{\text{rec},20} = 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ k nevytápěnému prostoru a než hodnoty prostupu tepla stropem mezi prostory s rozdílem teplot $U_{\text{rec},20} = 1,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ do $5 \text{ }^\circ\text{C}$ i $U_{\text{rec},20} = 0,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ do $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Konstrukce stropu prvního nadzemního patra včetně izolace podkroví

Sádrokartonový podhled přichycený ke krovu střechy s nahozenou omítkou a uhlazen štěrkou. Na sádrokartonu je natažena parotěsná folie a mezi trámy krovu je izolace Isover. Výpočtem zjištěná hodnota tepelného odporu $U = 0,203 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, která je takřka totožná s hodnotou $U_{\text{rec},20} = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Do výpočtu nebyla zahrnuta vzduchová mezera mezi sádrokartonem a izolací.

Konstrukce střechy

Dřevěné trámy krovu jsou potažené difusní dotykovou folií, na nichž jsou dřevěné kontralatě překryté OSB deskami, ke kterým je přichycena plechová krytina. Výpočtem zjištěná hodnota tepelného odporu $U = 2,941 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Konstrukce terasy

Základem konstrukce jsou duté betonové překlady. Stropní podhled je tvořen sádrokartonem s nahozenou omítkou a uhlazen štěrkou. Na překladech je polystyrobeton spádovaný z důvodu odvodu dešťové vody. Následuje hydroizolace Gastek 40, tepelná polystyrenová izolace, textilie filtek, folie alkorplan, folie filtek a mrazovzdorná dlažba do terčů. Výpočtem zjištěná hodnota tepelného odporu $U = 0,165 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ je vyšší než $U_{\text{rec},20} = 0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Při výpočtu nebyla zahrnuta dlažba do terčů a spádovaný polystyrobeton, a to z důvodu nevytlíčených spár pro odvod dešťové vody a kvůli změně tloušťky polystyrobetonu, což obojí přispívá na stranu bezpečnosti výpočtu.

Konstrukce obvodového zdiva

Obvodové zdivo je hlavním nosným prvkem budovy. Je tvořeno zdívkem Ytong Standard v provedení pero, drážka, úchopová kapsa s tloušťkou 300 mm. Na vnitřní stěně je sěrka s omítkou. Na vnější straně je omítka odolná okolním vlivům. Z výpočtu hodnoty tepelného odporu pro různou tloušťku izolace vyšla minimální tloušťka izolace 100 mm, aby byla splněna doporučená hodnota součinitele přestupu tepla $U_{N,20} = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ daná normou ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov. Součinitel přestupu tepla $U_{100} = 0,187 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Konstrukce vnitřních stěn

Nosným prvkem vnitřních stěn je zdivo Ytong Klasik o tloušťce 100, 150 a 300 mm. Na zdivo je z obou stran nanášena omítka a sěrka omítky. Výpočtem zjištěné hodnoty tepelných odporů $U_{100} = 0,884 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $U_{150} = 0,66 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{300} = 0,311 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, které jsou všechny nižší než $U_{\text{rec},20} = 0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pro stěnu mezi prostory s rozdílem teploty od $10 \text{ }^\circ\text{C}$, která je nejpřísnější ze součinitelů prostupu tepla stěnou mezi vnitřními prostory.

Otvorové výplně

V tomto domě jsou 3 druhy otvorových výplní. Vstupní dveře, umožňující přístup do budovy jsou od firmy Slavona Solid Comfort v provedení Klasik, s hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 0,68 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Dále plastová okna Premium EVO od firmy VEKras hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okenní výplně mají dvě základní funkce, které jsou umožnit větrání vnitřních prostor domu a propustnost světla konstrukcí. Přirozené větrání probíhá po otevření větracího prvku, tím může být křídlo okna, okenní větrací klapka nebo větrací otvor v konstrukci. Pro nucené větrání je potřeba navrhnout a nainstalovat větrací jednotku, případně spojenou s klimatizační. V tomto domě je navrženo větrání přirozené. Větrání probíhá po otevření křídla okna do první nebo druhé pozice. Jedno okno v obývacím pokoji slouží pro přístup na zahradu. Okno v hale v 1. NP slouží k přístupu na terasu. Vnitřní dveře jsou navrženy od firmy Vekra řada Interior Simple s hodnotou součinitele přestupu tepla $U = 1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Opatření pro dodržení normativních požadavků

Prvním opatřením byl výběr kvalitního stavebního materiálu Ytong v kombinaci s tepelněizolačními deskami Multipor. Druhým opatřením byl výběr kvalitních oken a dveří.

Požadavky normy ČSN 73 0540 byly vždy splněny a mojí snahou bylo navrhnout konstrukce tak, aby součinitele přestupu tepla odpovídaly doporučeným hodnotám této normy.

2.2. Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru

Celková tepelná ztráta budovy se určí jako součet tepelných ztrát jednotlivých místností. Tepelná ztráta je ale závislá na okolních podmínkách. Proto se pro stanovení tepelné ztráty určí nejnepríznivější návrhové parametry a z nich vyjde hodnota návrhového tepelného výkonu budovy. Návrhový tepelný výkon budovy je součet návrhových výkonů dle parametrů jednotlivých místností. Obecně jsou tyto výkony čtyři, a to návrhová tepelná ztráta prostupem, návrhová tepelná ztráta větráním, volitelný dodatečný zátopový výkon v případě přerušovaného vytápění prostoru a trvalé tepelné zisky. Dům je určen pro trvalé užívání, a tedy zde nebude přerušované vytápění. Trvalé tepelné zisky by byly způsobeny vnitřním provozem zařízení, které v rodinném domě nelze předpokládat, a proto ji neuvažují. Rovnice návrhového tepelného výkonu se díky tomu na pravé straně zjednoduší pouze na dva členy. Výpočet návrhového tepelného výkonu provádíme pouze pro vytápěné místnosti, kde nám určí tepelnou ztrátu pro návrh výkonu otopných těles. Vzorce pro výpočet a značení je přejato z normy ČSN EN 12 831-1. [23]

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

$\Phi_{HL,i}$ návrhový tepelný výkon 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 tepelný výkon vytápěného prostoru v případě přerušovaného vytápění [W]

$\Phi_{gain,i}$ trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru [W]

2.3. Tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru

Tepelná ztráta prostupem nám udává, jaké množství tepla uniká pláštěm budovy do okolí při daném teplotním rozdílu.

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

$H_{T,ie}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí [W/K]

$H_{T,ia}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor [W/K]

$H_{T,iae}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy [W/K]

$H_{T,iBE}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu [W/K]

$H_{T,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do země [W/K]

$\theta_{int,i}$ vnitřní návrhová teplota místnosti [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí udává hodnotu tepelného toku z vytápěného prostoru přes konstrukci pouze do venkovního prostředí.

$$H_{T,i,e} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] [W/K] \quad (4)$$

A_k plocha stavební části [m²]

U_k součinitel prostupu tepla [W/m²K]

ΔU_{TB} přírážka na vliv tepelných vazeb [W/m²K]

$f_{U,k}$ opravný součinitel zohledňující vlastnosti stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných součinitelů U [-] (při návrhu $f_{U,k} = 1$)

Tab. 4 Přírážka na vliv tepelných vazeb [23]

Název	Popis	Hodnota ΔU_{TB} [W/m ² K]
1. Optimalizované řešení	Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02
2. Typové či opakované řešení	Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05
3. Standartní řešení	Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10
4. Zanedbané řešení	Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,15

$f_{ie,k}$ teplotní opravný součinitel [-] (5)

$$f_{ie,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_e}{\theta_{int,i} - \theta_e} = 1 [-] \quad (5)$$

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

Teplotní opravný součinitel udává podíl rozdílů mezi vnitřní výpočtovou teplotou a teplotou na druhé straně konstrukce a vnitřní výpočtovou teplotou a venkovní výpočtovou teplotou. V případě prostupu přímo do venkovního prostředí.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes sousední prostory

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor, do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy a do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu. Výpočet je stejný pro všechny tyto měrné tepelné toky, v nichž se pro jednotlivé možnosti upraví teplota $\theta_{ia(...),k}$ v teplotním opravném součiniteli $f_{ia(...),k}$.

$$H_{T,ia(...)} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(...),k}) \quad (6)$$

A_k plocha stavební části [m²]

U_k součinitel prostupu tepla [W/m²K]

$f_{ia(...),k}$ teplotní opravný součinitel zahrnující rozdíl mezi venkovní návrhovou teplotou a teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu [-]

$$f_{ia(...),k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia(...),k}}{\theta_{int,i} - \theta_e} [-] \quad (7)$$

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

$\theta_{ia(...),k}$ výpočtová teplota v nevytápěném prostoru nebo vytápěném na jinou teplotu [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy (8) vyjadřuje tepelný tok procházející podlahou a základy do půdy pod budovou.

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \quad (8)$$

$f_{\theta ann}$ opravný součinitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku
 $f_{\theta ann} = 1,45 [-]$

A_k plocha stavební části, která je v kontaktu se zeminou [m^2]

$U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou [$W/m^2.K$] (11)

$f_{ig,k}$ teplotní opravný součinitel [-] (9)

$f_{GW,k}$ opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody [-]

Opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody nabývá hodnoty $f_{GW,k} = 1$ v případě, že výška hladiny spodní vody je více než 1 m pod úroveň základové desky a $f_{GW,k} = 1,15$ pokud je hladina do 1 m pod úroveň základové desky.

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e} [-] \quad (9)$$

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota místnosti [$^{\circ}C$]

$\theta_{e,m}$ průměrná venkovní teplota za otopné období [$^{\circ}C$]

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

B' geometrický parametr podlahové desky [m] (10)

$$B' = \frac{A_G}{0,5 \cdot P} [m] \quad (10)$$

A_G plocha podlahové desky [m^2]

P nechráněný obvod podlahové desky [m]

z hloubka horní hrany podlahové desky pod úroveň zeminy [m]

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \quad (11)$$

Tab. 5 Koefficienty pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla podlahou [4]

	a	b	c_1	c_2	c_3	n_1	n_2	n_3	d
Podlaha	0,9671	-7,455	10,76	9,773	0,0265	0,5532	0,6027	-0,9296	-0,0203
Stěna sklepa	0,93328	-2,1552	0	1,466	0,1006	0	0,45325	-1,0068	-0,0692

U_k součinitel prostupu tepla základovou deskou [$W/m^2.K$]

ΔU_{TB} přírážka na vliv tepelných vazeb [$W/m^2.K$]

2.4. Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním (12) udává hodnotu úniku tepla, naakumulovaného ve vzduchu, z vytápěné místnosti při větrání venkovním vzduchem. Intenzita větrání udává násobek vnitřního objemu místnosti, který se vymění během 1 hodiny větrání. Vnitřní objem místnosti jsem počítal jako násobek vnitřních rozměrů místnosti bez započítání výklenků oken a bez odečtení objemu nábytku a vybavení místnosti.

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad (12)$$

ρ hustota vzduchu [kg/m^3]

c_p měrná tepelná kapacita vzduchu [$Wh/kg.K$]

$q_{v,min,i}$ minimální objemový průtok místnosti [m^3/h]

Minimální objemový průtok místností (13) udává, kolik m^3 vzduchu se vymění větráním za hodinu.

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i [m^3/h] \quad (13)$$

$n_{min,i}$ minimální intenzita větrání místnosti [$1/h$]

V_i vnitřní objem místnosti [m^3]

2.5. Výpočet místnosti

Výpočet tepelných ztrát pro místnost 105 – obývací pokoj spojený s kuchyní. Tuto místnost jsem vybral záměrně, abych ukázal, že tato místnost má ztráty srovnatelné jako zbytek přízemí nebo celé první patro a abych ukázal proč. Délkové rozměry jsou brány jako střední hodnota mezi vnitřním rozměrem místnosti a obálkou místnosti danou vnějším povrchem zdi. Rozměry otvorů jsou návrhové, převzaté z výkresu. Z těchto rozměrů jsou počítány plochy, kterými dochází k tepelným tokům. Vnitřní návrhová teplota místnosti je 20 °C.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí

Obvodové zdi sousedící pouze s venkovním prostředím. Všechny 3 zdi mají stejnou konstrukci, a tak s nimi počítám jako by to byla jedna zeď s celkovou délkou součtu jejich středních délek.

$$\begin{aligned} H_{Ti,e} &= \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] = \\ &= 50,44 \cdot (0,187 + 0,1) \cdot 1 \cdot \frac{20 - (-12)}{20 - (-12)} + 11,04 \cdot (0,7 + 0,1) \cdot 1 \cdot \frac{20 - (-12)}{20 - (-12)} + \\ &+ 46,55 \cdot (0,165 + 0,1) \cdot 1 \cdot \frac{20 - (-12)}{20 - (-12)} = 14,492 + 8,830 + 12,344 = 35,666 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes sousední prostory

Místnost 105 sousedí se 4 místnostmi, jsou jimi 102 – hala, 103 – schodiště, 104 – spíž a 106 – ložnice. Hala je vytápěna na 18°C. Schodiště a spíž jsou nevytápěné, ovšem jejich vnitřní návrhová teplota je 15°C. V ložnici je vnitřní návrhová teplota stejná jako v obývacím pokoji a to 20°C. Druhý termodynamický zákon říká, že teplo přechází samovolně z tělesa teplejšího na těleso studenější. V tomto případě jsou teploty stejné, tím pádem nedochází k přenosu tepla.

$$\begin{aligned} H_{T,ia(\dots)} &= \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(\dots),k}) = \\ &= 4,158 \cdot 0,311 \cdot \frac{20 - 18}{20 - (-12)} + 1,58 \cdot 1,4 \cdot \frac{20 - 18}{20 - (-12)} + \\ &+ 10,469 \cdot 0,311 \cdot \frac{20 - 15}{20 - (-12)} + 1,379 \cdot 1,4 \cdot \frac{20 - 15}{20 - (-12)} = \\ &= 0,05 + 0,138 + 0,508 + 0,302 = 0,998 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

Plochu podlahové desky jsem zde bral stejně jako ve výpočtu měrného tepelného toku přímo do venkovního prostředí, tj. délkové rozměry jsou střední délka stěny.

$$\begin{aligned} H_{T,ig} &= f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) = \\ &= 1,45 \cdot 0,2819 \cdot \frac{20 - 3,7}{20 - (-12)} \cdot 1 = 9,695 \text{ W/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{equiv,k} &= \frac{a}{b + (c_1 + B)^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d = \\ &= \frac{0,9671}{-7,455 + (10,76 + 4,498)^{0,5532} + (9,773 + 0)^{0,6027} + (0,0265 + 0,304 + 0,1)^{-0,9296} +} \\ &\quad -0,0203 = 0,2819 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$$B' = \frac{46,55}{0,5 \cdot 20,7} = 4,498 \text{ m}$$

Tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru

$$\begin{aligned} \Phi_{T,i} &= (H_{T,ie} + (H_{T,ia} + H_{T,iae}) + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = \\ &= (35,666 + 0,998 + 9,695) \cdot (20 - (-12)) = 1485 \text{ W} \end{aligned}$$

Tepelná ztráta větráním

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot n_{min,i} \cdot V_i \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 1,2 \cdot 0,28 \cdot 1 \cdot 104,58 \cdot (20 - (-12)) = 1125 \text{ W}$$

2.6. Výsledné tepelné ztráty budovy

Následují tabulky s hodnotami tepelných ztrát prostupem, větráním a celkové.

Tab. 6 Tepelné ztráty přízemí

Číslo místnosti	Místnost	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	Φ_i
[-]	[-]	[W]	[W]	[W]
101	Zádveří	150	40	190
102	Hala	105	65	170
105	Obývací pokoj a kuchyně	1485	1125	2610
106	Ložnice	350	190	540
107	Pracovna	275	125	400
108	WC	60	50	110
109	Koupelna	245	180	425
				4445

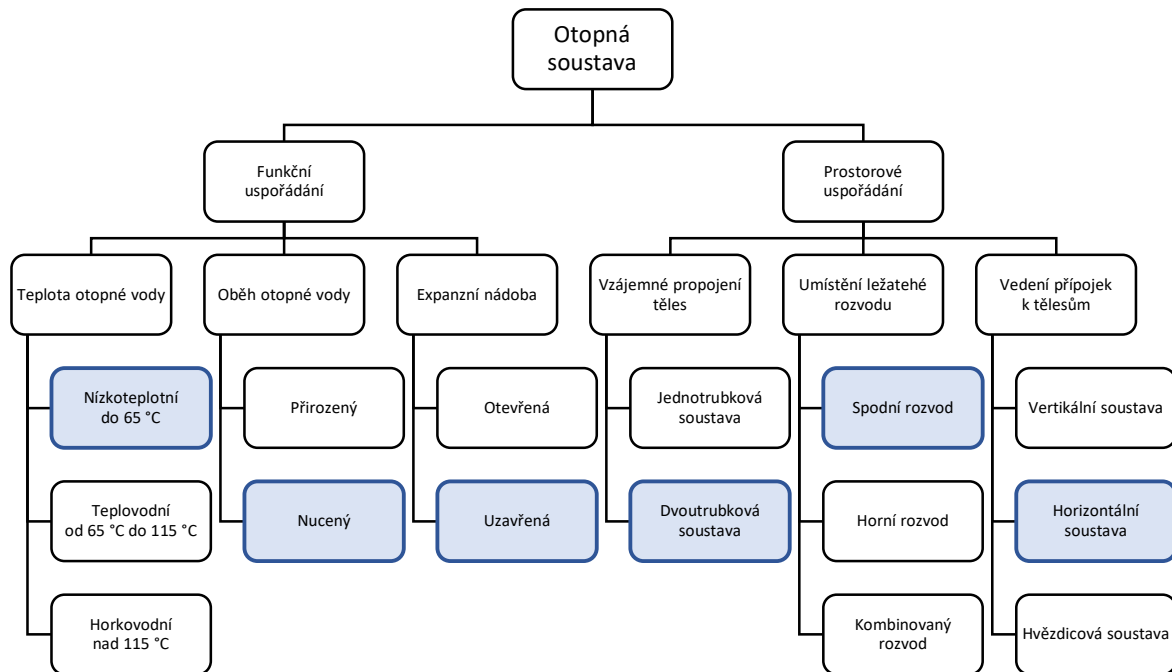
Tab. 7 Tepelné ztráty 1. nadzemního podlaží

Číslo místnosti	Místnost	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	Φ_i
[-]	[-]	[W]	[W]	[W]
201	Šatna	130	45	175
202	Hala	135	70	205
204	Ložnice	320	180	500
205	Ložnice	310	180	490
206	WC	80	65	145
207	Koupelna	280	195	475
				1990

Celková tepelná ztráta budovy je 6,435 kW.

3. Otopná soustava

Otopná soustava je soubor zařízení zajišťující výrobu, dopravu a předání tepla do vytápěného prostoru, aby byl vyhověno požadavkům na tepelnou pohodu. Skládá se z otopných ploch, rozvodného potrubí, zdroje tepla, čerpadla, pojistného a zabezpečovacího zařízení.



Obr. 3 Diagram rozdělení otopných soustav podle základních technických parametrů (výsledné řešení vyznačeno modře) [11]

Vhodný prostorový návrh otopné soustavy je zásadní pro její správnou funkci a pro možnost její bezproblémové integrace do stavby. Zároveň vhodný návrh je ekonomický z hlediska nízkých nákladů na vybudování a následně provoz. Z hlediska provozu je potřebné, aby bylo možné otopnou soustavu vypustit z důvodu odstávky a zároveň je potřeba zajistit úplné odvzdušnění soustavy, aby nedocházelo k zavzdušnění otopných těles a tím pádem ke snížení výkonů jednotlivých otopných těles.

V následujících kapitolách postupně rozeberu otopnou soustavu počínaje otopnými tělesy, které přímo hradí tepelné ztráty jednotlivých místností, přes rozvody k otopným tělesům zajišťující rozvedení otopné vody od poslední části, kterou je zdroj tepla.

4. Otopné plochy

Otopná plocha je koncový prvek otopné soustavy sloužící k předávání tepla z otopné vody do vytápěného prostoru. K přenosu tepla dochází sáláním a konvekcí. Konstrukcí otopného tělesa je dán poměr jednotlivých složek přenosu tepla. Při přenosu tepla sáláním dochází k přenosu tepla radiací a pohlcením tepelného záření, toto záření může být snadno zastíněno a jeho pohlcení je selektivní a záleží na materiálu a orientaci povrchu. Při přenosu tepla konvekcí dochází k přestupu tepla do vzduchu, v přímém okolí povrchu tělesa, z otopné vody přes materiál otopného tělesa. Tento ohřátý vzduch následně stoupá ke stropu dané místnosti. K ochlazování vzduchu dochází na stěnách, oknech a dveřích za nimiž je nižší teplota než v místnosti a tento vzduch klesá k podlaze místnosti. Vhodnou kombinací prostorového uspořádání můžeme docílit potlačení nebo úplnému zamezení proudění tohoto studeného vzduchu tím, že ho v průběhu klesání ohřejeme. Pro návrh otopných těles budu uvažovat otopná tělesa s převažující konvektivní složkou. Do této skupiny patří článková, desková a trubková otopná tělesa a konvektory. Popis typů otopných ploch je převzatý a zjednodušený ze sešitu projektanta 1 - Otopné soustavy teplovodní. [11]

4.1. Typy otopných ploch

Článková tělesa jsou tvořena z jednotlivých navzájem propojených článků. To umožňuje jednoduché nastavení velikosti přestupné plochy otopného tělesa. Tento typ těles je historicky nejstarší a v současné době je používán jen minimálně.

Desková otopná tělesa jsou tvořeny plechy, které jsou svařeny po obvodu a bodově svařeny na prolisech, aby nedošlo k roztržení nebo „nafouknutí“ deskového tělesa. Ke zvětšení plochy, na níž dochází k přestupu tepla, lze využít přidání druhého tělesa a jejich hydraulické spojení anebo přidání konvekčního plechu.

Trubková otopná tělesa se nejčastěji využívají v koupelnách. Mohou být tvořeny jednou průtočnou trubkou nebo trubkami sloužícími jako rozdělovač a sběrač, mezi kterými jsou spojovací trubky. Druhotnou funkcí trubkových otopných těles je, že mohou sloužit jako věšák s vyhříváním pro ručníky nebo osušky. Většinu trubkových otopných těles je možné provozovat i v době, kdy zbytek otopné soustavy nepracuje, a to instalací elektrické ohřívací tyče do těla trubkového otopného tělesa.

Konvektory přenáší dominantní část svého výkonu do vytápěného prostoru konvekcí. Tato konvekce může být přirozená nebo nucená. Nucené dosáhneme přidáním ventilátoru pro zvýšení objemu vzduchu proudícího v okolí konvektoru. Konvektory mohou být zapuštěné, tj. zasazené do prostoru pod úrovní podlahy překrytém mřížkou, nebo soklové, tj. s nízkou skříňí umístěné pod nízký parapet nebo skříňové.

4.2. Návrh otopných těles

Pro tuto budovu uvažují tři typy těles. Na přání investora jsou použita tělesa od společnosti KORADO. Základní a nejvíce používaná jsou desková otopná tělesa VKM8 s jednotnou výškou 500 mm. V přízemí jsou v ložnici a v pracovně, kvůli francouzským oknům, na přání investora lavicové konvektory. Podlahové konvektory nebylo možné použít z důvodu jejich hloubky pod úroveň podlahy. V obou koupelnách jsou trubková otopná tělesa se středovým připojením a šířkou 750 mm, v nichž je instalována elektrická topná tyč v tělese pro vytápění mimo otopné období.

Otopná tělesa musí do místnosti dodat stejný nebo vyšší tepelný výkon, než je tepelná ztráta místnosti. Teplo dodané do místnosti se vypočítá dle vztahu (14).

$$Q = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i) [W] \quad (14)$$

Q tepelný výkon otopného tělesa [W]

k součinitel prostupu tepla [$W/m^2.K$]

S_L vnější teplosměnná plocha [m^2]

t_{wm} střední teplota otopné vody [$^{\circ}C$]

t_i vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]

Teplo dodané otopnému tělesu (15) závisí na hmotnostním průtoku tělesem a teplotním spádu na tělese.

$$Q = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2}) [W] \quad (15)$$

\dot{m}_w průtok otopné vody tělesem

c_w měrná tepelná kapacita otopné vody

Otopná tělesa byla navržena podle návrhové nástroje výrobce pro jednotlivé typy těles. Následně jsem provedl kontrolní přepočítání výkonu otopných těles dle údajů o otopných tělesech od výrobce.

4.3. Přepočítání výkonu otopných těles

Otopná tělesa se projektují na jmenovité podmínky a za nich je určen jejich výkon a takto jsou zanesena do katalogu výrobce. K tomu abychom mohli tato tělesa použít za jiných než těchto jmenovitých podmínek, například za jiného teplotního spádu nebo jiného průtoku potřebujeme jejich výkon přepočítat. Přepočítání na jiné teplotní parametry můžeme provést dle vzorce (16).

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{k}{k_N} \cdot \frac{S_L}{S_N} \cdot \frac{(t_{wm} - t_i)}{(t_{wm} - t_i)_N} = \left[\frac{t_{wm} - t_i}{(t_{wm} - t_i)_N} \right]^{n_{ot}} \quad (16)$$

N index N znamená normované (jmenovité) podmínky $t_{w1N} = 75^{\circ}C$, $t_{w2N} = 65^{\circ}C$, $t_{iN} = 20^{\circ}C$

n_{ot} teplotní exponent otopného tělesa [-]

Přepočtení na jiné provozní podmínky můžeme určit dle vzorce (17).

$$Q = Q_N \cdot f_{\Delta t} \cdot f_m \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad [-] \quad (17)$$

$f_{\Delta t}$ opravný součinitel na teplotní rozdíl [-]

f_m opravný součinitel na odlišný průtok [-]

f_x opravný součinitel na připojení tělesa [-]

f_o opravný součinitel na úpravu okolí [-]

f_n opravný součinitel na počet článků [-]

f_p opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [-]

Pro přepočtení výkonu pro všechna navržená tělesa je zohledněn pouze součinitel na jiný teplotní spád. Otopná tělesa jsou se spodním připojením, jsou umístěna pod okny bez přečnívajících parapetů. Opravný součinitel na počet článků je roven jedné, stejně jako součinitel na úpravu okolí a na způsob připojení.

Výsledný vztah pro přepočtení výkonu otopných těles je (18).

$$Q = Q_N \cdot f_{\Delta t} \quad [-] \quad (18)$$

Vztah pro opravný součinitel na teplotní rozdíl je (19).

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^{n_{ot}} \quad [-] \quad (19)$$

Pro určení rozdílu teplot musíme vypočítat podílový teplotní součinitel c . (20)

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad [-] \quad (20)$$

c podílový teplotní součinitel [-]

Pokud vyjde $c < 0,7$ pak je rozdíl teplot aritmetický průměr teplot.

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (21)$$

Pokud vyjde $c > 0,7$ pak je logaritmičsky určený rozdíl teplot.

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (22)$$

Δt teplotní rozdíl [$^{\circ}\text{C}$]

t_{w1} teplota na vstupu do tělesa [$^{\circ}\text{C}$]

t_{w2} teplota na výstupu z tělesa [$^{\circ}\text{C}$]

Tab. 8 Kontrola přepočtu výkonů otopných těles

č. tělesa	Q_{OT} Návrhové	t_i	n	c	$f_{\Delta t}$	Q_N	$Q_{tabulkové}$	$Q_{výpočet}$
[-]	[W]	[°C]	[-]	[-]	[-]	[W]	[W]	[W]
1	190	18	1,3081	0,730	0,558	343,2	191	191,4
2	210	18	1,2962	0,730	0,561	415,5	233	233,0
3	1200	20	1,326	0,714	0,508	2315,2	1176	1176,0
4	1410	20	1,326	0,714	0,508	2894	1470	1470,0
5	540	20	1,4204	0,714	0,484	1153	558	558,1
6	400	20	1,39	0,714	0,492	842	414	413,9
7	200	24	1,2263	0,677	0,443	450	202	199,6
8	295	24	1,2448	0,677	0,438	791	350	346,5
9	175	20	1,3081	0,714	0,513	343,2	176	175,9
10	250	18	1,3081	0,730	0,558	457,6	255	255,2
11	500	20	1,2962	0,714	0,516	997,2	514	514,3
12	490	20	1,2962	0,714	0,516	997,2	514	514,3
13	200	24	1,2263	0,677	0,443	450	202	199,6
14	375	24	1,2497	0,677	0,437	984	435	429,6

Teplotní spád, na který výrobce udává tepelný výkon, je 75/65/20 °C.

Teplotní spád, na který je přepočítáván výkon, je 55/45/ t_i °C.

Maximální rozdíl mezi tabulkovou hodnotou a vypočtenou je 1,2 %, tento rozdíl nezpůsobuje v žádné místnosti poddimenzování.

5. Rozvody otopné soustavy

Rozvody otopné soustavy lze jinak vyjádřit jako potrubní síť mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy. Popis druhů otopných soustav byl rovněž přejet a zjednodušen ze sešitu projektanta 1 – Otopné soustavy teplovodní. [11]

5.1. Druhy otopných soustav

Soustava s přirozeným oběhem

Soustavy s přirozeným oběhem vody jsou vývojově i historicky starší. Pracují na principu rozdílu hustoty vody v přírodní a vratné větví díky jejich rozdílné teplotě, což způsobuje rozdíl hydrostatických tlaků a tento tlakový spád způsobuje proudění teplotně nasycené látky. Zdroj tepla se zásadně umísťuje do nejnižšího podlaží pod úroveň otopných těles. Výhodou je, že provoz této soustavy není apriori závislý na elektrické energii k provozu čerpadla, což zároveň způsobuje to, že tlak v soustavě je daný pouze rozdílem hydrostatických tlaků, což si vynucuje použití nízké odporových armatur a vyvážení soustavy pomocí tlakových ztrát potrubí, které jsou závislé na rychlosti teplotně nasycené látky (otopné vody) a vnitřním průměru potrubí. Průměr potrubí vychází oproti soustavě s nuceným oběhem větší. Tyto soustavy jsou obvykle projektované s teplotní diferencí 20 K a teplotním spádem 90/70 °C za jmenovitých podmínek.

Soustava s nuceným oběhem

Soustavy s nuceným oběhem používají čerpadlo jako zdroj rozdílu tlaku umožňujícího pohyb teplotně nasycené látky (otopné vody). Z čehož plyne nevýhoda této soustavy, tj. nutnost po celou dobu provozu soustavy mít k dispozici zdroj elektrické energie pro pohon čerpadla. Výhodou této soustavy je možnost libovolného umístění zdroje tepla a čerpadla. Například do technické místnosti či garáže. S využitím čerpadla se ovšem pojí možnost vzniku hluku a vibrační provozem otopné soustavy, a to při špatné regulaci soustavy či vysoké rychlosti proudění.

Soustava se spodním rozvodem

V soustavě se spodním rozvodem je hlavní ležatý rozvod veden v nejnižším podlaží pod stropem nebo v podlaze v kanále. Na hlavní ležatý rozvod jsou napojeny stoupačky.

Soustava s horním rozvodem

V soustavě s horním rozvodem je hlavní ležatý rozvod veden v nejvyšším podlaží nebo případně v půdním prostoru. Tento způsob je spíše výjimečný. Je vhodný pro soustavy, kdy je zdroj tepla umístěn na střeše nebo v nejvyšším technickém podlaží, které je zároveň využito pro vedení rozvodů.

Soustava s horizontálním rozvodem

Soustavy s horizontálním rozvodem se vyznačují minimálním počtem stoupaček, ze kterých vedou horizontální okruhy obvykle pro celá podlaží. Tento typ je obvyklý zejména v rodinných domech, kdy je obvykle jedno vertikální potrubí, na které je v každém patře napojen horizontální rozvod pro otopná tělesa v jednotlivých podlažích. Jedním z možných typů horizontální otopné soustavy je otopná soustava etážová, kde je celá soustava, včetně zdroje tepla, umístěna pouze v prostoru jednoho podlaží.

Soustava s vertikálním rozvodem

Soustava s vertikálním rozvodem přípojek k otopným tělesům se oproti předcházejícímu typu vyznačuje množstvím vertikálních rozvodů, kdy v patře je možné na jednu stoupačku připojit maximálně dvě tělesa. Tato soustava se využívala hlavně u panelové zástavby, kdy byla otopná tělesa umístěna pod okny na obvodové zdi budovy. Rozvody napříč společnými prostory a byty by byly velmi nepraktické a spotřeba materiálu potrubí by byla značná. Tato soustava má nevýhodu v tom, že by se dalo jen velmi těžko zjistit jaký odběr má které otopné těleso, potažmo jaký má odběr každý jednotlivý byt, protože osazení kalorimetrů na každou odbočku k otopnému tělesu by bylo velmi finančně náročné, a tak se do bytů na otopná tělesa instalují poměrové měřiče.

Soustava s hvězdicovým rozvodem

Soustava s hvězdicovým rozvodem by se dala charakterizovat jako specifická vertikální soustava, má určité specifické prvky. Jedním z nich je omezený počet stoupaček, na které je v každém podlaží připojen podlažní rozdělovač, ze kterého jsou vyvedeny obvykle dlouhé přípojky k jednotlivým tělesům. Od těles jsou všechny přípojky svedeny do podlažního sběrače, který se napojuje zpět na stoupačku. Hvězdicová soustava byla vytvořena z důvodu snadného hydraulického vyvážení, s využitím neděleného plastového potrubí, kdy by byla tělesa napojena vůči sobě paralelně. V současnosti se objevují soustavy, v nichž se spojují přípojky k navzájem blízkým tělesům, což znamená úsporu materiálu potrubí i nároky na prostor vedení přípojek, dochází tím ovšem k nutnosti rozbočení potrubí v podlaže, což může vést ke vzniku netěsností a původní smysl tohoto uspořádání je upozaděn z důvodu ekonomické úspory.

Jednotrubková soustava

V jednotrubkové otopné soustavě jsou tělesa zapojena za sebou sériově. Po průtoku otopným tělesem se voda vrací zpět do kmenové trubky a dochází k jejímu smísení s přiváděnou, což způsobuje postupné snižování teploty otopné vody a tím i klesá měrný výkon vzdálenějších těles. Jednotlivá tělesa mohou být napojena průtočně, kdy voda postupně protéká všemi tělesy, paralelně ke kmenové trubce s regulační armaturou a přes směšovací armaturu, kdy je možná místní regulace průtoku otopné vody do tělesa.

Dvoutrubková soustava

Dvoutrubková soustava má otopná tělesa propojená paralelně, čímž nám dělí potrubí na přívodní a vratné. V přívodní části proudí otopná voda od zdroje tepla a do všech těles přichází s přibližně stejnou teplotou, což je výhodné, protože nám všechna tělesa pracují s téměř stejným teplotním spádem. Důležitým kritériem u dvoutrubkové soustavy je způsob vedení přívodní a vratné větve potrubí, a to protiproudé kdy otopná voda má v jednotlivých úsecích opačný směr proudění a souproudé, kdy otopná voda v obou větvích proudí stejným směrem.

Protiproudé zapojení má větve paralelní a s rostoucí vzdáleností tělesa od zdroje tepla délka trubek narůstá a s ní i tlakové ztráty, což zhoršuje možnost regulace a vyvážení soustavy. Výhodou je, že se tato soustava větví, a tak je možné jednotlivé odbočky uzavřít a používat zbytek soustavy.

Souproudé zapojení je výhodné, protože zajišťuje stejné tlakové poměry po celé své délce. Použijeme jej též, pokud potřebujeme zajistit rovnoměrné zásobování otopné soustavy. Například ležatý rozvod pro stoupačky. Abychom ho ovšem mohli využít, je potřeba aby jednotlivá zásobovaná místa bylo možné spojit okruhem, nejlépe takovým, aby na sebe jednotlivá místa navazovala a nevznikaly souběžné trasy potrubí.

5.2. Volba otopné soustavy

Při návrhu otopné soustavy jsem se řídil požadavky investora a tepelně technickými vlastnostmi objektu. Požadavky investora byly: umístit zdroj tepla a zásobník TV do technické místnosti, použití trubkových otopných těles v obou koupelnách, možnost vytápět pouze přízemní podlaží... Proto jsem navrhl horizontální, dvoutrubkovou, protiproudou, uzavřenou otopnou soustavu s nuceným oběhem vody. Rozvody jsou provedeny ze systému trubek RAUTITAN flex, které mohou být zároveň využity i pro rozvody teplé a studené vody. Teplotní spád byl zvolen 55/45 °C, z důvodu plánovaného kondenzačního kotle jako zdroje tepla pro nejvyšší účinnost.

Zdroj tepla a zásobník teplé vody byly umístěny v technické místnosti v přízemí. Byl navržen systém s přednostním ohřevem teplé vody. Rozvody byly navrženy v obou patrech, tak že jsou od zdroje tepla vedeny vertikálně do podlahy přízemí a prvního patra v nichž jsou vedeny přes centrální chodbu patra a odkud se rozbíhají k otopným tělesům.

5.3. Návrh světlosti potrubí

Návrh světlosti potrubí je důležitým krokem návrhu otopné soustavy. Navrhujeme při tom vnitřní průměr potrubí tak, aby tlakové ztráty a rychlost proudění otopné vody byly optimální a nedocházelo k vibracím a jejich přenosu do konstrukce a hlukovým projevům. Tlakové ztráty jsou u samotížných soustav hrazeny pouze rozdílem hydrostatických tlaků a u soustav s nuceným oběhem hrazeny čerpadlem elektrickým čerpadlem. Nevýhodou čerpadla je nutnost nepřetržité dodávky elektrické energie, pokud je soustava v chodu. Samotížná soustava funguje, pokud pracuje zdroj tepla, to je ovšem vykoupenou vyšší dimenzí potrubí při stejném tepelném výkonu soustavy, a to kvůli snížení tlakových ztrát. Popis a návrh metod návrhu dimenze potrubí vychází ze sešitu projektanta 1 [11] a Hydraulika a řízení otopných soustav [15].

Tlakové ztráty (23) jsou dvojího druhu třecí a místními odpory. Třecí ztráta je způsobená třením otopné vody o vnitřní stěnu potrubí. Místní tlaková ztráta je daná změnou směru proudění, změnou průřezu potrubí, zařazením armatur či jiných zařízení na potrubí.

$$\Delta p_t = p_2 - p_1 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l \text{ [Pa]} \quad (23)$$

Δp_t tlaková ztráta vlivem tření [Pa]

λ součinitel tření [-]

l délka potrubí [m]

d vnitřní průměr potrubí [m]

w rychlost proudění otopné vody [m/s]

ρ hustota otopné vody [kg/m³]

R měrná tlaková ztráta [Pa/m]

$$\Delta p_m = \sum_i \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = Z \text{ [Pa]} \quad (24)$$

Δp_m místní tlaková ztráta [Pa]

ξ součinitel místní ztráty [-]

Z ztráta vřazenými odpory [Pa]

$$\Delta p_c = \Delta p_t + \Delta p_m = R \cdot l + Z \text{ [Pa]} \quad (25)$$

Δp_c celková tlaková ztráta

Metoda předběžné tlakové ztráty

Metoda předběžné tlakové ztráty je základní metoda pro návrh tlakových ztrát soustav s přirozeným oběhem. Jejím cílem je najít předběžnou měrnou tlakovou ztrátu, podle níž navrhne otopnou soustavu a následně jí podrobně spočítáme.

$$R_m = \frac{(1-a) \cdot \Delta p}{\sum l} \text{ [Pa]} \quad (26)$$

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1) \text{ [Pa]} \quad (27)$$

Metoda přímé volby dopravního tlaku čerpadla

Metoda přímé volby dopravního tlaku čerpadla vede na metodu předběžné tlakové ztráty. Rozdílem je, že tato metoda je určena pro soustavu s nuceným oběhem. Za Δp dosadíme dispoziční rozdíl tlaků daný čerpadlem.

Metoda ekonomických rychlostí

Metoda ekonomických rychlostí je založena na výpočtu vnitřního průměru z ekonomické rychlosti proudění otopné vody v potrubí. Tato ekonomická rychlost je obvykle 0,5 – 0,6 m/s v hlavních rozvodech, kdy vychází nízké ztráty. Rychlost se ideálně se vzdáleností od zdroje tepla snižuje. Pro jednotlivá otopná tělesa se určí okruhy potrubí a následně se vypočítá jeho tlaková ztráta.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w_{ek} \cdot \rho \cdot \pi}} \quad [mm] \quad (28)$$

Zde potřebujeme hmotnostní průtok, který získáme ze vztahu XX.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot \Delta t} = \dot{V} \cdot \rho \quad [kg/s] \quad (29)$$

\dot{m} hmotnostní průtok [kg/s]

\dot{V} objemový průtok [m³/s]

w_{ek} ekonomická rychlost proudění otopné vody [m/s]

c měrná tepelná kapacita [kJ/kg.K]

Metoda ekonomické měrné tlakové ztráty

Metoda měrné ekonomické rychlosti je obdobná s metodou ekonomických rychlostí, rozdíl je v tom, že místo ekonomické rychlosti volíme měrnou tlakovou ztrátu.

Metoda využití ekvivalentních délek

Metoda ekvivalentních délek obsahuje zjednodušení výpočtu a to tím, že převádí místní tlakové ztráty na ekvivalentní délku potrubí. Její časté použití vidíme při výpočtu jednotrubkové horizontální soustavy nebo při výpočtu horkovodních potrubních sítí, kdy je podíl λ/d téměř konstantní.

$$\Delta p = R \cdot (l + l_{ekv}) \quad (30)$$

l_{ekv} ekvivalentní délka potrubí

Výpočet světlosti potrubí

Pro výpočet světlosti potrubí jsem vybral metodu ekonomických rychlostí, a to z důvodu, že vychází z výsledných tepelných ztrát jednotlivých místností a dává hmotnostní průtok tělesa.

Hmotnostní průtok tělesem je dán vztahem (31).

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w_{ek} \cdot \rho \quad [kg/s] \quad (31)$$

Optimální vnitřní průměr potrubí je dán vztahem (32).

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w_{ek} \cdot \rho \cdot \pi}} \quad [mm] \quad (32)$$

Skutečná rychlost v potrubí je dána vztahem (33).

$$w_{sk} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot d_N \cdot \rho} \quad [m/s] \quad (33)$$

d_N vnitřní průměr kruhového potrubí z výrobní řady

Při použití této metody se vezme okruh od nejvzdálenějšího tělesa ke zdroji tepla, tzv. hlavní větev a spočítáme pro ni tlakové ztráty.

Nejvzdálenější těleso je těleso č.4 v obývacím pokoji.

Tab. 9 Dimenze a ztráty hlavní větve rozvodů

Hlavní větev OT												
úsek	Q	m	d_{opt}	DxS	d_i	L	w	R	R·L	ξ	Z	R·L+Z
A	6690	0,160	20,3	32x4,4	23,2	0,5	0,383	88	44	3,9	282	326
B	4594	0,110	16,8	25x3,5	18	2,9	0,436	151	439	6,7	630	1070
C	4403	0,105	16,5	25x3,5	18	2,1	0,418	141	295	5,2	449	745
D	3851	0,092	15,4	25x3,5	18	1,3	0,366	111	145	5,2	344	488
E	2879	0,069	13,3	25x3,5	18	1,5	0,273	67	100	1,1	41	141
F	2646	0,063	12,8	25x3,5	18	6,3	0,251	58	363	12,6	393	757
4	1470	0,035	9,5	25x3,5	18	2,15	0,140	493	1059	3,7	36	1095
4z	1470	0,035	9,5	25x3,5	18	2,15	0,140	493	1059	3,7	36	1095
Fz	2646	0,063	12,8	25x3,5	18	6,3	0,251	58	363	12,6	524	888
Ez	2879	0,069	13,3	25x3,5	18	1,5	0,273	67	100	1,1	606	706
Dz	3851	0,092	15,4	25x3,5	18	1,3	0,366	111	145	5,2	1355	1500
Cz	4403	0,105	16,5	25x3,5	18	2,1	0,418	141	295	5,2	1772	2067
Bz	4594	0,110	16,8	25x3,5	18	2,9	0,436	151	439	6,7	2070	2509
Az	6690	0,160	20,3	32x4,4	23,2	0,5	0,383	88	44	3,9	528	572
												13958

Tlaková ztráta okruhu tělesa č.4 je 13958 Pa. Tlakové ztráty pro ostatní okruhy se vypočítají stejným způsobem. Není zde zahrnuta tlaková ztráta otopného tělesa a regulačních armatur viz kapitola 7.

Pro dodržení požadavků vyhlášky č.197/2007 na izolaci potrubí je nutné rozvody otopné vody izolovat. Pro potrubí s $d_i < 22$ mm je tloušťka izolace 20 mm, pro větší d_i , konkrétně pro úsek A a Az je tloušťka izolace 30 mm. [27]

6. Zdroj tepla

Zdroj tepla je zařízení převádějící elektrickou nebo chemickou energii vázanou v palivu na energii tepelnou. Paliva pro kotle mohou být tuhá, kapalní nebo plynná. Zvláštním typem kotle je elektrokotel, ten přeměňuje energii elektrickou na tepelnou. V rodinných domech se setkáváme zejména s kotli na tuhá nebo plynná paliva, pro ohřev otopné vody a teplé vody. Pro ohřev teplé vody mimo otopné období se používají elektrická topná tělesa.

6.1. Návrh zdroje tepla

Pro tuto budovu navrhuji kondenzační plynový kotel. Ten se od plynového kotle liší tím, že se oproti teplu odebranému ze spalin, navíc získává latentní teplo, uložené ve skupenské přeměně vodní páry ve spalinách na vodu v kapalném skupenství. Toto latentní teplo je využíváno k předehřevu zpětného vedení otopné vody. K přeměně dochází mezi 50 a 55 °C, a proto zpátečka musí mít teplotu nižší. Z tohoto důvodu byl zvolen teplotní spád soustavy 55/45 °C. Díky tomuto dalšímu zisku tepla z paliva můžeme teoreticky dosáhnout účinnosti až 109 % vztažené k výhřevnosti při spalování zemního plynu. [17]

Zvolený kotel je závěsný kondenzační plynový kotel ecoTEC exclusive VU 156/5-7 s možností ohřevu teplé vody v externím zásobníku. Kotel má výkon v rozsahu od 1,9 do 14,5 kW s modulací a možností ekvitermního řízení. Tepelná ztráta budovy je 6,44 kW. Tento kotel je z výroby vybaven systémem pro přednostní ohřev teplé vody.[18]

6.2. Přednostní příprava teplé vody

Tento režim provozu kotle umožňuje využití celého výkonu kotle pro ohřev teplé vody v externím zásobníku teplé vody. Teplá voda je trojcestnými ventily integrovanými v kotli přeměrována z otopné soustavy do výměníku v zásobníku teplé vody v případě, že teplota vody v zásobníku je nižší než požadovaná teplota na výstupu o diferenci. Diferenci volíme 5 až 10 °C. Doba pro dohřev teplé vody by podle typu budovy neměla překročit 10 minut u lehkých budov a 20 minut u středně těžkých a těžkých, kdy spoléháme na tepelnou setrvačnost otopné soustavy a akumulaci budovy. [17]

6.3. Zásobník teplé vody

Zásobník teplé vody musí mít dostatečnou velikost, aby bylo k dispozici dostatečné množství teplé vody pro spotřebu obyvatel domu. Stanovení velikosti zásobníku je možné třemi způsoby. První způsob je použití normy ČSN 06 0320 – Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody. Druhý způsob je použití normy DIN 4708 – Centrální zařízení pro ohřev vody. Třetím způsobem je návrh s využitím přednostní přípravy teplé vody. Návrh velikosti zásobníku bude proveden podle první a třetí metody.

Návrh dle ČSN 06 0320

Tento postup návrhu vychází ze stanovení potřeby teplé vody za zvolenou periodu. Obvykle se volí za 24 hodin. Celková potřeba tepla je dána vztahem (34).

$$V_{2p} = V_o + V_j + V_u \text{ [m}^3/\text{perioda]} \quad (34)$$

V_{2p} ... celková potřeba teplé vody [m³/perioda]

V_o ... potřeba teplé vody pro mytí osob [m³/perioda]

V_j ... potřeba teplé vody pro mytí nádobí [m³/perioda]

V_u ... potřeba teplé vody pro úklid [m³/perioda]

Potřeba tepla pro mytí osob je dána vztahem (35).

$$V_o = n_l \cdot \sum_{i=1}^n V_{di} = n_l \cdot \sum_{i=1}^n (n_{di} \cdot U_{3i} \cdot \tau_{di} \cdot p_{di}) \text{ [m}^3/\text{perioda]} \quad (35)$$

V_d ... objem dávky v dané periodě [m³]

n_l ... počet uživatelů [-]

n_d ... počet dávek [-]

τ_d ... doba dávky [h]

U_3 ... objemový průtok teplé vody při teplotě t_3 do výtoku [m³/h]

p_d ... součinitel prodloužení doby dodávky [-]

Potřeba teplé vody pro mytí nádobí je dána vztahem (36).

$$V_j = n_j \cdot V_d \quad (36)$$

n_j ... počet jídel [-]

Potřeba teplé vody pro úklid je dána vztahem (37).

$$V_u = n_u \cdot V_d \quad (37)$$

n_u ... počet (výměra) ploch [-]

Norma ČSN 06 0320 doporučuje počítat s celkovou spotřebou teplé vody $V_{2p} = 0,082 \text{ m}^3/\text{osoba.den}$, což se v praxi ukázalo jako nadsazené. Reálná průměrná hodnota potřeby teplé vody V_{2p} se pohybuje od 0,04 do 0,05 m³/osoba.den. [16]

Další postup je stanovení potřeby tepla odebrané z ohřívače teplé vody za danou periodu. Stanovíme jí dle vzorce.

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = Q_{2t} \cdot (1 + z) = \frac{V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot (1 + z)}{3600 \cdot 1000} \text{ [kWh/perioda]} \quad (38)$$

Q_{2p} teplo dodané ohřívačem teplé vody [kWh/perioda]

Q_{2t} teplo pro ohřev vody [kWh/perioda]

Q_{2z} teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody [kWh/perioda]

z poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody [-]

ρ hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m³]

c měrná tepelná kapacita vody [J/kg.K]

t_1 teplota studené vody [°C]

t_2 teplota teplé vody [°C]

Následně sestavíme křivku tepla odebraného z ohřívače teplé vody, začínající v počátku a končící o periodu později s hodnotou Q_{2p} . Pro stanovení průběhu křivky mezi těmito body musíme znát závislost odběru teplé vody během dne, který záleží na chování obyvatel domu. Norma nám toto zjednodušuje možností počítat s tzv. časovým rozbohem odběru teplé vody. K takto vzniklé křivce odběru musíme nyní sestavit křivku dodávky tepla. Dodávka tepla může být trvalá, nebo je dodávka tepla kratší. Trvalá dodávka tepla znamená, že zdroj pracuje celou periodu s konstantním výkonem z čehož nám vzniká křivka ve tvaru úsečky od počátku do Q_{2p} , nebo může být dodávka tepla kratší, a tak se křivka skládá z vodorovných a rostoucí úsečky, v případě přerušovaného vytápění vícero rostoucích úseček. Rozdíl mezi křivkou odběru a křivkou dodání tepla nám určuje potřebnou velikost akumulacího zásobníku. Již můžeme vyjádřit dle vzorce.

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} * 3600 * 1000 \text{ [m}^3\text{]} \quad (39)$$

V_z objem zásobníku [m³]

ΔQ_{max} maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a křivkou odběru [kWh]

Z křivky dodávky tepla také můžeme určit tepelný výkon zdroje tepla, dle vzorce.

$$P_z = \left(\frac{Q}{\tau} \right) \text{ [kW]} \quad (40)$$

P_z výkon zdroje tepla [kW]

τ čas [hodina]

Výsledný návrh dle ČSN 06 0320

Potřeba tepla odebraná z ohřívače je 11,704 kWh/den. (41)

$$Q_{2p} = \frac{(4 \cdot 0,042) \cdot 988 \cdot 4187 \cdot (55 -) \cdot (1 + 0,3)}{3600 \cdot 1000} = 11,704 \text{ kWh/den} \quad (41)$$

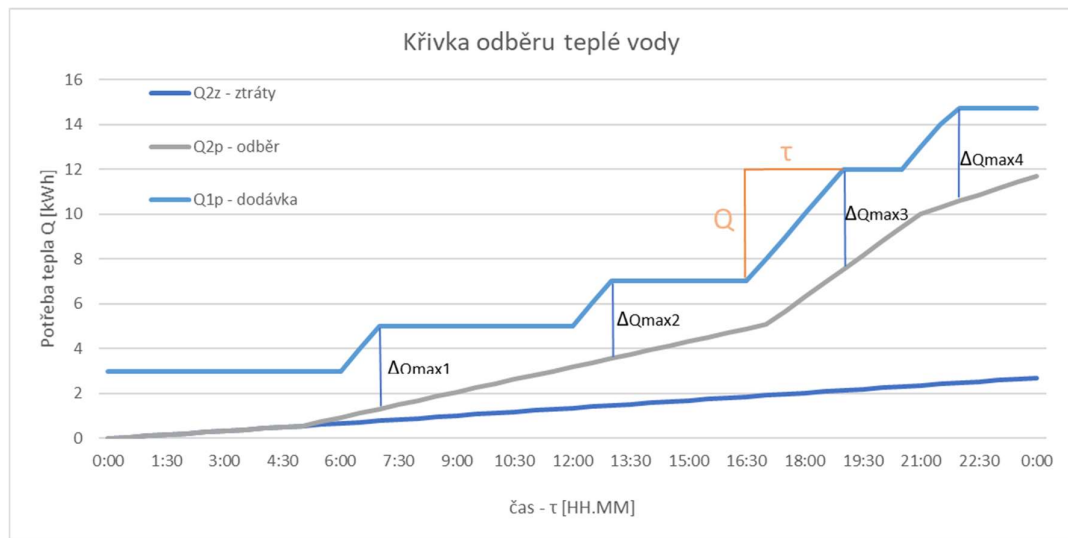
Objem zásobníku teplé vody je 86,3 litrů. (42)

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} * 3600 * 1000 = \frac{4,460}{988 \cdot 4187 \cdot (55 - 1)} \cdot 3600 \cdot 1000 = 0,0863 [m^3] (42)$$

Potřebný výkon zdroje tepla je 2 kW. (43)

$$P_z = \left(\frac{Q}{\tau} \right) = \frac{2}{1} = 2 \text{ kW} \quad (43)$$

Objem zásobníku teplé vody vychází 86,3 litrů. Ovšem tento výpočet je možné využít pro období mimo otopné období, a to z důvodu nabíjení zásobníku výkonem 2 kW. Plynový kondenzační kotel ecoTEC exclusive VU 156/5-7 nám tento režim provozu umožňuje, protože se stává zdrojem tepla pouze pro přípravu teplé vody a není tedy nutné instalovat dodatečný elektrický zdroj tepla.



Obr. 4 Křivka odběru tepla

Návrh s přednostní přípravou teplé vody

Přednostní příprava teplé vody je režim provozu zdroje tepla, kdy se celý výkon zdroje tepla soustředí pro ohřev teplé vody. Návrh vychází z bilance dodaného tepla objemu zásobníku za časovou jednotku při známém rozdílu teplot, dané vzorcem.

$$V_z = \frac{Q_{k,N} \cdot \tau}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p} [m^3] \quad (44)$$

$Q_{k,N}$ jmenovitý tepelný výkon zdroje tepla [W]

V_z objem zásobníku TV [m³]

τ doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev TV [s]

Doba dohřevu teplé vody musí být kratší než 10 minut z důvodu konstrukce budovy.

ρ hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m³]

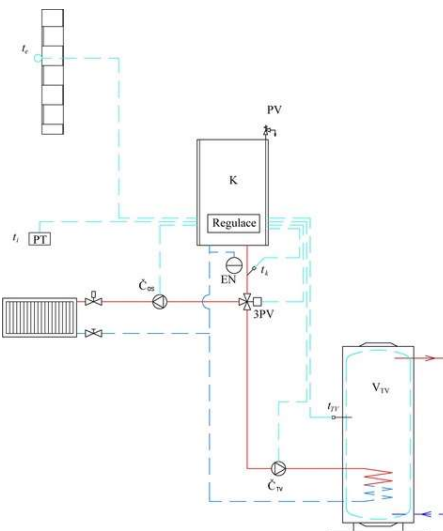
c měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [J/kg.K]

X_p spínací diference pro dohřev TV (5 nebo 10 K) [K]

y korekční faktor odběru tepla ze zásobníku TV [-]

Velikost zásobníku dle (44) je 116 l.

$$V_z = \frac{Q_{k,N} \cdot \tau}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p} = \frac{14500 \cdot 300}{0,89 \cdot 988 \cdot 4187 \cdot 10} = 0,116 \text{ m}^3$$



Navrhuji zásobník Vaillant uniSTOR VIH R 150/6 B s celkovým objemem 144 litrů.

Obr. 5 Diagram zapojení s přednostní přípravou teplé vody včetně senzorů [28]

7. Regulace otopné soustavy

Otopnou soustavu musíme tepelně regulovat. Je to způsobeno tím, že tepelné ztráty a z nich vycházející tepelné výkony otopných těles jsou dimenzovány pro nejnejpříznivější venkovní výpočtovou teplotu, která nastává jen velmi zřídka, z čehož plyne, že celá soustava je pro většinu svého provozu předimenzovaná. Tepelná regulace nám pak zajistí tepelnou pohodu a zároveň přináší ekonomickou úsporu, takže využíváme jen potřebné množství tepla. Otopnou soustavu regulujeme hydraulicky, pro docílení správného vyvážení otopné soustavy, kdy otopná voda proudí ve správných poměrech ke všem otopným tělesům soustavy, aby nedocházelo k přetápění či nedotápění určitých místností.

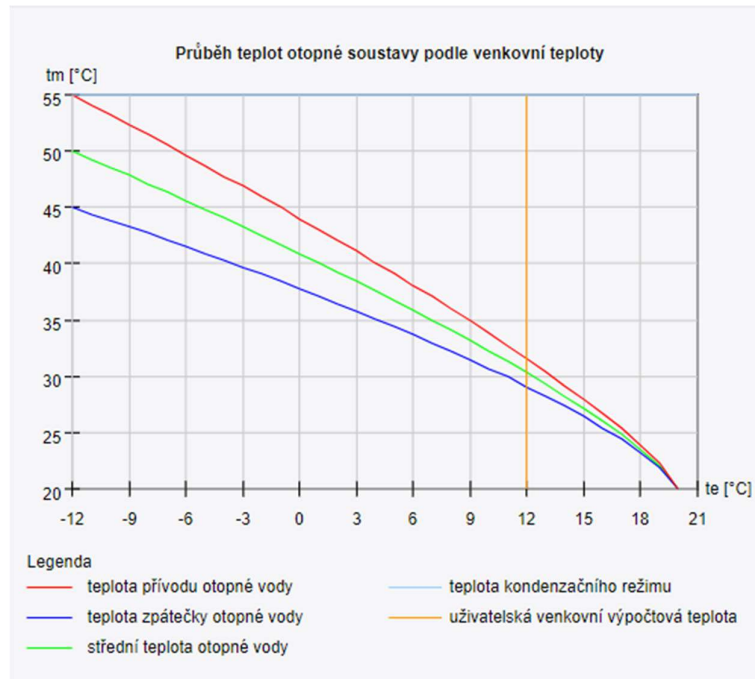
7.1. Regulace tepelného výkonu

K přenosu tepelného výkonu dochází prouděním otopné vody otopnou soustavou. Tento přenesený výkon můžeme regulovat dvěma způsoby.

Prvním způsobem je regulace teploty proudící otopné vody tzv. kvalitativní regulace. Výhodou této regulace je to, že hydraulické vyvážení soustavy se se změnou teploty otopné vody nemění. K této regulaci dochází ve zdroji tepla, kdy je snížena teplota přívodní vody k otopným tělesům nebo smísením vratné otopné vody v trojcestných nebo čtyřcestných směšovacích armaturách.

Druhým způsobem regulace je změnou množství proudící otopné vody tzv. kvantitativní regulace. Této regulace dosáhneme přímo na zdroji tepla pomocí rozdělení proudící vody v trojcestném ventilu anebo regulací na otopných tělesech regulačním šroubením. K regulaci také dochází osazením termostatických ventilů na těleso. Termostatické ventily se nastavují na požadovanou teplotu v místnosti, reagují na aktuální teplotu v místnosti a regulují průtok tímto tělesem. Osazením regulačního šroubení a termostatického ventilu dochází k ovlivnění hydraulické regulace otopné soustavy.

Ekvitermní regulace teploty otopné vody vztažené k venkovní teplotě je způsob regulace teploty otopné vody kvalitativní regulací tak, aby nastala rovnováha tepelných ztrát a dodaného tepla a teplota v místnosti tak zůstávala konstantní. Dle vyhlášky č. 193/2007 Sb. jsme povinni udržovat teplotu otopné vody na teplotě nezbytně nutné pro zajištění dodávky tepelné energie k dosažení tepelné pohody uživatelů, to znamená, že tepelná regulace je povinná. Pro splnění tohoto požadavku je vhodné použití ekvitermní regulace otopné vody, protože nám umožňuje použití místní regulace na tělesech oproti regulaci hydraulické, která zmenšuje pásmo proporcionality a tím i možnost řízení soustavy. Na obrázku je ekvitermní křivka pro navrženou otopnou soustavu s návrhovým teplotním spádem 55/45 °C pro místnost o teplotě 20 °C. Ukazuje nám, jaká by měla být teplota otopné vody v soustavě v závislosti na venkovní teplotě. Při venkovní teplotě +12 °C, která je jednou z možných teplot pro stanovení konce a začátku otopného období, je ekvitermní teplotní spád 31,6/29,1 °C.



Obr. 6 Graf ekvitemní křivky pro otopnou soustavu 55/45/20 °C [20]

7.2. Hydraulická regulace rozvodů

Vyhláška 193/2007 nám ukládá opatřit všechny tepelné spotřebiče armaturou s uzavírací schopností a pro otopná tělesa ventilem s uzavírací a regulační schopností pro možnost místní regulace. Tyto ventily nastavují omezení průtoku otopné vody otopným tělesem, zároveň ovšem také přidávají tlakovou ztrátu jednotlivým okruhům otopných těles, potřebnou pro hydraulické vyvážení soustavy. Tlakovou ztrátu jednotlivých okruhů musíme doregulovat na ztrátu hlavní větve rozvodu s největší tlakovou ztrátou. Okruh s největší tlakovou ztrátou má všechny armatury úplně otevřené, aby tlaková ztráta tohoto úseku byla co nejnižší a nezvyšovala tak tlakovou ztrátu, kterou musíme doregulovat. Tlaková ztráta okruhu bez regulačních armatur závisí na vnitřní dimenzi potrubí, hmotnostním průtoku, drsnosti potrubí, která záleží na použitém materiálu potrubí a na teplotě otopné vody. Regulační armatury regulujeme dle vztahu (45). [29]

$$k_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_v}} \quad (45)$$

k_v jmenovitý průtok armaturou při maximálním otevření armatury a tlakové ztrátě $\Delta p_o = 100 \text{ kPa}$ [m^3/h]

\dot{V} objemový průtok armaturou [m^3/h]

Δp_o tlaková ztráta ($\Delta p_o = 100 \text{ kPa}$)

Δp_v tlaková ztráta ventilu [kPa]

Hodnoty k_v jsou stanoveny výrobcem a nastavují se otočením šroubení, které ovládá kuželku ventilu. Výrobce udává konkrétní hodnoty k_v (např. 0,09;0,18;0,3; ...) [9][10] ke kterým jsou přiřazeny stupně otevření ventilu obvykle zobrazené na těle ventilu nebo udávající počet otáček kuželky ventilu z plně uzavřené polohy. Ventily jsou statické, které mají stálou regulaci a termostatické reagující na teplotu v prostoru, kde je umístěné otopné těleso.

Pro části otopné soustavy například v blízkosti zdroje tepla, můžeme potřebovat zvýšit tlakovou ztrátu pro skupinu otopných těles, pak na jejich společnou odbočku můžeme osadit vyvažovací ventil, což nám může ušetřit množství osazovaných ventilů, regulujících jednotlivá otopná tělesa.

Tab. 10 Nastavení regulačních armatur pro otopná tělesa

Číslo tělesa	Pozice TRV	Pozice HM	Pozice RŠ
1	0,5	0	0,5
2	1,5	0	0,5
3	5,5	3	4
4	8	4	-
5	3	-	0,5
6	2	-	0,5
7	-	0	0
8	-	0	1
9	0,5	0	0
10	1	0	0,5
11	2	1	-
12	2	0,5	-
13	-	0	0
14	-	0	-

Otopná tělesa 7,8,13 a 14 jsou trubková otopná tělesa s armaturou HM osazenou termoregulačními ventily, které jsou integrovány spolu s regulačním šroubením do jednoho celku.

Armatura HM je osazena na všech tělesech, aby bylo možné tato tělesa uzavřít, jak požaduje vyhláška č.193/2007. Výjimkou jsou konvektory, které jsou osazeny axiální termoregulačním ventilem a regulačním šroubením. Tam, kde není ztráta armaturou HM dostatečná, byla přidána ještě regulační šroubení.

8. Potřeba tepla a potřeba paliva

Potřeba tepla udává množství energie, které je nutné dodat budově za rok. Stanoví se dle vztahu (46).

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} + Q_{VZT,r} + Q_{TECH,r} \quad [J] \quad (46)$$

$Q_{VYT,r}$ potřeba tepla pro vytápění [J]

$Q_{TUV,r}$ potřeba tepla pro ohřev teplé vody [J]

$Q_{VZT,r}$ potřeba tepla pro ohřev vzduchu ve vzduchotechnické jednotce [J]

$Q_{TECH,r}$ potřeba tepla pro technologii [J]

V tomto domě uvažuji pouze potřebu tepla pro vytápění a potřebu tepla pro ohřev teplé vody, protože zde není vzduchotechnická jednotka ani technologie spotřebovávající teplo.

8.1. Potřeba tepla pro vytápění

Potřebu tepla na vytápění jsem určil podle denostupňové metody. Teoretická potřeba tepla se určí podle vzorce (47).

$$Q_d = 24 \cdot 3600 \cdot Q_z \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [J] \quad (47)$$

Q_d teoretické potřeba tepla [J]

Q_z tepelná ztráta objektu [W]

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

t_{es} střední venkovní teplota během otopného období [°C]

t_e venkovní výpočtová teplota [°C]

e_i opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a prostupem [-]

e_t opravný součinitel na snížení vnitřních teplot v místnosti během dne [-]

e_d opravný součinitel na zkrácený doby vytápění [-]

Skutečná potřeba zohledňující účinnosti kotle, rozvodů, regulace a obsluhy se stanoví dle vzorce (48).

$$Q_{d,skut} = \frac{Q_d}{\eta_k \cdot \eta_r \cdot \eta_o} \quad [J] \quad (48)$$

η_k účinnost zdroje tepla [-]

η_r účinnost rozvodů vytápění [-]

η_o účinnost obsluhy a regulace otopné soustavy [-]

Výsledná potřeba tepla pro vytápění

Teoretická potřeba tepla podle denostupňové metody.

$$Q_d = 24 \cdot 3600 \cdot 6,44 \cdot \frac{229 \cdot (20 - 4,1)}{(20 - (-12))} \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1 = 48,43 \text{ GJ}$$

Přepočítání na skutečnou potřebu tepla s uvažováním účinností otopné soustavy.

$$Q_{d,skut} = \frac{48433256,8}{0,973 \cdot 0,97 \cdot 0,95} = 54,02 \text{ GJ}$$

Denostupňová metoda stanovuje potřebu tepla, která je vyšší než výsledná spotřeba tepla, protože její výsledky vychází z tepelných ztrát, které jsou stanoveny na nejnevhodnější specifické podmínky.

8.2. Potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Potřeba tepla pro ohřev teplé vody se stanoví dle vzorce (49).

$$Q_{d,tv} = \frac{V_{2p,c} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \cdot (1 + z) \text{ [Wh/den]} \quad (49)$$

$Q_{d,tv}$ potřeba tepla pro ohřev teplé vody [Wh/den]

$V_{2p,c}$ celková dávka teplé vody [m^3 /den]

t_2 teplota teplé vody [$^{\circ}C$]

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

z energetické ztráty systému [%]

Výsledná potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Potřeba tepla pro ohřev teplé vody na den.

$$Q_{d,tv} = \frac{0,168 \cdot 988 \cdot 4187 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} \cdot (1 + 0,3) = 11,139 \text{ kWh/den}$$

Přepočítání potřeby tepla pro ohřev teplé vody na den na rok.

$$11,139 \text{ kWh/den} \rightarrow 14,839 \text{ GJ/rok}$$

Kontrola výpočtu potřeby tepla byla provedena výpočtovým programem z tzb-info.cz

Lokalita [\(Tabulka\)](#)

Město:

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -12$ °C

$t_{em} = 12$ °C
 $t_{em} = 13$ °C
 $t_{em} = 15$ °C ???

Délka topného období: $d = 229$ [dny]

Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 4.1$ °C

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_c = 6.44$ kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ °C ???

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3641$ K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.85$??? $\eta_o = 0.95$???
 $e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.97$???
 $e_d = 1.00$???

Opravný součinitel ϵ ???

$\epsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$
 $\epsilon = 0.765$

$$Q_{VVT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$Q_{VVT,r} = \left(\frac{52.6 \text{ GJ/rok}}{14.6 \text{ MWh/rok}} \right)$

Ohřev teplé vody

$t_1 = 10$ °C ??? $\rho = 988$ kg/m³ ???
 $t_2 = 55$ °C ??? $c = 4187$ J/kgK ???

$V_{2p} = 0.168$ m³/den ???
 Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.3$???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 11.3 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 10$ °C
 Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 10$ °C
 Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$Q_{TUV,r} = \left(\frac{13.7 \text{ GJ/rok}}{3.8 \text{ MWh/rok}} \right)$

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = \left(\frac{66.3 \text{ GJ/rok}}{18.4 \text{ MWh/rok}} \right)$

Obr. 7 Výstup programu Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [21]

8.3. Potřeba paliva

Z celkové potřeby tepla potřebujeme zjistit potřebu paliva (50), protože dodavatel tepla nám účtuje náklady dle odebraného množství plynu v m³ a také protože návrh plynovodního potrubí se stanovuje dle hmotnostního nebo objemového průtoku.

$$U_p = \frac{Q_{d,skut} + Q_{d,tv}}{H_s} \quad [m^3] \quad (50)$$

U_p potřeba paliva [m³]

H_s spalné teplo [kJ/m³]

Roční celková spotřeba paliva

$$U_p = \frac{54,02 + 14,84}{0,039794} = 1730,4 \text{ m}^3$$

Roční potřeba zemního plynu pro vytápění a ohřev teplé vody je 1730,4 m³.

8.4. Provozní náklady soustavy

Náklady na provoz soustavy s plynovým zdrojem tepla se stanoví dle vzorce. Pro město Mělník, kde je rodinný dům postaven, je distributor zemního plynu Pražská plynárenská a.s. Současná cena za odebrané množství, pro malooběratele od 15 do 25 MWh/rok, je 1285,31 Kč/MWh. Kromě spotřeby musíme platit za distribuci a ostatní služby poplatky v součtu 283,77 Kč.

$$N_{pl} = U_p \cdot \text{cena}_{MWh} + 12 \cdot \text{paušál} \text{ [Kč]} \quad (51)$$

N_{pl} náklady na odběr plynu [Kč]

Přepočet množství plynu na MWh.

$$1730,4 \text{ m}^3 \rightarrow 19,28 \text{ MWh}$$

$$N_{pl} = 19,28 \cdot 1285,31 + 12 \cdot 283,77 = 28\,186,53 \text{ Kč}$$

Náklady na roční potřebu plynu jsou 28 186,53 Kč. V nákladech soustavy není započítán elektrický příkon kotle a oběhového čerpadla.

9. Závěr

Úvod bakalářské práce nastínil obsah této bakalářské práce, která měla za cíl stanovit tepelně-technické vlastnosti konstrukce zadaného domu, určit tepelné ztráty tohoto domu, navrhnout pro něj otopnou soustavu, sestávající se ze zdroje tepla, rozvodů otopné soustavy a otopných těles, včetně regulace celé soustavy.

Výpočet tepelných ztrát byl proveden podle normy ČSN EN 12 831-1, na základě složení konstrukcí dle přání investora, pro něž byly navrženy opatření tak, aby odpovídaly doporučeným hodnotám součinitele pro jednotlivé konstrukce. Tepelná ztráta budovy dle normy je 6,44 kW.

Ze znalosti tepelných ztrát jednotlivých místností jsem navrhl otopná tělesa do vytápěných místností, aby tyto tepelné ztráty pokryly. Investor si přál použití deskových otopných těles ve vytápěných místnostech, s výjimkou obou koupelny, kde byl požadavek na využití trubkových otopných těles a použití konvektorů v místnostech, kde jsou francouzská okna. Teplotní spád otopné soustavy byl zvolen 55/45 °C, na který bylo nutné provést kontrolní přepočty výkonu otopných těles z katalogu s teplotním spádem 75/65/20 °C.

Ze znalosti výkonu a umístění jednotlivých těles jsem mohl navrhnout dimenze potrubí pro horizontální, dvoutrubkovou, protiproudou, uzavřenou otopnou soustavu s nuceným oběhem vody. Rozvody jsou vedeny v potrubí Rautitan flex, které může být také využito pro rozvody teplé vody. Celé potrubí musí být tepelně izolováno.

Za zdroj tepla byl zvolen kondenzační plynový kotel ecoTEC exclusive VU 156/5-7 s možností ohřevu teplé vody v externím zásobníku. Provedl jsem návrh velikosti zásobníku a výsledný zásobník teplé vody je Vaillant uniSTOR VIH R 150/6 B s celkovým objemem 144 litrů, který je navržen pro použití s tímto kotlem. Navržený kondenzační kotel je schopen zásobovat budovu teplou vodou během otopného období, kdy pracuje s přednostním ohřevem teplé vody, kdy využije plně svůj výkon a zároveň i během letního období, kdy sníží svůj výkon na přerušovaný ohřev vody v zásobníku teplé vody.

Navrženou otopnou soustavu je nutné regulovat, regulaci hydraulickou obstarávají termoregulační ventily, regulační šroubení a přípojovací armatury těles. O tepelnou regulaci se stará zdroj tepla za pomoci ekvitermní regulace teploty otopné vody.

Skutečná potřeba teplé vody na vytápění byla stanovena denostupňovou metodou na 54,02 GJ za otopné období. Potřeba tepla na ohřev teplé vody ke spotřebě byla stanovena na 14,84 GJ za rok. Předpokládané roční náklady stanovené na potřebu plynu pro provoz zdroje tepla jsou 28 187 Kč. Náklady na spotřebu elektrické energie zdroje tepla a oběhového čerpadla nejsou ve výpočtu zahrnuty.

Seznam použité literatury

- [1] Vyhláška č. 193/2007 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu o podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu
- [2] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky [online], dostupné z <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [3] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [online], dostupné z <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [4] Výpočet tepelných ztrát [online], dostupné z http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapani/VYT_cv_1_2011.pdf
- [5] Stavební materiál Ytong [online]. dostupné z <http://www.ytong.cz/cs/content/sortiment.php>
- [6] Vchodové dveře Slavona [online], dostupné z <https://www.slavona.cz/vchodove-dvere/#specifikace>
- [7] Plastová okna Premium EVO [online], dostupné z <https://www.vekra.cz/produkt/vekra-premium-evo/>
- [8] Interiérové dveře Interier SIMPLE [online], dostupné z <https://www.vekra.cz/produkt/vekra-interier-simple/>
- [9] Otopná tělesa KORADO [online]. dostupné z <http://www.korado.cz/cs/vyroby/index.shtml>
- [10] Regulační šroubení Regulux [online], dostupné z <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/regula%C4%8Dn%C3%AD-%C5%A1rouben%C3%AD/Regulux/80a10528-d758-445f-adbd-5a0ee7a30fa2>
- [11] Bašta J. a Kabele K., Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č. 1), Společnost pro techniku prostředí, Praha 2001,
- [12] Jirout V. a kolektiv, Příprava teplé vody (sešit projektanta č.3) – 2. přepracované vydání, Společnost pro techniku prostředí Praha 2007
- [13] Bašta, J.: Otopná tělesa (sešit projektanta č.5), Společnost pro techniku prostředí Praha 2000
- [14] Bašta, J.: Otopné plochy, Vydavatelství ČVUT, Praha 2001, ISBN 80-01-02365-6
- [15] Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav, Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, ISBN 80-01-02808-9
- [16] Příprava teplé vody [online], dostupné z http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/ZTI/NEW/004_TV_1.pdf
- [17] Stručná teorie kondenzačních kotlů plynových kotlů [online]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>.
- [18] Závěsný kondenzační plynový kotel ecoTEC exclusive [online] dostupné z <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/zavesny-kondenzacni-plynovy-kotel-ecotec-exclusive-20672.html#complementary>

- [19] Nepřímotopný zásobníkový ohřívač VIH uniSTOR R 120/6 M - 200/6 M [online], dostupné z <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/neprimotopny-zasobnikovy-ohrivac-vih-unistor-r-120-6-m-200-6-m-9474.html>
- [20] Pomůcka pro sestavení ekvitermní křivky [online], dostupné z <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/50-vypocet-a-graf-ekvitermni-krivky>
- [21] Výpočet potřeby teplé vody [online], dostupné z <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [22] Zemní plyn – spalné teplo a další vlastnosti [online], dostupné z <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1963-spalovaci-vlastnosti-zp-i>
- [23] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3
- [24] ČSN EN 15316-3-1 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy
- [25] ČSN 06 0320 - Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování
- [26] Ceník Pražská plynárenská a.s. [online], dostupné z https://www.ppas.cz/sites/default/files/ceniky/2020/02w_2021_01_Cenik_PPD_Sleva11.pdf
- [27] Technická informace Rautitan – domovní instalace.pdf [online], dostupné z <https://www.rehau.com/cz-cs/epaper>
- [28] Příprava teplé vody [online], dostupné z <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14864-priprava-teple-vody-v-obytnych-budovach>
- [29] Bašta. J., Regulace vytápění, Vydavatelství ČVUT, Praha 2002, ISBN 80-01-02582-9

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výkres pohledů domu

Příloha č. 2 – Výkres přízemí

Příloha č. 3 – Výkres 1. N. P.

Příloha č. 4 – Výkres rozvinutého schématu otopné soustavy

CD

Seznam obrázků

Obr. 1 Vizualizace domu v perspektivě, pohled ze severu

Obr. 2 Vizualizace domu v perspektivě, pohled z jihu

Obr. 3 Diagram rozdělení otopných soustav podle základních technických parametrů [11]

Obr. 4 Křivka odběru tepla

Obr. 5 Diagram zapojení s přednostní přípravou teplé vody včetně senzorů

Obr. 6 Graf ekvitemní křivky pro otopnou soustavu 55/45/20 °C [20]

Obr. 7 Výstup programu Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Seznam tabulek

Tab. 1 Označení místností a vnitřních výpočtových teplot přízemí

Tab. 2 Označení místností a vnitřních výpočtových teplot přízemí

Tab. 3 Hodnoty tepelného odporu podle směru přestupu tepla [4]

Tab. 4 Přírážka na vliv tepelných vazeb [23]

Tab. 5 Koefficienty pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla podlahou

Tab. 6 Tepelné ztráty přízemí

Tab. 7 Tepelné ztráty 1. nadzemního podlaží

Tab. 8 Kontrola přepočtu výkonů otopných těles

Tab. 9 Dimenze a ztráty hlavní větve rozvodů

Tab. 10 Nastavení regulačních armatur pro otopná tělesa

Obsah CD

/pohledy.pdf

/prizemi.pdf

/první_patro.pdf

/rozvinute_schema.pdf

/textBP.pdf

/vypocty.xml

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav techniky prostředí – Ú12116

© 2021 TOMÁŠ TARABA