

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

STUDIE VYTÁPĚNÍ RODDINÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jířímu Baštovi, Ph.D. za jeho trpělivost, pomoc a cenné rady, které mi pomohli při vypracování této bakalářské práce.

Souhrn

Cílem této bakalářské práce „Studie vytápění rodinného domu“ je kompletní návrh otopné soustavy, ve kterém je zahrnut návrh konstrukce objektu s požadavkem na nízké tepelné ztráty, výpočet tepelných ztrát objektu, návrh a výpočet otopných ploch včetně výpočtu hydrauliky, volba zdroje tepla, regulace otopné soustavy a v poslední řadě návrh objemu zásobníku teplé vody.

Dále je součástí této bakalářské práce stanovení potřeby tepla a provozních nákladů.

Summary

The target of the bachelor thesis „Heating study for a Family House“ is a complete design of the heating system, which includes the design of the building with the requirement for low heat losses, the calculation of the heat loss of the building, design and the calculation of heating surfaces including the calculation hydraulic, the choice of a heat source, regulation of the heating system and last design volume hot water tank.

Another part of this bachelor thesis is design needs of the heat and operating costs.

ČESTNÉ 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 16.6.2015

Petr Vesecký

Obsah

1. Úvod	1
2. Charakteristika budovy	2
2.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí	2
2.1.1 Úspora energie a ochrana tepla	2
2.2 Navržené konstrukce objektu	3
2.2.1 Konstrukce podlahy 1.PP	3
2.2.2 Konstrukce podlahy 1.NP a 2.NP	4
2.2.3 Konstrukce obvodového zdiva	4
2.2.4 Konstrukce vnitřních stěn	4
2.2.5 Konstrukce střechy	5
2.2.6 Otvorové výplně	5
2.3 Výpočet tepelných ztrát	7
2.3.1 Stanovení tepelné ztráty prostupem konstrukce	9
2.3.2 Stanovení tepelné ztráty větráním	11
2.4 Vypočítané tepelné ztráty	13
3. Otopná soustava	14
3.1 Obecný popis a rozdělení otopných soustav	14
3.1.1 Soustava s přirozeným oběhem	14
3.1.2 Soustava s nuceným oběhem	15
3.1.3 Soustava s horizontálním rozvodem	15
3.1.4 Soustava s vertikálním rozvodem	15
3.1.5 Soustava s hvězdicovým rozvodem	15
3.1.6 Soustava se spodním rozvodem	15
3.1.7 Soustava s horním rozvodem	15
3.1.8 Jednotrubková soustava	16
3.1.9 Dvoutrubková soustava	16
3.2 Volba otopné soustavy	17
3.3 Otopná plocha	17
3.4 Návrh otopných těles	18
3.4.1 Přepočet otopných těles	18
3.5 přehled otopných těles	20
3.6 Návrh světlosti potrubí	20
3.6.1 Metoda předběžné měrné tlakové ztráty	21
3.6.2 Metoda přímé volby dopravního tlaku čerpadla	21
3.6.3 Metoda ekonomických rychlostí	22
3.6.4 Metoda ekonomické měrné tlakové ztráty	22
3.6.5 Metoda využití ekvivalentních délek	22
3.6.6 Výpočet světlosti potrubí	22
3.7 Regulace otopné soustavy	24
3.7.1 Hydraulická regulace	24
3.7.2 Regulace tepelného výkonu	25
3.7.3 Přehled nastavení pozic termostatických a regulačních ventilů	26

4. Zdroj tepla	27
4.1 Volba zdroje tepla	27
4.1.1 Princip kondenzačního kotle	27
4.2 Příprava teplé vody	28
4.2.1 Systém přednostní přípravy teplé vody	28
4.2.2 Stanovení objemu zásobníku	29
5. Potřeba tepla a paliva	34
5.1 Potřeba tepla pro vytápění	34
5.2 Potřeba tepla na ohřev teplé vody	36
5.3 Potřeba paliva	36
5.4 Provozní náklady	37
6. Závěr	38
7. Seznam výkresové dokumentace	39
8. Seznam tabulek	40
9. Seznam obrázků	41
10. Použitá literatura	42

Soupis použitého značení

A_k	Plocha stavební části konstrukce	$[m^2]$
C_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu	$[J/kg.K]$
G_w	Součinitel zohledňující vliv spodní vody	$[-]$
H_s	Spalné teplo	$[kJ/m^3]$
$H_{T,ie}$	Měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do venkovního prostoru	$[W/K]$
$H_{T,ig}$	Měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do přilehlé zeminy	$[W/K]$
$H_{T,ij}$	Měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného prostoru do sousedního prostoru s rozdílnou teplotou	$[W/K]$
$H_{T,iue}$	Měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do nevytápěného prostoru	$[W/K]$
$H_{V,ie}$	Měrná tepelná ztráta větráním	$[W/K]$
$N_{pl,rok}$	Náklady na provoz zdroje tepla	$[Kč/rok]$
$N_{el,tv}$	Náklady na provoz elektrického topného tělesa	$[Kč/rok]$
N_{celk}	Celkové náklady na provoz zdroje tepla a zásobník teplé vody	$[Kč/rok]$
P_z	Tepelný výkon zdroje tepla	$[W]$
Q	Minimální potřebný výkon otopného tělesa	$[W]$
Q_{TECH}	Potřeba tepla pro technologii	$[J]$
$Q_{TUV,r}$	Potřeba tepla pro ohřev teplé vody	$[J]$
$Q_{VYT,r}$	Potřeba tepla pro vytápění	$[J]$
$Q_{VZT,r}$	Potřeba tepla pro ohřev vzduchu ve vzduchotechnické jednotce	$[J]$
Q_d	Teoretické potřeba tepla	$[J]$
$Q_{d,skut}$	Skutečná potřeba tepla	$[J]$
$Q_{d,tv..}$	Potřeba tepla na ohřev teplé vody	$[Wh/den]$
Q_k	Výkon kotle	$[W]$
Q_r	Potřeba tepla	$[J]$
Q_z	Tepelná ztráta objektu	$[W]$
Q_{2p}	Teplo odebrané z ohřívачe teplé vody	$[kWh/den]$
Q_{2t}	Teoretické teplo odebrané z ohřívачe teplé vody	$[kWh/den]$
Q_{2z}	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody	$[kWh/den]$
R	Měrná tlaková ztráta	$[Pa/m]$
R_e	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$[m^2K/W]$
R_l	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	$[m^2K/W]$
$R_{před}$	Předběžná měrná tlaková ztráta	$[Pa]$
S_L	Teplosměnná plocha otopného tělesa na straně vzduchu	$[m^2]$
U	Celkový součinitel prostupu tepla uvažující vliv lineárního tepelného mostu	$[m^2K/W]$
U_{equiv}	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla	$[W/m^2K]$
U_i	Součinitel prostupu tepla vnitřní stěny	$[W/m^2K]$
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební části konstrukce	$[m^2K/W]$
U_p	Celková potřeba paliva	$[m^3]$
U_{3i}	Objemový průtok teplé vody při teplotě t_3 do výtoku	$[m^3/h]$
V	Objem větrané místnosti	$[m^3]$

\dot{V}	Objemový průtok	$[\text{m}^3/\text{s}]$
V_{di}	Objem dávky v dané periodě	$[\text{m}^3]$
V_j	Potřeba teplé vody pro mytí nádobí	$[\text{m}^3/\text{periodu}]$
V_o	Potřeba teplé vody pro mytí osob	$[\text{m}^3/\text{periodu}]$
V_u	Potřeba teplé vody pro úklid	$[\text{m}^3/\text{periodu}]$
V_z	Objem zásobníku	$[\text{m}^3]$
V_{2p}	Celkové potřeby teplé vody	$[\text{m}^3]$
V_{TV}	Objem zásobníku teplé vody	$[\text{m}^3]$
X_p	Spínací diference pro dohřev teplé vody	$[\text{K}]$
a	Podíl místních odporů na celkové ztrátě	$[-]$
b_u	součinitel zohledňující teplotní rozdíl mezi vytápěným a nevytápěným prostorem	$[-]$
c	Podíloví teplotní součinitel	$[-]$
d	Světlost potrubí	$[\text{m}]$
e_d	Opravný součinitel na zkrácení doby vytápění	$[-]$
e_i	Opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a prostupem	$[-]$
e_l	Korekční činitel, zahrnující klimatické podmínky	$[-]$
e_k	Korekční činitel, zahrnující klimatické podmínky	$[-]$
e_t	Opravný součinitel na snížení vnitřních teplot v místnosti během dne	$[-]$
f	Celkový opravný součinitel	$[-]$
f_{g1}	Součinitel zohledňující vliv roční změny venkovní teploty	$[-]$
f_{g2}	Součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a střední teplotou přilehlé zeminy	$[-]$
f_{ij}	Součinitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou a sousední teplotou	$[-]$
$f_{\Delta t}$	Opravný součinitel na teplotní rozdíl	$[-]$
f_x	Opravný součinitel zohledňující způsob připojení otopného tělesa	$[-]$
f_o	Opravný součinitel zohledňující způsob úpravy okolí	$[-]$
f_n	Opravný součinitel zohledňující počet článků otopného tělesa	$[-]$
f_p	Opravný součinitel zohledňující umístění v prostoru	$[-]$
g	Gravitační zrychlení	$[\text{m}/\text{s}^2]$
h	Výška vodního sloupce	$[\text{m}]$
k	Součinitel prostupu tepla otopného tělesa	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
l	Délka potrubí	$[\text{m}]$
l_l	Délka lineárního tepelného mostu	$[\text{m}]$
\dot{m}	Hmotnostní průtok	$[\text{kg}/\text{s}]$
n	Počet osob	$[-]$
n_d	Počet dávek	$[-]$
n_j	Počet jídel	$[-]$
n_l	Počet uživatelů	$[-]$
n_{ot}	Teplotní exponent otopného tělesa	$[-]$
n_u	Výměra ploch	$[-]$
n_v	Intenzita výměny vzduchu	$[\text{1}/\text{s}]$
p_{di}	Součinitel prodloužení doby dodávky	$[-]$
t_{wn}	Střední teplota otopného tělesa	$[\text{°C}]$
t_e	Venkovní výpočtová teplota	$[\text{°C}]$

t_{es}	Střední venkovní teplota během otopného období	[°C]
t_i	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{is}	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_{w1}	Teplota vody na vstupu do otopného tělesa	[°C]
t_{w2}	Teplota vody na výstupu z otopného tělesa	[°C]
t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota teplé vody	[°C]
w	Rychlost proudění otopné vody	[m/s]
w_{ek}	Ekonomická rychlost proudění otopné vody	[m/s]
w_{sk}	Skutečná rychlost proudění otopné vody	[m/s]
y	Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku	[-]
z	Energetické ztráty systému	[%]
Δp_v	Tlaková ztráta ventilu	[Pa]
Δp_{zm}	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
Δp_{zt}	Tlaková ztráta vlivem tření	[Pa]
Δp_{zu}	Celková tlaková ztráta	[Pa]
ΔQ_{max}	Maximální rozdíl teplot mezi křivkou dodávky a odběru tepla	[kWh]
ΔU	Navýšení součinitele prostupu tepla, které závisí na konstrukci objektu	[m ² K/W]
$\sum R$	Tepelný odpor stěny	[m ² K/W]
Φ_I	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{RH,i}$	Tepelný příkon na zátop	[W]
$\Phi_{T,i}$	Tepelná ztráta prostupem konstrukce	[W]
$\Phi_{V,i}$	Tepelná ztráta větráním	[W]
η_k	Účinnost zdroje tepla	[-]
η_o	Účinnost obsluhy a regulace otopné soustavy	[-]
η_r	Účinnost rozvodů vytápění	[-]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
θ_{ij}	Teplota vytápěného sousedního prostoru	[°C]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_{mg}	Střední teplota přilehlé zeminy	[°C]
θ_u	Teplota nevytápěného prostoru	[°C]
λ	Součinitel tření	[-]
ζ	Součinitel místní ztráty	[-]
ρ	Hustota otopné vody	[kg/m ³]
τ	Čas ohřevu	[h]
τ_a	Doba ohřevu	[s]
τ_{di}	Doba dávky	[h]
ψ_l	Součinitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu	[W/mK]

1. Úvod

Teplota v budově ovlivňuje tepelnou pohodu prostředí i komfort bydlení. Tato teplota je dodána tepelnou energií k jednotlivým otopným zařízením. Tepelnou pohodu také ovlivňuje správná výměna vzduchu, která může být dosáhnuta větracím zařízením nebo pouze běžným větráním. Z hlediska vnímání tepelné pohody prostředí je důležitý také způsob předání tepla do místnosti. Teplo se do místnosti předává vedením, prouděním a sáláním. Podle typu vytápěcího zařízení se mění poměr těchto tří složek ale vždy je teplo do místnosti dodávané pomocí všech tří složek.

V dnešní době se člověk bez tepelné energie nedokáže obejít. Za distribuci či výrobu této energie musí člověk vždy zaplatit, proto je vhodné teplo chránit a udržovat.

Z tohoto důvodu při navrhování objektů či budov, je jedním z nejdůležitějších kritérií nízká energetická náročnost a minimalizace tepelných ztrát v objektu. V dnešní době roste poptávka po energiích a z ekonomického i enviromentálního hlediska je výzkum, vývoj a aplikace moderních materiálů, technologií a inovativních přístupů, logickým vyústěním celkového vývoje a snahy o efektivní využívání zdrojů energie a hospodárny provoz v budovách.

Obytné domy či objekty jsou tedy dnes řešeny více v souladu s moderními poznatky doby, ve srovnání s obdobím před několika desetiletími, ale také musejí splňovat požadavky např. na komfort jejich užívání z hlediska tepelné pohody uživatelů a další parametry vnitřního prostředí.

Z výše zmíněných souvislostí je tedy zřejmé, že současný komplexní pohled na dům či objekt, určený k obývání, v sobě zahrnuje také konstrukční návrh na tepelně technické řešení objektu, s prioritou co nejnižší spotřeby energie na vytápění a větrání, volbu otopné soustavy a její regulace a volbu zdroje tepla. Tato problematika je popsána příslušnými normami, které stanoví také doporučené hodnoty jednotlivých veličin a jejich přísné dodržování při zpracovávání návrhu objektu, pomáhá docílit optimálního řešení z hlediska vytčených priorit.

A to je i cíl mé bakalářské práce.



Obr. 1.1: řešený objekt

2. Charakteristika budovy

V této bakalářské práci se zabývám novostavbou rodinného domu. Budova je tvořena ze dvou nadzemních podlaží, suterénu a sedlové střechy. Celková zastavěná plocha objektu je 119 m² a celková užitná plocha objektu je 278 m². Objekt se nachází v Praze – Klánovicích.

V suterénu objektu se nachází garáž pro jeden automobil, technická místnost, toaleta, dílna a hlavní vstup do budovy. V prvním nadzemním podlaží je pobytová část objektu. Téměř polovinu užitné plochy prvního nadzemního podlaží tvoří obývací pokoj s kuchyňským koutem. Nachází se zde také pracovna, šatna, koupelna s toaletou a vstup do objektu ze zahrady. V posledním podlaží se nachází tzv. *klidová zóna objektu*, zde jsou umístěny ložnice a koupelna s toaletou. Součástí je také terasa, která je situována na východní straně budovy.

Výkresová dokumentace objektu je součástí příloh.

2.1 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí

Vzhledem k energetickým úsporám musí konstrukce objektu splňovat tepelně technické vlastnosti, dané vyhláškou č.268/2009 Sb. resp. normou ČSN 73 0540-2.

2.1.1 Úspora energie

1. Objekt musí být navržen a proveden tak, aby spotřeba energie na vytápění a větrání byla co nejnižší. Energetickou náročnost lze ovlivňovat tvarem budovy, jejím dispozičním řešením, orientací, použitými materiály a vytápěcími systémy. Při návrhu objektu se musí brát ohled na klimatické podmínky lokality, například teplota venkovního vzduchu, vlhkost vzduchu, četnost srážek, síla a směr větru a četnost převládajících větrů.
2. Tepelně technické vlastnosti jsou dány normovými hodnotami
3. Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být provedeny tak, aby byly splněny požadavky na :
 - 1) tepelnou pohodu uživatelů
 - 2) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí
 - 3) stav vnitřního prostředí pro technologické činnosti a pro chov zvířat
 - 4) nízkou energetickou náročnost při provozu stavby

Při návrhu konstrukcí budov z tepelně technického hlediska je nejdůležitějším parametrem součinitel prostupu tepla U_N jednotlivých konstrukcí. Konkrétní hodnoty jednotlivých konstrukcí jsou definovány dle ČSN 73 0540-2 . V tabulce 2.1 jsou uvedeny hodnoty některých součinitelů prostupu tepla dle typu konstrukce.

Tab. 2.1: Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540

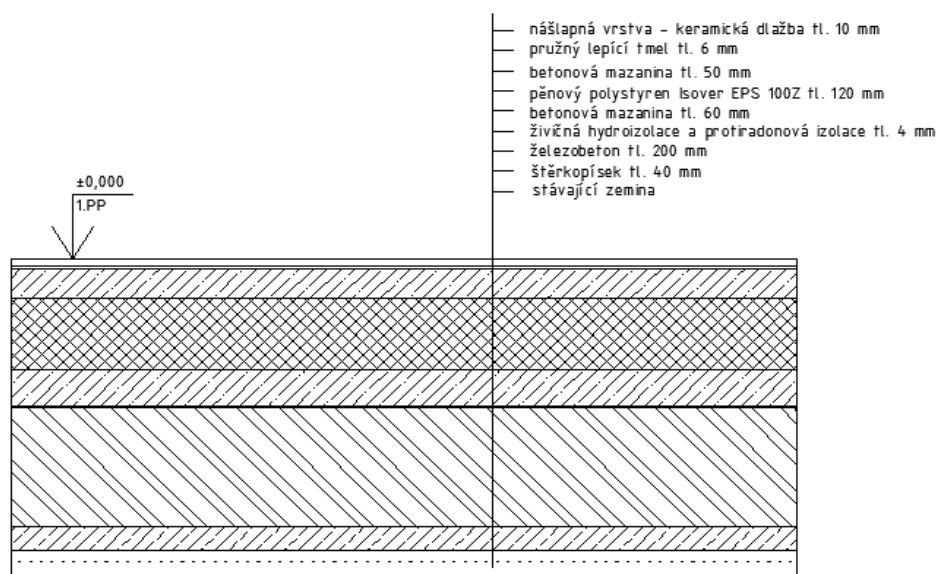
Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	Požadované hodnoty $U_{n,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{p,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,20
Stěna k nevytápěné půdě (se střešou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,20
Střecha strmá nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,20
Střecha do plochá a šikmá do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°	1,40	1,10	0,90
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Podlaha a stěna vytápěného prostoru k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25

Konstrukce objektu je stanovena na hodnoty doporučené $U_{rec,20}$.

2.2 Navržené konstrukce objektu

2.2.1 Konstrukce podlahy 1. PP

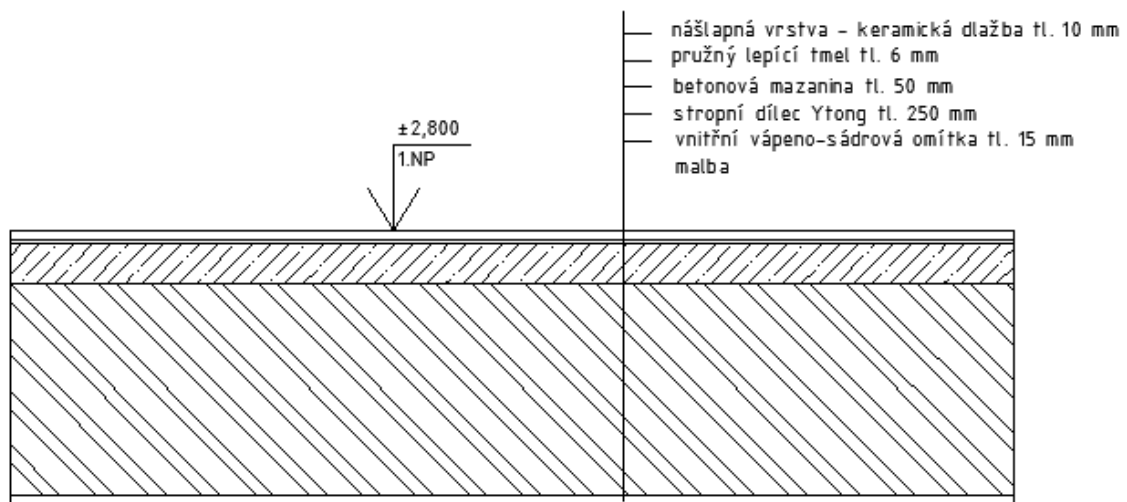
Podlaha v suterénu se skládá z devíti vrstev. Základ podlahy v suterénu se skládá z betonové mazaniny a vyztuženého betonu. Na tuto vrstvu je položena hydroizolace a izolace proti radonu. Dále pak tepelná izolace o tloušťce 120 mm, betonová mazanina a nášlapná vrstva. Nášlapná vrstva je tvořena pouhým nátěrem nebo je tvořena lepicím tmelem a keramickou dlažbou. Keramická dlažba je navržena v celém suterénu, kromě garáže a dílny. Dle konstrukce podlahy jsem stanovil výpočtem dvě hodnoty součinitele prostupu tepla. Pro konstrukci s keramickou dlažbou je hodnota $U = 0,241 W/m^2K$. Pro konstrukci s pouhým nátěrem je hodnota $U = 0,243 W/m^2K$.



Obr. 2.1: skladba podlahy 1.PP

2.2.2 Konstrukce podlahy 1.NP a 2.NP, stropní konstrukce

Podlaha v prvním a druhém nadzemním podlaží se skládá ze stejných vrstev. Základ podlahy je stropní dílec Ytong o tloušťce 250 mm a betonová mazanina. Na betonovou mazaninu je položen tmel a nášlapná vrstva. Nášlapná vrstva je tvořena dřevěnými parketami nebo keramickou dlažbou. Dřevěné parkety jsou navrženy téměř v celém v 1 a 2 NP, kromě schodiště, koupelny, WC a zádveří. Dle konstrukce podlahy jsem stanovil výpočtem dvě hodnoty součinitele prostupu tepla podle vztahu (2.1). Pro konstrukci s keramickou dlažbou je hodnota $U = 0,502 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pro konstrukci s dřevěnými parketami je hodnota $U = 0,309 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Obr. 2.2: skladba podlahy 1.NP a 2.NP

2.2.3 Konstrukce obvodového zdiva

Nosné obvodové zdivo objektu je navrženo z tvárnic Ytong P1,8-300 s perem a drážkou o tloušťce 375 mm. Obvodové zdivo je z vnitřní strany omítnuto vápenno-sádrovou omítkou. Vnější vrstvy tvoří voděodolná a paropropustná vrstva a perlitová omítka. Celková tloušťka zdiva je 400 mm, součinitel postupu tepla byl stanoven podle vztahu (1.1) na hodnotu $U = 0,208 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tato hodnota je menší, než doporučená hodnota dle ČSN 73 0540. Součinitel prostupu tepla se stanoví dle vzorce (1.1).

$$U = \frac{1}{R_i + \sum R + R_e} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1.1)$$

R_i - tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$\text{m}^2\text{K/W}$]

$\sum R$ - tepelný odpor stěny [$\text{m}^2\text{K/W}$]

R_e - tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{m}^2\text{K/W}$]

2.2.4 Konstrukce vnitřních stěn

Vnitřní stěny objektu jsou navrženy z tvárnic Ytong P2-500 s perem a drážkou o tloušťce 150 mm a z tvárnic Ytong P1-300 o tloušťce 250 mm. Stěny o tloušťce 250 mm jsou tzv. nosné stěny. Vnitřní stěny jsou omítnuty vápenno-sádrovou omítkou o maximální tloušťce 15 mm. Výpočet součinitele prostupu tepla pro vnitřní stěnu je odlišný od výpočtu pro obvodovou stěnu a stanoví se podle vztahu (1.2).

$$U_i = \frac{1}{R_i + \sum R + R_i} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1.2)$$

Pro vnitřní stěny je $R_i = 0,125 \text{ [m}^2\text{K/W]}$.

Součinitel prostupu tepla vnitřní stěny o tloušťce 150 mm je dle vzorce (1.2) $U = 0,697 \text{ W/m}^2\text{K}$ a u stěny o tloušťce 250 mm $U = 0,473 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.2.5 Konstrukce střechy

Ve výpočtech součinitele prostupu tepla sedlovou střechou, jsem použil doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro šikmé střechy se sklonem 45° dle normy ČSN 73 0540 $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.2.6 Otvorové výplně

Vchodové dveře jsou navrženy od firmy Porta doors – Eco POLAR PASSIVE. Jedná se o dřevěné dveře s vnitřním ocelovým profilem se stavební hloubkou 80 mm. Pro dosažení nízkého součinitele prostupu tepla $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, jsou použita tři těsnění po obvodu dveří a tepelný práh Porta ThermControl, který je odolný vůči tepelným mostům.



Obr. 2.3: Detail konstrukce vchodových dveří [4]

System balkonových dveří je navržen od firmy Deceuninck – Prestige. Jedná se o plastové dveře se šesti komorami a s trojitými izolačními skly. Tento systém je jedním z nejúspěšnějších na trhu, který je vhodný i pro pasivní domy. Výrobce udává hodnotu součinitele prostupu tepla $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Obr. 2.4: Detail konstrukce balkonových dveří [5]

Okenní systém je navržený firmou Eurookna Albo – IV92 Strong 3+. Jedná se o dřevěná euro okna o šířce 92 mm, které zaručují dobré tepelné izolační vlastnosti díky celoobvodovému těsnění. Výrobce udává hodnotu součinitele prostupu tepla $0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$, k této nízké hodnotě pomáhají 3 izolační skla plněná argonem.



Obr. 2.5: Detail konstrukce oken[6]

Jako poslední systém, je systém garážových vrat. Zvolil jsem velmi úsporná sekční garážová vrata od firmy Alutech. Vrata jsou z tepelně a zvukově izolovaných zesílených panelů. Součinitel prostupu tepla systému je $U = 0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Obr. 2.6: Detail konstrukce garážových vrat [7]

2.3 Výpočet tepelných ztrát budovy

Tepelné ztráty objektu jsou stanoveny dle ČSN EN 12 831. Vypočtené ztráty slouží ke stanovení výkonu otopné plochy místnosti a zdroje tepla. Tento výpočet se dělí na tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním viz vztah (2.0).

Celková tepelná ztráta Φ_I vytápěného prostoru, je dána tepelnou ztrátou prostupem konstrukce $\Phi_{T,i}$, tepelnou ztrátou větráním $\Phi_{V,i}$ a tepelným příkonem na zátap $\Phi_{RH,i}$, se kterým jsem při výpočtu nepočítal.

$$\Phi_I = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \quad (2.0)$$

Pro stanovení tepelných ztrát je důležité správně určit venkovní a vnitřní výpočtovou teplotu. Norma ČSN EN 12 831 udává výpočtové venkovní a vnitřní teploty, počet dnů otopného období a průměrnou venkovní teplotu v otopném období. Stručný přehled venkovních výpočtových teplot a počet dnů otopného období je uveden v tabulce (tab. 2.30).

Tab. 2.30: Venkovní výpočtová teplota a počet dnů otopného období některých míst v ČR dle ČSN EN 12 831[8]

Lokalita (místo měření)	Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12^{\circ}$		$t_{em}=13^{\circ}$		$t_{em}=15^{\circ}$	
	h	t_e	t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Benešov	327	-15	3,5	234	3,9	245	5,2	280
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	4,1	236	5,3	268
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	3,7	241	5,1	275
Brno	227	-12v	3,6	222	4,0	232	5,1	263
Bruntál	546	-18v	2,7	255	3,3	271	4,8	315
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	4,4	224	5,2	253
Opava	258	-15	3,5	228	3,9	232	5,2	274
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229	5,2	260
Pardubice	223	-12v	3,7	224	4,1	234	5,2	265
Pelhřimov	499	-15v	3,0	241	3,6	257	5,1	300
Písek	348	-15	3,2	235	3,7	247	5,0	284
Pízeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272
Praha (Karlovy)	181	-12	4,0	216	4,3	225	5,1	254
Prachatice	574	-18v	3,3	253	3,8	267	5,1	307
Prostějov	226	-15	3,4	220	3,9	228	5,0	261
Přerov	212	-12	3,5	218	3,5	252	5,1	259
Příbram	502	-15	3,0	239	3,8	230	4,9	290
Rakovník	332	-15	3,4	232	4,0	250	5,7	297
Rokycany (Příbram)	363	-15	3,0	239	3,5	252	4,9	290

Poznámka: Připsané písmeno „v“ k výpočtové venkovní teplotě označuje, že oblast leží v místě s intenzivními větry.

K venkovní výpočtové teplotě se musí zohlednit i nadmořská výška a zatížení větru (normální, zvýšený). V tabulce (tab. 2.31) jsou jednotlivé výpočtové teploty s ohledem na nadmořskou výšku.

Tab. 2.31: Snížení venkovní výpočtové teploty s ohledem na nadmořskou výšku [8]

Snížení venkovní výpočtové teploty s ohledem na nadmořskou výšku		
Nadmořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Snížená venkovní výpočtová teplota
	t_e	
	[°C]	[°C]
nad 400 m n.m.	-12	-15
nad 600 m n.m.	-15	-18
nad 800 m n.m.	-18	-21

Tabulka (tab. 2.32) znázorňuje stručný přehled vnitřních výpočtových teplot. V některých místnostech byla vnitřní výpočtová teplota zvýšena na přání investora.

Tab. 2.32: Vnitřní výpočtové teploty [9]

Druh vytápěné místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Relativní vlhkost vzduchu
		t_i [°C]	φ_{ai} [%]
1.	Obytné budovy		
1.1	trvale užívané		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20	60
	kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60
1.2	občasně užívané (rekreační) - v době provozu		
	obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20	60
	kuchyně	20	60
	koupelny	24	90
	klozety	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15	60
	vytápěná schodiště	10	60
	- mimo provoz	5	80
2.	Administrativní budovy		
	kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	20	60
	vytápěné vedlejší místnosti (chodby, hlavní schodiště, klozety aj.)	15	60
	vytápěná vedlejší schodiště	10	70
	haly, místnosti s přepážkami	18	70

2.3.1 Stanovení tepelné ztráty prostupem konstrukce

První část celkové tepelné ztráty je tepelná ztráta prostupem konstrukce $\Phi_{T,i}$, která se stanoví dle vztahu (2.1).

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

$H_{T,ie}$... měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do venkovního prostoru [W/K]

$H_{T,iue}$... měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do nevytápěného prostoru [W/K]

$H_{T,ig}$... měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného do přilehlé zeminy [W/K]

$H_{T,ij}$... měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného prostoru do sousedního prostoru s rozdílnou teplotou [W/K]

$\Theta_{int,i}$... vnitřní výpočtová teplota [°C]

Θ_e ... venkovní výpočtová teplota [°C]

Vztah (2.11) stanovuje měrné tepelné ztráty prostupem konstrukce z vytápěného do venkovního prostoru.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad [\text{W/K}] \quad (2.11)$$

A_k ... plocha stavební části konstrukce [m²]

U_k ... součinitel prostupu tepla stavební části konstrukce [m²K/W]

e_k, e_l ... korekční činitel, zahrnující klimatické podmínky [-]

ψ_l ... součinitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu [W/mK]

l_l ... délka lineárního tepelného mostu [m]

Při výpočtu měrné tepelné ztráty prostupem konstrukce jsem použil zjednodušený výpočetní vztah (2.12), ve kterém se vliv lineárního tepelného mostu zohlední navýšením součinitele prostupu tepla.

V mém případě tato hodnota byla 0,1 Wm²/K.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U \cdot e_k \quad [\text{W/K}] \quad (2.12)$$

ΔU ... navýšení součinitele prostupu tepla, které závisí na konstrukci objektu [m²K/W]

U ... celkový součinitel prostupu tepla uvažující vliv lineárního tepelného mostu se stanoví podle vztahu (2.121) [m²K/W]

$$U = U_k + \Delta U \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (2.121)$$

Měrné tepelné ztráty prostupem konstrukce z vytápěného do nevytápěného prostoru, byly stanoveny podle vztahu (2.13).

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U \cdot b_u \quad [\text{W/K}] \quad (2.13)$$

A_k ... plocha stavební části konstrukce [m²]

b_u ... součinitel zohledňující teplotní rozdíl mezi vytápěným a nevytápěným prostorem stanoven podle vztahu (2.131) [-]

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.131)$$

θ_u ... teplota nevytápěného prostoru [°C]

Měrná tepelná ztráta prostupem konstrukce z vytápěného prostoru do přilehlé zeminy, byla stanovena dle vztahu (2.14).

$$H_{T,ie} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv}) \cdot G_w \quad [\text{W/K}] \quad (2.14)$$

f_{g1} ... součinitel zohledňující vliv roční změny venkovní teploty [-]

f_{g2} ... součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a střední teplotou přilehlé zeminy se stanoví podle vztahu (2.141) [-]

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{mg}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (2.141)$$

θ_{mg} ... střední teplota přilehlé zeminy [°C]

U_{equiv} ... ekvivalentní součinitel prostupu tepla [W/m²K]

G_w ... součinitel zohledňující vliv spodní vody [-]

Stanovení měrné tepelné ztráty prostupem konstrukce z vytápěného do vytápěného prostoru o jiné teplotě se stanoví podle vztahu (2.15).

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_i \cdot f_{ij} \quad [\text{W/K}] \quad (2.15)$$

U_i ... součinitel prostupu tepla vnitřní stěny [W/m²K]

f_{ij} ... součinitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou a sousední teplotou se stanoví podle vztahu (2.151) [-]

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ij}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (2.151)$$

θ_{ij} ... teplota vytápěného sousedního prostoru $[\text{°C}]$

2.3.2 Stanovení tepelné ztráty větráním

Druhou částí celkové tepelné ztráty je tepelná ztráta vlivem větrání $\Phi_{v,i}$, která se stanoví dle vztahu (2.21).

$$\Phi_{v,i} = H_{v,ie} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [\text{W}] \quad (2.21)$$

$H_{v,ie}$... měrná tepelná ztráta větráním $[\text{W/K}]$

$\Theta_{int,i}$... vnitřní výpočtová teplota $[\text{°C}]$

Θ_e ... venkovní výpočtová teplota $[\text{°C}]$

Stanovení měrné tepelné ztráty větráním $H_{v,i}$ byla stanovena podle vztahu (2.22).

$$H_{v,i} = n_v \cdot V \cdot c_p \cdot \rho \quad [\text{W/K}]$$

V ... objem větrané místnosti $[\text{m}^3]$

C_p ... měrná tepelná kapacita vzduchu $[\text{J/kg.K}]$

n_v ... intenzita výměny vzduchu $[\text{1/s}]$

Intenzita výměny vzduchu udává, kolikrát za hodinu se vymění objem vzduchu vnitřního prostoru. U obytných místností se počítá s půlnásobnou výměnou výměny objemu vzduchu za hodinu. Ve výpočtech jsem zohlednil přirozené větrání, vlivem netěsnosti spáry dveří a oken, zajištěné přes tzv. mikroventilaci (třetí poloha okna).

2.4 Vypočítané tepelné ztráty

Tab. 2.4.1: Tepelné ztráty v 1.PP

místnost	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{v,i}$ [W]	Φ_i [W]	Φ_i zaok. [W]
003	815	135	950	950
005	63	49	111	110
006	583	264	847	845
007	295	43	338	340
008	575	110	685	685

Tab. 2.4.2: Tepelné ztráty v 1.NP

místnost	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{v,i}$ [W]	Φ_i [W]	Φ_i zaok. [W]
101	943	488	1430	1430
103	718	210	928	930
105	64	57	121	120
106	234	185	419	420
108	35	125	160	160

Tab. 2.4.3: Tepelné ztráty v 2.NP

místnost	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{v,i}$ [W]	Φ_i [W]	Φ_i zaok. [W]
201	369	208	577	580
203	239	106	345	345
204	194	96	289	290
205	34	15	50	50
206	587	209	795	795
207	279	211	489	490
208	31	116	147	150

Celková ztráta objektu je 8,7 kW.

3. Otopná soustava

3.1 Obecný popis a rozdělení otopných soustav

Otopná soustava zajišťuje rozvod tepla od zdroje tepla do vytápěných místností. Teplota v místnosti má velký vliv na psychickou pohodu člověka a je tedy velmi důležitá správná volba způsobu a distribuce tepla. V této práci při volbě způsobu distribuce tepla byl také kladen velký důraz na investiční a provozní náklady.

Otopná soustava je zařízení pro vytápění objektu, které obsahuje zdroj tepla, potrubní síť, otopné plochy, čerpadla, pojistné a zabezpečovací zařízení.

Můžeme se setkat s různými typy otopných soustav, které se dělí podle:

- a) Způsobu oběhu otopné vody v soustavě
 - Soustava s přirozeným oběhem
 - Soustava s nuceným oběhem

- b) Rozvodu otopné vody k otopným tělesům
 - Soustavy vertikální
 - Soustavy horizontální
 - Soustavy hvězdicové

- c) Provedení hlavního rozvodu otopné vody
 - Soustavy se spodním rozvodem
 - Soustavy s horním rozvodem

- d) Způsobu přívodu a odvodu otopné vody
 - Soustava jednotrubková
 - Soustava dvoutrubková

- e) Spojení s atmosférou
 - Soustava otevřená
 - Soustava uzavřená

3.1.1 Soustava s přirozeným oběhem

Soustava s přirozeným oběhem vody pracuje pouze na principu rozdílu hustoty v přírodním a zpětném potrubí. Přírodní teplejší voda má menší hustotu než voda studenější na dané výšce a ve zpětném potrubí působí větší hydrostatický tlak $p_h = g \cdot h \cdot \rho$ než v přírodním potrubí a voda přirozeně začne proudit celým systémem. Zdroj tepla je vždy umístěn v nejnižším podlaží pod otopnými tělesy. Tato soustava je vhodná pro menší objekty s velkou rozdílnou výškou mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy. Výhodou této soustavy je nezávislost elektrické energie pro pohon čerpadla. Nevýhodou soustavy je malý dispoziční rozdíl tlaků a minimální možnost využití různých regulačních armatur. Při návrhu vychází větší průměry potrubí a je nutnost použít nízkoodporové armatury. Často se v praxi používá se zdrojem na tuhá paliva s jmenovitým teplotním spádem 90/70 °C.

3.1.2 Soustava s nuceným oběhem

Soustava s nuceným oběhem vody využívá k rozvodu vody oběhové čerpadlo, které se nejčastěji instaluje na přívodní potrubí. Oběhové čerpadlo překoná větší tlakové ztráty soustavy, což umožní umístit zdroj tepla a oběhové čerpadlo kamkoliv, menší dimenze potrubí a nastavení menšího jmenovitého teplotního spádu. Nevýhodou této soustavy je navýšení provozních nákladů na provoz oběhového čerpadla a při špatném vyregulování a vysoké rychlosti proudění mohou nastat zvukové projevy.

3.1.3 Soustava s horizontálním rozvodem

V horizontální soustavě jsou napojena ze stoupacího potrubí v každém patře více než dvě otopná tělesa. Zvláštním případem horizontální soustavy je etážová soustava, kde zdroj tepla a otopná tělesa jsou v jednom podlaží.

3.1.4 Soustava s vertikálním rozvodem

Ve vertikální soustavě jsou napojena ze stoupacího potrubí v každém patře maximálně dvě otopná tělesa. Otopná tělesa jsou napojena přímo na stoupačku přes krátké horizontální přípojky k otopným tělesům.

3.1.5 Soustava s hvězdicovým rozvodem

Jedná se o speciální druh horizontální dvoutrubkové soustavy s velmi dlouhými přípojkami otopných těles. Stoupačka je umístěna nejlépe uprostřed budovy, na kterou jsou v každém podlaží napojeny patrové rozdělovače a sběrače. Rozdělovač a sběrač má samostatné vývody k jednotlivým otopným tělesům s možností regulace. Přípojky k tělesům jsou z jednoho kusu potrubí v ochranné trubce.

3.1.6 Soustava se spodním rozvodem

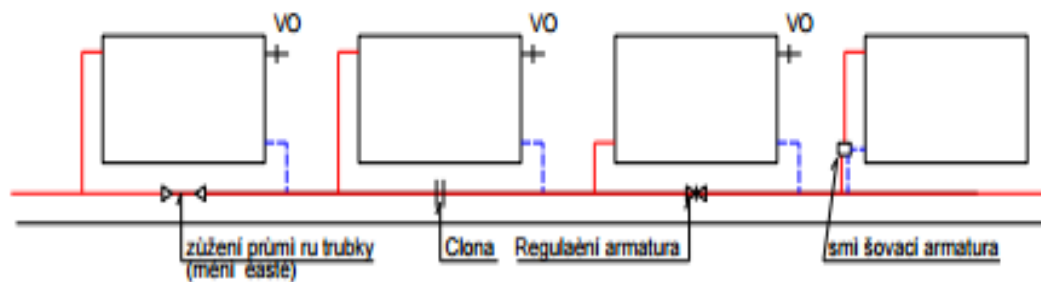
U soustav se spodním rozvodem je vedeno hlavní ležaté potrubí pod stropem v nejnižším podlaží. Tato soustava je typická u podsklepených objektů nebo tam, kde je zdroj tepla v nejnižším podlaží.

3.1.7 Soustava s horním rozvodem

U soustav s horním rozvodem je hlavní ležatý rozvod veden na podlaze v půdním prostoru nebo pod stropem.

3.1.8 Jednotrubková soustava

U jednotrubkové soustavy se rozlišují 3 způsoby zapojení. První a zároveň nejjednodušší provedení připojení je zapojení průtočně za sebou. Voda postupně protéká přes všechna tělesa a každým protékajícím tělesem se teplota vody snižuje. Při snižující se teplotě vody se musí z důvodu stejného tepelného výkonu zvětšovat přestupní plocha. U takto napojených otopných těles nelze zajistit místní regulaci, proto se dnes nepoužívá. Dalším typem připojení je soustava s obtokem. U těchto soustav se tepelný výkon reguluje přes škrťací clonku nebo zúžené potrubí. Voda protéká otopným tělesem a zároveň kmenovou trubkou pod otopným tělesem. Posledním typem soustavy je soustava se směšovací armaturou. V této soustavě je u každého otopného tělesa čtyřcestný směšovací ventil. Na tomto ventilu lze přímo nastavit podíl zatékání teplonosné vody do tělesa.



Obr. 3.1: Zapojení otopných těles s obtokem a bez obtoku [13]

3.1.9 Dvoutrubková soustava

Dvoutrubková otopná soustava se odlišuje od jednotrubkové tak, že ke každému otopnému tělesu vedou dvě potrubí, které dělíme na přívodní a zpětné. Přívodní větev přivádí ohřátou vodu do otopných těles se stejnou teplotou, které pak pracují se stejnými parametry. Zpětná větev odvádí ochlazenou vodu z otopného tělesa zpět do zdroje. Podle vzájemného proudění v potrubí se soustava rozděluje na soustavy protiproudé a souproudé.

Souproudé zapojení se používá tam, kde je nutná hydraulická stabilita soustavy. Součet délek přívodního potrubí a zpětného potrubí je přibližně stejný pro okruh každého tělesa. U protiproudého zapojení je přívodní a vratné potrubí vedeno ve stejné trase a otopná voda protéká protiproudě. Na rozdíl od souproudé soustavy nemá protiproudá soustava stejný součet délek přívodního a zpětného potrubí. Nastává nerovnoměrné rozdělení tlaků a nutnost hydraulického vyregulování celé soustavy. Bez tohoto hydraulického vyvážení by docházelo k přetápění na blízkých tělesech a k nedotápění vzdálenějších těles.

3.2 Volba otopné soustavy

Při volbě otopné soustavy jsem vzal v úvahu tepelně technické vlastnosti objektu a požadavky investora. Rozhodl jsem se pro horizontální, dvoutrubkovou, protiproudou otopnou soustavu, uzavřenou s nuceným oběhem otopné vody. Otopná plocha je tvořena deskovými otopnými tělesy a trubkovými otopnými tělesy. Otopná voda je vedena v měděném rozvodu. Spojení jednotlivých armatur, tvarovek a potrubí je dosaženo pájením.

Zdroj tepla a zásobník teplé vody, bude umístěn v technické místnosti v prvním podzemním podlaží. V objektu je navržen systém s přednostní přípravou teplé vody. Od zdroje tepla vede horizontální potrubí, na kterém je umístěn trojcestný ventil, který v časových intervalech přepíná otopnou vodu do otopné soustavy nebo do akumulčního zásobníku teplé vody. Standartní doba ohřevu teplé vody je od pěti do deseti minut, vlivem tepelné setrvačnosti objektu není patrný pokles teploty ve vytápěné místnosti po dobu ohřevu teplé vody v zásobníku.

3.3. Otopná plocha

Otopná plocha předává teplo konvekcí a sáláním do prostoru z otopné vody. Podle konstrukce otopného tělesa je dán poměr mezi sálavou složkou a složkou konvekce. Otopné plochy lze rozdělit podle převažující složky na převážně konvekční nebo na převážně sálavé. V této práci se budu zabývat pouze otopnými tělesy s převažující konvekcí. Do této skupiny patří článková, desková, trubková otopná tělesa, ale i konvektory. Článková tělesa se skládají z jednotlivých článků, které se spojí svařením a pomocí závitových vsuvek. Jsou vyráběna z různého materiálu a různým technologickým způsobem např. odléváním, tlakovým litím nebo lisování plechů.

Desková otopná tělesa se používají častěji než tělesa článková. Za tato tělesa považujeme tělesa s hladkými deskami. Tato otopná tělesa jsou lisována z ocelového plechu, který je po obvodě švově svařen. Aby desková tělesa mohla nahradit tělesa článková s velkým výkonem a nebyla velkých rozměrů, rozšiřují se přestupní plochy v podobě přidání konvekčních plechů nebo zvýšení počtu desek. Podle počtu desek a počtu konvekčních plechů se rozdělují tělesa na jednotlivé typy, např. typ 21. Tento typ tělesa se skládá ze dvou desek a z jednoho konvekčního plechu.

Nejčastější druh pro vytápění koupelny jsou trubková tělesa. Otopná plocha je tvořena spojením rozvodné a sběrné komory řadou trubek. Uspořádání a tvar trubek může být ve tvaru meandru či registru s vodorovnými nebo svislými trubkami. Pro vytápění koupelny mimo otopné období se do trubkového tělesa dodatečně instalují elektrická topná tělesa.

Konvektor sdílí teplo do vytápěného prostoru převážně konvekcí. V konvektorové skříni je měděné potrubí s hliníkovými lamelami. Pro zvýšení výkonu lze do skříně umístit ventilátor. Podle provedení rozdělujeme konvektory na soklové, skříňové a zapuštěné. Zapuštěné konvektory jsou např. podlahové.

3.4. Návrh otopných těles

Základní návrh otopného tělesa vychází z volby teplotního spádu na tělese. Nerespektuje se zde účinek infiltrace, chladný povrch okna a podmínka, že má být otopné těleso alespoň stejně dlouhé jako je okno. Pokud je těleso kratší, padají chladné proudy vzduchu k podlaze a způsobují teplenou nepohodu. Tento výpočet musí splňovat pouze pokrytí tepelné ztráty.

Návrh zohledňující tepelnou pohodu prostředí zohledňuje způsob přívodu větracího vzduchu, povrchovou teplotu okna, umístění a velikost otopné plochy. Nejvhodnější umístění otopných ploch je pod oknem u ochlazované stěny. Takto umístěné těleso zabrání padání chladného proudu vzduchu k podlaze.

V této práci pracuji se základním návrhem, který zohledňuje pouze pokrytí tepelné ztráty. Otopná tělesa jsou umístěna pod okny s dolní hranou tělesa 200 mm od podlahy a s horní hranou tělesa 200 mm pod hranou parapetu okna. Toto umístění nám dává výšku otopného tělesa, která je 500 mm. Tam kde nelze umístit těleso pod okno, jsou umístěna tělesa tak, aby nepřekážela podle přání investora.

Při návrhu výkonu otopných těles je potřeba znát teplenou ztrátu v jednotlivých místnostech, které jsem řešil v kapitole 2.3. Výkon otopného tělesa tedy musí být větší nebo roven tepelné ztrátě jednotlivých místností.

3.4.1. Přepočet výkonu otopných těles

Výkon otopného tělesa se musí přepočítat pomocí parametrů, které zohledňují způsob připojení tělesa, úpravu okolí, umístění v prostoru, počet článků a jiný teplotní spád, než udává výrobce. Ve vytápěných místnostech budou použita desková otopná tělesa a v koupelnách trubková otopná tělesa.

Výrobce otopných těles udává hodnotu výkonu při teplotních parametrech 75/65/20 °C. Teplotní spád otopné soustavy je 60/45 °C, výkon otopné plochy se musí rozšířit o opravný součinitel zohledňující teplotní rozdíl. Přepočet výkonu otopných těles na jiné teplotní parametry se stanoví dle vztahu (3.1).

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{k}{k_N} \cdot \frac{S_L}{S_N} \cdot \frac{(t_{wm} - t_i)}{(t_{wm} - t_i)_N} = \left[\frac{t_{wm} - t_i}{t_{wm} - t_i} \right]^{n_{ot}} \quad (3.1)$$

Q ... minimální potřebný výkon otopného tělesa se stanoví podle vztahu (3.11) [W]

k ... součinitel prostupu tepla otopného tělesa [W/m²K]

S_L ... teplosměnná plocha otopného tělesa na straně vzduchu [m²]

t_{wn} ... střední teplota otopného tělesa [°C]

t_i ... vnitřní výpočtová teplota [°C]

N ... jmenovitá hodnota

n_{ot} ... teplotní exponent otopného tělesa [-]

$$Q = Q_N \cdot f \quad [\text{W}] \quad (3.11)$$

f ... celkový opravný součinitel se stanoví podle vztahu (3.12) [-]

$$f = f_{\Delta t} \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad [-] \quad (3.12)$$

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

f_x ... opravný součinitel zohledňující způsob připojení otopného tělesa [-]

f_o ... opravný součinitel zohledňující způsob úpravy okolí [-]

f_n ... opravný součinitel zohledňující počet článků otopného tělesa [-]

f_p ... opravný součinitel zohledňující umístění v prostoru [-]

Otopná tělesa jsou navrhována desková či trubková, součinitel zohledňující počet článků je roven jedné. Otopná tělesa jsou se spodním připojením a jsou umístěna pod okny bez parapetu a zákrytů. Opravní součinitel zohledňující připojení, umístění otopného tělesa a úpravu okolí jsou rovni jedné.

Výkony otopných těles jsou zohledňovány pouze na jinou spádovou teplotu viz vztah (3.11).

$$Q = Q_N \cdot f_{\Delta t} \quad [\text{W}] \quad (3.11)$$

Hodnota $f_{\Delta t}$ se určí podle vztahu (3.11.1).

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n \quad [-] \quad (3.11.1)$$

Rozdíl teplot Δt se určí podle podílového teplotního součinitele (3.12).

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad [-] \quad (3.12)$$

Pokud $c \geq 7$ $\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i$

$$\Delta t_N = \frac{t_{w1N} + t_{w2N}}{2} - t_{iN} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Pokud $c < 7$ $\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} - t_i \quad [^{\circ}\text{C}]$

$$\Delta t_{lnN} = \frac{t_{w1N} - t_{w2N}}{\ln \frac{t_{w1N} - t_{iN}}{t_{w2N} - t_{iN}}} - t_{iN} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

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

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

3.5 Přehled otopných těles

Tab. 3.5: Přehled přepočítaných výkonů otopných těles

místnost	ztráta[W]	přepočet	v kat.[W]	přepočítáno	tep.exp.	otopné těleso
OO3	950	1730	1742	957	1,334	VKL 22 - 500 x 1200
OO6	960	1743	2033	1120	1,3278	VK 22 - 500 x 1400
OO7	340	507	559	375	1,3278	VKL 21 - 500 x 500
OO8	685	1148	1162	693	1,3334	VKL 22 - 500 x 800
101	1490	2711	2904	1596	1,3334	VK 22 - 500 x 2000
103	1130	1673	2x 851	1149	1,2592	2x KLM - 1820 x 600
106	520	935	1030	573	1,3068	VKL 11 - 500 x 1200
201	580	1053	1117	615	1,3278	VKL 21 - 500 x 1000
203	345	514	590	396	1,276	KLM - 1820 x 450
204	290	521	565	314	1,3068	VK 10 - 500 x 1100
206	795	1433	1544	857	1,3123	VK 11 - 500 x 1800
207	490	883	944	524	1,3123	VKL 11 - 500 x 1100
208	195	717	793	542	1,3283	K20V - 1600 x 366

Vysvětlivky: přepočet – přepočítaná tepelná ztráta místnosti, zohledňující jiný teplotní spád soustavy, při kterém udává tepelný výkon výrobce otopných těles (75/65/20 °C)

v kat. – vyhledání otopného tělesa v katalogu výrobce v mém případě Korado, podle přepočítané tepelné ztráty [16]

přepočítáno – přepočítán výkon zvoleného otopného tělesa na jiný teplotní spád soustavy, z důvodu porovnání tepelné ztráty a skutečného výkonu tělesa

tep.exp. – teplotní exponent daného otopného tělesa

OT – konečný výběr otopného tělesa

3.6 Návrh světlosti potrubí

Potrubí otopné soustavy dopravuje otopnou vodu od zdroje tepla do otopných těles a zpět do zdroje tepla. Úkolem je navrhnout jmenovitou světlost potrubí, při které bude celková tlaková ztráta okruhu rovna dopravnímu tlaku čerpadla. Celková tlaková ztráta okruhu se určí jako součet tlakové ztráty třením a místními odpory.

Tlaková ztráta vlivem tření závisí na jmenovité světlosti, délce a drsnosti potrubí, ale také na vazkosti, hustotě a rychlosti proudění otopné vody. Tato ztráta je daná vztahem (3.2).

$$\Delta p_{zt} = p_2 - p_1 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R \cdot l \quad [\text{Pa}] \quad (3.2)$$

λ ...součinitel tření [-]

l ...délka potrubí [m]

d ...světlost potrubí [m]

w ... rychlost proudění otopné vody [m/s]

ρ ... hustota otopné vody [kg/m³]

R ...měrná tlaková ztráta [Pa/m]

Tlaková ztráta místními odpory vzniká narušením proudu otopné vody při změně směru či průřezu potrubí. Tato ztráta je daná součinitelem místního odporu, který udává výrobce pro každou tvarovku či armaturu. Tato ztráta se vypočítá podle vztahu (3.3).

$$\Delta p_{zm} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = Z \quad [\text{Pa}] \quad (3.3)$$

ζ ...součinitel místní ztráty [-]

Celková tlaková ztráta je daná vztahem (3.4).

$$\Delta p_{zu} = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho + \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (3.4)$$

Návrh světlosti potrubí lze stanovit podle čtyř výpočtových metod.

3.6.1 Metoda předběžné měrné tlakové ztráty

Tato metoda je přednostní pro přirozený oběh otopné vody. Podle dispozičního tlaku a celkové délky potrubí se určí předběžná měrná tlaková ztráta. Dispoziční rozdíl tlaků je dán účinným tlakem, který je dán výškou vodního sloupce a rozdílem hustoty teplejší a chladnější otopné vody vis vztah (3.6).

$$R_{před} = \frac{(h \cdot g \cdot (\rho_2 - \rho_1)) \cdot (1 - a)}{\sum l} \quad [\text{Pa/m}] \quad (3.6)$$

a... podíl místních odporů na celkové ztrátě, pro rodinné domy $a = 0,33$ [-]

h...výška vodního sloupce [m]

g...gravitační zrychlení [m/s^2]

l... celková délka potrubí [m]

3.6.2 Metoda přímé volby dopravního tlaku čerpadla

Metoda přímé volby dopravního tlaku čerpadla vede k použití první metody. Tato metoda výpočtu se používá pro nucené oběhy otopné vody. V této metodě je přímo dán dispoziční rozdíl tlaků.

3.6.3 Metoda ekonomických rychlostí

V této metodě se jmenovitá světlost potrubí stanoví podle určené ekonomické rychlosti viz vztah (3.7). Hodnota ekonomické rychlosti je cca. 0,6 m/s pro nucený oběh. Rychlost proudění v potrubí klesá směrem od zdroje tepla. Po návrhu okruhu potrubní sítě se vypočítá jeho tlaková ztráta, předběžný a konečný výpočet tlakového spádu se nepočítá.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w_{ek} \cdot \rho \cdot \pi}} \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

Vztah (3.8) znázorňuje výpočet hmotnostního toku z výkonu otopného tělesa.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot \Delta t} = \dot{V} \cdot \rho \quad [\text{kg/s}] \quad (3.8)$$

\dot{m} ... hmotnostní průtok [kg/s]

\dot{V} ... objemový průtok [m³/s]

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

3.6.4 Metoda ekonomické měrné tlakové ztráty

Tato metoda je velmi podobná metodě popsané v kapitole 3.6.3, avšak místo ekonomické rychlosti se volí ekonomická měrná tlaková ztráta.

3.6.5 Metoda využití ekvivalentních délek

Tento způsob se často používá při výpočtech jednotrubkové soustavy se čtyřcestnými směšovacími armaturami ale i u horkovodních potrubních sítí. Tento způsob výpočtu pouze nahrazuje tlakovou ztrátu místními odpory ekvivalentní délkou l_{ekv} . Celková tlaková ztráta se rovná součinu měrné tlakové ztráty R a skutečné délky l rozšířené o ekvivalentní délku l_{ekv} , viz vztah (3.9).

$$\Delta p = R \cdot (l + l_{ekv}) \quad [\text{Pa}] \quad (3.9)$$

3.6.6 Výpočet světlosti potrubí

Pro výpočet jmenovité světlosti potrubí, jsem použil metodu ekonomické rychlosti. Hodnota této rychlosti byla zvolena na 0,6 m/s. Otopná soustava byla rozdělena na následné jednotlivé úseky, u kterých se podle výkonu otopných těles vypočítal jmenovitý průtok a průměr potrubí. Podle vypočítaného průměru potrubí se zvolil průměr měděného potrubí, které je běžně dostupné. Pro kontrolu se ze zvoleného průměru potrubí, vypočítala skutečná rychlost proudění, se kterou se dále počítalo. Stanovení jmenovitého průměru, podle výkonu otopných těles se vypočítá viz vztah (3.7).

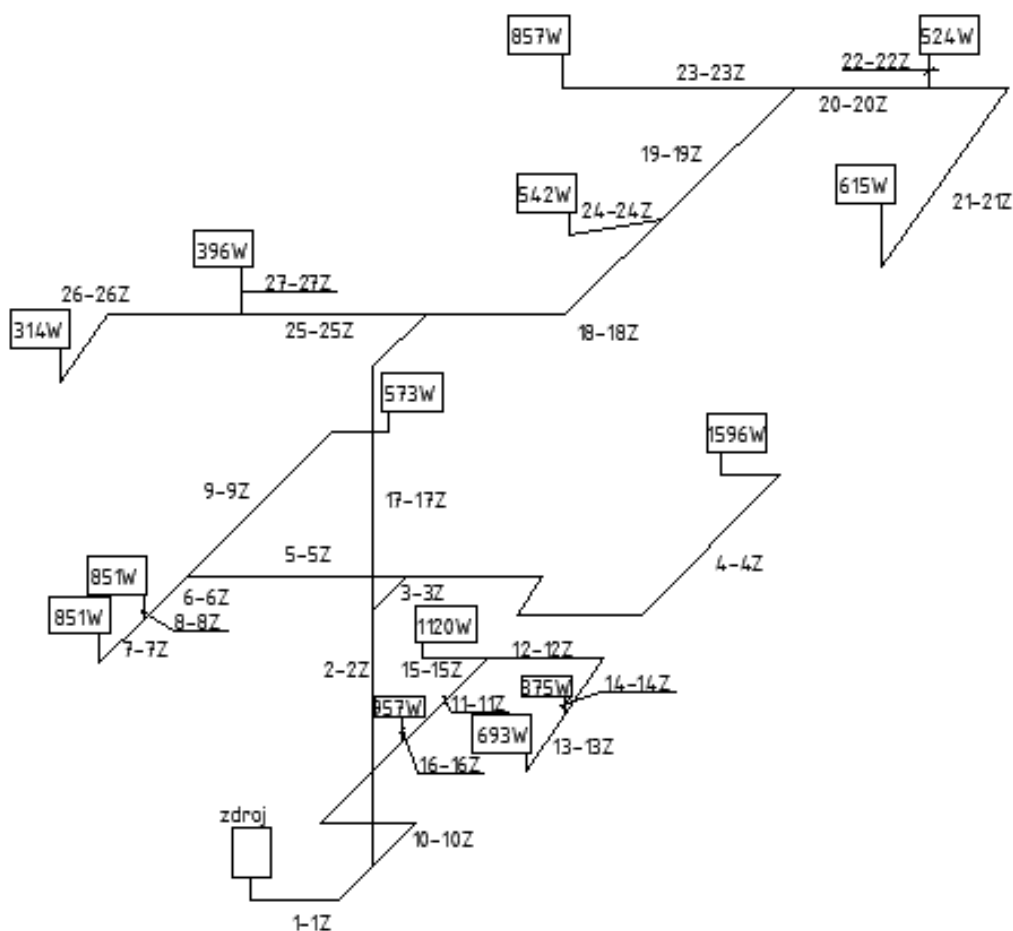
$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w_{ek} \cdot \rho$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w_{ek} \cdot \rho \cdot \pi}}$$

Podle normalizovaného průměru měděného potrubí se stanoví skutečná rychlost podle vztahu (3.71).

$$w_{sk} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot d_n^2} \quad [\text{m/s}] \quad (3.71)$$

Na obrázku 3.6 je znázorněné axonometrické schéma přívodního potrubní sítě otopné soustavy. Jednotlivé úseky jsou označeny číslem. Označený úsek číslicí a značkou Z znamená zpětné potrubí, které má stejné parametry jako potrubí přívodní v daném úseku. Na obrázku jsou také vyznačené jednotlivé přepočítané výkony otopných těles.



Obr. 3.6: Axonometrie otopné soustavy

Stanovení průměru potrubí hlavní větve (Tab. 3.6).
(Hlavní větev je okruh s největší tlakovou ztrátou)

Tab. 3.6: Přehled průměru potrubí

úsek	celk. výkon	přep.na m	vyp. D	volba D	vnitř.D	skut. rychlost
1	9711	557	18,2	18x1	16	0,779
2	6566	376	15,0	18x1	16	0,527
3	3318	190	10,7	15x1	13	0,403
4	1596	91	7,4	15x1	13	0,194
4Z	1596	91	7,4	15x1	13	0,194
3Z	3318	190	10,7	15x1	13	0,403
2Z	6566	376	15,0	18x1	16	0,527
1Z	9711	557	18,2	18x1	16	0,779

3.7 Regulace otopné soustavy

Návrh jednotlivých otopných těles vychází z tepelných ztrát, které jsou stanoveny na nejnepríznivější venkovní teplotu. Tato teplota v otopném období trvá velmi krátkou dobu nebo tato teplota není vůbec dosažena. V tomto případě je otopná soustava výkonově předdimenzována a musí se kvůli tepelné pohodě a ekonomické úspoře snižovat tepelný příkon. Snižování tepelného příkonu lze provést přímo na zdroji tepla a jako individuální regulace otopných těles. Má-li otopná soustava správně pracovat, musí být hydraulicky vyvážena. K tomuto případu slouží hydraulické regulace.

3.7.1 Hydraulická regulace

Hydraulická regulace neboli hydraulické vyvážení otopné soustavy je dáno danou vyhláškou 193/2007 Sb. Tato regulace omezuje objemový průtok otopné vody v soustavě k jednotlivým otopným tělesům. V případě nesprávně hydraulicky vyvážené otopné soustavy, proudí otopná voda k vzdálenějším otopným tělesům s nedostatečným množstvím. Aby k takovému případu nedošlo, instalují se na otopná tělesa regulační šroubení, na kterých lze nastavit potřebnou tlakovou ztrátu a tím i potřebné množství otopné vody.

Nastavení regulačního šroubení se provádí vůči otopnému okruhu, který má největší tlakovou ztrátu. Nejprve se stanoví tlaková ztráta hlavní větve s otopným tělesem a se všemi plně otevřenými armaturami. Rozdíl mezi tlakovou ztrátou hlavní větve a tlakovou ztrátou jiného okruhu se musí hydraulicky regulovat pomocí vztahu (3.8). Tento vztah je shodný pro nastavení termostatického ventilu. Podle tohoto vztahu se stanoví k_v hodnota. Výrobce regulačního šroubení a termostatických ventilů udává k_v hodnoty a podle těchto hodnot se stanoví celková skutečná tlaková ztráta jednotlivých armatur.

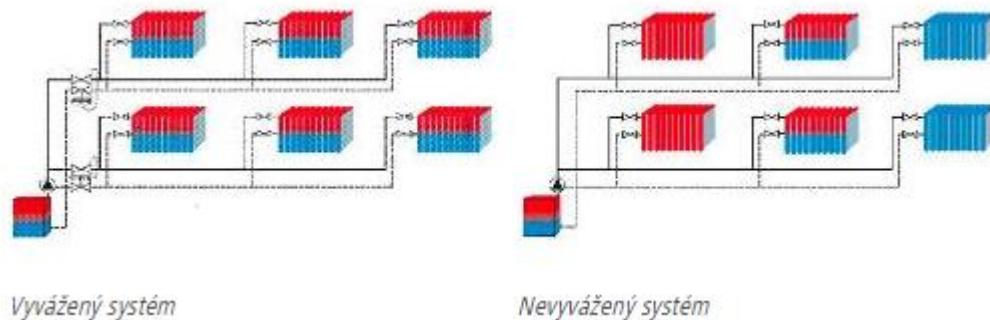
$$k_v = \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_v}} \cdot \dot{m} \quad [\text{kg/h}] \quad (3.8)$$

\dot{m} ...hmotnostní průtok armaturou [kg/h]

Δp_o ...100 kPa

Δp_v ... tlaková ztráta ventilu [kPa]

Na obrázku 3.7 je znázorněno hydraulicky vyvážená a nevyvážená otopná soustava.



Obr. 3.7 : Vyvážená a nevyvážená otopná soustava [18]

3.7.2 Regulace tepelného výkonu

Regulace tepelného výkonu lze provádět dvěma způsoby – kvalitativně a kvantitativně.

Při regulaci kvalitativní se mění teplota otopné vody s konstantním průtokem otopné vody. Tato regulace spočívá ve změně teploty vody ve zdroji nebo se vratná otopná voda směšuje v trojcestných nebo ve čtyřcestných směšovacích armaturách s přívodní otopnou vodou.

Při kvantitativní regulaci se teplota otopné vody nemění, ale mění se průtok otopné vody. Tato regulace lze uskutečnit pomocí rozdělení proudu v trojcestném ventilu nebo přizavřením regulačního šroubení. Při této regulaci lze výkon regulovat přímo na otopném tělese díky termostatickému ventilu a teplotnímu čidlu. Čidlo může být v podobě termostatické hlavice nebo v podobě kapiláry s ovladačem umístěním v prostoru. Osazením termostatického ventilu na otopné těleso, lze také nastavit hydraulické vyvážení otopné soustavy. Nastavení termostatického ventilu se provádí až po nastavení regulačního šroubení ke správnému hydraulickému vyvážení. S nastavováním termostatického ventilu se mění pásmo proporcionality neboli teplotní rozsah. Stručný popis jak správně nastavit polohu termostatického ventilu je popsán v kapitole 3.7.1.

3.7.3 Přehled nastavení pozic termostatických a regulačních ventilů

V příloze jsou znázorněny jednotlivé okruhy. Za okruh je považovaná část potrubí od zdroje tepla k jednotlivým otopným tělesům a zpět ke zdroji tepla. Každé otopné těleso má svůj vlastní okruh, který se musí regulovat. Tento objekt má celkem 14 okruhů. Tabulka 3.7 znázorňuje přehled jednotlivých okruhů s pozicemi nastavení termostatického regulačního ventilu a regulačního šroubení. Červené označení znázorňuje hodnoty pro hlavní větev.

Tab. 3.7 : Přehled nastavení RŠ a TRV

okruh	pozice RŠ	pozice TRV	celk.ztráta
OO3	3	4	14487
OO6	4	5	13859
OO7	1	2	13560
OO8	3	3	13494
101	6	6	14623
103a	3	6	14711
103b	3	6	14633
106	2	4	14545
201	3	4	14570
207	2	6	14695
206	5	6	14587
208	3	3	14721
204	1	2	14262
203	2	3	14625

4. Zdroj tepla

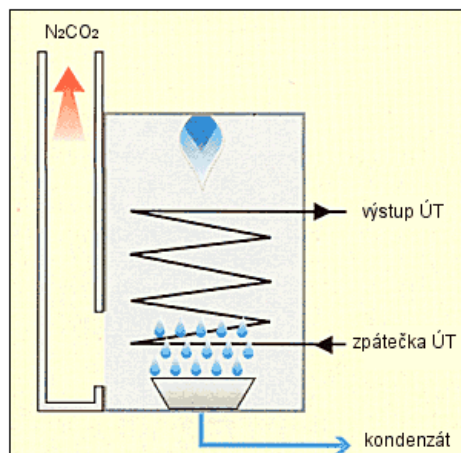
4.1 Volba zdroje tepla

Pro tento objekt byl navržen jako zdroj tepla kondenzační plynový kotel. Tento druh kotlů se vyznačuje vyšším výkonem a využitím tepla ve spalínách. Zároveň kondenzační kotle mají nižší spotřebu paliva a jsou dobře a plynule regulovatelné ve velkém rozsahu. Výkon kondenzačního kotle byl vybrán podle součtu výkonů všech otopných těles. V objektu byl navržen závěsný kondenzační plynový kotel značky Vaillant typ VU 126/3-5 ecoTEC plus. Tento kotel má jmenovitý výkon 11,2 kW s možností regulace v rozsahu 40 až 100 %. Tepelné ztráty celého objektu je 8,7 kW.

4.1.1 Princip kondenzačního kotle

Při spalování paliva (zemního plynu, propanu), vzniká určité množství vodní páry. Vodní pára s oxidem uhličitým tvoří spaliny hoření, které odcházejí a nesou část tepelné energie (latentní teplo). Pokud se tyto spaliny ochladí, dojde ke kondenzaci vodní páry a k uvolnění tohoto latentního tepla. Tato uvolněná energie se pomocí výměníku využívá k předehřevu vratné otopné vody (Obr. 4.1) [19].

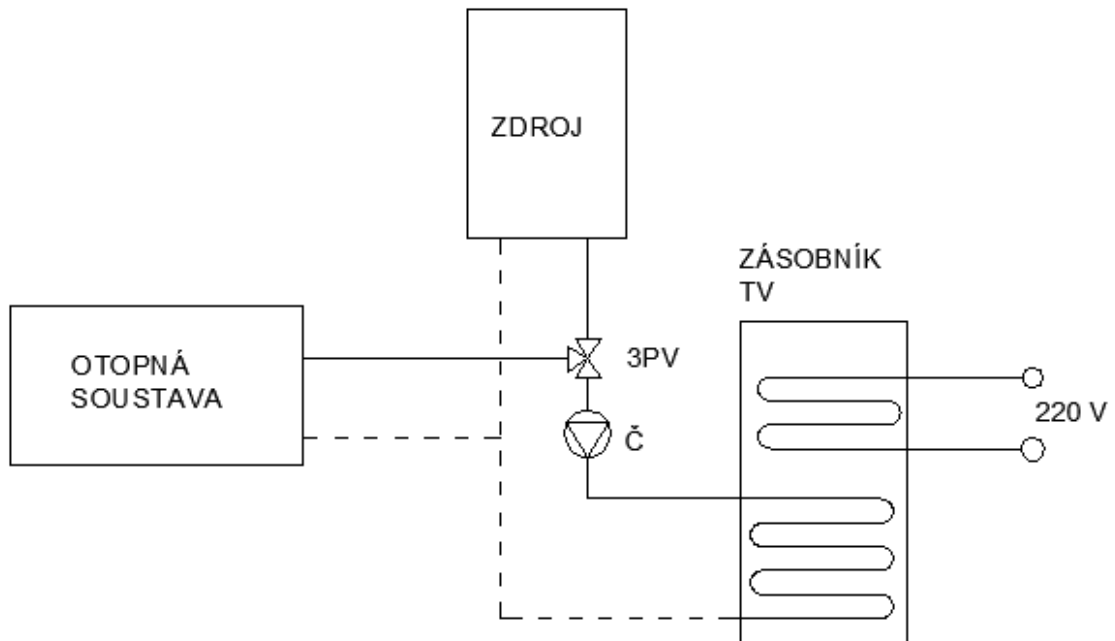
Proto teoretická účinnost spalování zemního plynu vztážená k výhřevnosti dosahuje až 108 %.



Obr. 4.1 : Princip kondenzačního kotle[19]

4.2 Příprava teplé vody

Přípravu teplé vody za otopné období obstarává systém s přednostní přípravou teplé vody. Mimo otopné období, když není plynový kotel v provozu, obstarává přípravu teplé vody pouze elektrická energie. Obr. 4.2 znázorňuje stručné schéma zapojení celého systému.



Obr. 4.2 : Schéma zapojení

Vyznačené čerpadlo značkou Č, je stanoveno na tlakovou ztrátu úseku pro přípravu teplé vody. Označení 3PV označuje trojcestný přepínací ventil.

4.2.1 Systém přednostní přípravy teplé vody

Jak už bylo zmíněno, tento systém pracuje v otopném období za provozu plynového kotle. Tento systém umožňuje přepnutí celého výkonu zdroje tepla pro vytápění na přípravu teplé vody. Teplá voda se akumuluje v zásobníku teplé vody, ze kterého je pak rozvedena k jednotlivým spotřebičům. Výhodou tohoto systému je maximální využití tepelného výkonu zdroje tepla, který je navržen pro otopnou soustavu. Při odběru teplé vody ze zásobníku a poklesu teploty akumulované vody vypne regulace oběhové čerpadlo otopné soustavy a trojcestný přepínací ventil přepne do směru nabíjení zásobníku teplé vody. Teplotní diference se obvykle volí 5 až 10 K, v závislosti na druhu zásobníku. Doba potřebná k dohřátí vody v zásobníku by neměla překročit 10 minut. Otopná soustava není v provozu a využívá pouze tepelnou setrvačnost, při delším nabíjení zásobníku může nastat pocit tepelné nepohody ve vytápěném prostoru.

4.2.2 Stanovení objemu zásobníku

Návrh velikosti objemu zásobníku teplé vody je rozhodující pro hospodárné provozování příprav teplé vody. Objem zásobníku teplé vody je možno stanovit na základě tří metod. První metodu výpočtu udává norma ČSN 06 0320 – Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody. Druhou možnou metodu výpočtu udává norma DIN 4708 – Centrální zařízení pro ohřev vody. Poslední metodou výpočtu je využití přednostní přípravy teplé vody.

V této práci se budu zabývat první a poslední metodou výpočtu.

4.2.21 Stanovení objemu zásobníku podle ČSN 06 0320

Návrh objemu podle této platné normy je poměrně jednoduchá. Základní veličinou je stanovení potřeby teplé vody za zvolenou periodu - většinou 24 hodin. Vztah (4.1) znázorňuje výpočet celkové potřeby teplé vody V_{2p} .

$$V_{2p} = V_o + V_j + V_u \quad [\text{m}^3/\text{periodu}] \quad (4.1)$$

V_o ...potřeba teplé vody pro mytí osob $[\text{m}^3/\text{periodu}]$

V_j ... potřeba teplé vody pro mytí nádobí $[\text{m}^3/\text{periodu}]$

V_u ... potřeba teplé vody pro úklid $[\text{m}^3/\text{periodu}]$

Potřeba teplé vody pro mytí osob se stanoví podle vztahu (4.11).

$$V_o = n_l \cdot \sum_{i=1}^n V_{di} = n_l \cdot \sum_{i=1}^n (n_{di} \cdot U_{3i} \cdot \tau_{di} \cdot p_{di}) \quad [\text{m}^3/\text{periodu}] \quad (4.11)$$

V_{di} ...objem dávky v dané periodě $[\text{m}^3]$

n_l ...počet uživatelů [-]

n_d ...počet dávek [-]

τ_{di} ...doba dávky [h]

U_{3i} ...objemový průtok teplé vody při teplotě t_3 do výtoku $[\text{m}^3/\text{h}]$

p_{di} ...součinitel prodloužení doby dodávky [-]

Potřeba teplé vody pro mytí nádobí se stanoví podle vztahu (4.12).

$$V_j = n_j \cdot V_d \quad [\text{m}^3/\text{periodu}] \quad (4.12)$$

n_j ...počet jídel [-]

Potřeba teplé vody pro úklid se stanoví podle vztahu (4.13).

$$V_u = n_u \cdot V_d \quad [\text{m}^3/\text{periodu}] \quad (4.13)$$

n_u ... výměra ploch [-]

Největší problém nastává při určení objemu dávky teplé vody na mytí osob V_d . Tato dávka je závislá na individuálním chování uživatele. Norma ČSN 06 0320 udává množství teplé vody na uživatele, ale tyto hodnoty jsou značně nadsazené. Celková potřeba teplé vody dle normy ČSN 06 0320 doporučuje celkovou potřebu teplé vody $V_{2p} = 0,082 \text{ m}^3/\text{osoba.den}$. Reálná průměrná hodnota potřeby teplé vody se pohybuje od 0,04 do 0,05 $\text{m}^3/\text{osoba.den}$.

Tato norma umožňuje stanovení objemu zásobníku podle odebraného tepla z ohřívače teplé vody za danou periodu Q_{2p} . Objem zásobníku teplé vody se stanoví podle vztahu (4.14).

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = (1 + z) \cdot Q_{2t} = \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \quad [\text{kWh/den}] \quad (4.14)$$

Q_{2t} ... teoretické teplo odebrané z ohřívače teplé vody [kWh/den]

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

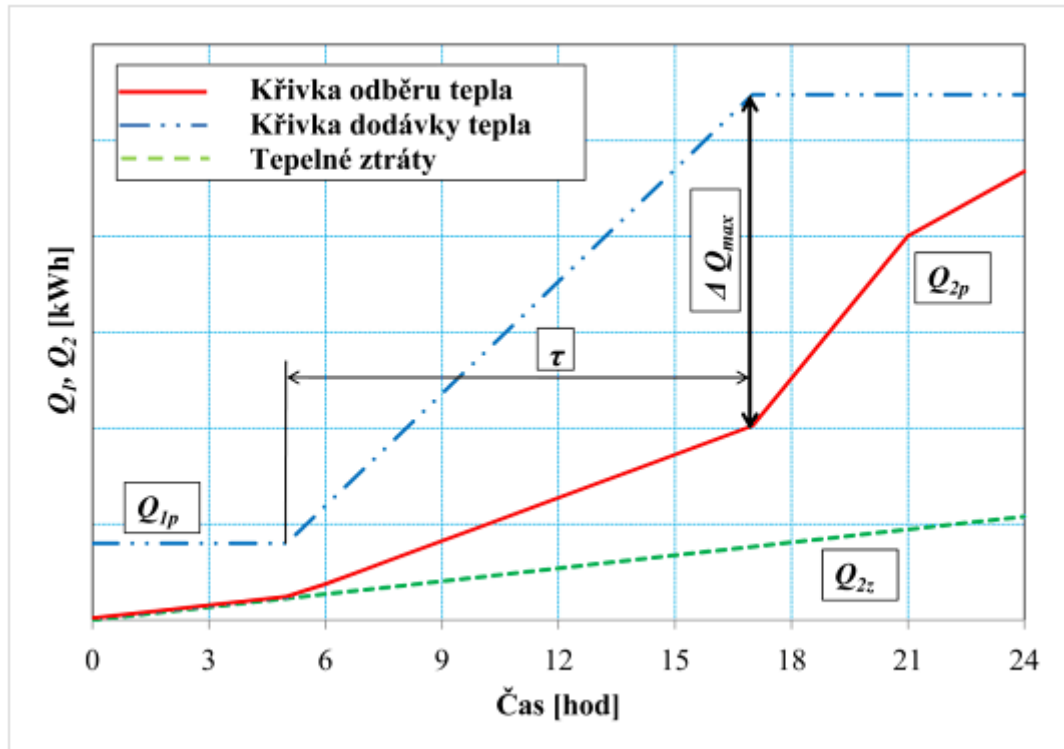
z ... poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci [-]

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

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

Hodnota poměrné ztráty tepla při ohřevu a distribuci je závislá na tepelné izolaci rozvodu a zásobníku teplé vody. Pro novostavby a bytové domy se standardní tloušťkou izolace se tato hodnota pohybuje od 0,3 do 0,5. Teplota teplé a studené vody byla uvažována 55 a 10 $^{\circ}\text{C}$.

Z odebraného tepla z ohřívače a tepla ztraceného při ohřevu a distribuci teplé vody se sestaví křivky odběru a dodávky tepla v dané periodě. Tyto hodnoty je nutné znát v závislosti dané periody. Pro zjednodušení je možné uvažovat časový rozbor odběru teplé vody, který uvádí norma ČSN 06 0320. Následující graf (Graf 4.21) znázorňuje křivky odběru a dodávky tepla v časově omezené dodávce tepla. Pokud by byl graf sestaven s nepřetržitou dodávkou tepla, byla by křivka dodávky tepla konstantně rostoucí. Pokud křivka odběru tepla protne křivku dodávky tepla, nastane nedostatek tepla pro ohřev vody na požadovanou teplotu. Mezi těmito křivkami musí být dostatečná rezerva alespoň 20 %.



Graf 4.21 : Křivky odběru a dodávky tepla v časově omezenou dobou [21]

Objem zásobníku se stanoví podle grafu (Graf 4.21) vztahem (4.15).

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \cdot 1000 \quad [m^3] \quad (4.15)$$

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

Tepelný výkon zdroje tepla se stanoví podle vztahu (4.16).

$$P_z = \left(\frac{Q_1}{\tau} \right)_{max} \quad [W] \quad (4.16)$$

τ ... čas ohřevu [h]

4.2.2 Stanovení parametrů zásobníku podle ČSN 06 0320

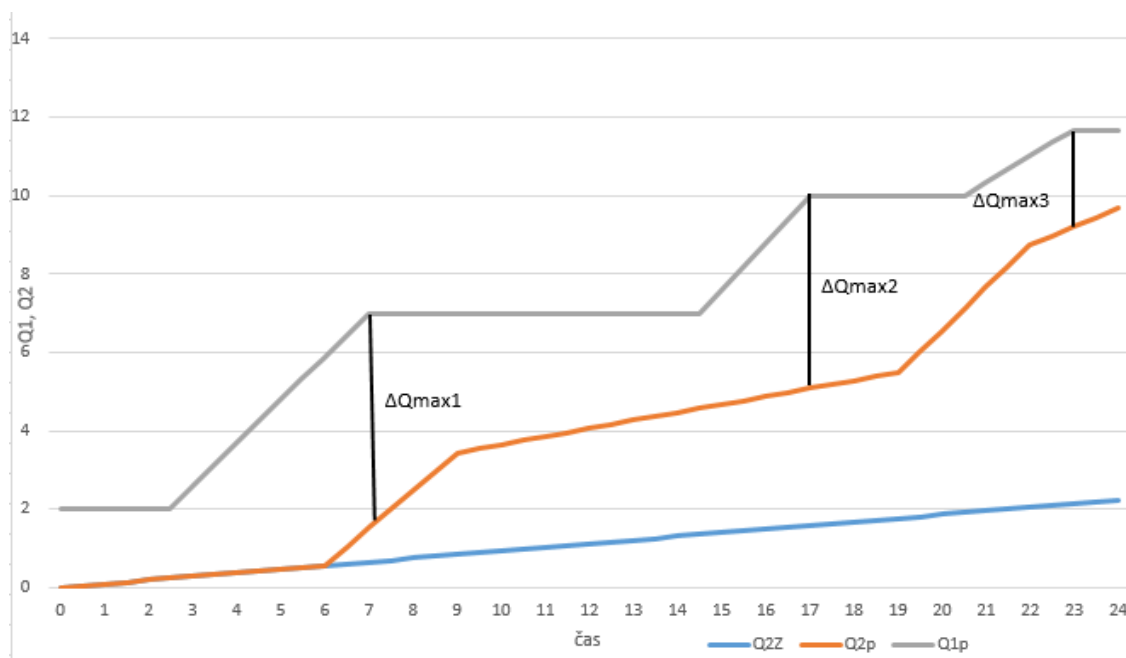
Parametry pro stanovení objemu zásobníku jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.1). Tabulka (Tab. 4.2) znázorňuje procentuální odběry teplé vody v daném časovém úseku. Podle hodnot znázorněných v tabulkách byly stanoveny křivky tepelné ztráty, odběru tepla a křivka dodávky tepla. Při stanovení křivky dodávky tepla byla uvažována akumulace s hodnotou 2 kWh/den.

Tab. 4.1 : Parametry pro zásobník TV

počet osob	4	-
denní spotřeba TV	40	l/os./den
t1	10	°C
t2	55	°C
V2p	0,16	m ³ /den
Q2p	7,44	kWh/den
Q2z	2,23	kWh/den
Q1p	9,68	kWh/den
z	0,3	-

Tab. 4.2 : Odběry teplé vody s využitím

odběry	využití [%]
0h-6h	0
6h-9h	35
9h-19h	15
19h-22h	40
22h-24h	10



Graf 4.22 : Křivka odběru ztráty a dodávky tepla v časově omezenou dodávkou tepla pro řešený objekt

Q_{2z} ... křivka tepelné ztráty [kWh]

Q_{2p} ... křivka odběru tepla [kWh]

Q_{1p} ... křivka dodávky tepla [kWh]

Tab. 4.3 : Stanovené parametry zásobníku TV

usek	ΔQ_{\max}	τ [h]	Q[kW]	Vz [l]
1	5,48	4	1,37	118
2	4,92	2	2,46	106
3	2,68	2	1,34	58

Při tomto výpočtu byl uvažován provoz mimo otopné období. Zásobník je ohříván přes elektrické keramické topné těleso. Pro ekonomickou úsporu bude toto elektrické topné těleso napojeno na tzv. noční proud.

4.2.23 Stanovení objemu zásobníku s přednostním přípravou teplé vody

Princip tohoto provozu je popsán v kapitole 4.2.1. Objem zásobníku teplé vody se stanoví ze vztahu (4.2).

$$Q_k = \frac{V_{TV} \cdot \tau_a}{y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p} \quad [\text{W}] \quad (4.2)$$

Q_k ...výkon kotle [W]

V_{TV} ... objem zásobníku teplé vody [m³]

τ_a ...doba ohřevu [s]

y ...korekční faktor odběru tepla ze zásobníku (tab.4.4) [-]

X_p ...spínací diference pro dohřev teplé vody [K]

Tab. 4.4 : Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku [21]

Zásobník TV	y [-]	
	$\tau_a < 20$ minut	$\tau_a < 10$ minut
Vertikální zásobník TV	0,94	0,89
Horizontální zásobník TV (do 400 l)	0,96	0,91
Horizontální zásobník TV (nad 400 l)	0,90	0,85

Objem zásobníku teplé vody podle vztahu (4.2) byl stanoven na hodnotu 180 l.

Podle vypočítaných hodnot v kapitole 4.2.21 a 4.2.22 byl navržen zásobník teplé vody značky Vaillant typ VIH uniSTOR R 200/6B s objemem 200 l a elektrické keramické topné těleso značky Regulus typ ETT-H s výkonem 2,4 kW.

5. Potřeba tepla a potřeba paliva

Potřeba tepla udává množství energie, která je dodávána do objektu za otopné období. Tato hodnota energie se stanoví podle vztahu (5.0).

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} + Q_{VZT,r} + Q_{TECH,r} \quad [J] \quad (5.0)$$

$Q_{VYT,r}$... 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 této práci se budu zabývat pouze stanovením potřeby tepla ro vytápění a o ohřev teplé vody.

5.1 Potřeba tepla pro vytápění

Pro stanovení potřeby tepla na vytápění jsem použil nejpoužívanější metodu tzv. denostupňovou metodu (5.1).

$$Q_d = 24 \cdot 3600 \cdot Q_z \cdot \frac{(t_{is} - t_{es}) \cdot d}{(t_{is} - t_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [J] \quad (5.1)$$

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 [-]

Ke stanovení skutečné potřeby tepla pro vytápění je potřeba zohlednit účinnost zdroje tepla, rozvodu a regulace. Skutečná potřeba tepla je stanovena podle vztahu (5.11). Kontrolu výsledku jsem provedl pomocí výpočtového programu (obr.5.1) na internetovém portálu tzb-info.cz.

$$Q_{d,skut} = \frac{Q_d}{\eta_k \cdot \eta_r \cdot \eta_o} \quad [J] \quad (5.11)$$

η_k ... účinnost zdroje tepla [-]

η_r ... účinnost rozvodů vytápění [-]

η_o ... účinnost obsluhy a regulace otopné soustavy [-]

Veškeré hodnoty jsou zaznamenány v tabulce (tab.5.1).

Tab. 5.1 : Přehled hodnot pro návrh potřeby tepla pro vytápění

tep.ztráta	9	kW
d	225	dny
tis	19,5	°C
tes	4,3	°C
tev	-12	°C
ei	0,86	-
et	0,9	-
ed	1	-
Qd	65345060,6	J/ot.ob
Qd	65	GJ/ot.ob
η_k	0,973	
η_r	0,98	
η_o	0,95	
Qd,skut	72,1	GJ/ot.ob

Skutečná potřeba teplé vody na vytápění byla stanovena na hodnotu 72.1 GJ za otopné období. Kontrolu výsledku jsem provedl pomocí výpočtového programu (obr.5.1) na internetovém portálu tzb-info.cz.

Lokalita (Tabulka) ● $t_{em} = 12\text{ °C}$ ● $t_{em} = 13\text{ °C}$ ● $t_{em} = 15\text{ °C}$???

Město: Praha (Karlovy) Délka topného období: d = 225 [dny]

Venkovní výpočtová teplota $t_{es} = -12\text{ °C}$ Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 4.3\text{ °C}$

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_c = 9\text{ kW}$

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 19.5\text{ °C}$???

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3420\text{ K.dny}$

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.85$??? $\eta_o = 0.95$???

$e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$???

$e_d = 1.00$???

Opravný součinitel ϵ ???

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

$\epsilon = 0.765$

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

$Q_{VVT,r} = \left(\begin{matrix} 71.6\text{ GJ/rok} \\ 19.9\text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ **Naklady**

Ohřev teplé vody

$t_1 =$??? $\rho =$???

$t_2 =$??? $c =$???

$V_{2p} =$???

Koeficient energetických ztrát systému $z =$???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7\text{ kWh}$

Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$???

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$???

Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$??? [dny]

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

$Q_{TUV,r} = \left(\begin{matrix} 0\text{ GJ/rok} \\ 0\text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ **Naklady**

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

$Q_r = Q_{VVT,r} + Q_{TUV,r} = \left(\begin{matrix} 71.6\text{ GJ/rok} \\ 19.9\text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ **Naklady**

Obr. 5.1 : Výpočtový program z portálu tzb-info.cz [28]

5.2 Potřeba tepla na ohřev teplé vody

Potřeba tepla na ohřev teplé vody se stanoví podle vztahu (5.2).

$$Q_{d,tv} = \frac{n \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \cdot (1 + z) \quad [\text{Wh/den}] \quad (5.2)$$

n ... počet osob [-]

V_{2p} ... dávka teplé vody pro jednu osobu [$\text{m}^3/\text{osobu} \cdot \text{periodu}$]

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

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

z ... energetické ztráty systému [%]

Veškeré hodnoty jsou zaznamenány v tabulce (tab.5.2).

Tab. 5.2 : Přehled hodnot pro návrh potřeby tepla pro ohřev teplé vody

počet osob	4	-
denní potřeba	40	$\text{m}^3/\text{os.per}$
t_1	55	$^{\circ}\text{C}$
t_2	10	$^{\circ}\text{C}$
Q_{tv}	8,36	MWh/den
Q_{tv}	10,98	GJ/rok
ztráty	30	%
$Q_{d,tv}$	10,86	MWh/den
$Q_{d,tv}$	14,27	GJ/rok

Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena na hodnotu 14,27 GJ/rok.

5.3 Potřeba paliva

Celková potřeba zemního plynu byla stanovena podle vztahu (5.3). V kapitole 4.2 je pojednáno o způsobu přípravy teplé vody a je tedy nutný přepočítání potřeby tepla na přípravu teplé vody pouze na provoz za otopné období. Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena v tabulce (tab. 5.2) na hodnotu 10,86 MWh/den. Potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{ds,tv} = 8,8$ GJ za otopné období.

$$U_p = \frac{Q_{d,skut} + Q_{ds,tv}}{H_s} = \frac{72,1 + 8,8}{0,038231} = 2117 \quad [\text{m}^3] \quad (5.3)$$

H_s ... spalné teplo [kJ/m^3] uvažují 38 231 kJ/m^3

5.4 Provozní náklady soustavy

Náklady na provoz plynového zdroje tepla se stanoví podle vztahu (5.41). Ceníková cena distributora (Pražská plynárenská a.s.) zemního plynu je $15,38 \text{ Kč/m}^3$. K této ceně je třeba připočítat měsíční poplatek $281,73 \text{ Kč}$.

$$N_{pl,rok} = U_p \cdot 15,38 + 12 \cdot 281,73 = 35\,940 \quad [\text{Kč/rok}] \quad (5.41)$$

K této ceně je třeba připočítat cenu za provoz elektrického topného tělesa pro ohřev teplé vody, který je provozován mimo otopné období (131 dní).

Ceníková cena distributora společnosti ČEZ je $3,87 \text{ Kč/kWh}$. K této ceně je třeba připočítat měsíční poplatek 150 Kč .

Náklady na provoz elektrického topného tělesa se určí podle vztahu (5.42)

$$N_{el,tv} = Q_{d,tv} \cdot d \cdot 3,87 + 12 \cdot 150 = 7\,306 \quad [\text{Kč/rok}] \quad (5.42)$$

V nákladech nebyla zahrnuta cena elektrické energie pro provoz kotle.

Celkové náklady se určí podle vztahu (5.4).

$$N_{celk} = N_{pl,rok} + N_{el,tv} = 43\,246 \quad [\text{Kč/rok}] \quad (5.4)$$

Celkové náklady na provoz zdroje tepla a zásobník teplé vody jsou $43\,246,- \text{ Kč}$ za rok. Ke snížení provozních nákladů lze například použít solární kolektory nebo tepelné čerpadlo.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh otopného systému a zdroje tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Při této práci jsem aplikoval a ověřil své znalosti v oblasti projektování otopného systému a jeho regulace, spolu s návrhem přípravy teplé vody. Před samotným výpočtem tepelné ztráty objektu jsem navrhl na přání investora skladbu stěn a podlah s požadavkem na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla. Tepelné ztráty objektu byly stanoveny normou ČSN EN 12 831 na hodnotu 8,7 kW.

Podle přání investora a tepelně technických vlastností objektu jsem navrhl horizontální, dvoutrubkovou, protiproudou, otopnou, uzavřenou soustavu s nuceným oběhem otopné vody. Otopná plocha je tvořena deskovými a trubkovými otopnými tělesy. Otopná voda je vedena v měděném potrubí.

Teplotní spád otopné soustavy byl zvolen na hodnotu 65/45 °C. Výrobce topných těles udává hodnotu výkonu při teplotních parametrech 75/65/20 °C, byl tedy nutný přepočítání tepelného výkonu otopných těles na jiné teplotní parametry.

Jmenovitá světlost potrubí byla stanovena metodou ekonomické rychlosti. Hodnota této rychlosti byla zvolena na 0,6 m/s.

Má-li otopná soustava správně pracovat, musí být hydraulicky vyvážená. Hydraulické vyvážení otopné soustavy jsem provedl pomocí nastavitelného škrtkového a termostatického ventilu.

Zdrojem tepla pro vytápění a ohřev teplé vody bude plynový kondenzační kotel značky Vaillant VU 126/3-5 ecoTEC plus. Tento kotel disponuje celkovým výkonem 11,2 kW s možností regulace v rozsahu 40 až 100 %. Plynový kotel bude doplněn o zásobník teplé vody značky Vaillant typ VIH uniSTOR R 200/6B s objemem vody 200 l a elektrickým topným tělesem značky Regulus ETT-H. Příprava teplé vody v otopném období je navrhnut systém přednostním přípravou teplé vody. Elektrické topné těleso, které obstarává ohřev teplé vody mimo otopné období je napojeno kvůli ekonomické úspoře na tzv. noční proud.

Skutečná potřeba teplé vody na vytápění byla stanovena na hodnotu 72.1 GJ za otopné období. Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena na hodnotu 14,27 GJ/rok. Pro stanovení potřeby paliva bylo nutné přepočítat potřebu tepla na přípravu teplé vody, pouze pro provoz v otopném období. Celková potřeba paliva byla stanovena na hodnotu 2117 m³ zemního plynu za otopné období.

Předpokládané náklady na provoz zdroje tepla a zásobník teplé vody jsou 43 246,- Kč za rok. Ke snížení provozních nákladů lze použít solární kolektory nebo tepelné čerpadlo.

7. Seznam výkresové dokumentace

- 001-00** Půdorys 1.PP
- 002-00** Půdorys 1.NP
- 003-00** Půdorys 2.NP
- 004-00** Půdorys střechy
- 005-RS** Schéma otopné soustavy

8. Seznam tabulek

2.1	<i>Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540</i>	3
2.30	<i>Venkovní výpočtová teplota a počet dnů otopného období některých míst v ČR dle ČSN EN 12 831[8]</i>	8
2.31	<i>Snížení venkovní výpočtové teploty s ohledem na nadmořskou výšku [8]</i> ...	9
2.32	<i>Vnitřní výpočtové teploty [9]</i>	9
2.4.1	<i>Tepelné ztráty v 1.PP</i>	13
2.4.2	<i>Tepelné ztráty v 1.NP</i>	13
2.4.3	<i>Tepelné ztráty v 2.NP</i>	13
3.5	<i>Přehled přepočítaných výkonů otopných těles</i>	20
3.6	<i>Přehled průměru potrubí</i>	24
3.7	<i>Přehled nastavení RŠ a TRV</i>	26
4.1	<i>Parametry pro zásobník TV</i>	32
4.2	<i>Odběry teplé vody s využitím</i>	32
4.3	<i>Stanovené parametry zásobníku TV</i>	33
4.4	<i>Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku [21]</i>	33
5.1	<i>Přehled hodnoty pro návrh potřeby tepla pro vytápění.</i>	35
5.2	<i>Přehled hodnot pro návrh potřeby tepla pro ohřev teplé vod</i>	36

9. Seznam obrázků

1.1	<i>Řešený objekt</i>	1
2.1	<i>Skladba podlahy 1. PP</i>	3
2.2	<i>Skladba podlahy 1. NP a 2. NP</i>	4
2.3	<i>Detail konstrukce vchodových dveří [4]</i>	5
2.4	<i>Detail konstrukce balkonových dveří [5]</i>	6
2.5	<i>Detail konstrukce oken [6]</i>	6
2.6	<i>Detail konstrukce garážových vrat [7]</i>	7
3.1	<i>Zapojení otopných těles s obtokem a bez obtoku [13]</i>	16
3.6	<i>Axonometrie otopné soustavy</i>	23
3.7	<i>Vyvážená a nevyvážená otopná soustava [18]</i>	25
4.1	<i>Princip kondenzačního kotle [19]</i>	27
4.2	<i>Schéma zapojení</i>	28
4.21	<i>Graf odběru a dodávky tepla v časově omezenou dodávkou tepla</i>	31
4.22	<i>Graf odběru ztráty a dodávky tepla v časově omezenou dodávkou tepla pro řešený objekt</i>	32
5.1	<i>Výpočtový program z portálu tzb-info.cz [28]</i>	35

10. Použitá literatura

- [1] VYHLÁŠKA č.268/2009 Sb. *Ministerstva pro místní rozvoj o obecných požadavcích na stavby.*
- [2] Petrtyl Z., *Revidovaná ČSN 73 0540-2 tepelná ochrana budov – požadavky* [online], Inkapo.cz, 20.01.2012, [13.2.2015]. Dostupné z http://www.inkapo.cz/csn-730540-2_2011.
- [3] Stavební materiál Ytong [online]. Dostupné z <http://www.ytong.cz/cs/content/sortiment.php>.
- [4] Porta doors systém vchodových dveří Eco POLAR PASSIVE [online], Dostupné z <http://www.linera.cz/11003/vchodove-dvere-eco-polar-passive/>.
- [5] Deceuninck systém plastových oken a dveří PRESTIGE [online], Dostupné z <http://www.matrix-as.cz/deceuninck-prestige>.
- [6] Albo okenní systém IV92 Strong 3+ [online], Dostupné z <http://www.topokna.cz/produkty/drevena-okna/albo-iv92-strong-3-/>.
- [7] Alutech sekční garážová vrata CLASSIC [online], Dostupné z <http://www.woomet.cz/vrata/sekzni-garazova-alutech.html>.
- [8] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [online], Dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>.
- [9] Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN 12 831 a doporučené a relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210 [online], Dostupné z <http://vetrani.tzb-nfo.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>.
- [10] Výpočet tepelných ztrát [online], Dostupné z http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapani/VYT_cv_1_2011.pdf

- [11] Bašta J. a Kabele K., *Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č. 1)*, STP – Společnost pro techniku prostředí Praha 2001. 77s.
- [12] Bašta J. a Hojer O., *Sálavé a průmyslové vytápění pro IB*, ČVUT Praha 2009. 121 s.
- [13] Otopné soustavy [online], Dostupné z http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/5_otopne%20soustavy.pdf.
- [14] Bašta J., *OTOPNÉ PLOCHY*, ČVUT Praha 2001. 328s.
- [15] Přepoččet tepelného výkonu u otopných těles [online], Dostupné z http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/VYT_cv_4_2011.pdf.
- [16] Otopná tělesa KORADO [online]. Dostupné z <http://www.korado.cz/cs/vyrobky/index.shtml>.
- [17] Bašta J., *REGULACE VYTÁPĚNÍ*, ČVUT Praha 2002. 99s.
- [18] Hydraulické vyvážení [online]. Dostupné z http://www.kermi.cz/cs/Heiztechnik/Wissenswertes/Hydraulischer_Abgleich/Hydraulischer_Abgleich/index.phtml.
- [19] Stručná teorie kondenzačních kotlů plynových kotlů [online]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>.
- [20] Závěsné plynové kotle [online]. Dostupné z <http://www.vaillant.cz/zavesne-plynove-kotle-p13/>.
- [21] Metody návrhu zásobníku teplé vody [online]. Dostupné z <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>.
- [22] Příprava teplé vody [online]. Dostupné z <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Kurz%20Vytapeni/Priprava%20teple%20vody.pdf>.

- [23] Zásobníkové ohřivače teplé vody [online]. Dostupné z <http://www.vaillant.cz/zasobnikove-ohrivace-teple-vody-p18/>.
- [24] Elektrická topná tělesa [online]. Dostupné z <http://www.regulus.cz/cz/elektricka-topna-telesa>.
- [25] VYHLÁŠKA č.186/1991 Sb. *Ministerstva pro hospodářskou politiku a rozvoj České republiky o hospodaření s teplem, řízením soustav centralizovaného zásobování teplem a o ochranných pásmech.*
- [26] Výpočet potřeby tepla a paliva [online]. Dostupné z http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/VYT_cv_2_2011.pdf.
- [27] Roční potřeba tepla [online]. Dostupné z http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/2_bilance_tepla_theorie.pdf.
- [28] Výpočtový program: Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. Dostupné z <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>.
- [29] Ceníky [online]. Dostupné z <http://www.ppas.cz/plyn/ceniky>.
- [30] Elektrína [online]. Dostupné z <https://www.cez.cz/cs/elektrina.html>.