

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Masopust** Jméno: **Viktor** Osobní číslo: **420027**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Katedra/ústav:
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vytápění rodinného domu

Název diplomové práce anglicky:

Heating of The Family House

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte optimální způsob vytápění rodinného domu. Zabývejte se použitím vyšší úrovně řízení otopné soustavy, doplňkových systémů a ochranou perimetru. Nedílnou součástí práce bude zhodnocení energetické náročnosti budovy a systému.

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) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **17.09.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce:

do konce zimního semestru 2019/2020

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření

Vytápění rodinného domu

Diplomová práce

Studijní program: Inteligentní budovy

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autor práce: Bc. Viktor Masopust



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 7. 1. 2019

Viktor Masopust

.....



Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za trpělivé zodpovídání mých dotazů, velmi cenné připomínky a čas, který věnoval při vedení mé práce.



Anotace

Tato diplomová práce se zabývá kompletním projektem vytápění rodinného domu. Zahrnuje návrh obvodových konstrukcí a výpočet tepelných ztrát podle technické normy ČSN EN 12831. Řeší především návrh otopné soustavy s podlahovým vytápěním a návrh vhodného zdroje tepla – tepelného čerpadla vzduch/voda. Dále je volena optimální regulace pro daný systém vytápění. V konečné fázi je tato práce také doplněna průkazem energetické náročnosti (PENB) řešeného objektu.

Součástí této diplomové práce je také koncepční návrh řídicího inteligentní budovy. Řídicí systém je postaven na KNX protokolu a zajišťuje regulaci vytápění, řízení osvětlení, řízení stínící techniky a řízení elektrického zabezpečovacího systému.

Klíčová slova

vytápění, otopná soustava, podlahové vytápění, tepelné čerpadlo, regulace vytápění, řídicí systém, KNX, průkaz energetické náročnosti

Abstract

This diploma thesis deals with complete project of heating system in family house. The thesis includes design of perimeter structures and calculation of heat loss according to technical standard ČSN EN 12831. The thesis is primarily focused on the design of heating system with radiant floor heating and design of fitting heat source - heat pump air/water. Choosing of appropriate control of heating is next part of heating system design. In the final phase, this work is supplemented with an energy performance certificate (EPC).

Part of this diploma thesis is also the conceptual design of central management system of intelligent building. The system uses KNX protocol to control heating, lightning, shading system and electronic security system.

Key words

Heating, heating system, radiant floor heating, heat pump, control of heating, building management system, KNX, energy performance certificate



Obsah

1. Úvod.....	12
2. Charakteristika budovy	13
2.1. Vstupní informace	13
2.2. Tepelně technické vlastnosti budovy	15
2.3. Tepelné ztráty	21
2.4. Výsledné tepelné ztráty objektu.....	28
3. Otopná soustava.....	29
3.1. Volba otopné soustavy.....	29
3.2. Vytápění otopnými tělesy	31
3.3. Podlahové vytápění	37
4. Hydraulika a vyvážení otopné soustavy	53
4.1. Výpočet tlakových ztrát	53
4.2. Dvoutrubkové otopné soustavy s nuceným oběhem	58
4.3. Vyvažovací a regulační armatury	59
4.4. Oběhová čerpadla	62
4.5. Návrh dvoucestných regulačních a vyvažovacích armatur	63
4.6. Návrh trojcestných směšovacích ventilů a oběhových čerpadel.....	67
5. Zdroj tepla.....	71
5.1. Volba zdroje tepla	71
5.2. Tepelné čerpadlo	71
5.3. Návrh tepelného čerpadla	74
6. Regulace tepelného čerpadla.....	82
6.1. Regulace příkonu tepla.....	83
6.2. Regulace tepelného čerpadla a popis systému	86
7. Automatizace řízení v budovách.....	89
7.1. Standardizované sběrnice a sítě v budovách.....	90
7.2. Standard KNX/EIB	90
7.3. Řízení vytápění.....	93

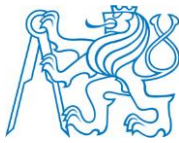


7.4. Řízení osvětlení	93
7.5. Řízení stínící techniky	95
7.6. Řízení ochrany perimetru.....	95
7.7. Ovládací panel	97
8. Průkaz energetické náročnosti	98
8.1. Legislativa.....	98
8.2. Stanovení a hodnocení ENB.....	99
8.3. Vypočtené hodnoty	101
9. Závěr	102
10. Seznam obrázků.....	104
11. Seznam tabulek.....	105
12. Seznam příloh	106
13. Seznam použité literatury.....	107

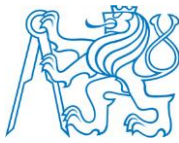


Seznam použitých symbolů

U	-součinitel prostupu tepla konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
R_{se}	- celkový tepelný odpor konstrukce včetně odporu při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{se}	- tepelný odporu při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{si}	- tepelný odporu při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
d_i	- tloušťka vrstvy konstrukce	$[m]$
λ_i	- součinitel tepelné vodivosti materiálu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\theta_{int,i}$	- vnitřní výpočtová teplota pro vytápěný prostor	$[^{\circ}C]$
θ_e	- venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu	$[^{\circ}C]$
U_w	- součinitel prostupu tepla okna	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_a	- součinitel prostupu tepla skla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_f	- součinitel prostupu tepla rámu	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
S_a	- celková plocha skla	$[m^2]$
S_f	- celková plocha rámu	$[m^2]$
O_a	- celkový obvod skla	$[m]$
$\Psi_{a,f}$	- lineární činitel prostupu tepla zasklení/rám	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$U_{N,20}$	- požadované hodnoty součinitele prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
U_{REO}	- doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Φ_i	- celková tepelná ztráta	$[W]$
$\Phi_{T,i}$	- tepelná ztráta prostupem	$[W]$
$\Phi_{V,i}$	- tepelná ztráta větráním	$[W]$
$H_{T,ie}$	- měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,iue}$	- měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ig}$	- měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ij}$	- měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru, který je vytápěn na výrazně odlišnou teplotu	$[W \cdot K^{-1}]$
A_k	- plocha konstrukce budovy;	$[m^2]$
U_k	- součinitel prostupu tepla konstrukce budovy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
e_k, e_l	- korekční činitele zahrnující nasákavost, klimatické vlivy apod.	$[-]$
Ψ_l	- lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
l_l	- délka lineárního tepelného mostu	$[m]$
U_{kc}	- nahrazený součinitel prostupu tepla konstrukce budovy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
ΔU_{tb}	- přírůstek daný tepelnými mosty	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
b_u	- redukční činitel teploty zahrnující rozdíl teplot	$[-]$



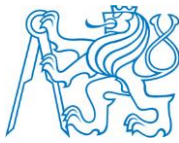
θ_u	- teplota nevytápěného prostoru	[°C]
H_{iu}	- měrná tepelná ztráta z vytápěného do nevytápěného prostoru	[W · K ⁻¹]
H_{ue}	- měrná tepelná ztráta z nevytápěného prostoru do exteriéru	[W · K ⁻¹]
f_{q1}	- korekční činitel vlivu ročních změn teploty	[-]
f_{q2}	- teplotní redukční činitel	[-]
U_{eq}	- ekvivalentní součinitel prostupu tepla	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
G_w	- korekční člen zahrnující vliv podzemní vody	[-]
$\theta_{m.e}$	- průměrná roční venkovní teplota pro danou lokalitu	[°C]
B	- charakteristický parametr	[-]
A_a	- plocha podlahové konstrukce	[m ²]
P	- obvod podlahové konstrukce oddělující vytápěný prostor od venkovního prostředí	[m]
d_t	- celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
$R_{th,pdl}$	- celkový tepelný odpor podlahové konstrukce	[m ² · K · W ⁻¹]
λ_{zem}	- součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
z	- hloubka podlahy suterénu pod úrovní okolního terénu	[m]
$b_{i,i}$	- redukční teplotní činitel rozdílu teplot v místnostech	[-]
$H_{V,i}$	- měrná tepelná ztráta větráním	[W · K ⁻¹]
\dot{V}_i	- objemový průtok vzduchu	[m ³ · s ⁻¹]
ρ_a	- hustota vzduchu	[kg · m ⁻³]
c_a	- měrná tepelná kapacita vzduchu	[kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]
$\dot{V}_{inf,i}$	- průtok infiltrovaného vzduchu přes obálku budovy	[m ³ · h ⁻¹]
$\dot{V}_{min,i}$	- průtok minimální výměny vzduchu	[m ³ · h ⁻¹]
V_i	- objem vytápěného prostoru	[m ³]
n_{min}	- minimální výměna vzduchu	[h ⁻¹]
n_{50}	- výměna vzduchu, při rozdílu tlaků 50 Pa mez vytápěným prostorem a venkovním okolím	[h ⁻¹]
ε_i	- výškový korekční činitel	[-]
e_i	- stínící součinitel	[-]
Φ_{HL}	- celková tepelná ztráta budovy	[kW]
Q_c	- celkový výkon otopné plochy	[W]
Q_s	- výkon otopné plochy sdílený sáláním	[W]
Q_k	- výkon otopné plochy sdílený konvekcí	[W]
Q_{OT}	- tepelný výkon otopného tělesa	[W]
m_w	- hmotnostní průtok tělesem	[kg · s ⁻¹]
t_{w1}	- přívodní teplota vody	[°C]
t_{w2}	- zpětná teplota vody	[°C]
k_u	- součinitel prostupu tepla otopného tělesa	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
S_L	- teplosměnná plocha na straně vzduchu otopného tělesa	[m ²]
$t_{wm,ot}$	- střední povrchová teplota otopného tělesa	[°C]
t_i	- vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$Q_{sk,OT}$	- skutečný tepelný výkon otopného tělesa	[W]
$Q_{N,OT}$	- jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa	[W]
$f_{\Delta t}$	- opravný součinitel na teplotní rozdíl	[-]



f_m	- opravný součinitel na odlišný hmotnostní průtok	$[-]$
f_x	- opravný součinitel na připojení tělesa	$[-]$
f_o	- opravný součinitel na úpravu okolí tělesa	$[-]$
f_n	- opravný součinitel na počet článků tělesa	$[-]$
f_p	- opravný součinitel na umístění v prostoru	$[-]$
c_p	- teplotní podílový součinitel	$[-]$
Δt	- rozdíl teplot	$[^{\circ}\text{C}]$
n	- teplotní exponent	$[-]$
Λ_a	- tepelná propustnost směrem nahoru	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Λ_b	- tepelná propustnost směrem dolů	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
α_p	- součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
λ_i	- tepelná vodivost i-té vrstvy nad potrubím otopného hadu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
d_i	- tloušťka i-té vrstvy nad potrubím otopného hadu	$[m]$
α'_p	- součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
d_j	- tloušťka j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu	$[m]$
λ_j	- tepelná vodivost j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
m	- charakteristické číslo podlahy	$[m^{-1}]$
λ_d	- tepelná vodivost j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
D_e	- vnější průměr potrubí	$[m]$
r	- šířka okrajové zóny	$[m]$
t_p	- střední povrchová teplota	$[^{\circ}\text{C}]$
t_m	- střední teplota otopné vody	$[^{\circ}\text{C}]$
l	- rozteč trubek	$[m]$
q	- měrný tepelný výkon podlahové plochy	$[W \cdot m^{-2}]$
q'	- měrný tepelný výkon podlahové plochy směrem dolů	$[W \cdot m^{-2}]$
t'_i	- vnitřní výpočtová teplota pod podlahovou plochou	$[^{\circ}\text{C}]$
S_{op}	- celková otopná plocha	$[m^2]$
Q_z	- celková tepelná ztráta místnosti	$[W]$
q'_u	- měrný tepelný výkon podlahové plochy směrem dolů z vyššího patra	$[W \cdot m^{-2}]$
S_v	- využitelná otopná plocha místnosti	$[m^2]$
S_p	- otopná plocha ohraničená krajní trubkou	$[m^2]$
S_{Nsi}	- půdorysná plocha nábytku se soklem	$[m^2]$
S_{Nni}	- půdorysná plocha nábytku na nízkých nohách	$[m^2]$
Q_{pc}	- celkový příkon podlahové otopné plochy	$[W]$
Q_o	- tepelný výkon okrajové zóny	$[W]$
O_p	- obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami	$[m]$
Q_u	- tepelný výkon z místnosti z vyššího patra	$[W]$
Δp_z	- celková tlaková ztráta	$[Pa]$
Δp_λ	- tlaková ztráta třením	$[Pa]$
Δp_ξ	- tlaková ztráta místními odpory	$[Pa]$
Re	- Reynoldsovo číslo	$[-]$
Re_{krit}	- kritická hodnota Reynoldsova čísla	$[-]$
D_i	- vnitřní průměr potrubí	$[m]$



w	- průtočná rychlost tekutiny	$[m \cdot s^{-1}]$
ν	- kinematická viskozita tekutiny	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
l_p	- délka úseku potrubí	$[m]$
R	- měrná tlaková ztráta třením	$[Pa \cdot m^{-1}]$
λ_F	- součinitel tlakové ztráty třením	$[-]$
A	- konstanta rychlostního profilu potrubí	$[-]$
ρ	- hustota proudící tekutiny	$[kg \cdot m^{-3}]$
k	- absolutní drsnost	$[m]$
m	- hmotnostní průtok	$[kg \cdot s^{-1}]$
Z	- Tlaková ztráta místními odpory	$[Pa]$
ξ	- součinitel místní ztráty	$[-]$
ξ_{90}	- součinitel místní ztráty oblouků pro úhel 90°	$[-]$
R_k	- poloměr zakřivení	$[m]$
ξ_ϕ	- součinitel místní ztráty oblouků pro úhel ϕ	$[-]$
Δp_{OT}	- tlaková ztráta otopného tělesa	$[Pa]$
m_{OT}	- hmotnostní průtok otopným tělesem	$[m]$
$D_{i, DN15}$	- vnitřní průměr ekvivalentního potrubí DN15	$[kg \cdot s^{-1}]$
ξ_{DN15}	- součinitel místní ztráty otopným tělesem vztažený na ekvivalentní potrubí DN15	$[-]$
Δp_D	- celková tlaková ztráta okruhu	$[Pa]$
$\Delta p_{\check{c}}$	- účinný tlak	$[Pa]$
$\Delta p_{\check{c}}$	- dopravní tlak čerpadla	$[Pa]$
k_{VS}	- jmenovitý průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
V	- objemový průtok armaturou	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
Δp_o	- tlaková ztráta 100 kPa	$[kPa]$
Δp_V	- tlaková ztráta ventilu	$[kPa]$
P_V	- P_V	$[-]$
Δp_{V100}	- tlaková ztráta ventilu při plném otevření	$[Pa]$
Δp_{PS}	- tlaková ztráta potrubní sítě	$[Pa]$
C	- konstanta potrubní sítě	$[-]$
V	- objemový průtok potrubní sítí	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$H_{\check{c}}$	- dopravní výška čerpadla	$[m]$
g	- gravitační zrychlení	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
Δp_d	- celková tlaková ztráta hlavní větve	$[Pa]$
$\Delta p_{\check{s}}$	- tlaková ztráta škrcením na regulačním šroubením	$[Pa]$
Δp_{RA}	- tlaková ztráta na rozdělovači R-A	$[Pa]$
Δp_{RB}	- tlaková ztráta na rozdělovači R-B	$[Pa]$
$\Delta p_{R\check{s}}$	- tlaková ztráta na regulačním šroubení	$[Pa]$
Δp_{TRV}	- tlaková ztráta na termostatickém ventilu	$[Pa]$
Δp_{disp}	- tlaková ztráta kterou kryje oběhové čerpadlo	$[Pa]$
COP	- topný faktor	$[-]$
Q_k	- dodaná energie otopné soustavě za jednotku času	$[W]$
P_{el}	- elektrický příkon tepelného čerpadla	$[W]$
T_1	- teplota ve výparníku	$[K]$
T_2	- teplota v kondenzátoru	$[K]$



η_t	- účinnost termodynamického cyklu tepelného čerpadla	$[-]$
h_1	- entalpie chladiva na sání kompresoru;	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
h_2	- entalpie chladiva na výtlaku kompresoru;	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
h_4	- entalpie chladiva po kondenzaci v kondenzátoru;	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
V_{aku}	- objem akumulčního zásobníku	$[l]$
$Q_{T\check{c}}$	- tepelný výkon tepelného čerpadla	$[kW]$
c_w	- měrná tepelná kapacita vody	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\Delta\tau$	- minimální doba chodu tepelného čerpadla	$[s]$
Δt	- zvýšení teploty vody v akumulátoru	$[K]$
p_{OTV}	- otevírací přetlak pojistného ventilu	$[kPa]$
$p_{h.dov}$	- maximální dovolený přetlak	$[kPa]$
Q_P	- pojistný výkon	$[kW]$
Q_N	- nejvyšší výkon tepelného čerpadla	$[kW]$
S_O	- požadované průtočné sedlo	$[mm^2]$
α_v	- výtokový součinitel ventilu	$[-]$
V_{EN}	- objem expanzní nádoby	$[l]$
V_{os}	- celkový objem vody v otopné soustavě	$[l]$
n	- součinitel zvětšení objemu	$[-]$
η	- stupeň využití expanzní nádoby	$[-]$
$p_{h.dov.abs}$	- nejvyšší dovolený absolutní tlak	$[kPa]$
$p_{d.dov.abs}$	- nejnižší dovolený absolutní tlak	$[kPa]$
p_b	- barometrický tlak	$[kPa]$
h_{ex}	- výška středu expanzní nádoby po nejvyššího bodu otopné soustavy	$[m]$
$V_{t\check{c}}$	- objem vody v tepelném čerpadle	$[l]$
V_{potr}	- objem vody v potrubí včetně rozdělovačů	$[l]$
V_{pdl}	- objem vody v okruzích podlahového vytápění	$[l]$
V_{aku}	- objem vody v akumulční nádrži	$[l]$
$t_{i,wk}$	- korigovaná žádaná teplota v prostoru	$[^{\circ}C]$
$t_{i,w}$	- žádaná teplota v prostoru	$[^{\circ}C]$
$t_{i,x}$	- aktuální teplota v prostoru	$[^{\circ}C]$
KOR	- faktor vlivu prostorové teploty	$[-]$
E_m	- osvětlenost	$[lx]$
E_r	- hodnota referenční budovy (Q_{fuel}, nPE, U_{em})	$[kWh],$
		$[MWh \cdot rok^{-1}]$
Q_{fuel}	- roční dodaná energie pro celou budovu	$[MWh \cdot rok^{-1}]$
nPE	- roční neobnovitelná primární energie na základě dílčích dodaných energií	$[MWh \cdot rok^{-1}]$
U_{em}	- průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$



1. Úvod

V současné době stále rostou nároky na komfort v domácnosti. Zároveň zde vzniká požadavek k zajištění co nejefektivnějšího provozu z hlediska ekonomického a ekologického. Ve stavebnictví se musí tyto vysoké nároky zohlednit už v samotném počátku projektu. Jestliže mluvíme o komfortu, v současnosti se stále více objevují tzv. inteligentní budovy. Inteligentní budova má ve světě spousty definic, ale jádrem těchto definic je jedno základní hledisko. Jedná se o multidisciplinární přístup k projektu budovy tak, aby jako celek co nejvíce uspokojoval potřeby uživatelů nebo vlastníků budov. Inteligentní budova by měla představovat objekt se sjednocenými systémy řízení, zabezpečením a správou budovy [35]. Zásadním předpokladem k zajištění komfortní, ekologické a úsporné budovy je správné navržení všech systémů techniky prostředí (vytápění, chlazení, příprava teplé vody, osvětlení, větrání atd.).

V této práci se budu zabývat především projektem vytápění rodinného domu. Podlahové vytápění je v moderních stavbách již samozřejmostí, a proto v této práci bude kladen důraz především na tento typ otopné plochy. Dále bude navržen optimální zdroj tepla, který bude mít ekologický a ekonomicky úsporný provoz. Regulace ve vytápění představuje jednu z nejdůležitějších cest, jak dosáhnout požadovaného úsporného provozu. Proto bude pro navrženou otopnou soustavu a zdroj tepla zvolen vyšší stupeň regulace, který tento požadavky splní.

Výsledná budova bude budovou inteligentní, a proto v této práci bude také kapitola, která se bude zabývat automatizací v budovách a ochranou perimetru. Veškeré systémy v budovách musí být správně ovládány a regulovány. Jen v takovém případě lze dosáhnout finančních úspor a požadovaného komfortu. V inteligentních budovách se proto uplatní autonomní řízení všech technických zařízení budov.

V poslední části této práce bude, namísto výpočtu potřeby tepla na vytápění, stanoven průkaz energetické náročnosti budovy. Tento průkaz bude jednoznačným ukazatelem nejen hospodárnosti vytápění ale budovy jako celku.



2. Charakteristika budovy

2.1. Vstupní informace

V první řadě je třeba jasně definovat typ objektu. Pro různé typy objektů se liší postupy návrhu, doporučení či požadavky dle platných norem.

V souvislosti se stanovením okrajových podmínek pro danou budovu, je nejprve potřeba uvést základní informace o budově. Jedná-li se o novostavbu, je důležitá spolupráce se všemi profesemi a koordinace projektu. Pro projektování otopné soustavy a zdroje tepla, se pak pracuje například s danou dispozicí a konstrukcemi. V případě paralelních změn stavební části se dále upravuje související projekt vytápění. Někdy se v praxi projektují typové rodinné domy, které nejsou umístěné do konkrétní lokality. V tomto případě vzniká hrubý návrh, který lze následně rychle upravit a upřesnit pro dané podmínky. Jedná-li se o rekonstrukci je zřejmé, že se dispozice a lokalita měnit nebude. Návrh tedy lze vypracovat přímo pro dané požadavky ale nastávají zde různá omezení a variabilita návrhu je v tomto případě nízká.

V této práci se zabývám novostavbou. Na začátku této práce si stanovím informace týkající se rozmístění místností, jejich rozměrů, orientací vůči světovým stranám a lokality, do které je objekt zasazen. Této lokalitě pak přísluší daná klimatická data a doporučení pro návrh.

2.1.1. Informace o objektu

Objekt se nachází v Chebu ve vilové čtvrti. V této lokalitě se uvažuje venkovní výpočtová teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zadaný objekt je samostatně stojící dvoupodlažní rodinný dům se suterénem a garáží. Na pozemku se dále nachází samostatně stojící kůlna, která nebude vytápěna. Dům není zastíněn z žádné světové strany a nachází se na rovinném pozemku s upraveným vjezdem do garáže v suterénu.

V suterénu se nachází dva sklady a technická místnost, které nebudou vytápěny. V technické místnosti bude umístěn zdroj tepla, akumulární nádoby a další potřebné technologie. Dále se zde nachází temperovaná chodba se schodištěm vedoucím až do druhého podlaží budovy. V suterénu bude vytápěna dílna, sklad a temperována garáž pro jedno osobní vozidlo.



V prvním nadzemním podlaží je hlavní vchod do budovy. Vytápěné místnosti jsou obývací společenská místnost, kuchyň, koupelna, ložnice, pracovna a chodba. Nevytápěná místnost bude pouze spižárna umístěna u kuchyně.

V druhém nadzemním podlaží jsou dva dětské pokoje, jeden pokoj pro hosty, chodba a koupelna. Všechny tyto místnosti budou vytápěny. Dům je zastřešen sedlovou střechou s nevytápěným podkrovím nad druhým podlažím. Zároveň na úrovni druhého podlaží je vstup na terasu, jejíž podlahová konstrukce je stropní konstrukcí nad ložnicí a zádveřím v prvním podlaží.

Další informace o objektu:

Počet osob:	4-5
Počet obyvatelných místností:	19
Užitková plocha domu:	327,5 m ²
Užitková plocha 1.PP:	117,2 m ²
Užitková plocha 1.NP:	119,1 m ²
Užitková plocha 2.NP:	91,2 m ²
Zastavěná plocha:	178,9 m ²
Výška hřebene střechy:	7,6 m
Sklon střechy:	30°
Orientace hlavního vstupu	SZ

K tomuto objektu jsou vypracované půdorysy, ze kterých jsou jasné dispozice a rozměry výplní otvorů. Kompletní výkresy projektu vytápění jsou v příloze této práce.

Požadavky

- Návrh otopné soustavy s podlahovým vytápěním;
- Návrh vhodného zdroje tepla včetně dalších souvisejících zařízení;
- Zvolit vyšší stupeň regulace pro systém vytápění;
- Navrhnout koncept řízení osvětlení, žaluzií a ochrany perimetru;
- Stanovit průkaz energetické náročnosti budovy;



2.2. Tepelně technické vlastnosti budovy

V současné době spotřeba energie v budovách činí přibližně 30 % z celkové spotřeby energie z primárních energetických zdrojů. Největší procentuální součástí této spotřeby bývá spotřeba energie na vytápění a chlazení. Volbou vhodných konstrukcí, kvalitními výplněmi otvorů a zateplením obálky budovy je možné snížit spotřebu energie na vytápění až na určité minimum. Dále je pak možno využít energeticky efektivnějších systémů a využívat nižší teplotu otopné vody. Kvalitně řešená obálka budovy je základní stavební kámen k dosažení co největších úspor energie za vytápění a chlazení. Podle typu provedení obálky a výplní otvorů, je pak volen ekonomicky nejefektivnější systém vytápění a přípravy teplé vody pro co nejnižší energetickou náročnost budovy.

Evropská unie se v roce 2010 zavázala snížit celkovou spotřebu energie v budovách a produkci skleníkových plynů o 20 % do roku 2020 a zároveň zvýšit podíl obnovitelných zdrojů o 20 % [33]. Dále vzniká vnitrostátní plán na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou. Tyto fakty vedou k stále vyšším požadavkům na konstrukce obálky budovy. Dále pak k využívání obnovitelných zdrojů, jako jsou fotovoltaické systémy, fototermické systémy a tepelná čerpadla.

2.2.1. Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U je hlavním ukazatelem tepelně technických vlastností dané konstrukce. Určuje celkový tepelný tok stavebních konstrukcí. S rostoucím součinitelem prostupu tepla klesá tepelněizolační kvalita konstrukce. Hodnota součinitele prostupu tepla je závislá na tepelných vlastnostech materiálu konstrukce, na tloušťce dané konstrukce, a na přestupových dějích na povrchu konstrukce.

$$U = \frac{1}{R_{th}}, \quad (1.1)$$

kde U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

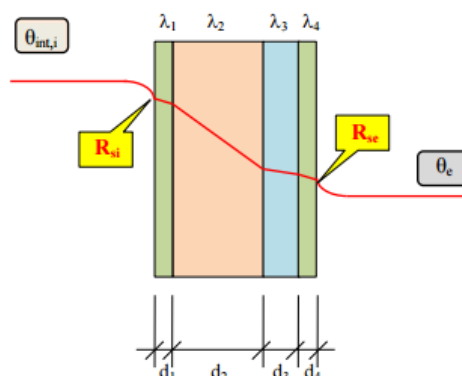
R_{th} [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

součinitel prostupu tepla konstrukce;

celkový tepelný odpor konstrukce včetně odporu při přestupu tepla;



Prostup tepla konstrukcí vzniká na základě rozdílu teplot před a za konstrukcí. Prostup tepla je rozdělen na tři složky: přestup tepla na vnitřní straně konstrukce, vedení tepla uvnitř konstrukce a přestup tepla na vnější straně konstrukce. Na obr. 1. je zobrazen průběh teploty při prostupu tepla konstrukcí složené z více vrstev a materiálů. Schopnost vedení tepla v materiálu je dána součinitelem tepelné vodivosti. Celkový tepelný odpor R_{th} dané konstrukce je pak dán rovnicí (1.2).



Obr. 1. Prostup tepla konstrukcí [11]

$$R_{th} = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} , \quad (1.2)$$

kde R_{se} [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	tepelný odporu při přestupu tepla na vnější straně;
R_{si} [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	tepelný odporu při přestupu tepla na vnitřní straně;
d_i [m]	tloušťka vrstvy konstrukce;
λ_i [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	součinitel tepelné vodivosti materiálu;
$\theta_{int,i}$ [$^{\circ}C$]	vnitřní výpočtová teplota pro vytápěný prostor;
θ_e [$^{\circ}C$]	venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu;

Tepelný odpor při přestupu tepla [$m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}$]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolu
R_{si}	0,1	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tab. 1. Tepelný odpor při přestupu tepla v závislosti na směru tepelného toku

Hodnoty R_{se} , R_{si} lze určit podle ČSN EN ISO 6946 z tab. 1. dle směru tepelného toku. Součinitel tepelné vodivosti materiálu vždy udává výrobce. Vhodným složením konstrukce lze dosáhnout požadavku na tepelně technické vlastnosti konstrukcí.



Dosazením (1.2) do (1.1) získáváme základní vztah pro výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce rovinnou stěnou (1.3).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad (1.3)$$

Takto vypočtený součinitel prostupu tepla zohledňuje pouze homogenní plochu, ale nezohledňuje takzvané tepelné mosty. Lineární součinitel prostupu tepla lineárního tepelného mostu je definován v ČSN EN ISO 14683. Tato norma pojednává také o zjednodušených metodách zahrnujících i tepelné mosty.

Při výpočtu součinitele prostupu tepla oknem se musí uvažovat vliv rozdílného součinitele prostupu rámu a skla. Výrobci uvádí buďto celkový součinitel prostupu tepla okenní konstrukce U_w nebo součinitele prostupu tepla rámu a skla, ze kterých lze vypočíst U_w dle rovnice (1.4).

$$U_w = \frac{U_g * S_g + U_f * S_f + O_g * \Psi_{g,f}}{S_g + S_f}, \quad (1.4)$$

kde U_w [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla okna;
U_g [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla skla;
U_f [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla rámu;
S_g [m^2]	celková plocha skla;
S_f [m^2]	celková plocha rámu;
O_g [m]	celkový obvod skla;
$\Psi_{g,f}$ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	lineární činitel prostupu tepla zasklení/rám;

Lineární činitel prostupu tepla zasklení-rám se pro jednoduché zasklení uvažuje $\Psi_{g,f} = 0$. Pro dvojsklo nebo trojsklo se určí podle ČSN EN ISO 10 077-1 z tab. 2.

Typ rámu	Lineární činitel prostupu tepla $\Psi_{g,f}$ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	
	Dvojsklo nebo trojsklo nepokovené sklo plněné vzduchem nebo plynem	Dvojsklo nebo trojsklo nízkoemisní sklo plněné vzduchem nebo plynem
Dřevěný nebo plastový	0,06	0,08
Kovový s přerušením tepelného mostu	0,08	0,11
Kovový bez přerušení tepelného mostu	0,02	0,05

Tab. 2. Lineární činitel prostupu tepla pro různé zasklení



2.2.2. Navržené skladby konstrukcí

Jak již bylo zmíněno, skladby konstrukcí musí odpovídat určitým požadavkům. Pro návrh konstrukcí budou porovnány výsledné součinitele prostupu tepla konstrukcí s normovými hodnotami $U_{N,20}$ dle ČSN 73 0540-2:2011 zobrazené v Tab. 3:

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem 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 (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 5)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50 ²⁾	1,20	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40 ⁷⁾	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,50	2,30	1,70
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,50	2,30	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,60	1,70	1,40
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$, v m ² /m ² , kde	$f_w \leq 0,50$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	0,2 + f_w 0,15 + 0,85 · f_w
A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m ² ; A_w plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m ²	$f_w > 0,50$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	
Kovový rám výplně otvoru	-	1,80	1,00
Nekovový rám výplně otvoru ⁵⁾	-	1,30	0,90 - 0,70
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,80	1,20

Tab. 3. Součinitele prostupu tepla vybraných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011

Dále jsou uvedeny tabulky skladeb jednotlivých navržených konstrukcí s vypočteným součinitelem prostupu tepla U [W · m⁻² · K⁻¹] dle (1.3). Snaha je navrhnout konstrukce v doporučeném rozmezí hodnot proto zde také uveden U_{REQ} [W · m⁻² · K⁻¹] doporučený dle tab. 3.



Svislé konstrukce					
SO1 - Obvodové zdivo přilehlé zemině					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m2.K/W]	U [W/m2.K]	U _{REQ}
Omítka	0,880	15	0,02	0,21	0,30
Porotherm 36,5 T Profi	0,080	365	4,56		
IPA	0,200	5	0,03		
SO2 - Obvodové zdivo					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m2.K/W]	U [W/m2.K]	U _{REQ}
Omítka	0,880	15	0,02	0,21	0,25
Porotherm 36,5 T Profi	0,080	365	4,56		
Tepelně izolační omítka - KM BETA	0,200	25	0,13		
SN1 - Příčka 125					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m2.K/W]	U [W/m2.K]	U _{REQ}
Omítka	0,880	15	0,02	0,90	0,50
Příčková tvárnice Ytong	0,137	125	0,91		
Omítka	0,880	15	0,02		
SN2 - Příčka 250					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m2.K/W]	U [W/m2.K]	U _{REQ}
Omítka	0,880	15	0,02	0,49	0,50
Příčková tvárnice Ytong	0,137	250	1,82		
Omítka	0,880	15	0,02		

Tab. 4. Skladby svislých konstrukcí s vypočteným součinitelem přestupu tepla



Vodorovné konstrukce					
SCH1 - Střecha do 45°					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	R_i [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]	U_{REQ}
Sádrokarton	0,220	25	0,11	0,16	0,16
Parotěsná folie	0,850	1	0,00		
Minerální vata Isover	0,036	200	5,56		
Difúzní folie	0,850	1	0,00		
Provětrávaná mezera	nez.				
Střešní krytina - plech	nez.				
STR1 - Strop s nevytápěným podkrovím					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	R_i [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]	U_{REQ}
Omítka	0,880	5	0,01	0,39	0,40
Sádrokarton podhled	0,220	25	0,11		
Stropní systém Ytong ekonom	0,130	300	2,31		
STR2 - Strop s podlahou pod venkovním prostorem					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	R_i [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]	U_{REQ}
Omítka KM BETA	0,880	15	0,02	0,17	0,16
Sádrokarton podhled	0,220	25	0,11		
Stropní systém Ytong ekonom	0,130	300	2,31		
Minerální vata Isover	0,036	120	3,33		
Betonová mazanina	1,230	50	0,04		
Dlažba	nez.				
PDL1 - Podlaha se zeminou					
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	R_i [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]	U_{REQ}
Betonová mazanina	1,230	50	0,04	0,29	0,30
Extrudovaný polystyren	0,034	100	2,94		
Hydroizolace - asfaltový pás	0,200	5	0,03		
ŽB deska	1,430	150	0,10		
Štěrkový podsyp	nez.				
Rostlý terén	nez.				

Tab. 5. Skladby vodorovných konstrukcí s vypočteným součinitelem prostupu tepla



V následující tabulce jsou uvedeny vypočtené součinitele prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] jednotlivých výplň otvorů dle (1.4).

Výplně otvorů								
Typ	s [mm]	h [mm]	h _r [mm]	U _s [W/m ² .K]	U _r [W/m ² .K]	S _s [m ²]	S _r [m ²]	U [W/m ² .K]
Plastové okno s dvojj. zasklení	1500	1500	100	0,8	1,2	1,65	0,6	1,05
Plastové okno s dvojj. zasklení	1200	1500	100	0,8	1,2	1,26	0,54	1,07
Plastové okno s dvojj. zasklení	1000	1500	100	0,8	1,2	1	0,5	1,10
Plastové okno s dvojj. zasklení	800	1500	100	0,8	1,2	0,74	0,46	1,14
Plastové okno s dvojj. zasklení	800	600	100	0,8	1,2	0,2	0,28	1,28
Plastové okno s dvojj. zasklení	600	600	100	0,8	1,2	0,12	0,24	1,33
Dvoukřídlé okno s dvojj. zasklení	2400	1500	100	0,8	1,2	2,52	1,08	1,03
Vchodové dveře dvoukřídlé	1600	2400						1,2
Vchodové dveře	900	2200						1,3
Int. Dveře	900	2000						2,6

Tab. 6. Součinitele prostupu tepla výplň otvorů

2.3. Tepelné ztráty

Tepelný výkon vytápěcích zařízení musí být navržen tak, aby v místnostech byla zajištěna tepelná pohoda i při nejnepríznivějších podmínkách. Nejnepríznivější podmínky jsou dány venkovní výpočtovou teplotou pro danou lokalitu. Tento výkon lze určit na základě tepelných ztrát budovy. Evropská norma ČSN EN 12831 upravuje postup pro výpočet těchto ztrát. Do roku 2008 platila zjednodušená metoda výpočtu dle národní normy ČSN 06 0210. Tento postup výpočtu stále může sloužit pro rychlé orientační určení tepelných ztrát objektu. Avšak neuvažuje například s tepelnými mosty. Ty mají stále větší vliv na tepelnou ztrátu, díky neustálému pokroku v tepelně technických vlastnostech stavebních konstrukcích. Od roku 2009 platí mezinárodní norma, která byla harmonizována CEN i UNSM. Jedná se o normu ČSN EN ISO 13790 „Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení“. Tato norma upravuje postupy přímo pro výpočet potřeby energie na vytápění, při pokrytí tepelných ztrát a zisků. [18]



2.3.1. Výpočtová metoda dle ČSN EN 12831

Před vlastním provedením výpočtů je nutné nejdříve shromáždit základní údaje důležité pro tyto výpočty. Dále jsou vypsány v bodech:

- Venkovní výpočtová teplota v dané lokalitě;
- Průměrná roční venkovní teplota v dané lokalitě;
- Určení prostorů, zda bude obytná část vytápěna či nikoli;
- Rozměry a tepelné vlastnosti konstrukce;
- Vnitřní výpočtové teploty vytápěných i nevytápěných místností;

Celkové tepelné ztráty vytápěného prostoru se vypočítají ze vztahu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, \quad (1.5)$$

kde Φ_i [W] celková tepelná ztráta;
 $\Phi_{T,i}$ [W] tepelná ztráta prostupem;
 $\Phi_{V,i}$ [W] tepelná ztráta větráním;

2.3.2. Tepelné ztráty prostupem [11]

Tepelná ztráta prostupem se určí součtem čtyř dílčích ztrát.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (1.6)$$

kde $H_{T,ie}$ [W.K⁻¹] měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy;
 $H_{T,iue}$ [W.K⁻¹] měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem;
 $H_{T,ig}$ [W.K⁻¹] měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do zeminy;
 $H_{T,ij}$ [W.K⁻¹] měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru, který je vytápěn na výrazně odlišnou teplotu;
 $\theta_{int,i}$ [C°] vnitřní výpočtová teplota pro vytápěný prostor;
 θ_e [C°] venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu;



Měrná tepelná ztráta $H_{T,ie}$ [$W \cdot K^{-1}$]

Tento výpočet je platný pro všechny stavební konstrukce oddělující vnitřní vytápěný prostor od venkovního prostředí.

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k * U_k * e_k) + \sum_l (\Psi_l * l_l * e_l), \quad (1.7)$$

kde A_k [m^2]	plocha konstrukce budovy;
U_k [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla konstrukce budovy;
e_k, e_l [-]	korekční činitele zahrnující nasákavost, klimatické vlivy apod.;
Ψ_l [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu;
l_l [m]	délka lineárního tepelného mostu;

U_k se určí dle ČSN EN ISO 6946, pro okna a dveře dle normy ČSN EN ISO 10077-1. Korekční činitele se určí pouze tehdy, jestliže nebyly uvažovány při určení U_k , jinak jsou vždy rovny 1. Ψ_l se stanoví dle tabulek normy ČSN EN ISO 14683 nebo se vypočtou podle ČSN EN ISO 10211-2.

Zjednodušená metoda pro započítání tepelných mostů spočívá v navýšení U_k o přírůstek daný tepelnými mosty ΔU_{tb} .

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \quad (1.8)$$

kde U_{kc} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	nahrazený součinitel prostupu tepla konstrukce budovy;
ΔU_{tb} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	přírůstek daný tepelnými mosty, je možné určit podle normy ČSN EN ISO 730540-4;

Měrná tepelná ztráta $H_{T,iue}$ [$W \cdot K^{-1}$]

Tento výpočet je platný pro stavební konstrukci sousedící s nevytápěným prostorem.

$$H_{T,iue} = \sum_k (A_k * U_k * b_u) + \sum_l (\Psi_l * l_l * b_u), \quad (1.9)$$

kde b_u [-]	redukční činitel teploty zahrnující rozdíl teplot;
---------------	--

Tento redukční činitel lze vypočítat dvěma různými způsoby: Jestliže známe teplotu nevytápěného prostoru, použije se vztah (1.10). Nebo se určí dle normy ČSN EN 12831.



$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} - H_{ue}}, \quad (1.10)$$

kde θ_u [$^{\circ}\text{C}$] teplota nevytápěného prostoru;
 H_{iu} [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] měrná tepelná ztráta z vytápěného do nevytápěného prostoru;
 H_{ue} [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] měrná tepelná ztráta z nevytápěného prostoru do exteriéru;

Měrná tepelná ztráta $H_{T,ig}$ [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$]

Vyjadřuje tok tepla přes podlahu do zeminy.

$$H_{T,ig} = f_{g1} * f_{g2} * (\sum_k A_k * U_{eq}) * G_w, \quad (1.11)$$

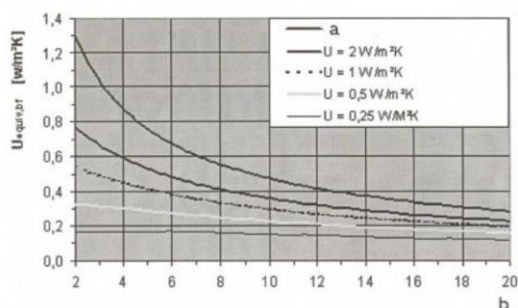
kde f_{g1} [-] korekční činitel, který zohledňuje vliv ročních změn venkovní teploty, obvykle 1,45;
 f_{g2} [-] teplotní redukční činitel, který zohledňuje rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a výpočtovou venkovní teplotou vypočten dle rovnice (1.12);
 U_{eq} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] ekvivalentní součinitel prostupu tepla;
 G_w [-] korekční člen zahrnující vliv podzemní vody. Hodnota je vypočtena podle EN ISO 13370, nebo $G_w = 1$ pokud je hladina vody vzdálena více, jak 1 m pod podlahou, jinak je $G_w = 1,15$;

Teplotní redukční činitel se vypočte podle:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (1.12)$$

kde $\theta_{m,e}$ [$^{\circ}\text{C}$] průměrná roční venkovní teplota pro danou lokalitu;

Hodnoty ekvivalentního součinitele prostupu tepla lze určit dle normy EN ISO 13370 jako funkci parametru B (1.13) a vypočteného součinitele prostupu tepla podlahy. Příklad grafu pro určení U_{eq} znázorňuje Obr.2.



Obr. 2. Závislost parametru U_{eq} na B [11]

$$B = \frac{A_g}{0,5 \cdot P}, \quad (1.13)$$

kde B [–] charakteristický parametr;
 A_g [m^2] plocha podlahové konstrukce;
 P [m] obvod podlahové konstrukce oddělující vytápěný prostor od venkovního prostředí;

Výpočet U_{eq} závisí na velikosti ekvivalentní tloušťky podlahy d_t a velikosti B .

$$d_t = w + \lambda_{zem} * (R_{th,pdl}), \quad (1.14)$$

kde d_t [m] celková ekvivalentní tloušťka podlahy;
 $R_{th,pdl}$ [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] celkový tepelný odpor podlahové konstrukce vypočtený dle (1.2);
 λ_{zem} [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] součinitel tepelné vodivosti zeminy pod podlahovou konstrukcí.
 pro hlínu a jíly: $1,5 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 pro písky a šterky: $2 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
 pro stejnorodou skálu: $3,5 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;

Pro $d_t < B$ se U_{eq} vypočítá dle (1.15) a pro $d_t \geq B$ dle (1.16).

$$U_{eq} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B + d_t} * \ln\left(\frac{\pi \cdot B}{d_t} + 1\right) \quad (1.15)$$

$$U_{eq} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B + d_t} \quad (1.16)$$



Nachází-li se podlaha pod úrovní terénu, tedy pokud se jedná o suterén, do výpočtu se zahrne hloubka podlahy suterénu pod úrovní terénu z [m] a výpočet U_{eq} se mění.

Pro $(d_t + 0,5 * z) < B$ se U_{eq} vypočítá dle (1.17) a pro $(d_t + 0,5 * z) \geq B$ dle (1.18)

$$U_{eq} = \frac{2 * \lambda_{zeminy}}{\pi * B + d_t + 0,5 * z} * \ln \left(\frac{\pi * B}{d_t + 0,5 * z} + 1 \right), \quad (1.17)$$

$$U_{eq} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 * B + d_t + 0,5 * z}, \quad (1.18)$$

kde z [m] hloubka podlahy suterénu pod úrovní okolního terénu;

Měrná tepelná ztráta $H_{T,ij}$ [$W \cdot K^{-1}$]

Vyjadřuje tepelný tok mezi dvěma prostory vytápěnými na různé teploty.

$$H_{T,ij} = \sum_k (b_{i,j} * A_k * U_k), \quad (1.19)$$

Kde $b_{i,j}$ [-] redukční teplotní činitel, který zahrnuje rozdíl mezi teplotami v místnostech;

$$b_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_j}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (1.20)$$

kde θ_j [$^{\circ}C$] teplota sousedního vytápěného prostoru;

2.3.3. Tepelné ztráty větráním [11]

Ztráta větráním je opět přímo úměrná rozdílu vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty.

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} * (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (1.21)$$

kde $\Phi_{V,i}$ [W] tepelná ztráta větráním;
 $H_{V,i}$ [$W \cdot K^{-1}$] měrná tepelná ztráta větráním;



Měrná tepelná ztráta větráním $H_{V,i}$ [$W \cdot K^{-1}$]

Závisí především na objemovém průtoku větracího vzduchu.

$$H_{V,i} = \dot{V}_i * \rho_a * c_a , \quad (1.22)$$

kde \dot{V}_i [$m^3 \cdot s^{-1}$] objemový průtok vzduchu;
 ρ_a [$kg \cdot m^{-3}$] hustota vzduchu, při 100 Pa, 10 °C: $\rho_a = 1,230 kg \cdot m^{-3}$;
 c_a [$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] měrná tepelná kapacita vzduchu, při 100 Pa, 10 °C:
 $c_a = 1,005 kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$;

Obvykle se podle normy nahrazuje součin $\rho_a \cdot c_a = 1224$ při uvažování \dot{V}_i [$m^3 \cdot s^{-1}$] a $\rho_a \cdot c_a = 0,34$ při uvažování \dot{V}_i [$m^3 \cdot h^{-1}$]. Hodnota výměny vzduchu závisí na typu větrání ve vytápěném prostoru. V tomto smyslu rozdělujeme větrání na přirozené a nucené. V objektu bude využito pouze přirozeného větrání. Vzduch, který je přiváděn do místnosti má tepelné vlastnosti venkovního vzduchu. Hodnota objemového průtoku vzduchu se stanoví jako maximum z hodnot $\dot{V}_{inf,i}$ a $\dot{V}_{min,i}$.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) , \quad (1.23)$$

kde $\dot{V}_{inf,i}$ [$m^3 \cdot h^{-1}$] průtok infiltrovaného vzduchu přes obálku budovy;
 $\dot{V}_{min,i}$ [$m^3 \cdot h^{-1}$] průtok minimální výměny vzduchu z hlediska hygienických důvodů;

$$\dot{V}_{min,i} = V_i * n_{min} , \quad (1.24)$$

kde V_i [m^3] objem vytápěného prostoru;
 n_{min} [h^{-1}] minimální výměna vzduchu: minimálně 0,3, pro obytné místnosti 0,5, pro kuchyně a koupelny 1,5;

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \varepsilon_i , \quad (1.25)$$

kde n_{50} [h^{-1}] výměna vzduchu za hodinu, při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vytápěným prostorem a venkovním okolím;
 ε_i [–] výškový korekční činitel respektující nárůst rychlosti vzduchu s výškou budovy;
 e_i [–] stínící součinitel;



2.4. Výsledné tepelné ztráty objektu

Pro výpočet tepelných ztrát daného objektu byl použit výpočtový software PROTECH: Tepelný výkon, který využívá k výpočtu postup ČSN EN 12831. Větrání v budově bude přirozené, kde hygienické minimum převyšuje infiltraci pláštěm. Započtení tepelných mostů bylo provedeno dle zjednodušené metody přírážkou $\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Zde je uvedena tabulka výsledků výpočtu tepelných ztrát jednotlivých místností.

Č. podl.	Číslo m.	Účel	Úsek	t_i [°C]	n_p [-]	V_{mi} [m ³]	A_{pi} [m ²]	Φ_{Vm} [W]	Φ_{Tm} [W]	Φ_{HLm} [W]	q_{cm} [W/m ²]
0	001	Skład	0	1	0,5	25,7	10,5	74	-69	10	0,549
0	002	Chodba	1	10	0,5	56,0	22,8	238	295	530	23,32
0	003	Skład	2	15	0,5	28,4	11,6	145	254	400	34,41
0	004	Dílňa	2	18	0,5	15,0	6,1	84	322	410	66,43
0	005	Garáž	1	10	0,5	54,1	22,1	230	355	590	26,5
0	006	Technická místnost	0	4	0,5	54,5	22,2	185	-7	180	1,251
0	007	Skład	0	3	0,5	27,9	11,4	90	-57	30	2,917
0	008	Schodiště	0	6	0,5	20,0	8,2	75	-43	30	3,967
1	101	Obývací pokoj	1	20	0,5	55,0	22,4	327	595	920	41,09
1	102	Pracovna	1	20	0,5	41,7	17,0	248	368	620	36,2
1	103	Kůlna	0	-15	0,5	29,3	12,0	5	0	0	0,417
1	104	Kůlna	0	-15	0,5	11,6	4,8	2	0	0	0,417
1	105	Předsíň	2	15	0,5	30,3	12,4	155	435	590	47,61
1	106	Ložnice	1	20	0,5	38,8	15,8	231	703	930	58,92
1	107	Koupelna	1	24	1,5	14,5	5,9	288	257	540	92,22
1	108	Schodiště	0	11	0,5	19,4	7,9	89	-66	20	2,875
1	109	Kuchyně	1	20	1	43,0	17,6	512	495	1010	57,38
1	110	Spížírna	0	10	0,5	10,3	4,2	45	-43	0	0,488
1	111	Chodba	1	20	0,5	30,5	12,5	182	160	340	27,42
2	201	Dětský pokoj	1	20	0,5	55,0	22,4	327	627	950	42,5
2	202	Pokoj pro hosty	1	20	0,5	41,7	17,0	248	487	730	43,19
2	203	Chodba	1	20	0,5	30,5	12,5	182	414	600	47,79
2	204	Koupelna	1	24	1,5	14,5	5,9	288	335	620	105,4
2	205	Dětský pokoj	1	20	0,5	54,5	22,2	324	579	900	40,63
2	206	Schodiště	0	6	0,5	19,4	7,9	73	-65	10	0,944
3	300	Podkroví	0	2	0,5	77,7	0,0	238	-192	50	0

Legenda

Podl.	Podlaží místnosti	Úsek číslo 0 - nevytápěné místnosti
Číslo m.	Číslo místnosti	Úsek číslo 1 - úsek podlahového vytápění
Účel	Účel místnosti	Úsek číslo 2 - vytápěno otopnými tělesy
Úsek	Číslo úseku vytápění	
t_i [°C]	Výpočtová vnitřní teplota	
n_p [-]	Požadovaná intenzita výměny vzduchu	
V_{mi} [m ³]	Vnitřní objem místnosti	
A_{pi} [m ²]	Podlahová plocha místnosti	
Φ_{Vm} [W]	Tepelná ztráta výměnou vzduchu	
Φ_{Tm} [W]	Tepelná ztráta prostupem	
Φ_{HLm} [W]	Celková tepelná ztráta	
q_{cm} [W/m ²]	Měrná tepelná ztráta	

Tab. 7. Výsledné tepelné ztráty po místnostech

Celková tepelná ztráta budovy činí: $\Phi_{HL} = 11 \text{ kW}$



3. Otopná soustava

3.1. Volba otopné soustavy

Otopná soustava zprostředkovává rozvod tepla od zdroje do vytápěných místností a jeho následnou distribuci. Otopná soustava má zásadní vliv na vnitřní mikroklimatické podmínky a s tím spojenou tepelnou pohodu. Při návrhu soustavy nastává volba mezi investičními náklady, požadavky investora a dostupnými možnostmi [8]. Soustavy rozdělujeme na různé typy podle:

1. Způsobu oběhu otopné vody
 - a. Soustavy s přirozeným oběhem vody
 - b. Soustavy s nuceným oběhem vody
2. Provedení hlavního rozvodu otopné vody
 - a. Soustavy se spodním rozvodem
 - b. Soustavy s horním rozvodem
3. Rozvodu otopné vody k tělesům
 - a. Horizontální soustavy
 - b. Vertikální soustavy
 - c. Hvězdicové soustavy
4. Způsobu přívodu a odvodu otopné vody z těles
 - a. Jednotrubkové
 - b. Dvoutrubkové

Pro zadaný objekt je zpočátku nutno vzít v úvahu dispozice a požadavky investora. Mělo by se jednat o luxusnější variantu vytápění. Zároveň je nutné brát v souvislost tepelně technické vlastnosti budovy. Podle zadání bude navržen systém podlahového vytápění v prvním a druhém nadzemním podlaží, doplněný trubkovými koupelnovými otopnými tělesy. V prvním podzemním podlaží (suterénu) budou pouze desková otopná tělesa typu ventil kompakt, tedy tělesa s integrovaným termostatickým ventilem.

Jedná se o horizontální soustavu se spodním rozvodem, dále o dvoutrubkovou protiproudou soustavu s nuceným oběhem. V technické místnosti bude umístěn zdroj tepla, hlavní rozdělovač a sběrač pro dva samostatně řízené otopné okruhy. Jako zdroj bude použito tepelné čerpadlo typu vzduch/voda.



3.1.1. Okruh podlahového vytápění

Tento okruh je vyveden do dvou stoupaček. Stoupací potrubí 01 vede do 1.NP k patrovému rozdělovači na chodbě a z tohoto rozdělovače je vyvedeno 8 okruhů podlahového vytápění. Každé místnosti náleží jeden okruh mimo kuchyně a ložnice, ve kde jsou dva okruhy, kvůli dodržení maximální délky otopného hadu. Chodba je vytápěna pouze rozvodem potrubí k jednotlivým otopným plochám.

Stoupací potrubí 02 vede do 2.NP k patrovému rozdělovači na chodbě a z tohoto rozdělovače jsou vyvedeny 4 okruhy do každé místnosti. Chodba je vytápěna pouze rozvodem potrubí k jednotlivým otopným plochám.

3.1.2. Okruh s otopnými tělesy

Tento okruh je rozdělen na dvě větve. Jedna větev pokrývá 1.PP, kde jsou napojena desková otopná tělesa. Druhá větev je vyvedena na stoupací potrubí, ke kterému je v prvním a druhém patře v koupelně napojeno trubkové koupelnové otopné těleso.

3.1.3. Materiály rozvodu

Volba materiálu ovlivňuje další návrh otopné soustavy. Nejčastěji používanými materiály jsou ocelové potrubí, měděné potrubí a plastové potrubí. Zásadní odlišnost návrhu potrubní sítě z plastů nebo kovů (měď, ocel) je dána odlišnými mechanickými vlastnostmi. Při základní koncepci návrhu, je třeba brát v úvahu použitý materiál rozvodu, a to především z hlediska umístění. Například plastové potrubí je nutné chránit před mechanickým poškozením, zatímco kovové potrubí může být volně vedeno nechráněné u podlahy. Důležitým požadavkem je odolnost materiálu vůči korozi z vnější i vnitřní strany. Podle druhu materiálu se pak upravuje pH otopné vody, ovšem největší příčinou koroze v potrubí je přítomnost kyslíku v otopné vodě. Proto je nutné zajistit ve všech místech otopné soustavy přetlak vůči atmosféře a využít odvzdušňovacích armatur. Také je nutné brát v úvahu délkovou roztažnost potrubí vzhledem k teplotní roztažnosti materiálu. Roztažnost materiálu může mechanicky poškodit rozvody při nesprávném návrhu umístění pevných bodů. [8] Návrh otopné soustavy bude proveden z měděného potrubí.



Potrubí z mědi

Jedná se o nejužívanější materiál, oproti oceli má vyšší odolnost vůči korozi. Další výhodou mědi je poměrně nižší hmotnost na metr délky při dostatečné mechanické pevnosti. Pro spojování potrubí se nabízí mnoho řešení například pájení nebo lisování. Teplotní roztažnost měděných potrubí je přibližně o 40 % větší než u ocelových potrubí. Měď je také odolná vůči difúzi [8].

Páteří rozvod, rozvody k otopným tělesům a stoupací potrubí, budou provedeny z měděného potrubí od firmy SUPERSAN. Potrubí bude vedeno v kanálu v podlaze a stoupací potrubí bude umístěno v šachtách ze suterénu do jednotlivých pater. Potrubí bude izolováno v celé své délce návlakem z odlehčeného pěnového polyetylenu značky MIRELOM PRO o tloušťce 25 mm.

3.2. Vytápění otopnými tělesy

Úkolem otopného tělesa je svou vlastní plochou předat dostatečné množství tepla, aby byla zajištěna tepelná pohoda. Sdílení tepla do prostoru je zajištěno sáláním a radiací.

$$Q_c = Q_s + Q_k, \quad (2.01)$$

kde Q_c [W]	celkový výkon otopné plochy;
Q_s [W]	výkon otopné plochy sdílený sáláním;
Q_k [W]	výkon otopné plochy sdílený konvekcí;

Vzájemný poměr mezi sáláním a konvekcí lze ovlivnit druhem a typem otopné plochy, jelikož se mění způsob proudění vzduchu kolem otopné plochy. Střední teplota otopné vody v provozních hodnotách příliš neovlivňuje změnu podílu tepla sáláním [5]. Vyšší podíl tepla sdílený sáláním zajistí rovnoměrnější distribuci tepla v místnosti. Konvenční složka je výhodná pro ohřívání chladných proudů od ochlazovaných konstrukcí, především oken, proto se v praxi otopná tělesa nejčastěji umísťují pod okna. Délka otopného tělesa se pak volí podle délky okna. Výška tělesa se volí podle výšky parapetu. Od podlahy a parapetu by měla být vzdálena minimálně 15 cm.



V praxi se používá 5 typů nejčastěji využívaných otopných ploch:

- Trubková otopná tělesa;
- Desková otopná tělesa;
- Článeková otopná tělesa;
- Konvektory;
- Podlahové vytápění;

U podlahového vytápění se podíl tepla sdíleného sáláním uvádí 55 %. Podlahové vytápění je v objektu využito a bude podrobněji popsáno v další části této kapitoly.

Následující tabulka názorně ukazuje podíl tepla sdílený sáláním pro různé typy otopných těles. Změna podílu sálání je podle tabulky nejvýrazněji ovlivněna typem tělesa.

Otopné těleso		Podíl tepla sdílený sáláním		
		Do místnosti	Na zadní stěnu	Celkový
Deskové otopné těleso - typ (první číslo - počet desek, druhé číslo - počet konvekčních plechů)	10	0,38	0,18	0,56
	11	0,25	0,11	0,36
	20	0,23	0,10	0,33
	21	0,20	0,08	0,28
	22	0,17	0,07	0,24
	33	0,14	0,04	0,18
Ocelové trubkové otopné těleso (článekové se 3 sloupky)	2 sloupkové	0,27	0,12	0,39
	3 sloupkové	0,20	0,07	0,27
	4 sloupkové	0,17	0,05	0,22
Ocelové článekové těleso DIN 4703		0,28	0,10	0,38
Článekové těleso s úzkými sloupky		0,26	0,11	0,37
Litínové článekové těleso DIN 4703		0,26	0,10	0,36
Litínové článekové těleso s uzavřenou čelní plochou		0,21	0,08	0,29
Konvektor				0,05

Tab. 8. Podíl tepla sdíleného sáláním pro některá otopná tělesa [4]

Do objektu byla zvolena desková otopná tělesa a trubková koupelnová otopná tělesa. Trubková otopná tělesa mají dle tabulky obecně nižší podíl sálání než desková otopná tělesa. Využívají se v koupelnách a lze je využít také pro praktické účely, například sušení ručníků apod. Vytápění v koupelnách zajišťuje podlahová otopná plocha s vysokou sálavou složkou. Trubková tělesa jsou zde pouze jako doplňková otopná plocha, která předává teplo především konvekcí při potřebě dodatečného výkonu.



Desková tělesa se nejčastěji vyrábí v typovém provedení, které zásadně ovlivňuje podíl tepla sdílený sáláním. První číslo daného typu představuje počet otopných desek a druhé číslo počet přivařených konvekčních plechů, které zvyšují konvekční složku tepelného výkonu. Typy:

- 10 (jedna deska, bez konvekčního plechu);
- 11 (jedna deska, jeden konvekční plech);
- 20 (dvě desky, bez konvekčního plechu);
- 21 (dvě desky, jeden konvekční plech);
- 22 (dvě desky, dva konvekční plechy);
- 33 (tři desky, tři konvekční plechy);

Z tab. 8. lze pozorovat, že s rostoucím počtem konvekčních plechů klesá podíl tepla sdílený sáláním.

3.2.1. Výkon otopných těles

Výkon otopného tělesa vychází z kalorimetrické rovnice a lze zapsat rovnicí (2.02):

$$Q_{OT} = m_w * c * (t_{w1} - t_{w2}), \quad (2.02)$$

kde Q_{OT} [W]	tepelný výkon otopného tělesa;
m_w [kg · s ⁻¹]	hmotnostní průtok tělesem;
t_{w1} [°C]	teplota vody na vstupu otopného tělesa;
t_{w2} [°C]	teplota vody na výstupu otopného tělesa;

Výkon tělesa lze určit také pomocí rovnice prostupu tepla z otopné vody do okolního vzduchu (2.03):

$$Q_{OT} = k_u * S_L * (t_{wm,ot} - t_{vi}), \quad (2.03)$$

kde k_u [W · m ⁻² · K ⁻¹]	součinitel prostupu tepla otopného tělesa;
S_L [m ²]	teplosměnná plocha na straně vzduchu otopného tělesa;
$t_{wm,ot}$ [°C]	střední povrchová teplota otopného tělesa, pro zjednodušení se využívá aritmetický průměr otopné vody t_{w1} a t_{w2} ;
t_i [°C]	teplota vzduchu vytápěného prostoru;



Výrobce udává výkony otopných těles, při jmenovitých teplotních podmínkách 75/65/20 °C, tj. teplota přívodní vody 75 °C, teplota zpátečky 65 °C a teplota vzduchu v místnosti 20 °C. Proto je nutné tento výkon přepočítat pro námi požadované podmínky a zároveň zahrnout další omezující vlivy ovlivňující výkon otopného tělesa. Skutečný výkon otopného tělesa $Q_{sk,OT}$ se vypočte dle rovnice (2.04):

$$Q_{sk,OT} = Q_{N,OT} * f_{\Delta t} * f_m * f_x * f_o * f_n * f_p, \quad (2.04)$$

kde $Q_{sk,OT}$ [W]	skutečný tepelný výkon otopného tělesa;
$Q_{N,OT}$ [W]	jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa;
$f_{\Delta t}$ [-]	opravný součinitel na teplotní rozdíl;
f_m [-]	opravný součinitel na odlišný hmotnostní průtok, případně odlišné ochlazení. $f_m = 1$ není uvažováno s odlišným průtokem či ochlazeními;
f_x [-]	opravný součinitel na připojení tělesa, $f_x = 1$ pro otopná tělesa ventil kompaktní;
f_o [-]	opravný součinitel na úpravu okolí tělesa;
f_n [-]	opravný součinitel na počet článků tělesa. Jelikož budou využita desková otopná tělesa $f_n = 1$;
f_p [-]	opravný součinitel na umístění v prostoru;

3.2.2. Opravný součinitel na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$

Opravný součinitel na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$ zohledňuje velikost změny jmenovitých teplotních podmínek na skutečné podmínky. Plyne z podílu skutečného přepočteného výkonu otopného tělesa a jmenovitého výkonu otopného tělesa udávaný výrobcem. Opravný součinitel je vyjádřen rovnicí (2.05), kde indexy N značí jmenovité podmínky.

$$\frac{Q_{sk,OT}}{Q_{N,OT}} = \frac{k * S_L * (t_{wm} - t_i)}{k_N * S_{LN} * (t_{wmN} - t_{iN})} \approx \left[\frac{t_{wm} - t_i}{t_{wmN} - t_{iN}} \right]^n = \left[\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right]^n = f_{\Delta t} \quad (2.05)$$

Pro těleso platí, že velikost teplosměnné plochy je stejná $S_L = S_{LN}$. Změnu součinitele prostupu tepla otopného tělesa lze postihnout exponenciální funkcí s teplotním exponentem n [-]. Tento exponent je určen experimentálně tj. z naměřených hodnot v měřicí komoře pro příslušné otopné těleso [5]. Teplotní exponent se pro jednotlivé otopné plochy pohybuje zhruba v následujících hodnotách dle tab. 9.



podlahová otopná plocha	$n = 1,10$
desková otopná tělesa	$n = 1,26$ až $1,36$
trubková koupelňová otopná tělesa	$n = 1,20$ až $1,30$
článeková otopná tělesa	$n = 1,22$ až $1,30$
konvektory bez ventilátoru	$n = 1,30$ až $1,50$
konvektory s ventilátorem	$n = 1,05$ až $1,20$

Tab. 9. Teplotní exponent [5]

Rozdíl teplot Δt se určí aritmeticky, nebo logaritmičticky. Postup tohoto výpočtu závisí na teplotním podílovém součiniteli c_p [–]:

$$c_p = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i}. \quad (2.06)$$

Pro $c_p \geq 0,7$ se rozdíl teplot Δt určí aritmeticky dle (2.07):

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i. \quad (2.07)$$

Pro $c_p < 0,7$ se rozdíl teplot Δt určí logaritmičticky dle (2.08):

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} - t_i. \quad (2.08)$$

3.2.3. Opravný součinitel na úpravu okolí tělesa f_o

Uvažuje se při použití zákrytu nebo nevhodného umístění. Tepelný výkon sáláním může být až zcela potlačen a konvenčním proudům vkládáme do cesty značnou překážku k obtékáním. Dále lze nepříznivě ovlivnit výkon otopného tělesa umístěním pod parapetní desku nebo osazením otopného tělesa v nestandardní poloze, jako je nízko nad podlahou, blízko instalační stěny, či zahloubené ve stěně v nice. Zakrytím tělesa se dostaneme na snížený výkon až o 15 % a více. Vliv instalace otopného tělesa pod parapet je zanedbatelný u instalace ve vzdálenosti 150 mm pod parapetem. Vzdálenost tělesa od podlahy je doporučena 110 mm už z důvodu úklidových prací, což je dostatečná vzdálenost pro zanedbání změny výkonu otopného tělesa. Vzdálenost od stěny je doporučena 50 mm, kdy je opět snížení výkonu je nulové [5]. Aby bylo možné zanedbat tento opravný součinitel ($f_o = 1$), je tedy v návrhu dodrženo výše zmíněných podmínek.



3.2.4. Opravný součinitel na umístění v prostoru f_p

Schopnost tělesa sdílet do prostoru teplo je výrazně ovlivněna prouděním vzduchu ve vytápěném prostoru, dále rozložením teplot v místnosti a chladnými padajícími proudy u oken [5]. Nejvhodnější způsob, jak již bylo zmíněno, je umístění tělesa pod okno. Hodnoty opravného součinitele pro různá umístění jsou vyjádřeny na obr. 3. Tělesa budou umístěna v místnostech tak, aby byl opravný součinitel na umístění v prostoru $f_p = 1$.

OPRAVNÝ SOUČINITEL f_p		
$f_p = 1,00$	$f_p = 0,95$	$f_p = 0,90$

Obr. 3. Vliv umístění otopného tělesa v prostoru [39]

3.2.5. Navržená tělesa

Projektování otopných těles bylo provedeno ve výpočtovém softwaru Protech modul DIMOS, který postupuje dle výše zmíněných pravidel pro projektování otopných těles.

Do prvního podzemního podlaží byla použita desková otopná tělesa od firmy KORADO třídy RADIK Ventil kompakt s integrovaným termostatickým ventilem a dolním připojením přes H-regulační šroubení. Tato tělesa jsou nezakryta a umístěna pod okny 200 mm nad podlahou a 50 mm od stěny. Výkon byl přepočten na dané podmínky jako je teplotní spád 45/35 °C a vnitřní výpočtové teploty dle dané místnosti. Všechna tělesa budou typu 22 tedy s podílem sálání 0,24 dle tab. 8. Tato otopná tělesa byla dimenzována na pokrytí 100 % ztráty daných místností. Dále do koupelen objektu jsou navržena trubková koupelňová otopná tělesa od firmy KORADO, třídy KORALUX linear comfort.



Tato tělesa jsou osazena termostatickým ventilem a rohovým regulačním šroubením. Tělesa nejsou zakryta a jsou umístěna na neochlazené stěně mimo okno, pro praktické využití jako věšáky ručníků. Dimenzována jsou pouze na zbytkové ztráty, které nedokázalo pokrýt podlahové vytápění, s přírážkou 5 % zohledňující překrytí těles ručníkem.

Dále je uvedena tabulka použitých těles včetně rozměrů a jmenovitých výkonů a pokrytí požadovaných výkonů jednotlivých místností:

ČM	Popis	Model	Typ	[mm]		[W]	[°C]	[W]	[W]	[%]
				LT	HT	QN	ti	QP	ΔQ	QM
002	Chodba	RADIK VK	22 VK/500	1000	500	1452	15	550	16	103
003	Skład	RADIK VK	22 VK/500	700	500	1016	15	403	-7	98
004	Dílňa	RADIK VK	22 VK/500	900	500	1307	18	406	21	105
005	Garáž	RADIK VK	22 VK/500	1000	500	1452	15	585	-19	97
107	Koupelna	KORALUX LINEAR COMFORT	KLT 1820	600	1820	996	24	205	11	105
204	Koupelna	KORALUX LINEAR COMFORT	KLT 1820	750	1820	1213	24	289	-11	96

Legenda

ČM		Číslo místnosti
LT	mm	Délka tělesa
HT	mm	Výška tělesa
QN	W	Jmenovitý výkon při 75/65/20 °C
ti	°C	Teplota v místnosti
QP	W	Celkový požadovaný tepelný výkon
QM	%	Pokrytí požadovaného výkonu
ΔQ	W	Odchylna výkonu

Pozn.

Požadovaný výkon je u deskových otopných těles tepelná ztráta místnosti.

Požadovaný výkon je u trubkových koupelňových těles otopných těles zbytková tepelná ztráta s 5 % přírážkou.

Tab. 10. Navržená otopná tělesa

3.3. Podlahové vytápění

Podlahové vytápění spadá do kategorie převážně sálavého vytápění. U převážně sálavého vytápění je podíl tepla sdílený sáláním větší než 50 %, tedy je předáváno z otopné plochy více tepla sáláním než konvekcí. To má za následek, že při stejné operativní teplotě (výsledné teplotě pro malé rychlosti proudění vzduchu), je nižší teplota vzduchu v místnosti ale vyšší radiační teplota, která je lidským organismem lépe vnímána. Povrchové teploty stavebních konstrukcí mají přibližně stejnou teplotu jako je teplota vzduchu, protože jsou nejprve ohřívány tyto konstrukce sáláním a poté teprve konvekcí předávají teplo vzduchu [7].



3.3.1. Velkoplošné sálavé vytápění

Velkoplošné sálavé vytápění je otopná plocha tvořená konstrukcí podlahy, stropu nebo stěn. Příslušná konstrukce je zevnitř zahřívána trubkami, v nichž proudí otopná voda, v některých případech vzduch a může se i jednat o elektrické vytápění [7]. V tomto smyslu rozdělujeme velkoplošné sálavé vytápění na:

- Zabudované (neoddělitelná část stavební konstrukce);
- Samostatné (upevněné na stavební konstrukci nebo volně ve vytápěném prostoru);

Oproti jiným otopným plochám je povrchová teplota u tohoto druhu vytápění poměrně nízká a podíl tepla sdílený sáláním je vysoký.

- U stropního vytápění je podíl tepelného toku sáláním cca 80 % a povrchová teplota konstrukce 40-45 °C;
- U stěnového vytápění je podíl tepelného toku sáláním cca 65 % a povrchová teplota konstrukce až do 60 °C;
- U stropního vytápění je podíl tepelného toku sáláním cca 55 % a povrchová teplota konstrukce 25-34 °C;

Díky nízké povrchové teplotě lze využít i nízkou teplotu teplonosné látky a využívat nízkopotenciálních zdrojů jako jsou kondenzační kotle a tepelná čerpadla.

3.3.2. Teplovodní podlahové vytápění

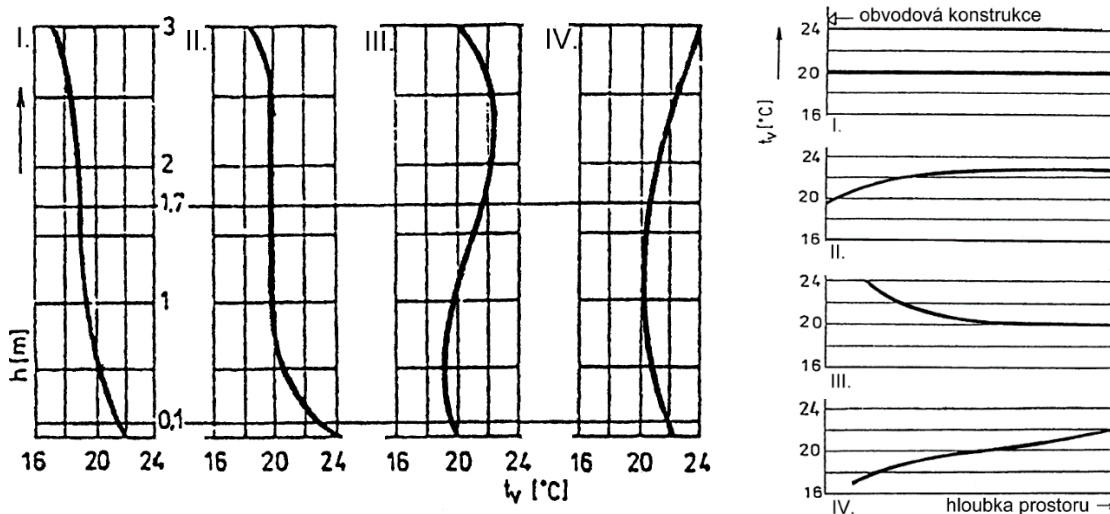
Volba podlahového vytápění je vhodná u takového objektu, kde jsou zajištěny dostatečné tepelně-technické vlastnosti konstrukcí a ztráta objektu by pak měla být menší než 20 W/m³, případně při měrné roční spotřebě 70-80 kWh/m². Z toho plyne, že objekt by měl mít minimální energetickou náročnost vzhledem ke spotřebě tepla. Pro představu se při povrchové teplotě 25 °C měrný tepelný výkon podlahového vytápění pohybuje kolem 64 W/m² a při povrchové teplotě 30 °C kolem 120 W/m² [7].

U podlahového vytápění je poměr sálavé složky sdíleného tepla jen o málo větší, než je podíl konvekční složky, je tedy využíváno obou výhod sdílení tepla. Otopná plocha je rozmístěna téměř po celé ploše místnosti, ohřívání vzduchu konvekcí je pak rovnoměrné a sálání okolních ploch také. Dochází pak k relativně teplotně homogennímu prostředí.



Pro tepelnou pohodu je mimo jiné důležité prostorové rozložení teplot, z hlediska vertikálního i horizontálního. Nerovnoměrnost rozložení teplot ve vertikální rovině je způsobeno nerovnoměrným přívodem tepla a nerovnoměrným ochlazováním jednotlivých stěn. Čím je vyšší povrchová teplota otopné plochy, tím je vertikální nerovnoměrnost vyšší. U podlahové plochy je povrchová teplota jedna z nejnižších, tudíž dosáhneme nejrovnoměrnějších vertikálních rozložení teplot a zároveň dosahujeme nejvyšších teplot u podlahy, což je žádané. U ostatních druhů vytápění je tento průběh teplot dosti nerovnoměrný. Ideální vytápění by mělo zajistit takové vertikální rozložení teplot, aby teplota vzduchu v oblasti hlavy byla min. o 2 °C nižší než v úrovni kotníků. K tomuto ideálu se nejvíce blíží podlahové vytápění podle obr. 4. [1]

Horizontální rozložení teplot je ovlivněno umístěním obvodové plochy vzhledem k ochlazené konstrukci a nejvíce je ovlivňováno okny. Například u deskových otopných těles je tento pokles vykompenzován umístěním k ochlazené konstrukci. U podlahového vytápění lze tento pokles jen obtížně vyřešit intenzivní okrajovou zónou. Tento fakt připomíná důležitost kvalitního tepelně technického provedení ochlazených konstrukcí. Průběh horizontální je znázorněn na obr. 4. [1]



Obr. 4. Vertikální a horizontální rozložení teplot pro různé typy vytápění [1]

I-Ideál, II-Podlahové vytápění, III-Článekové otopné těleso, IV-Stropní vytápění



3.3.3. Konstrukce a provedení podlahové otopné plochy

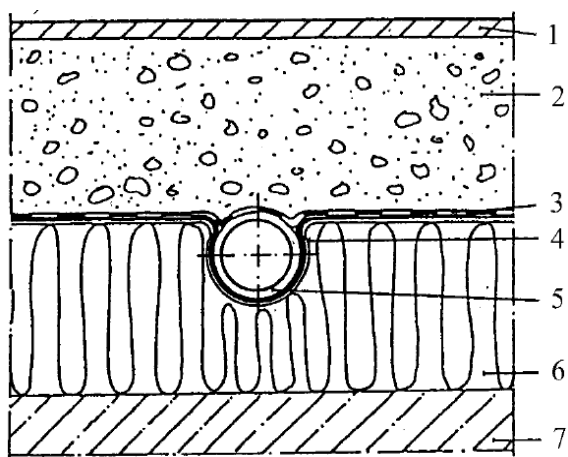
V důsledku dilatačních změn vyvolaných teplotní roztažností musí být podlahová konstrukce otopné plochy oddělena od nosné části podlahy. Vlastní provedení otopné plochy může být následující:

- Provedení suchým způsobem;
- Provedení mokrým způsobem;
- Provedení přes modulové klima desky či obdobné prvky;
- Provedení přes kapilární rohože;

Volba provedení závisí na velikosti výkonu nutného pro pokrytí tepelných ztrát a volbě teploty přívodní vody. Dále na možnostech provedení, kdy například jeden z provedení nelze provést pro rekonstrukci s požadavkem na nízkou výšku podlahy nebo z hlediska investičních nákladů.

Suchý způsob

Potrubí je uloženo do hliníkových lamel zasazených do izolační vrstvy. Hliníkové lamely jsou překryty svrchu hydroizolací a rozvádí rovnoměrně teplo do cementového potěru. Suchý způsob je tak nazýván, neboť trubky nejsou přímo v kontaktu s roznášecí vrstvou (cementový potěr). Podlaha pracuje s vyšší teplotou přívodní vody 40-70 °C a dokáže dodávat nižší měrný tepelný výkon maximálně do 50 W/m². To je způsobeno horším přestupem tepla z potrubí do roznášecí lamely. Na obr. 5. je znázorněn řez podlahou pro suchý způsob [1].



Obr. 5. Suchý způsob pokládky [1]

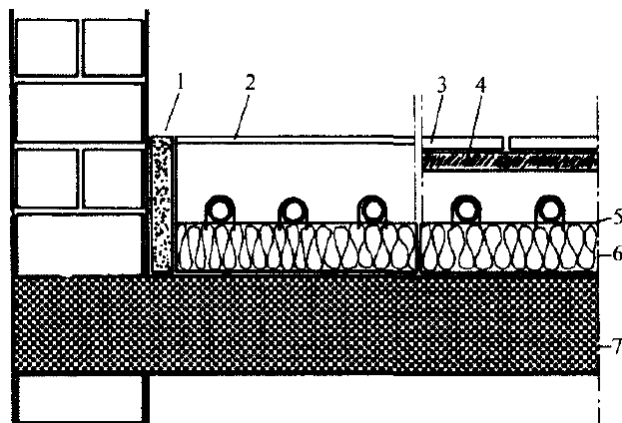
(1 – podlahová krytina, 2 – cementový potěr, 3 – hydroizolace, 4 – hliníková lamela,

5 – otopný had, 6 – tepelná izolace, 7 – nosná podlaha)



Mokrý způsob

Otopný had je zabetonován přímo do betonové vrstvy nad tepelně zvukovou izolaci. Při zalití betonové vrstvy je nutné kvalitní zatékání v okolí trubek k zajištění co nejlepšího přestupu tepla mezi trubkou a betonem. Z toho důvodu se beton obohacuje plastifikátory, které zajistí kvalitní zatékání pod a kolem trubek. Tloušťka betonové mazaniny musí být větší než 65 mm. Další varianta je využití anhydritové směsi, která nepotřebuje k zatékání dodatečné plastifikátory a dostatečná tloušťka je 35 mm. Další výhodou je nižší teplotní



roztažnost než roztažnost betonové mazaniny. Mokrý způsob pokládky dosahuje vyššího měrného tepelného výkonu než suchý způsob pokládky a to nad 50 W/m^2 . Předpokládaná teplota otopné vody je $35\text{-}55 \text{ }^\circ\text{C}$. Na obr. 6. je znázorněn řez podlahou pro mokrý způsob [7].

Obr. 6. Mokrý způsob pokládky [7]

(7 – dilatační páska, 2 – podlahová krytina, 3 – dlažba, 4 – cementový potěr,
5 – hydroizolační fólie, 6 – tepelná izolace, 7 – nosná konstrukce podlahy)

Modulové – klima podlahy

Prefabrikované desky se kladou na tepelnou izolaci a hydraulicky se mezi sebou propojují. Výhodou je nižší konstrukční výška, rychlost pokládky a nízká teplota přívodní vody do $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Tyto desky mají malé průtočné průřezy, proto mají zvýšené požadavky na čistotu otopné vody. V České Republice se nepoužívají.

Kapilární rohože

Pro podlahové vytápění se používají jen zřídka, využití však nachází ve stěnovém a stropním vytápění. Jedná se o síť kapilárních polypropylenových potrubí spojených rozvodným a sběrným potrubí. Kvůli difúzi kyslíku musí být přes nerezový výměník oddělen okruh rohoží od ostatních hydraulických okruhů otopné soustavy. Využívají se velmi nízké teplotní spády a dodávají menší měrný tepelný výkon. Kapilární rohože se umísťují většinou pod omítku konstrukce nebo slabou vrstvu mazaniny [7].

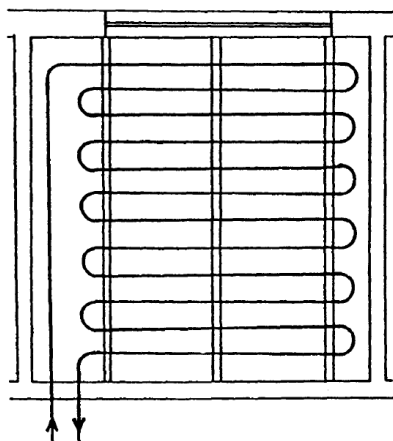


Dále se dělí způsob provedení podlahového vytápění podle způsobu tvarování otopného hadu. V tomto smyslu rozdělujeme kladení otopného hadu na dva způsoby:

- Meandrový způsob kladení
- Kladení ve tvaru plošné spirály

Meandrový způsob kladení

Přívodní potrubí se klade nejdříve u okna nebo u ochlazované konstrukce a meandrovým způsobem se vrací směrem od okna. Tento způsob je na obr. 7. Výhodou

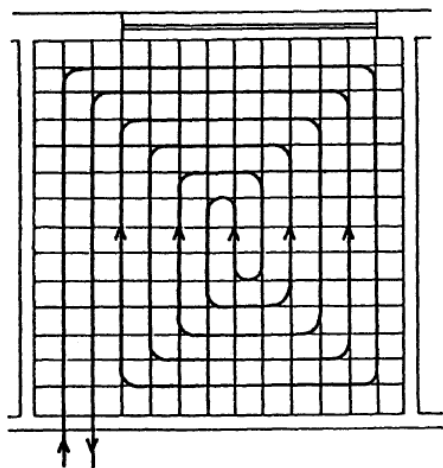


tohoto způsobu je nejvyšší teplota otopné vody u ochlazované konstrukce postupně klesající směrem od této konstrukce. Tímto způsobem je zajištěn rovnoměrnější rozložení teplot ve vytápěné místnosti vykompenzováním chladnějších teplot blízko ochlazované konstrukce. Oblouky jsou tvarovány pod úhlem 180°, což vyžaduje menší průměry potrubí (16x2 a 17x2 mm), které lze snadněji ohýbat. [7]

Obr. 7. Meandrový způsob kladení otopného hadu [7]

Plošná spirála

Tento způsob pokládky je uveden na obr. 8. Přívodní i vratné potrubí je tvarováno podél celého obvodu místnosti a postupně se přibližuje středu místnosti. Povrchová teplota

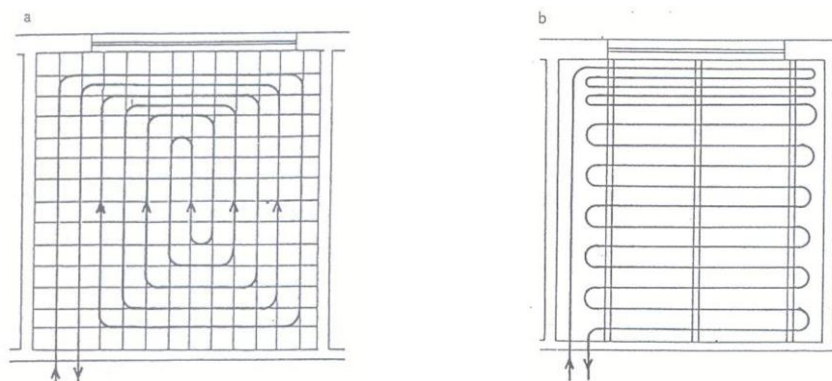


podlahy je u tohoto způsobu kladení rovnoměrná. Nevýhodou je pokles vnitřní teploty v horizontálním směru od vnitřní k obvodové konstrukci. Tato nevýhoda lze částečně vykompenzovat intenzivní okrajovou zónou. Výhoda tohoto způsobu kladení je možnost užití větších průměrů (18x2 a 20x2 mm), jelikož jsou trubky tvarovány pod úhlem 90°. [7]

Obr. 8. Kladení ve tvaru plošné spirály [7]



Oba způsoby tvarování otopného hadu lze navrhnout s intenzivní okrajovou zónou. Ta dokáže částečně eliminovat negativní vliv ochlazovaných konstrukcí na rozložení teploty. Okrajová zóna se navrhuje v šířce 0,5 – 1 m a umísťuje se k okenní stěně či do rohu u rohové místnosti. Pro oba typy kladení je okrajová zóna znázorněna na obr. 9. [7]



Obr. 9. Kladení otopného hadu s využitím okrajové zóny [7]

3.3.4. Provedení jednotlivých vrstev

V objektu bude využit způsob mokré pokládky pro vyšší výkony otopné plochy a nižší teploty přívodní vody, která bude podporovat využití nízkoteplotního zdroje tepla. Všechny trubky budou kladeny meandrovým způsobem, čímž bude dosaženo rovnoměrnějšího rozložení teplot v místnosti. Již nebude třeba využívat intenzivních okrajových zón, které by zvyšovaly tlakovou ztrátu okruhů.

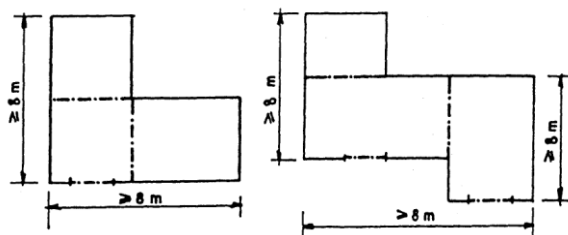
Podlahová otopná plocha se bude pokládat až po dokončení omítek a zárubní dveří v daných místnostech. Nosná podlahová konstrukce bude dostavěna a zcela očištěna od nečistot, mastnot a nerovností. V otopné soustavě se kladou jednotlivé trubky až jako poslední prvek, veškerý hydraulický okruh musí být dokončený a všechny sběrače a rozdělovače, ostatní zařizovací a ovládací prvky soustavy jsou již nainstalovány.

Dilatační pásy a dilatační spáry

Prvním krokem je umístit tepelně izolační a dilatační pás podél všech stěn mezi plovoucí podlahu a stěny. Ten bude kompenzovat tepelnou roztažnost plovoucí podlahy. Jeli to potřeba, podlaha je členěna na dilatační celky s maximální plochou 40 m². Doporučuje se použít dilatační pásy tloušťky 10 až 20 mm, aby byla dostatečně zajištěna kompenzace roztažnosti. Tepelná izolace je kladena až po pokládce obvodových izolačních pasů. Kdežto dilatační spáry rozdělují jednotlivé vrstvy konstrukce od tepelné izolace směrem



k povrchu podlahy. Dilatační spára umožňuje skutečné rozpinání podlahy. Šířka spáry by měla být 8 až 10 mm. Plochy dilatačních celků by měly mít čtvercový tvar a délka by neměla přesáhnout 8 m a poměr stran 1:2. Optimální velikost dilatačních celků je 25 m² a maximálně 40 m². Povrchy spár se vyplňují pružným tmelem. Přes dilatační spáru by mělo procházet co nejméně potrubí, které by mělo být chráněno chráničkou v délce alespoň půl metru před i za spárou, jak je znázorněno ve výkresu. Příklady vhodného dělení dilatačních celků je znázorněn na obr. 10. [1] Ve výkresech jsou znázorněny jednotlivé dilatační spáry a ochrana potrubí.



Obr. 10. Rozdělení na dilatační celky [1]

Tepelná a zvuková izolace a nosná část

Nosná část podlahy je v projektu řešena montovaným systémem s nosníky, pórobetonovými vložkami Ytong Ekonom a monolitické zálivky. Na nosnou část podlahy jsou kladeny desky z PUR tvrzené pěny (40 mm) překryty hydroizolační folií.

Kladení a přichycování trubek

V koupelnách budou použity plastové lišty pro variabilnější a snadnější instalaci v takto úzkém prostoru. Jedná se o vodící lišty GIACOCLIMA (5 cm). V ostatních místnostech prvního patra budou využity systémové desky s výstupky R979 T50. V druhém patře systémové desky s výstupky R979 T30. Oba systémy jsou výrobky firmy Giacomini, od které budou použity i další zařízení pro podlahové vytápění.

Roznášecí vrstva

Jako roznášecí vrstva je ve všech místnostech zvolena betonová mazanina, a to ve výšce 65 mm nad potrubím.

Nášlapná vrstva

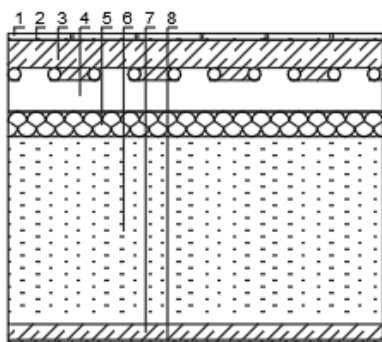
Tepelný odpor podlahové krytiny musí splňovat požadavek $R \leq 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Pro koupelny jsou použity betonové dlaždice o tloušťce 50 mm. V ostatních místnostech jsou navrženy laminátové podlahy s izolačním podkladem o celkové tloušťce 10 mm.



Potrubí otopného hadu

Pro podlahové vytápění v objektu jsou navrženy všechny podlahové smyčky z vícevrstvého potrubí PEX-AL-PEX 16x2,0. Vícevrstvé potrubí kompenzuje nevýhodu tepelné roztažnosti plastového potrubí, a i přes vyšší tuhost si zachovává výbornou ohebnost. Vícevrstvé potrubí se skládá ze základní plastové trubky, hliníkového pláště a ochranné plastové vrstvy.

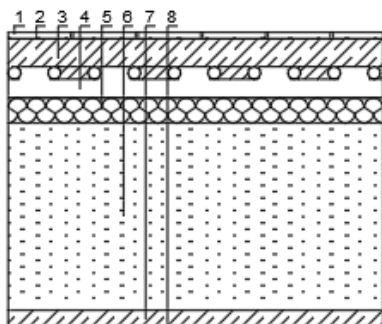
Dále jsou uvedeny řezy podlahových konstrukcí pro podlahové vytápění.



ŘEZ - I

1.01 - Obývací pokoj, 1.02 - Pracovna, 1.05 - Předsiň,
1.06 - Ložnice, 1.09 - Kuchyně, 1.11 - Chodba:

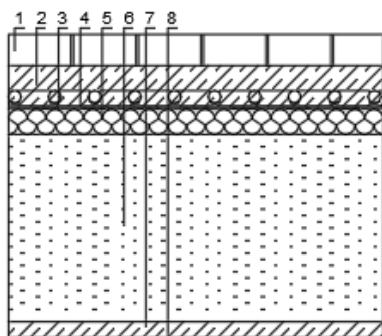
1. - Laminátová podlaha 7-8 mm : (8 mm)
2. - Izolační podklad Kährs 2 mm : (2 mm)
3. - Cementová mazanina 65mm : (65 mm)
4. - Systémová deska s výstupky R979 T50 h50 : (50 mm)
5. - PUR-tvrzená pěna 40mm : (40 mm)
6. - Ytong-stropní systém : (300 mm)
7. - SDK podhled : (25 mm)
8. - Omítka : (5 mm)



ŘEZ - II

2.01 - Dětský pokoj, 2.02 - Pokoj pro hosty,
2.03 - Chodba, 2.05 - Dětský pokoj:

1. - Laminátová podlaha 7-8 mm : (8 mm)
2. - Izolační podklad Kährs 2 mm : (2 mm)
3. - Cementová mazanina 65mm : (65 mm)
4. - Systémová deska s výstupky R979 T50 h30 : (30 mm)
5. - PUR-tvrzená pěna 40mm : (40 mm)
6. - Ytong-stropní systém : (300 mm)
7. - SDK podhled : (25 mm)
8. - Omítka : (5 mm)



ŘEZ - III

1.07 - Koupelna, 2.04 - Koupelna:

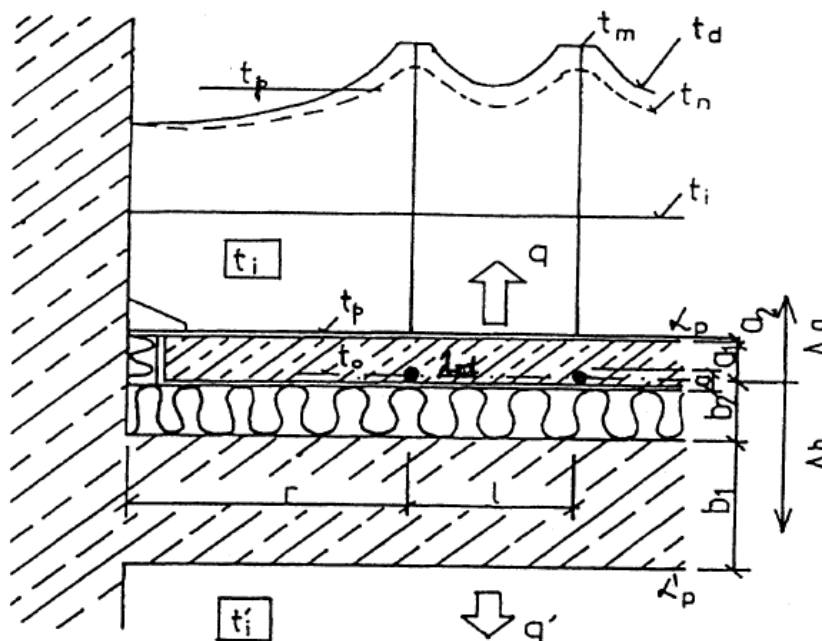
1. - Dlaždice 50mm : (50 mm)
2. - Cementová mazanina 65mm : (65 mm)
3. - Vodičí lišta K389W rozteč 5 cm : (0 mm)
4. - Oddělovací vrstva : (0 mm)
5. - PUR-tvrzená pěna 40mm : (40 mm)
6. - Ytong-stropní systém : (300 mm)
7. - SDK podhled : (25 mm)
8. - Omítka : (5 mm)

Obr. 11. Skladby podlahových konstrukcí



3.3.5. Tepelně technický výpočet podlahového vytápění

Tepelně technický výpočet podlahového vytápění vychází z předpokladu, že střední povrchová teplota podlahy nepřekročí hygienicky přípustné hodnoty a tepelný výkon podlahové otopné plochy bude krýt tepelnou ztrátu místnosti. Pro výpočet je nejprve nutné určit tepelné vlastnosti jednotlivých podlahových konstrukcí a celkové skladby podlahového systému. Na obr. 12. jsou graficky uvedeny veličiny, důležité pro výpočet podlahového vytápění, které budou následně popsány. [7]



Obr. 12. Řez konstrukce podlahového vytápění [7]

Tepelná propustnost směrem nahoru Λ_a udává tepelně technickou vlastnost systému podlahového vytápění, propouštět teplo od roviny topného hada směrem nahoru. Vypočítá se dle vztahu:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \sum_{i=1}^k \frac{d_i}{\lambda_i}}, \quad (2.09)$$

- | | |
|---|---|
| kde Λ_a [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] | tepelná propustnost směrem nahoru; |
| α_p [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] | součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy
běžně se udává $12 W/m^2 \cdot K$; |
| d_i [m] | tloušťka i-té vrstvy nad potrubím otopného hadu; |
| λ_i [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] | tepelná vodivost i-té vrstvy nad potrubím otopného hadu; |



Tepelná propustnost směrem dolů Λ_b udává tepelně technickou vlastnost systému podlahového vytápění, propouštět teplo od roviny topného hada směrem dolů. Vypočítá se dle vztahu:

$$\Lambda_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_p} + \sum_{j=1}^k \frac{d_j}{\lambda_j}}, \quad (2.10)$$

kde Λ_b [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] tepelná propustnost směrem dolů;
 α'_p [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy
běžně se udává $8 W/m^2 \cdot K$;
 d_j [m] tloušťka j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu;
 λ_j [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] tepelná vodivost j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu;

Jeden z hlavních parametrů návrhu je charakteristické číslo podlahy m , které zahrnuje jak tepelnou propustnost konstrukce směrem nahoru a dolů, tak vliv potrubí otopného hadu na tepelně technické vlastnosti systému. Vypočte se dle vztahu:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot D_e}}, \quad (2.11)$$

kde m [m^{-1}] charakteristické číslo podlahy;
 λ_d [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] tepelná vodivost j-té vrstvy pod potrubím otopného hadu;
 D_e [m] vnější průměr potrubí;

Skutečný výkon podlahové otopné plochy je větší o tepelný tok, který sdílí okrajová plocha, ve které nejsou uloženy trubky. Proto se otopné trubky umísťují v určité vzdálenosti od stěny namísto umístění v její blízkosti [7]. Šířka okrajové zóny neboli maximální vzdálenost krajní trubky otopného hadu od stěny závisí na charakteristickém čísle a je vyjádřena empirickým vztahem:

$$r = \frac{2,3}{m}, \quad (2.12)$$

kde r [m] maximální vzdálenost krajní trubky od stěny;



Dle předchozích postupů byly vypočítány vlastnosti jednotlivých podlahových konstrukcí. Jejich konkrétní hodnoty jsou zobrazeny v tab. 11.

Svislé konstrukce							
Podlaha 1.NP							
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m ² .K/W]	Λ_h [W/m ² .K]	Λ_d [W/m ² .K]	m [1/m]	r [mm]
Laminátová podlaha	0,114	8	0,07	3,99	0,20	11,52	200
Izolační podklad	0,040	2	0,05				
Cementová mazanina	1,200	57	0,05				
Cementová mazanina	1,200	8	0,01				
Systémová deska s izolací h50	0,040	50	1,25				
PUR tvrzená pěna	0,035	40	1,14				
Stropní systém Ytong ekonom	0,130	300	2,31				
Sádrokarton podhled	0,220	25	0,11				
Oμίtká	0,880	5	0,01				
Podlaha 1.NP,2.NP Koupelna							
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m ² .K/W]	Λ_h [W/m ² .K]	Λ_d [W/m ² .K]	m [1/m]	r [mm]
Dlaždice	1,000	50	0,05	5,53	0,27	13,55	170
Cementová mazanina	1,200	57	0,05				
Cementová mazanina	1,200	8	0,01				
Vodící lišta	0,000	0	0,00				
PUR tvrzená pěna	0,035	40	1,14				
Stropní systém Ytong ekonom	0,130	300	2,31				
Sádrokarton podhled	0,220	25	0,11				
Oμίtká	0,880	5	0,01				
Podlaha 2.NP							
Materiál	λ [W/m.K]	d [mm]	Ri [m ² .K/W]	Λ_h [W/m ² .K]	Λ_d [W/m ² .K]	m [1/m]	r [mm]
Laminátová podlaha	0,114	8	0,07	4,92	0,22	12,76	180
Izolační podklad	0,040	2	0,05				
Cementová mazanina	1,200	57	0,05				
Cementová mazanina	1,200	8	0,01				
Systémová deska s izolací h30	0,040	30	0,75				
PUR tvrzená pěna	0,035	40	1,14				
Stropní systém Ytong ekonom	0,130	300	2,31				
Sádrokarton podhled	0,220	25	0,11				
Oμίtká	0,880	5	0,01				

Tab. 11. Tepelně technické vlastnosti podlahového vytápění



Z fyziologických důvodů by neměla střední povrchová teplota překročit hodnotu:

$t_p = 27$ až 28 °C	U místností pro trvalý pobyt (obytné místnosti, kanceláře atd.);
$t_p = 30$ až 32 °C	U pomocných místností, kde člověk jen příležitostně přechází (předsíně, chodby, schodiště atd.);
$t_p = 32$ až 34 °C	U místností, kde člověk převážně chodí naboso (plovárny, lázně, koupelny atd.);

Při daných teplotách střední teploty topné vody a vnitřní výpočtové teplotě, střední povrchová teplota t_p závisí především na rozteči trubek. Ostatní veličiny mají na návrh již malý vliv [7]. Za předpokladu, že po obou stranách stropu je stejná teplota $t_i = t'_i$, se střední povrchová teplota vypočte dle vztahu:

$$t_p = t_i + \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} * (t_m - t_i) - \frac{\operatorname{tgh}\left(m * \frac{l}{2}\right)}{m * \frac{l}{2}}, \quad (2.13)$$

kde t_p [°C]	střední povrchová teplota;
t_i [°C]	vnitřní výpočtová teplota;
t_m [°C]	střední teplota otopné vody;
l [m]	rozteč trubek;

Po stanovení střední povrchové teploty lze určit měrný tepelný výkon otopné plochy. Ten se vypočte dle následujícího vztahu:

$$q = \alpha_p * (t_p - t_i), \quad (2.14)$$

kde q [$W \cdot m^{-2}$] měrný tepelný výkon podlahové plochy;

Dále lze určit měrný tepelný výkon podlahové plochy směrem dolů. Tento výkon se považuje za ztrátový a neměl by překročit 10 až 15 % měrného tepelného toku do vytápěné místnosti [7]. Za předpokladu, že po obou stranách stropu je stejná teplota $t_i = t'_i$ se měrný tepelný výkon směrem dolů vypočte dle vztahu:

$$q' = \alpha_p * \frac{\Lambda_b}{\Lambda_a} (t_p - t_i) \quad (2.15)$$

Kde q' [$W \cdot m^{-2}$] měrný tepelný výkon podlahové plochy směrem dolů;



Jestliže vnitřní výpočtová teplota pod otopnou podlahou je rozdílná od vnitřní výpočtové teploty vytápěné místnosti $t_i \neq t'_i$, pak se vztah (2.15) pro výpočet měrného tepelného výkonu směrem dolů mění na (2.16):

$$q' = \alpha_p * \frac{\Lambda_b}{\Lambda_a} (t_p - t_i) + \Lambda_b * (t_i - t'_i), \quad (2.16)$$

Celková potřebná otopná plocha se pro místnosti ležící pod jinými vytápěnými místnostmi určí dle vztahu:

$$S_{op} = \frac{Q_c}{q + q'_u}, \quad (2.17)$$

kde S_{op} [m^2] celková otopná plocha;
 Q_c [W] celková tepelná ztráta místnosti;
 q'_u [$W \cdot m^{-2}$] měrný tepelný výkon podlahové plochy směrem dolů z místnosti nad počítanou místností, pro podkroví $q'_u = 0$;

Jestliže je již známa určitá plocha podlahy, která bude k dispozici jako otopná plocha, je nutné stanovit využitelnou plochu podlahy dle (2.18). Od dostupné podlahové plochy se odečte velikost podlahové plochy okrajové zóny, šířka vychází ze vztahu (2.12). Dále je nutné uvažovat vliv nábytku. U nábytku se soklem se plocha odečítá, u nábytku s nízkými nohama se počítá s 50 % plochy a vliv nábytku s vysokými nohama se zanedbává. Pro správný návrh musí platit, že $S_v \geq S_{op}$.

$$S_v = S_p - \sum_i^k S_{Ns,i} - 0,5 * \sum_i^l S_{Nn,i}, \quad (2.18)$$

kde S_v [m^2] využitelná otopná plocha místnosti;
 S_p [m^2] otopná plocha ohraničená krajní trubkou;
 S_{Nsi} [m^2] půdorysná plocha nábytku se soklem;
 S_{Nni} [m^2] půdorysná plocha nábytku na nízkých nohách;

Celkový tepelný příkon podlahové plochy se vypočte dle (2.19):

$$Q_{pc} = (q + q') * S_p, \quad (2.19)$$

kde Q_{pc} [W] celkový příkon podlahové otopné plochy;



Tepelný výkon okrajové zóny bývá cca 10 až 15 % z celkového příkonu otopné plochy. Skutečný výkon je třeba navýšit o výkon okrajové zóny, který se vypočte dle vztahu:

$$Q_o = Q_{pc} * \frac{O_p}{S_p} * \frac{0,448 * l}{\operatorname{tgh}\left(m * \frac{l}{z}\right)}, \quad (2.20)$$

kde Q_o [W] tepelný výkon okrajové zóny;
 O_p [m] obvod otopné podlahové plochy vymezený krajními trubkami;
 S_p [m²] otopná plocha ohraničená krajní trubkou;

Celkový tepelný výkon dodávaný do vytápěné místnosti podlahovou otopnou plochou se vypočte dle finálního vztahu:

$$Q_c = S_v * q + Q_o + Q_u, \quad (2.21)$$

kde Q_o [W] tepelný výkon okrajové zóny;
 Q_u [W] tepelný výkon z místnosti nad počítanou místností;

Tento výkon pak musí pokrýt tepelnou ztrátu místnosti.

3.3.6. Vlastní návrh podlahových otopných ploch

Pro návrh podlahového vytápění byl použit návrhový software TechCON firemní verze od Giacomini. Výpočty jsou v souladu z výše uvedenými postupy návrhu. V softwaru byly vymodelovány místnosti a podlahové konstrukce dle předchozího návrhu (Obr. 11). Každé místnosti byla přiřazena tepelná ztráta, vnitřní výpočtová teplota a teplota pod podlahou. Tepelně technické vlastnosti podlahy a šířka okrajové zóny byly vypočteny a vypsány v předchozí tab. 11. V programu byl pak navržen vhodný teplotní spád a rozteč potrubí pro pokrytí tepelných ztrát místností.



Číslo okruhu	Místnost	ti [°C]	Sp [m ²]	l [mm]	l-celk [m]	tp [°C]	Δt [K]	M [kg/h]	Qz [W]	Qp [W]	Odchylka [W]	POKRYTÍ [%]
1	1.02 - Pracovna	20	17	300	62	24,7	8,1	98,6	620	652	32	106
2	1.05 - Předšíň	15	12,4	300	53,2	20,8	7,6	102,5	590	641	51	109
3	1.01 - Obývací pokoj	20	22,4	250	91,7	24,8	10	109,3	920	923	3	100
4	1.06 - Ložnice	20	7,5	100	89,3	26,5	8,3	73,3	930	873	-57	93
5	1.06 - Ložnice	20	7,9	100	97,3	26,4	9,2	71,9				
6	1.07 - Koupelna	24	4,6	150	39	31	4,9	80,3	545	350	-195	64
7	1.09 - Kuchyně	20	8,2	100	92,8	26,5	8,7	72,4	1007	1054	47	105
8	1.09 - Kuchyně	20	8,7	150	63,4	26,1	7,6	76,5				

Číslo okruhu	Místnost	ti [°C]	Sp [m ²]	L [mm]	l-celk [m]	tp [°C]	Δt [K]	M [kg/h]	Qz [W]	Qp [W]	Odchylka [W]	POKRYTÍ [%]
1	2.04 - Koupelna	24	4,3	100	58,4	31,4	7	126	371	343	-275	56
2	2.02 - Pokoj pro hosty	20	17	200	100,9	25,3	9,9	90	754	783	49	107
3	2.01 - Dětský pokoj	20	22,4	250	102,5	24,8	10	120	954	942	-12	99
4	2.05 - Dětský pokoj	20	22,2	250	93,6	24,9	9,9	126	903	943	40	104

Legenda

ti	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota
Sp	[m ²]	Plocha podlahového topného okruhu
l	[mm]	Rozteč potrubí
l-celk	[m]	Celková délka potrubí
tp	[°C]	Střední povrchová teplota
Δt	[K]	Teplotní spád
M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
Qz	[W]	Celková tepelná ztráta místnosti
Qp	[W]	Celkový tepelný výkon podlahového topného okruhu

Tab. 12. Návrh podlahových topných ploch

V prvním a druhém patře jsou na chodbách umístěny patrové rozdělovače pro podlahové okruhy. Do každé vytápěné místnosti v daném patře, vede neizolované potrubí podlahového vytápění skrze chodbu. Toto potrubí označíme jako přípojky k podlahovým topným okruhům. Obě chodby jsou pak temperovány těmito přípojkami a tvoří vlastní topnou plochu. Skladba podlahových konstrukcí chodeb je stejná jako u místností s podlahovými okruhy viz obr. 11. Z výše zmíněného návrhového programu byl určen tepelný výkon přípojek v chodbě 1.NP (1.11) 630 W a v chodbě 2.NP (2.03) 570 W, což postačuje k pokrytí tepelné ztráty těchto místností. Vedení přípojek je naznačeno v návrhu technické dokumentace.



4. Hydraulika a vyvážení otopné soustavy

Pro zajištění správného proudění otopné vody, je nezbytné hydraulicky vyvážit otopnou soustavu. Jak již bylo zmíněno, především pro dvoutrubkovou protiproudou soustavu s nuceným oběhem, je nutné všechny okruhy hydraulicky vyvážit kvůli správnému zatékání otopné vody. Požadavkem je, aby ve všech paralelních větvích (okruzích) byla navržena stejná tlaková ztráta, při námi zvoleném objemovém průtoku otopné vody. Tohoto lze dosáhnout správnou délkou a dimenzí potrubí, dále vhodným použitím a nastavením armatur. [3]

4.1. Výpočet tlakových ztrát

Tlakové ztráty se rozdělují podle jejich příčiny na ztráty třením a místní ztráty. Celková tlaková ztráta úseku nebo okruhu potrubí se určí dle (3.01):

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi, \quad (3.01)$$

kde Δp_z [Pa] celková tlaková ztráta;
 Δp_λ [Pa] tlaková ztráta třením;
 Δp_ξ [Pa] tlaková ztráta místními odpory;

Velikost tlakových ztrát je výrazně ovlivněna režimem proudění, které může být buďto laminární nebo turbulentní. V turbulentním režimu je výrazně vyšší intenzita přenosu hybnosti než u laminárního proudění. Pro posouzení režimu proudění se využívá kritická hodnota Reynoldsova čísla Re , které se vypočte dle vztahu (3.02). Pro potrubí kruhového průřezu je obvykle uváděna hodnota $Re_{krit} = 2300$. Jestliže je $Re < Re_{krit}$, jedná se o laminární proudění a v opačném případě turbulentní [13]:

$$Re = \frac{w \cdot D_i}{\nu}, \quad (3.02)$$

kde Re [–] Reynoldsovo číslo;
 D_i [m] vnitřní průměr potrubí;
 w [m · s⁻¹] průtočná rychlost tekutiny;
 ν [m² · s⁻¹] kinematičká viskozita tekutiny. Pro otopnou vodu střední teploty 40 °C je kinematičká viskozita $\nu = 6,58 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$;



4.1.1. Tlakové ztráty třením

Tlakové ztráty třením vznikají po celé délce potrubí a kumulují se ve směru proudění tekutiny. Vypočte se dle vztahu (3.03):

$$\Delta p_\lambda = l_p * R, \quad (3.03)$$

kde l_p [m] délka úseku nebo okruhu potrubí;

R [Pa. m⁻¹] měrná tlaková ztráta třením;

Měrná tlaková ztráta kruhového potrubí se pro nestlačitelné kapaliny určí podle vztahu:

$$R = \lambda_F \frac{1}{D_i} * \rho * \frac{w^2}{2}, \quad (3.04)$$

kde λ_F [-] součinitel tlakové ztráty třením;

ρ [kg. m⁻³] hustota proudící tekutiny;

Součinitel tlakové ztráty třením závisí především na Reynoldově čísle a na relativní drsnosti potrubí. U laminárního proudění $Re < 2300$ nemá drsnost stěn na třecí ztráty vliv a lze vypočítat dle následujícího vztahu [13]:

$$\lambda_F = \frac{A}{Re}, \quad (3.05)$$

kde A [-] konstanta rychlostního profilu potrubí. Pro rychlostní profil kruhový průřezu platí $A = 64$;

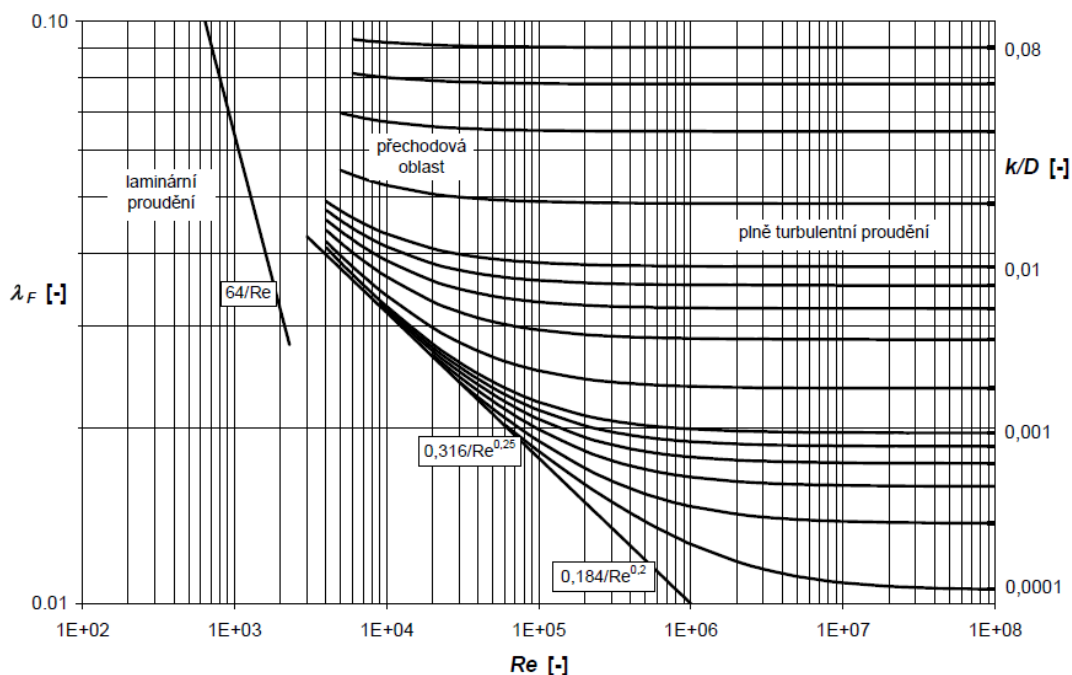
Pro turbulentní režim za podmínek, kdy je potrubí považováno za hydraulicky hladké, součinitele tlakové ztráty závisí především pouze na Re . Pro hydraulicky hladké potrubí, kde platí $2300 < Re < 10^5$ využijeme Blasiovův vztah (3.06) a pro vyšší rozsah $10^5 < Re < 10^6$ (3.07). [13]

$$\lambda_F = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (3.06)$$

$$\lambda_F = \frac{0,184}{\sqrt[5]{Re}} \quad (3.07)$$



Součinitel tlakové ztráty třením lze určit graficky z Moodyho diagramu, který zároveň vyznačuje oblasti jednotlivých režimů proudění tekutiny. Závisí vždy na Re a relativní drsnosti potrubí $\frac{k}{D_i}$, kde k [m] je absolutní drsnost. V diagramu lze poznat lineární průběhy, pro které lze vypočítat λ_F dle výše zmíněných vztahů. První z těchto průběhů je pro laminární režim proudění v levé části a druhý pro turbulentní proudění u hydraulicky hladkých potrubí ve spodní části diagramu.



Obr. 13. Moodyho diagram třecích ztrát v potrubí [13]

V praxi se u vytápění nejčastěji počítá s hmotnostním průtokem, proto je vhodné měrnou tlakovou ztrátu vyjádřit v závislosti na hmotnostním průtoku. Vychází se ze vztahu pro proudění v kruhovém potrubí (3.08):

$$w = \frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot D_i^2}, \quad (3.08)$$

kde m [$kg \cdot s^{-1}$] hmotnostní průtok;

Dosazením do rovnice (3.04) dostáváme vztah:

$$R = 0,811 \cdot \frac{m^2}{\rho \cdot D_i^5} \cdot \lambda_F \quad (3.09)$$



4.1.2. Tlakové ztráty místními odpory

Tyto ztráty jsou způsobeny rozvířením tekutiny v místech, kde dochází ke změně směru proudění nebo změně průřezů. Příklady místních tlakových ztrát jsou kolena, oblouky, odbočky, šoupátka, ventily, rozšíření či zúžení průřezu potrubí. Tlakovou ztrátu místními odpory označujeme v praxi Z a lze vypočítat dle následujícího vztahu [8]:

$$\Delta p_{\xi} = Z = \rho * \frac{w^2}{2} * \sum \xi, \quad (3.10)$$

kde ξ [–] součinitel místní ztráty daného prvku;

Pro určení závislosti na hmotnostním průtoku dosadíme rovnici (3.08) do (3.10):

$$\Delta p_{\xi} = Z = 0,811 * \frac{m^2}{\rho * D_i^4} * \sum \xi \quad (3.11)$$

Součinitel místní ztráty se většinou určuje experimentálně. Je závislý především na geometrii konkrétního prvku. Příklady:

- Koleno $\xi = 1,0$;
- Oblouk, obchod $\xi = 0,5$;
- Rozšíření, redukce $\xi = 0,1$;
- Rozdělení, sloučení toku $\xi = 1,5$;
- Kotel $\xi = 2$;

U podlahového vytápění jsou zdroje místních odporů pouze oblouky otopného hadu. S běžně využívanými součiniteli ve vytápění tento odpor není srovnatelný. Závisí na zakřivení a úhlové míře oblouku, nejčastěji 90° a 180° . Pro vyšší hodnoty úhlů, než je 180° je místní odpor zanedbatelný. Součinitel místního odporu pro úhel 90° lze určit z následujícího vztahu [7]:

$$\xi_{90} = 0,034083 + 0,744580769 * \ln \frac{R_k}{D_i}, \quad (3.12)$$

kde ξ_{90} [–] součinitel místní ztráty oblouků pro úhel 90° ;
 R_k [m] poloměr zakřivení;



Suma místních odporů pro plošnou spirálu lze zjednodušeně určit dle vztahu (3.13) a pro meandrový způsob kladení dle (3.14), kde je počet oblouků dvojnásobný.

$$\sum \xi = (n - 1) * \xi_{\varphi} \quad (3.13)$$

$$\sum \xi = 2 * (n - 1) * \xi_{\varphi} , \quad (3.14)$$

kde ξ_{φ} [-] součinitel místní ztráty oblouků pro úhel φ ;
 n [-] počet řad trubek u podlahové plochy;

4.1.3. Celková tlaková ztráta

Dosazením rovnice (3.03) do (3.01) a využití označení Z dostáváme rovnici (3.15). Dále dosazením vztahů pro výpočet konkrétních ztrát (3.09) a (3.11) dostaneme finální vztah pro celkové tlakové ztráty (3.16).

$$\Delta p_z = l_p * R + Z \quad (3.15)$$

$$\Delta p_z = 0,811 * \frac{m^2}{\rho * D_i^4} * \left(\frac{l_p}{D_i} * \lambda_F + \sum \xi \right) \quad (3.16)$$

4.1.4. Tlakové ztráty otopných těles

Tlaková ztráta otopného tělesa se určí obdobně jako tlaková ztráta místními odpory potrubí. Hodnota je určena zpravidla pro přívod potrubí DN15 a vypočte se dle následujícího vztahu.

$$\Delta p_{OT} = 0,811 * \frac{m_{OT}^2}{\rho * D_{i, DN15}^4} * \xi_{DN15} , \quad (3.17)$$

kde ξ_{DN15} [-] součinitel místní ztráty otopným tělesem vztažený na ekvivalentní potrubí DN15;
 m_{OT} [kg. s⁻¹] hmotnostní průtok otopným tělesem;
 $D_{i, DN15}$ [m] vnitřní průměr ekvivalentního potrubí DN15 (0,0161 m);

U deskových otopných těles ventil kompakt se určí tlaková ztráta otopného tělesa včetně tlakové ztráty integrovaného ventilu z k_V hodnoty dle vztahu (3.19) v následující části o regulačních armaturách.



4.2. Dvoutrubkové otopné soustav s nuceným oběhem

U otopných soustav s nuceným oběhem vody zajišťuje oběh vody jednak účinný tlak (přirozený vztlak) a dopravní tlak čerpadla. Součet těchto tlaků musí překonat tlakovou ztrátu potrubní sítě. Tlakovou bilanci lze zapsat rovnicí (3.18):

$$\Delta p_{\rho} + \Delta p_{\zeta} = \Delta p_{z_o} , \quad (3.18)$$

kde Δp_{z_o} [Pa] celková tlaková ztráta okruhu;

Δp_{ρ} [Pa] účinný tlak;

Δp_{ζ} [Pa] dopravní tlak čerpadla;

4.2.1. Dopravní tlak čerpadla

K určení dopravního tlaku čerpadla je potřeba důkladné stanovení tlakových ztrát, čemuž odpovídá vhodné dimenzování potrubí. Při použití čerpadla s vysokým dopravním tlakem dosahujeme vysokých průtočných rychlostí a malých průměrů potrubí, což má za následek nižší investiční náklady. Zvýšením dimenzí potrubí dosahujeme vyšších investičních nákladů, ale provozní náklady s nižším dopravním tlakem klesají. Proto je vhodné zvolit jakési optimum, podle kterého se volí ekonomická rychlost proudění vody. Vysoké rychlosti v potrubí se vyznačují hlukovými projevy zejména v místech změn průřezu, u škrťících armatur apod. Pro zajištění optimálního dopravního tlaku vychází následující metody dimenzování potrubní sítě. [8]

- Metoda předběžné tlakové ztráty;
- Metoda přímé volby čerpadla;
- Metoda použití ekonomických rychlostí;
- Metoda ekonomického tlakového spádu;

V mém návrhu vycházím z metody ekonomických rychlostí. V tomto případě se volí optimální ekonomická rychlost pro čerpadlo. Podle této rychlosti se navrhuje průměry úseků. Podle výpočtu tlakové ztráty nejdelšího úseku se dále určuje dopravní tlak čerpadla. Rychlosti se volí podle projekčních zkušeností. Rychlost proudění by měla směrem od strojovny klesat. Doporučené rychlosti ukazuje tab. 13. na následující stránce. [8]



Potrubní síť	rychlost w [m/s]	měrná tlaková ztráta R [Pa/m]
uvnitř obytných budov pro přípojky k otopným tělesům a stoupací potrubí	0,3 až 0,7	60 až 100
uvnitř obytných budov pro horizontální rozvodné potrubí ve sklepě	0,8 až 1,5	110 až 200
vně obytných budov u CZT	2,0 až 3,0	200 až 400
uvnitř průmyslových objektů pro přípojky k otopným tělesům a stoupací potrubí	0,8 až 2,0	110 až 250
vně průmyslových objektů u CZT	2,0 až 3,0	200 až 400

Tab. 13. Ekonomické rychlosti a ekonomický tlakový spád [8]

4.3. Vyvažovací a regulační armatury

Dopravní tlak se určuje podle tlakové ztráty hlavní větve. Ve dvoutrubkové otopné soustavě jsou jednotlivé okruhy zapojeny paralelně a tím vykazují stejnou tlakovou ztrátu při různých průtocích. Paralelní okruhy se doškrcují armaturami na určený dispoziční rozdíl tlaků při námi požadovaných průtocích. Dispoziční rozdíl tlaků poté odpovídá celkové tlakové ztrátě okruhu, včetně tlakové ztráty osazených armatur. Pro potřeby škrcení jsou využívány regulační a vyvažovací armatury.

4.3.1. Regulační armatury

Základní vlastnosti regulačních armatur jsou dány především konstrukcí těchto ventilů. Jsou tedy dány průtočným průřezem, tvarem průtočných cest, tvarem kuželky a také vlastnostmi ovládacího pohonu ventilu. Pro různé konstrukce se pak mění závislost průtoku armaturou na zdvihu kuželky.

Velikost ventilu je určena k_{VS} hodnotou (jmenovitým průtokem). Tato hodnota vyjadřuje vztah mezi zdvihem či natočením kuželky a protékajícím množstvím otopné vody. Jedná se o průtok armaturou při maximálním otevření armatury a 100 kPa tlakové ztrátě. Pro otopnou vodu jako teplotonosnou látku se využívá vztah (3.19). Ze známé k_{VS} hodnoty lze určit skutečný průtok armaturou, nebo lze vypočítat k_{VS} hodnotu při známém průtoku a tlakové ztrátě, a poté zvolit vhodný ventil. Při nižším zdvihu či natočení kuželky označujeme hodnotu k_V . [3]



$$k_{VS} = V * \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_V}}, \quad (3.19)$$

Kde $k_{VS} [m^3 \cdot h^{-1}]$	jmenovitý průtok;
$V [m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový průtok armaturou;
$\Delta p_o [kPa]$	tlaková ztráta 100 kPa;
$\Delta p_V [kPa]$	tlaková ztráta ventilu;

Hodnota tlakové ztráty u plně otevřeného ventilu je většinou známa od výrobce. Další často využívanou veličinou pro návrh regulačních armatur je tzv. autorita ventilu, která lze zapsat ve tvaru (3.20), kde udává vztah mezi tlakovou ztrátou potrubní sítě daného úseku a tlakovou ztrátou plně otevřeného ventilu. S rostoucí autoritou ventilu sice roste kvalita regulace a lineární statická charakteristika se blíží lineárnímu průběhu, ale zároveň roste tlaková ztráta úseku s daným ventilem. Pro vhodný návrh se volí autorita dvoucestných regulačních armatur v rozmezí P_V (0,3 – 0,5). [3]

$$\Delta p_{V100} = P_V * (\Delta p_{V100} + \Delta p_{PS}) = \frac{P_V}{1-P_V} * \Delta p_{PS}, \quad (3.20)$$

kde $P_V [-]$	autorita ventilu;
$\Delta p_{V100} [Pa]$	tlaková ztráta ventilu při plném otevření;
Kde $\Delta p_{PS} [Pa]$	tlaková ztráta potrubní sítě;

4.3.2. Termostatický ventil

Regulaci tepelného výkonu samostatných objektů v místě, kde vyžadujeme jejich funkci nazýváme místní regulací. Pro místní regulaci se nejčastěji využívá kvantitativní regulace, tedy změna průtoku teplotně látky. Pro zajištění místní regulace je využíváno termostatických ventilů. V podstatě se jedná o dvoucestnou regulační armaturu s definovaným proměnným průtokem. Nastavení a přednastavení termostatických ventilů je určeno jejich k_{VS} hodnotou viz. (3.19). Poddimenzování a předimenzování má negativní vliv na provozní chování ventilu. Proto se při vyvažování otopné soustavy škrť především na armaturách, jako je regulační šroubení. [3]



4.3.3. Vyvažovací ventil

Tyto armatury bývají vybaveny zařízením pro co nejvyšší přesnost nastavení průtoku. Každý tento ventil je vybaven odběrnými místy pro měření tlakové difference, pro naměření okamžitého průtoku teplotnosné látky armaturou. Předimenzování armatury vede ke zvýšení investičních nákladů a také ke zhoršení přesnosti regulace. Největší přesnost regulace nastává v rozsahu zdvihu 50 až 100 %. V mnoha případech není jasné, jakou tlakovou ztrátu má v provozu ventil vykazovat. Proto navržené ventily pro daný průtok musí vykazovat tlakovou ztrátu minimálně 3 kPa, aby odchylka přesnosti armatury byla zanedbatelná.

Pro zajištění správného vyvážení otopné soustavy těmito ventily je třeba dbát na správné umístění těchto ventilů. Pro popis hierarchie definujeme tzv. modul, což je jednotka paralelně řazených odběrných míst. Otopná soustava je pak složena z modulů, které jsou pak dále hierarchicky poskládány vůči sobě. Ventily paralelních odběrů zajistí rozdělení průtoku, k čemuž nejčastěji slouží regulační armatury zmíněná výše. Každému modulu se nadřadí vyvažovací ventil nazýván partnerský ventil, který zajistí správný průtok pro všechny podřazené moduly. [3]

V této práci budou využity vyvažovací ventily pro vyvážení nadřazených modulů a pro doškrcení přebytečného tlaku oběhových čerpadel

4.3.4. Trojcestné armatury

Trojcestné regulační ventily můžeme využít ke dvěma základním účelům. Jako rozdělovací, kde do ventilu vstupuje otopná voda jedním vstupem a vystupuje dvěma výstupy, nebo jako směšovací ventily, kde jdou dva vstupy otopné vody a jeden výstup. Konstrukčně se liší uspořádáním kuželky. Pro návrh těchto ventilů je směrodatná k_{VS} hodnota, stejně jako u dvoucestných regulačních ventilů. Tato hodnota je většinou shodná pro přímou i boční větev armatury a výpočet je shodný jako výše zmíněný postup. V praxi se tyto ventily dimenzují tak, aby $P_V > 0,5$. Jestliže jsou zapojeny dvě tyto trojcestné armatury, které by se mohly vzájemně ovlivňovat dimenzují se tak, aby $P_V > 0,7$. [3]

V této práci budou využity trojcestné směšovací regulační ventily pro potřeby kvalitativní regulace.



4.4. Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla slouží k pokrytí tlakové ztráty tak, aby byl zajištěn dostatečný průtok otopné vody. Průtok a také tlaková ztráta potrubní sítě se v průběhu otopného období mění. Tuto závislost udává charakteristika potrubní sítě, která je obecně dána vztahem (3.21) [3]:

$$\Delta p = C * V^n, \quad (3.21)$$

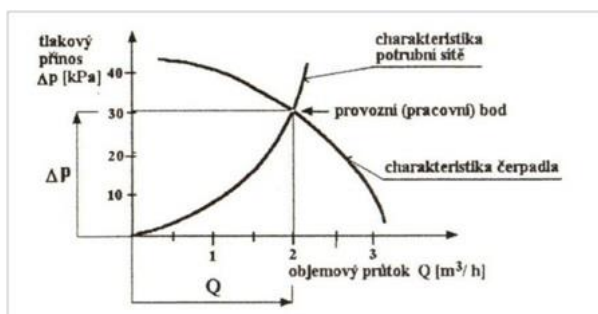
kde Δp [Pa]	tlaková ztráta potrubní sítě;
V [$m^3 \cdot h^{-1}$]	objemový průtok potrubní sítě;
C [–]	konstanta potrubní sítě (měrný hydraulický odpor);
n [–]	exponent (pro technickou praxi se využívá $n = 2$);

Charakteristika čerpadla je závislost dopravního tlaku (resp. dopravní výšky) čerpadla na průtoku. Tuto charakteristiku vždy poskytuje výrobce. Dále je uveden vztah pro přepočítání dopravního tlaku na dopravní výšku.

$$H_{\check{c}} = \frac{\Delta p_{\check{c}}}{\rho * g}, \quad (3.22)$$

kde $H_{\check{c}}$ [m]	dopravní výška čerpadla;
g [$m^2 \cdot s^{-1}$]	gravitační zrychlení;

Charakteristika potrubní sítě a charakteristika čerpadla pracuje s parametry v pracovním bodě, což je průsečík těchto charakteristik. Tento pracovní bod by měl zajistit dostatečně velký průtok při pokrytí požadované tlakové ztráty. Předimenzování čerpadla vede k nutnosti využití škrtecích či přepouštěcích ventilů, kde se energie promarní. Proto pro správný návrh je nutný pečlivý výpočet otopné soustavy a její hydraulické vyvážení. [3]



Obr. 14. Charakteristika čerpadla a potrubní sítě [15]



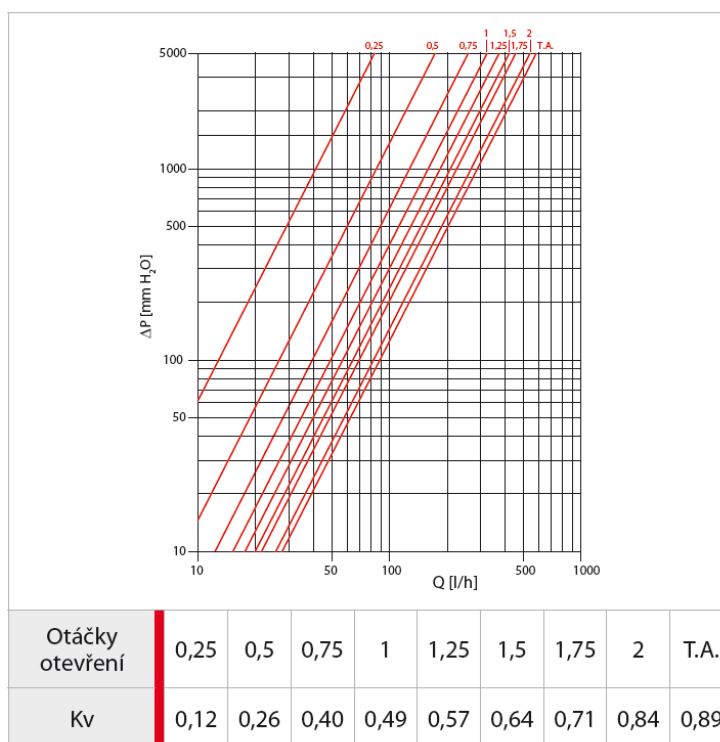
Pro potřeby této práce jsou navržena čerpadla s regulací na konstantní dopravní tlak ($\Delta p - c$), která jsou regulována podle tlakové difference tak, aby dopravní tlak čerpadla zůstal konstantní.

4.5. Návrh dvoucestných regulačních a vyvažovacích armatur

U vyvažování soustavy jsou k dispozici dvě větve vedoucí k patrovým rozdělovačům a dvě větve pro desková a trubková otopná tělesa.

4.5.1. Podlahové vytápění

Výpočet tlakových ztrát a nastavení jednotlivých podlahových okruhů byl proveden ve výpočtovém softwaru TechCON, který pracuje s výše uvedenými postupy pro výpočet tlakových ztrát. Jako patrový rozdělovač a sběrač pro podlahové smyčky jsou použity dva směšovací rozdělovače s průtokoměry Giacomini R557F. Tento rozdělovač již obsahuje vlastní termostatické ventily a regulační šroubení. Škrcení jednotlivých větví se pak provádí na regulačních šroubeních. Diagram hydraulických vlastností s odpovídajícími k_V hodnotami je uveden na obr. 15.



Obr. 15. Diagram hydraulických vlastností Giacomini R557F [24]



V prvním patře je použit tento směšovací rozdělovač R-A s osmi vývody pro 8 podlahových okruhů. Ve druhém patře je směšovací rozdělovač R-B se čtyřmi vývody pro 4 podlahové okruhy. V tab. 14. jsou uvedeny celkové vypočtené tlakové ztráty jednotlivých okruhů a nastavení ventilů regulačních šroubení pro hydraulické vyvážení.

Požadovaná tlaková ztráta regulačního ventilu se určí dle následující rovnice:

$$\Delta p_d = \Delta p_z + \Delta p_{\xi}, \quad (3.23)$$

kde Δp_{ξ} [Pa] tlaková ztráta škrčením na regulačním šroubením;
 Δp_z [Pa] tlaková ztráta třením, místními odpory a tlaková ztráta rozdělovače při plném otevření;
 Δp_d [Pa] celková tlaková ztráta hlavní větve, na kterou je potřeba doškrtit jednotlivé okruhy;

R-A: $\Delta P_d = 12,22$ kPa												
Číslo okruhu	Místnost	t_i [°C]	S_p [m ²]	l [mm]	l -celk [m]	Δt [K]	M [kg/h]	ΔP_z [Pa]	ΔP_{ξ} [Pa]	kv [m ³ /h]	Nast. RRŠ	ΔP_{dif} [Pa]
1	1.02 - Pracovna	20	17	300	62	8,1	98,6	7285	4936	0,4	0,75	163
2	1.05 - Předsiň	15	12,4	300	53,2	7,6	102,5	6884	5334	0,4	0,75	166
3	1.01 - Obývací pokoj	20	22,4	250	91,7	10	109,3	12224	0	0,89	2,25*	160
4	1.06 - Ložnice	20	7,5	100	89,3	8,3	73,3	4998	7384	0,26	0,5	2
5	1.06 - Ložnice	20	7,9	100	97,3	9,2	71,9	5099	7119	0,26	0,5	166
6	1.07 - Koupelna	24	4,6	150	39	4,9	80,3	3331	8885	0,26	0,5	168
7	1.09 - Kuchyně	20	8,2	100	92,8	8,7	72,4	5000	7218	0,26	0,5	165
8	1.09 - Kuchyně	20	8,7	150	63,4	7,6	76,5	4222	8050	0,26	0,5	111

R-B: $\Delta P_{disp} = 15,44$ kPa												
Číslo okruhu	Místnost	t_i [°C]	S_p [m ²]	L [mm]	l -celk [m]	Δt [K]	M [kg/h]	ΔP_z [Pa]	ΔP_{ξ} [Pa]	kv [m ³ /h]	ΔP_{dif} [Pa]	ΔP_{dif} [Pa]
1	2.04 - Koupelna	24	4,3	100	58,4	7	126	5329	10112	0,26	0,5	9
2	2.02 - Pokoj pro hosty	20	17	200	100,9	9,9	90	12236	3206	0,49	1	8
3	2.01 - Dětský pokoj	20	22,4	250	102,5	10	120	15443	0	0,89	2,25*	8
4	2.05 - Dětský pokoj	20	22,2	250	93,6	9,9	126	12049	3398	0,49	1	3

Legenda

t_i	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota
S_p	[m ²]	Plocha podlahového otopného okruhu
l	[mm]	Rozteč potrubí
l -celk	[m]	Celková délka potrubí
Δt	[K]	Teplotní spád
M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
ΔP_z	[Pa]	Celková tlaková ztráta okruhu
ΔP_{ξ}	[Pa]	Celková tlaková ztráta škrčením okruhu
kv	[m ³ /h]	Jmenovitý průtok
ΔP_{dif}	[Pa]	Zbytková nedoškrčená tlaková ztráta

Tab. 14. Tlakové ztráty a nastavení ventilů podlahových smyček



Další výpočty tlakových ztrát a vyvážení soustavy jsou provedeny ve výpočtovém softwaru PROTECH DIMOS, do kterého jsou dosazeny vypočtené hodnoty z tab. 14., konkrétně tlaková ztráta na patrových rozdělovačích R-A: $\Delta p_{RA} = 12,22 \text{ kPa}$, R-B: $\Delta p_{RB} = 15,44 \text{ kPa}$.

Vyvážení těchto větví vůči sobě je provedeno vyvažovacími ventily. Pro zajištění správné funkce ventilu musí být nastavení zdvihu v rozmezí 50 až 100 %. Dále by měla být tlaková ztráta plně otevřeného ventilu větší než 3 kPa. Pro tyto účely byly zvoleny vyvažovací ventily od firmy Maibes BALLOREX Venturi. Skutečný

Na vyvažovacích ventilech je také mařen přebytek dopravního tlaku navrženého čerpadla, které je popsáno v následující části této kapitoly. Požadovaná tlaková ztráta, na kterou je potřeba doškrtnit jednotlivé větve je $\Delta p_d = 35,23 \text{ kPa}$. Následující tabulka zobrazuje výsledky návrhu těchto vyvažovacích ventilů.

$\Delta P_d = 35,23 \text{ kPa}$										
Označení	Popis	M [kg/h]	ΔP_{Ps} [Pa]	ΔP_R [Pa]	ΔP_z [Pa]	DN	kvs [m ³ /h]	Zdvih [%]	Nastavení VV.	ΔP_{Vv} [Pa]
01	Větev pro rozdělovač R-A	683	1393	12224	13617	15	1,618	88	8,8	21611
02	Větev pro rozdělovač R-B	417	2517	15443	17960	15	1,618	63	6,3	17298

Legenda

M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
ΔP_{Ps}	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě k rozdělovači
ΔP_R	[Pa]	Tlaková ztráta na rozdělovači
ΔP_z	[Pa]	Celková tlaková ztráta větve
DN	[-]	Dimenze ventilu
kvs	[m ³ /h]	Jmenovitý průtok
ΔP_{Vv}	[Pa]	Tlaková ztráta vyvažovacího ventilu

Tab. 15. Tlakové ztráty navržených vyvažovacích ventilů

4.5.2. Otopná tělesa

Vyvážení větví pro trubková a desková otopná tělesa bude provedeno na požadovanou tlakovou ztrátu $\Delta p_d = 8,53 \text{ kPa}$. Požadované tlakové ztráty na regulačních armaturách se určí z následujícího vztahu:

$$\Delta p_d = \Delta p_z + \Delta p_{R\check{s}} + \Delta p_{TRV}, \quad (3.24)$$

kde $\Delta p_{R\check{s}}$ [Pa] tlaková ztráta na regulačním šroubení;
 Δp_{TRV} [Pa] tlaková ztráta na termostatickém ventilu;



Záměrně byla zvolena vyšší požadovaná tlaková ztráta, podle které se budou doškrcovat jednotlivé paralelní okruhy s tělesy. Tímto se vyhneme nutnosti použít vyvažovací ventil, který by sloužil pro maření přebytkového dopravního tlaku navrženého čerpadla. Vyvažovací ventil je pro tento okruh nemalou investicí, a takto bude investice snížena.

Desková otopná tělesa mají integrovaný regulační ventil a dále je využito H-regulační šroubení. U deskových otopných těles probíhá škrcení na regulačním šroubení a následné doškrcení na integrovaném termostatickém ventilu vzhledem k nízkým tlakovým ztrátám. Níže jsou uvedeny použité armatury pro tato tělesa:

- TRV desková tělesa – Integrovaný ventil KORADO 2015 (DN15)
- RŠ desková tělesa – H-regulační šroubení IVAR.DS 344 (DN15)

U trubkových koupelňových těles také vychází nízká tlaková ztráta vzhledem k nízkým průtokům a je potřeba doškrtit jak na regulačním šroubení, tak na termostatických ventilech. Níže jsou uvedeny použité armatury pro tato tělesa:

- TRV trubková tělesa – Termostatický ventil COMAP D3933-B (DN15)
- RŠ trubková tělesa – Regulační šroubení IVAR.OPTIMA DV 030 (DN15)

Přednastavení ventilů bylo navrženo tak, aby vycházela nízká tlaková odchylka od požadovaného nastavení. Tab. 16. zobrazuje vypočtené tlakové ztráty a nastavení ventilů.

Okruhy těles: $\Delta P_d = 8,53 \text{ kPa}$												
Těleso	Místnost	ti [°C]	Δt [K]	M [kg/h]	ΔP_z [Pa]	$\Delta P_{R\dot{S}}$ [Pa]	kv [m ³ /h]	Nast. RRŠ	ΔP_{TRV} [Pa]	kv [m ³ /h]	Nast. TRV	ΔP_{dif} [Pa]
002-01	0.02 - Chodba	15	10	52,2	3416	2478	0,302	1,75	2362	0,31	3	275
003-01	0.03 - Sklad	15	10	38,2	3661	3095	0,198	1,5	1672	0,27	2,5	103
004-01	0.04 - Dílna	18	10	38,5	4103	3141	0,198	1,5	1287	0,31	3	0
005-01	0.05 - Garáž	15	10	55,5	4280	2803	0,302	1,75	1163	0,47	5	285
107-01	1.07 - Koupelna	24	10	17,7	1403	3876	0,09	1	2860	0,105	2	392
204-01	2.04 - Koupelna	24	10	24,9	1454	693	0,3	3	5685	0,105	2	699

Legenda

ti	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota
Δt	[K]	Teplotní spád
M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
ΔP_z	[Pa]	Celková tlaková ztráta okruhu třením, místními odpory a otopným tělesem
kv	[m ³ /h]	Jmenovitý průtok
$\Delta P_{R\dot{S}}$	[Pa]	Celková tlaková ztráta na regulačním šroubení
ΔP_{TRV}	[Pa]	Celková tlaková ztráta termostatickém ventilu
ΔP_{dif}	[Pa]	Zbytková nedoškrčená tlaková ztráta

Tab. 16. Tlakové ztráty a nastavení ventilů úseků otopných těles

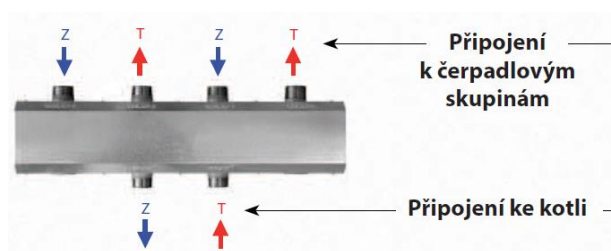


4.6. Návrh trojcestných směšovacích ventilů a oběhových čerpadel

Situace sestává z přívodu hlavní napájecí větve z akumulární nádrže do rozdělovače a od sběrače zpět. Z rozdělovače vedou dva otopné okruhy, jeden pro větve otopných těles a druhý pro dvě větve k patrovým rozdělovačům pro podlahové vytápění. Oba otopné okruhy jsou samostatně regulovány trojcestnými směšovacími ventily, osazeny uzavíracími ventily a filtry. Okruhy jsou osazeny oběhovými čerpadly. Každé čerpadlo kryje tlakovou ztrátu vlastního okruhu a tlakovou ztrátu přívodu z akumulární nádrže.

4.6.1. Rozdělovač

Pro rozdělení hlavního přívodu otopné vody z akumulární nádrže je využit rozdělovač/sběrač HV 60/125 pro dva otopné okruhy od firmy Giacomini.



Obr. 16. Rozdělovač/sběrač HV 60/125-02 [30]

4.6.2. Okruh pro podlahové vytápění

Návrh trojcestného směšovacího ventilu proběhl v souladu s navrhováním trojcestných armatur. Doporučení pro návrh s dvěma okruhy, které se mohou ovlivňovat je velikost autority ventilu $P_V > 0,7$. Určení dimenze zásadně ovlivní tlakovou ztrátu ventilu. Většinou se tyto ventily volí o dimenzi nižší, než je dimenze potrubí. Pro tento otopný okruh byl vybrán 3-C směšovací regulační ventil od firmy HERZ typ 4037. Okruh je osazen ještě dalšími armaturami, které se započítají do celkové tlakové ztráty. Jedná se o uzavírací a vypouštěcí armatury a také filtr. Výsledky návrhu trojcestného ventilu jsou znázorněny v následující tabulce.



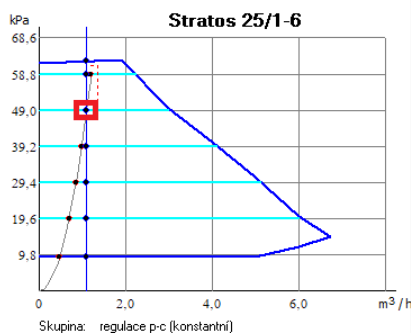
ΔP _{disp} = 48,97 kPa										
Označení	Popis	M [kg/h]	ΔP _{PS} [Pa]	ΔP _{PS,R} [Pa]	ΔP _{PS,A} [Pa]	ΔP _Z [Pa]	DN	kvs [m ³ /h]	P _V [-]	ΔP _{3C} [Pa]
ÚT1	Otopný okruh- Podl.	1100,5	3688	35230	2403	41321	15	4	0,86	7647

Legenda

M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
ΔP _{PS}	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě do rozdělení na dvě větve (včetně ostatních armatur)
ΔP _{PS,R}	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě větví patrových rozdělovačů (včetně vyvažovacích ventilů)
ΔP _{PS,A}	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě přívodu zásobník-rozdělovač (včetně ostatních armatur)
ΔP _Z	[Pa]	Celková tlaková ztráta okruhu
DN	[-]	Dimenze ventilu
kvs	[m ³ /h]	Jmenovitý průtok
P _V	[-]	Autorita ventilu
ΔP _{3C}	[Pa]	Tlaková ztráta trojcestného ventilu

Tab. 17. Návrh 3-C směšovacího ventilu HERZ 4037

Pro otopný okruh podlahového vytápění bylo zvoleno oběhové čerpadlo od firmy WILO typ Stratos 25/1-6. Pracovní bod byl určen při průtoku $V = 1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravním tlaku čerpadla $\Delta p_{\xi} = 49 \text{ kPa}$. Tento dopravní tlak je navržen pro pokrytí tlakové ztráty $\Delta p_{disp} = 48,97 \text{ kPa}$. Víše zmíněné vyvažovací ventily pro větve tohoto okruhu jsou navrženy tak, aby přebytekový tlak čerpadla byl nulový.



Obr. 17. Pracovní bod oběhového čerpadla Stratos 25/1-6

4.6.3. Topný okruh pro otopná tělesa

Pro návrh trojcestného směšovacího se zde také doporučuje hodnota autority ventilu $P_V > 0,7$. Při volbě tohoto ventilu bylo paralelně voleno oběhové čerpadlo a přednastavení regulačních armatur v takové kombinaci, aby vycházel co nejnižší přebytekový dopravní tlak oběhového čerpadla. Tímto jsme se vyhnuli dalšímu použití vyvažovacího ventilu, které by bylo značnou finanční investicí. Pro tyto potřeby byl zvolen trojcestný směšovací ventil od firmy Siemens typ VXP 45. Okruh je také vybaven uzavíracími armaturami,



vypouštěcími armaturami a filtrem, které jsou započteny do celkové tlakové ztráty. Výsledky návrhu trojcestného ventilu jsou znázorněny v následující tabulce.

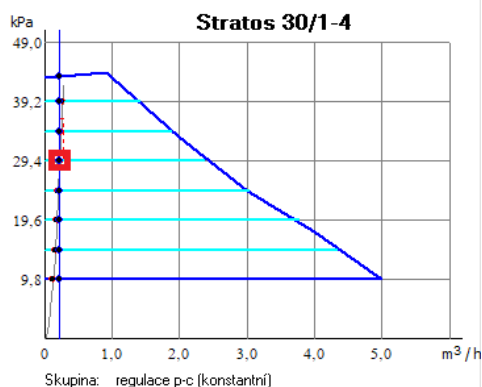
$\Delta P_{disp} = 29,3 \text{ kPa}$									
Označení	Popis	M [kg/h]	ΔP_{PS} [Pa]	$\Delta P_{PS,A}$ [Pa]	ΔP_z [Pa]	DN	kvs [m ³ /h]	Pv [-]	ΔP_{3C} [Pa]
ÚT2	Otopný okruh- OT	210	8995	9072	18067	10	0,63	0,72	11238

Legenda

M	[kg/h]	Požadovaný hmotnostní průtok
ΔP_{PS}	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě (včetně ostatních armatur)
$\Delta P_{PS,A}$	[Pa]	Tlaková ztráta potrubní sítě zásobník-rozdělovač (včetně ostatních armatur)
ΔP_z	[Pa]	Celková tlaková ztráta okruhu
DN	[-]	Dimenze ventilu
kvs	[m ³ /h]	Jmenovitý průtok
Pv	[-]	Autorita ventilu
ΔP_{3C}	[Pa]	Tlaková ztráta trojcestného ventilu

Tab. 18. Návrh 3-C směšovacího ventilu Siemens VXP 45

Pro otopný okruh podlahového vytápění bylo zvoleno oběhové čerpadlo od firmy WILO typ Stratos 30/1-4. Pracovní bod byl určen při průtoku $V = 0,21 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravním tlaku čerpadla $\Delta p_{\xi} = 29,4 \text{ kPa}$. Tento dopravní tlak je navržen pro pokrytí tlakové ztráty $\Delta p_{disp} = 29,3 \text{ kPa}$. Přebytek dopravního tlaku je zde zanedbatelný.



Obr. 18. Pracovní bod oběhového čerpadla Stratos 30/1-4

4.6.4. Ostatní armatury

Kromě regulačních ventilů, vyvažovacích ventilů a regulačních šroubení, jsou použity dále kulové kohouty od firmy IVAR typ PERFECTA FIV.8373R, zpětné klapky od firmy IVAR typ CIM 30 VA a filtry od firmy Honeywell typ FY32C.



Tyto armatury jsou také použity v úseku připojení tepelného čerpadla k akumulční nádrži a připojení expanzní nádoby. Umístění jednotlivých armatur a jejich dimenze jsou zřejmé z výkresové dokumentace. Tlakové ztráty těchto armatur byly započítány již výše.

Kulové kohouty od firmy IVAR:

- 5x – IVAR – PERFECTA FIV.8373R (DN15)
- 12x – IVAR – PERFECTA FIV.8373R (DN25)
- 2x – IVAR – PERFECTA FIV.8373R (DN35)

Vypouštěcí Kulové kohouty od firmy Giacomini:

- 5x – Giacomini – R248F (DN15)

Zpětné klapky od firmy IVAR:

- 1x – IVAR – CIM 30 VA (DN15)
- 1x – IVAR – CIM 30 VA (DN25)

Filtry od firmy Honeywell:

- 1x – Honeywell – FY32C (DN15)
- 2x – Honeywell – FY32C (DN25)

Servisní ventil expanzní nádoby od firmy Regulus:

- 1x – Regulus – 1“ M/F (DN25)



5. Zdroj tepla

5.1. Volba zdroje tepla

Pro systémy vytápění rodinného domu se nabízí více variant pro zdroj tepla. Nejvhodnější systém je vlastní zdroj tepla. Uživatel není závislý na externí dodávce tepla (například centrální zásobování teplem) a veškerou přípravu tepla si řídí sám. Poté je třeba se zaměřit na vhodný energonositel, který je pro danou stavbu dostupný. Tedy pokud je k dispozici plynová přípojka, nebo možnost využití elektřiny. V neposlední řadě je vhodné využít obnovitelné zdroje, které čerpají obnovitelnou energii z okolí (slunce, voda, biomasa).

Jako zdroj tepla pro vytápění bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch/voda. Pro rodinný dům dle přání investora bude projektován teplovodní nízkoteplotní systém s podlahovým vytápěním. Investice do tepelného čerpadla bude vyšší, ale je vhodná pro nízkoenergetický dům s nízkoteplotním systémem. Doba návratnosti pak může být dostatečně nižší než životnost zařízení. Zároveň se jedná o moderní inovativní řešení, které je luxusní variantou podle přání investora. Typ tepelného čerpadla je volen na sekundární straně jako voda, protože se jedná o teplovodní systém. Na primární straně je volen vzduch, jakožto nejkompaktnější varianta. Není zde k dispozici vhodný zdroj vody nebo plocha zeminy využitelná pro plošné kolektory. Zároveň investice nebude tak vysoká, jako například investice do zemních vrtů u čerpadla země-voda.

5.2. Tepelné čerpadlo

V dnešní době je v moderních instalacích stále více využíváno obnovitelných zdrojů z důvodu snížení energetické náročnosti budovy. Jsou vhodné především z ekonomických důvodů, tedy očekávané návratnosti investice do obnovitelného zdroje. Dále šetří fosilní paliva na zemi. Přepokládá se, že produkované zplodiny mají negativní vliv na atmosféru vzhledem ke skleníkovému efektu a narušování ozonové vrstvy. Z těchto důvodů se v posledních letech stále více uplatňují obnovitelné zdroje energie. Z hlediska vytápění jsou právě tepelná čerpadla jednou z nejkologičtějších variant. Z dlouhodobého hlediska se přepokládá růst cen paliv i elektrické energie vzhledem k omezenosti zásob na zemi. Jestliže neuvažujeme ekologickou náročnost na výrobu, je tepelné čerpadlo ekologicky výrazně vhodnější než jiné standartní zdroje tepla. Při provozu dokáže až 2/3 tepelné energie získat z obnovitelného zdroje. Tepelné čerpadlo tedy šetří energii, jako jsou



elektrina nebo plyn. Tyto úspory se projeví na ekologii a na ročních nákladech na vytápění. Bohužel nevýhodou je stále vysoká pořizovací cena, která při životnosti komponentů tepelného čerpadla může být mnohdy nevýhodná. Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální energii ze svého okolí a k provozu je nutné dodávat určité množství elektrické energie. V dnešní době již převládla kompresorová tepelná čerpadla napájená z elektrické sítě. [18]

5.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Kompresorová tepelná čerpadla se dělí podle toho, jak je tepelná energie získávána a jak předávána. Tedy podle zdroje primárního okruhu a teplotnosné látky v sekundárním okruhu. Volba primárního zdroje má zásadní vliv na konstrukci a vlastnosti tepelného čerpadla. V názvu druhu tepelného čerpadla první slovo představuje zdroj tepla a druhé představuje teplotnosnou látku v sekundárním okruhu. Nejčastěji pracují sekundární okruhy s vodou. Další sekundární okruhy mohou pracovat se vzduchem, který je méně častý, ale také se uplatní pro účely vytápění, především u klimatizačních jednotek.

V této práci bude využito čerpadlo Vzduch/voda, kde je odebíráno teplo z okolního venkovního vzduchu. Tento typ je velmi závislý na okamžitých venkovních klimatických podmínkách. Účinnost zařízení se během roku výrazně mění například v zimním období, kdy je potřeba tepla nejvyšší, je účinnost zařízení nejnižší. Toto uspořádání je výhodné z hlediska dostupnosti, jelikož čerpat teplo ze vzduchu lze ze spousty míst. Také se sníží náklady na montáž, které někdy mohou být stejně velké jako čerpadlo samo (například typ země-voda). Dále je nutné počítat s vyšší hlučností zařízení, tedy možností uložit venkovní jednotku na místo, kde nebude vyšší hlučnost na obtíž.

5.2.2. Topný faktor

U tepelného čerpadla je nejdůležitější veličinou topný faktor, který je vyjádřen následující rovnicí (4.1):

$$COP = \frac{Q_k}{P_{ie}}, \quad (4.1)$$

kde COP [–]

Q_k [W]

P_{el} [W]

topný faktor;

dodaná energie otopné soustavě za jednotku času;

elektrický příkon tepelného čerpadla;



Orientačně lze vypočítat topný faktor dle rovnice (2.2), která vychází z Carnotova oběhu.

$$COP = \eta_t * \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \quad (4.2)$$

kde T_1 [K] teplota ve výparníku;
 T_2 [K] teplota v kondenzátoru;
 η_t [-] účinnost termodynamického cyklu tepelného čerpadla
(přibližně 0,4 - 0,6);

Topný faktor dle Carnotova cyklu je skutečně pouze orientační výsledek. Pro přesnější hodnoty je využíván Rankinův oběh. Výpočet topného faktoru dle Rankinova oběhu vyjadřuje rovnice (4.3) [19].

$$COP = \frac{Q_k}{P_{ie}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1}, \quad (4.3)$$

kde h_1 [kJ.kg⁻¹] entalpie chladiva na sání kompresoru;
 h_2 [kJ.kg⁻¹] entalpie chladiva na výtlačku kompresoru;
 h_4 [kJ.kg⁻¹] entalpie chladiva po kondenzaci v kondenzátoru;

Pro výpočty roční potřeby tepla například deňostupňovou metodou se využívá sezónní topný faktor *SCOP*, který výrobce uvádí v technickém listu tepelného čerpadla. Pomocí tohoto topného faktoru lze zohlednit proměnný topný faktor během topného období.

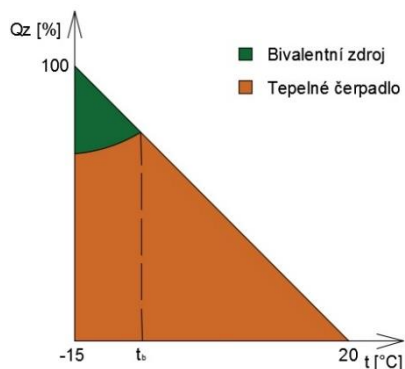
5.2.3. Dimenzování tepelného čerpadla

Při dimenzování tepelného čerpadla je potřeba brát v úvahu roční změny klimatických podmínek, které u tepelného čerpadla typu vzduch/voda výrazně ovlivňují tepelný výkon a topný faktor. S klesající venkovní teplotou se zpravidla tepelný výkon snižuje. Proto při dimenzování na tepelnou ztrátu v kritických podmínkách by bylo tepelné čerpadlo předdimenzované v přechodném období a častěji by spínalo, což vede k nižší životnosti. Extrémní podmínky nastávají přibližně v 1 % otopných dní. Tedy vhodné je tepelné čerpadlo dimenzovat tak, aby bylo pokryto dostatečné procento ročního tepla na vytápění a zároveň pracovalo na plný výkon i v přechodném období. V praxi se tepelné čerpadlo dimenzuje přibližně na 70 % tepelné ztráty, při kterých je pokryto až 95 % roční potřeby tepla na vytápění, zbytek potřeby tepla musí pokrýt dodatečný – bivalentní zdroj tepla. [19]



Paralelně-bivalentní provoz

V této práci bude využit tzv. paralelně bivalentní provoz. V tomto režimu se tepelné čerpadlo doplňuje bivalentním zdrojem. Tedy může být využit maximální výkon během větší části otopného období. A pro nízké venkovní teploty čerpadlu vypomáhá bivalentní zdroj pro pokrytí potřeby tepla.



Obr. 19. Paralelně-bivalentní provoz [18]

V souvislosti s tím se definuje Bod bivalence t_b , což je venkovní teplota, u které je maximální výkon tepelného čerpadla roven tepelné ztrátě objektu. Jedná se o teplotu, od které začíná s tepelným čerpadlem paralelně pracovat bivalentní zdroj pro pokrytí potřeby tepla

5.3. Návrh tepelného čerpadla

Hledané tepelné čerpadlo bude dimenzováno přibližně na 60-70 % tepelné ztráty. Tepelná ztráta objektu při venkovní výpočtové teplotě -15 °C činí 11 kW. Otopná soustava má dva okruhy, ty jsou dimenzovány při jmenovitých podmínkách pro teplotu přívodní vody 45 °C . Tepelné čerpadlo tedy musí být schopno dodat tepelný výkon přibližně mezi 7-7,7 kW pro výstupní teplotu otopné vody 45 °C . [20]

5.3.1. Tepelné čerpadlo

Pro tyto požadavky bylo zvoleno tepelné čerpadlo EcoAir 415 od firmy Regulus. Další příslušenství bylo zvoleno také od firmy Regulus. Toto tepelné čerpadlo bude doplněno akumulací nádrží s elektrickými topnými tyčemi pro bivalentní ohřev otopné vody v akumulacím zásobníku.

Z následující tabulky technického listu, byla převzata data pro zpracování průběhu výkonu v závislosti na venkovní teplotě při dané teplotě přívodní vody.

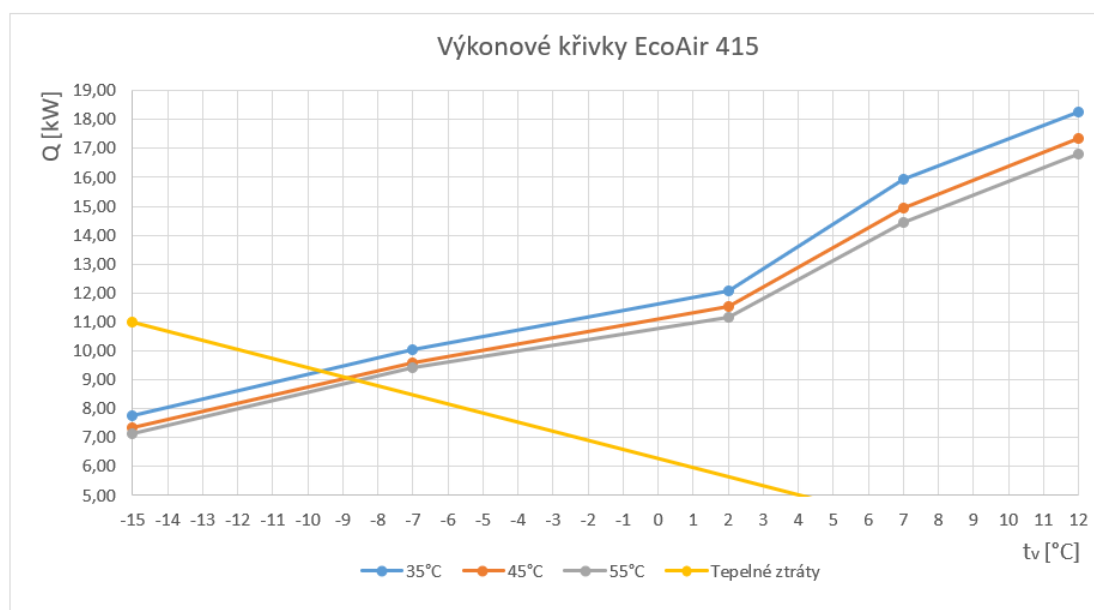


Výkonové parametry ³⁾				
Teplota vzduchu	Výstupní teplota	Výkon [kW]	Příkon [kW]	Topný faktor [-]
12 °C	35 °C	18,26	3,55	5,15
	45 °C	17,34	4,14	4,19
	55 °C	16,81	4,76	3,53
	65 °C	16,08	5,53	2,91
7 °C	35 °C	15,92	3,52	4,52
	45 °C	14,92	4,09	3,65
	55 °C	14,46	4,66	3,11
	65 °C	13,90	5,34	2,58
2 °C	35 °C	12,08	3,39	3,57
	45 °C	11,53	3,92	2,94
	55 °C	11,17	4,41	2,54
	65 °C	10,66	5,00	2,11
-7 °C	35 °C	10,03	3,30	3,03
	45 °C	9,58	3,75	2,56
	55 °C	9,40	4,24	2,22
-15 °C	35 °C	7,77	3,10	2,50
	45 °C	7,36	3,56	2,07
	55 °C	7,15	4,02	1,78

3) Hodnoty provozních parametrů jsou měřeny dle ČSN EN 14 511 včetně odmrazovacího cyklu na zkušební výrobce.

Tab. 19. Výkonové parametry EcoAir 415 [30]

Průběh výkonových křivek je dále zobrazen na obr. 20. Do průběhu byl také znázorněn průběh tepelných ztrát v závislosti na venkovní teplotě pro určení teploty bivalence. Teplota bivalence je průsečík křivky pro přívodní teplotu 45 °C a pro křivku tepelných ztrát což odpovídá přibližně -8,8 °C. Pro nižší teploty již čerpadlo nestačí dodávat potřebný výkon do akumulacní nádrže a je potřeba využít elektrických topných tyčí zasazených do akumulacní nádrže jako bivalentní zdroj pro ohřev.



Obr. 20. Výkonové křivky tepelného čerpadla EcoAir 415



Při teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ má tepelné čerpadlo výkon $7,36\text{ kW}$ pro $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ teplotu otopné vody. Bivalentní zdroj bude muset dodat zbývající výkon $3,65\text{ kW}$. Jako bivalentní zdroj bude instalována topná tyč o výkonu $4,5\text{ kW}$, dále bude instalována druhá topná tyč o výkonu $7,5\text{ kW}$, která bude pracovat pouze v případě poruchy a odstavení tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo bude doplněno akumulací s izolací, kde budou napojeny dvě topné tyče, vývod pro expanzní nádobu a také vývod pro pojistný ventil. Dále povede z akumulace potrubí do rozdělovače a sběrače, kde budou napojeny dva otopné okruhy. Sestava je určena pro vytápění tepelným čerpadlem bez přípravy teplé vody. V budoucnu lze toto zapojení využít i pro přípravu teplé vody připojením vhodného zásobníku pro teplou vodu a přepínacího trojcestného ventilu. Příprava teplé vody není součástí této práce. Prozatím bude příprava teplé vody řešena stávajícím elektrickým ohříváčem. [30]

5.3.2. Akumulační nádrž

Akumulační nádrž pro spolupráci s tepelným čerpadlem přináší celou řadu výhod. Systém je hydraulicky oddělen od otopného systému, čímž je zaručen potřebný průtok na straně kondenzátoru. Umožňuje méně časté spínání kompresoru. Časté spínání přímo ovlivňuje životnost kompresoru, což je nejdražší součást tepelného čerpadla a z hlediska životnosti odchází jako první. Kompresor tedy sepne pouze při potřebě nabýt akumulaci. Zařazením akumulace se výrazně zvýší objem otopné vody v soustavě a tím

se zpomalí dynamické změny v soustavě, což je vhodné právě pro počet sepnutí kompresoru nebo pro odtávání výparníku u venkovní jednotky tepelného čerpadla. [20]



Pro potřeby této práce byla zvolena akumulace od firmy Regulus PS 200 N+ o objemu 181 l , která může být součástí setu od Regulus EA 415 PS s naší zvolenou tepelnou čerpadlem EcoAir 415.

Obr. 21. EA 415 PS [30]



Minimální objem zásobníku pro dodržení četnosti spínání se vypočte dle (4.4).

$$V_{aku} = \frac{Q_{T\check{c}} * \Delta\tau}{\rho * c_w * \Delta t}, \quad (4.4)$$

Kde V_{aku} [l]	objem akumulčního zásobníku;
$Q_{T\check{c}}$ [kW]	tepelný výkon tepelného čerpadla;
c_w [kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita vody;
ρ [kg.m ⁻³]	hustota vody;
$\Delta\tau$ [s]	minimální doba chodu tepelného čerpadla;
Δt [K]	zvýšení teploty vody v akumulátoru nad požadovanou teplotu;

Minimální dobu chodu tepelného čerpadla bude $\Delta\tau = 10 \text{ min}$. Navýšení teploty bude $\Delta t = 6 \text{ K}$. Výkon při venkovní teplotě 15 °C a teplotě výstupní otopné vody 45 °C je pro tepelné čerpadlo 7,36 kW. Minimální objem zásobníku je pak:

$$V_{aku} = \frac{7,36 * 600}{1000 * 4,187 * 6} = 0,176 \text{ m}^3 = 176 \text{ l}$$

Objem zvolené akumulční nádrže PS 200 N+ je 181 l, což je více než vypočtená teoretická hodnota minimálního objemu. Dále je nutno uvažovat výrazné množství otopné vody v systému podlahového vytápění, které se vyznačuje značnou setrvačností při vytápění. Z obou hledisek je velikost vybrané akumulční nádoby dostatečná.

5.3.3. Umístění TČ a připojení akumulční nádrže

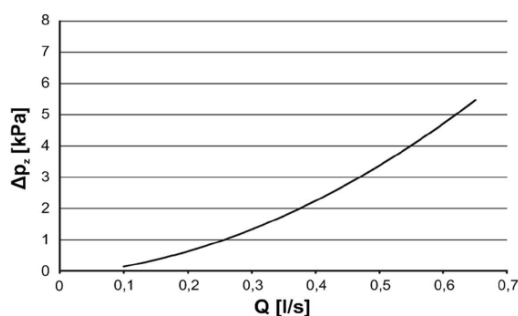
Tepelné čerpadlo se skládá pouze z venkovní jednotky, která obsahuje všechny komponenty tepelného čerpadla včetně kondenzátoru. Tepelné čerpadlo se umísťuje k venkovní stěně. Mezi tepelným čerpadlem a stěnou by mělo být minimálně 400 mm. Pokud by bylo umístěno v rohu musí být od boční stěny min 250 mm vzdálené. Okolo čerpadla by měl být volný prostor bez keřů apod. ve vzdálenosti alespoň 2 m. Čerpadlo musí být postaveno na vybetonovaném podkladu a zajištěn odvod kondenzátu. [30]

K tepelnému čerpadlu se připojují měděné trubky o minimálním průměru 28x2 mm. Trubky musí být vedeny tak, aby vedení nemělo nejvyšší bod. Pokud toho nelze dosáhnout, namontuje se do nejvyššího místa odvzdušňovací ventil. Připojení se provede opletenou difúzně těsnou hadicí na horkou vodu o průměru DN 25.



Doporučená délka hadice je 1000 mm, aby se zabránilo přenosu hluku od tepelného čerpadla. Trubky je potřeba opatřit tepelnou izolací v minimální tloušťce 19 mm. Vnitřní trubky by měly být izolované až k nádobě v minimální tloušťce 13 mm. Odvzdušňovací ventil je součástí vnitřní jednotky na výstupu z kondenzátoru. [30]

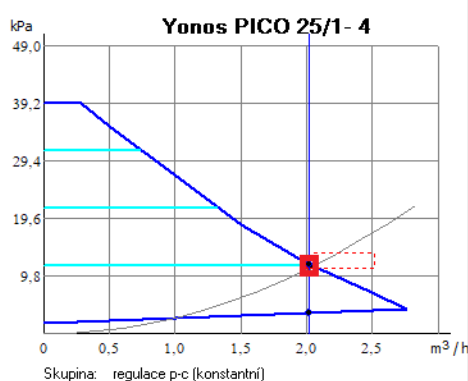
Oběhové čerpadlo se dimenzuje tak, aby byl zaručen správný průtok tepelným čerpadlem. Požadovaný průtok tepelným čerpadlem pro dimenzování oběhového čerpadla je 2000 l/h. Tlaková ztráta na kondenzátoru je dána grafem dodaným výrobcem na obr. 22.



V úseku tepelné čerpadlo-akumulační nádrž jsou umístěny uzavírací armatury a filtr. Potrubí je přímé o délce 1 m. Při požadovaném průtoku všechny tyto prvky vykazují tlakovou ztrátu dle předchozí kapitoly.

Obr. 22. Graf tlakové ztráty kondenzátoru EcoAir 415 [30]

Tlaková ztráta kondenzátoru při průtoku 2000 l/h vychází přibližně 4 kPa. Dále tlaková ztráta třením a místními odpory potrubní sítě 2 kPa a tlaková ztráta armatur celkem činí 5,2 kPa. Tlaková ztráta pro návrh oběhového čerpadla na tento připojovací úsek je $\Delta p_{disp} = 11,2$ kPa při objemovém průtoku $V = 2,0$ m³/h. Pro tuto aplikaci bylo zvoleno oběhové čerpadlo od Firmy Wilo typ Yonos PICO 25/1-4. Pracovní bod byl určen při průtoku $V = 0,20$ m³/h a dopravním tlaku čerpadla $\Delta p_{\xi} = 11,6$ kPa. Přebytek dopravního tlaku je zde zanedbatelný.



Obr. 23. Pracovní bod oběhového čerpadla PICO 25/1-4



5.3.4. Pojistné zařízení

Pojistný ventil je pojistné zařízení, které jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Jakmile je překročen tento dovolený přetlak, pojistný ventil je otevřen a přetlak se sníží na bezpečnou hodnotu. Pojistné výfukové potrubí musí být řádně dimenzováno podle dané teplotnosné látky a dále svedeno nad odpad. Nejvyšší dovolený přetlak je nejvyšší bezpečný přetlak nejslabšího prvku otopné soustavy. Nejčastěji nejslabším článkem bývá zdroj tepla, oběhová čerpadla apod. Tento přetlak se pak rovná otevíracímu přetlaku ventilu. [30] Pro tuto práci je nejslabším článkem tepelné čerpadlo (kondenzátor) a otevírací přetlak je stanoven na 250 kPa:

$$p_{OTV} = p_{h,dov} = 250 \text{ kPa} , \quad (4.5)$$

kde p_{OTV} [kPa] otevírací přetlak pojistného ventilu;
 $p_{h,dov}$ [kPa] maximální dovolený přetlak;

Pro tuto aplikaci byl zvolen pojistný ventil od firmy Regulus F/F 2,5 s otevíracím přetlakem $p_{OTV} = 250 \text{ kPa}$. Bude umístěn na vrchním vývodu akumulární nádrže. Uzavírací armatury mezi pojistným ventilem a zdrojem tepla musí být za provozu zajištěny proti uzavření. Dále je potřeba ověřit velikost dimenze průtočného sedla. Průtočný průřez zvoleného ventilu je $S_O = 132,73 \text{ mm}^2$. Pro výpočet se nejprve určí pojistný výkon:

$$Q_P = Q_N = 18,26 \text{ kW} , \quad (4.6)$$

kde Q_P [kW] pojistný výkon;
 Q_N [kW] nejvyšší výkon tepelného čerpadla;

Pro teplotnosnou látku vodu je pojistný průtok roven pojistnému výkonu. Požadovaný průtočný průřez se poté vypočte dle vztahu (4.7):

$$S_O = \frac{2 \cdot Q_P}{\alpha_v \cdot \sqrt{p_{OTV}}} , \quad (4.7)$$

Kde S_O [mm²] požadované průtočné sedlo;
 α_v [-] výtokový součinitel ventilu;

Výtokový součinitel vybraného ventilu je $\alpha_v = 0,3$. Dle následujícího výpočtu je průtočné sedlo ventilu dostatečné $S_O > \frac{2 \cdot 18,26}{0,3 \cdot \sqrt{250}} = 7,6 \text{ mm}^2$.



5.3.5. Zabezpečovací zařízení

Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti změnám teploty potažmo tlaků v rámci tepelné roztažnosti otopné vody v otopné soustavě. Tímto zabezpečením se udržuje přetlak v otopné soustavě v předepsaných mezích. Jako zabezpečovací zařízení se využívá expanzní nádoba. Ta může být buďto tlaková nebo otevřená. Otevřená expanzní nádoba zároveň slouží jako pojistné zařízení. V současnosti se spíše užívají uzavřené tlakové expanzní nádoby, které se umísťují na vratné potrubí poblíž zdroje tepla především z důvodu revize. Expanzní nádoba je z tohoto důvodu dále oddělena uzavírací armaturou, která musí být při provozu zajištěna proti uzavření. Pro výpočet velikosti objemu tlakové expanzní nádoby se užívá vztah (4.8). [2]

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_{Os} \cdot n}{\eta}, \quad (4.8)$$

kde V_{EN} [l]	objem expanzní nádoby;
V_{Os} [l]	celkový objem vody v otopné soustavě;
n [–]	součinitel zvětšení objemu;
η [–]	stupeň využití expanzní nádoby;

Stupeň využití expanzní nádoby se vypočte dle vzorce (4.9)

$$\eta = \frac{p_{h,dov,abs} - p_{d,dov,abs}}{p_{h,dov,abs}}, \quad (4.9)$$

kde $p_{h,dov,abs}$ [kPa]	nejvyšší dovolený absolutní tlak (otevírací tlak);
$p_{d,dov,abs}$ [kPa]	nejnižší dovolený absolutní tlak (hydrostatický absolutní tlak);

Nejnižší dovolený absolutní tlak odpovídá hydrostatickému tlaku a vypočte se dle:

$$p_{d,dov,abs} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h_{ex} \cdot 10^{-3} + p_b, \quad (4.10)$$

kde p_b [kPa]	barometrický tlak (100 kPa);
h_{ex} [m]	výška od středu expanzní nádoby po nejvyššího bodu otopné soustavy;

$$p_{d,dov,abs} = 1,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 100 = 175,5 \text{ kPa},$$



Nejvyšší dovolený absolutní tlak odpovídá otevíracímu tlaku pojistného ventilu a vypočte se dle:

$$p_{h,dov,abs} = p_{h,dov} + p_b \quad (4.11)$$

$$p_{h,dov,abs} = 250 + 100 = 350 \text{ kPa.}$$

Hodnota stupně využití se pak určí z (4.9): $\eta = \frac{350-175,5}{350} = 0,4956$.

Hodnota součinitele zvětšení objemu vody závisí na nejvyšší teplotě přívodní otopné vody $t_{max} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ a určí se dle tab 24. V našem případě lze zde využít interpolaci a součinitel zvětšení objemu vychází $n = 0,00959$.

$\Delta t = t_{max} - 10 \text{ [K]}$	20	30	40	45	50	55	60	65	70
$n \text{ [-]}$	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
$\Delta t = t_{max} - 10 \text{ [K]}$	75	80	85	90	95	100	105	110	115
$n \text{ [-]}$	0,03198	0,03553	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435

Obr. 24. Hodnoty součinitele zvětšení objemu vody [35]

Celkový objem otopné vody v soustavě se skládá z několika dílčích objemů:

$$V_{os} = V_{t\check{c}} + V_{aku} + V_{potr} + V_{pal} , \quad (4.11)$$

kde $V_{t\check{c}} \text{ [l]}$ objem vody v tepelném čerpadle;
 $V_{aku} \text{ [l]}$ objem vody v akumulární nádrži;
 $V_{potr} \text{ [l]}$ objem vody v potrubí včetně rozdělovačů;
 $V_{pal} \text{ [l]}$ objem vody v okruzích podlahového vytápění;

Výpočet celkového objemu otopné vody v otopné soustavě je zaokrouhlen na jednotky, ten je roven $V_{os} = 4 + 181 + 90 + 107 = 382 \text{ l}$.

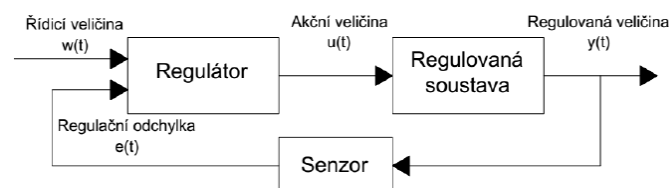
Dosazením do vztahu (4.8) vypočítáme potřebnou velikost expanzní nádoby tedy její doporučený objem. Projektovaná expanzní nádoba by pak měla mít nejbližší vyšší objem, než je tato vypočtená hodnota $V_{EN} = \frac{1,3 \cdot 382 \cdot 0,00959}{0,4956} = 9,61 \text{ l}$. Pro tyto účely byla vybrána tlaková expanzní nádoba od firmy Regulus typ HS012. tato nádoba má objem 12 l, pro kterou platí $V_{EN} > 9,61$.



6. Regulace tepelného čerpadla

Návrh otopného systému probíhá pro jmenovité podmínky. Veškeré prvky otopné soustavy včetně zdroje jsou dimenzovány pro nejnepříznivější podmínky, které mohou v lokalitě nastat. Ovšem v otopném období se jen málokdy dosáhne takto nízkých teplot. Statisticky přibližně pouze 5 % z celého otopného období se vyznačuje venkovní teplota nižší než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z těchto důvodů zdroj tepla nepracuje na maximální výkon. V případě tepelného čerpadla je vyšší teplota vzduchu výraznou výhodou, protože s vyšší venkovní teplotou roste topný faktor. Každopádně z 99 % otopného období zdroj a otopná soustava nepracuje při jmenovitých podmínkách. K zajištění pokrytí pouze aktuální potřeby tepla v daném okamžiku slouží regulace ve vytápění. Volba regulace otopné soustavy zásadně ovlivní hospodárny chod této soustavy. Obecně regulace představuje regulační obvod, který má za úkol automatické udržování regulované veličiny na požadované hodnotě. Toto je realizováno akčními zásahy regulátoru na základě regulační odchylky. Na obr. 25 je schematicky znázorněn regulační obvod. [6] Vysvětlení jednotlivých prvků:

- Regulovaná veličina $y(t)$ je veličina, kterou se snažíme udržet na požadované hodnotě (například vnitřní teplota v místnosti). Tato veličina je pak dále měřena a její naměřená hodnota je pak předávána do regulátoru;
- Řídící veličina $w(t)$ je veličina nesoucí informaci o požadované hodnotě. (například nastavení teploty v místnosti na termostatické hlavici);
- Regulační odchylka $e(t)$ je rozdíl mezi řídicí veličinou a naměřenou hodnotou regulované veličiny, který se následně regulátor snaží odstranit. (například je zde regulátorem termostatický ventil);
- Akční veličina $u(t)$ je veličina regulátoru sloužící k odstranění regulační odchylky. (například u termostatického ventilu zdvih kuželky);
- Regulovaná soustava je soustava reagující na změnu akční veličiny a způsobující změnu regulované veličiny. Regulovanou soustavu dále mohou ovlivňovat tzv. poruchové veličiny



Obr. 25. Schéma regulačního obvodu [6]



6.1. Regulace příkonu tepla

Ve vytápění je k dispozici více způsobů regulace tepelného příkonu. Volba této regulace se odvíjí od velikosti a druhu budovy, její tepelně-akumulačních vlastností a dále tepelně-akumulačních vlastností otopné soustavy. Dále je nutné brát úvahu klimatické podmínky, a to jak venkovní, tak vnitřní mikroklimatické. V neposlední řadě hrají významnou roli investiční náklady a požadavky investora [6]. Pro regulaci příkonu ve vytápění využijeme následující rozdělení regulací podle:

- **Výstupní teploty vody** ze zdroje tepla;
- **Vnitřní teploty vzduchu:**
 - Přímou, kdy je regulován přímo zdroj tepla;
 - Nepřímou, kdy je regulována vstupní teplota vody do otopné soustavy (např. směšováním) a zdroj tepla je regulován samostatně;
 - Místně, kdy je regulován výkon jednotlivých otopných těles (ploch) a zdroj tepla je regulován samostatně;
 - Sdruženě, kdy se uplatní společně výše uvedené možnosti.
- **Venkovní teploty vzduchu – (ekvitermní)**, neboli podle venkovních klimatických podmínek:
 - Přímou, kdy je regulován přímo zdroj tepla;
 - Nepřímou, kdy je regulována vstupní teplota vody do otopné soustavy (např. směšováním) a zdroj tepla je regulován samostatně;
 - Sdruženě, kdy se uplatní společně výše uvedené možnosti.
- **Zátěže** či zátěží. Jedná se o přímou regulaci zdroje tepla s využitím fuzzy logiky, často bývá doplněna ekvitermní regulací nebo regulací podle vnitřní teploty; [6]

V otopných soustavách lze jednotlivé typy regulací kombinovat. Nejčastěji se využívá kombinace místní regulace podle vnitřní teploty a přímé regulace zdroje či ekvitermní regulací.

Další rozdělení regulace je na **kvantitativní** a **kvalitativní**. Kvalitativní regulace ve vytápění spočívá ve změně teploty otopné vody a zachování průtoku. Kvantitativní regulace naopak mění průtok o konstantní teplotě vody.

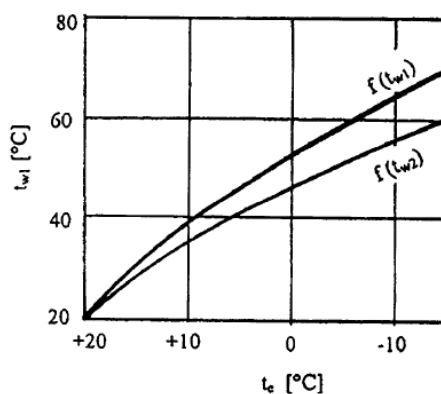


u větších objektů se často využívá tzv. zónová regulace, která spočívá v rozdělení objektu na zóny, které jsou regulovány samostatně, tedy jedná se o samostatně regulovanou skupinu otopných těles (ploch). Jednotlivé zóny lze řídit škrcením nebo rozdělováním kvantitativně, či směřováním kvalitativně a se zde využívá místní regulace jednotlivých otopných těles (ploch) [6].

Pro řešený objekt je nejvhodnější ekvitermní regulace s korekcí na vnitřní teplotu. Také zde bude využita zónová regulace podle jednotlivých okruhů (zóna 1 – podlahové vytápění, zóna 2 – otopná tělesa). V neposlední řadě bude využita místní regulace podle vnitřní teploty vzduchu, která je zde samozřejmostí.

6.1.1. Regulace podle venkovní teploty vzduchu – ekvitermní regulace

Potřeba tepla ve vytápěném objektu je závislá na venkovní teplotě. Na tomto základě se stanoví tzv. otopná křivka Obr. 26. Na vnější fasádě se umístí čidlo, které předává informaci o venkovní teplotě regulátoru. Toto čidlo musí být na takovém místě, aby naměřené výsledky nebyly zkreslené povětrnostními podmínkami nebo tepelnými zisky. Regulátor pracuje podle zadané otopné křivky, která se musí nastavit v souladu s objektem. Nastavení otopné křivky se odvíjí od volby teplotního spádu, druhu otopné soustavy a tepelně technických vlastností vytápěného objektu. [6]

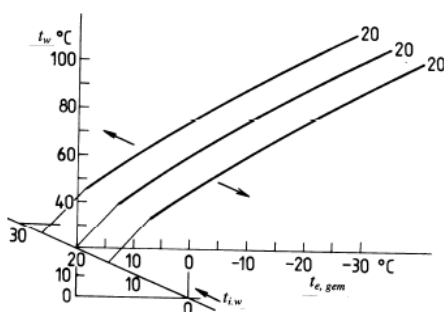


Obr. 26. Otopná křivka pro dvě různé jmenovité teploty přírodní vody [6]

Dle otopné křivky se pak reguluje přírodní nebo střední teplota otopné vody. Teplota vratné vody se mění v závislosti na podmínkách, za kterých soustava pracuje. Proto se vytápěné místnosti také vybavují místní regulací prostřednictvím termostatických ventilů.



Pro dosažení rovnováhy mezi dodaným teplem a aktuální potřebou tepla je tedy nutné vyladit otopnou křivku. Prvotní nastavení je provedeno podle jmenovitých teplot z projektu. Dále se křivka ladí buďto odzkoušením (experimentem), nebo se zde uplatní posun křivky či změna sklonu. Aby regulace nebyla citlivá na teplotní výkyvy během dne, koriguje se na tzv. geometrickou teplotu, které se určí dle typu budovy (lehká, těžká). Správně nastavená otopná křivka odpovídá vlastnostem objektu, který chceme vytápět na teplotu 20 °C. Jestliže chceme vytápět zónu například na 15 °C, musí být otopná křivka odpovídajícím způsobem posunuta dle žádané teploty v prostoru [6].



Obr. 27. Posun otopné křivky dle žádané teploty v zóně [6]

6.1.2. Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Nastavená otopná křivka nezahrnuje však vlivy vnějších a vnitřních tepelných zisků. Proto se využije ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Regulátor zde současně s venkovní teplotou měří vnitřní teplotu v referenční místnosti a koriguje otopnou křivku.

Vliv vnitřní teploty v prostoru může být dlouhodobý, zde se uplatní adaptivní regulátor, který se dokáže adaptovat dlouhodobé situaci a dochází k posunu či změně sklonu otopné křivky. Krátkodobé odchylky vnitřní teploty regulátor účelově koriguje podle vzorce (5.1) [6].

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{KOR}{2} * (t_{i,w} - t_{i,x}), \quad (5.1)$$

kde $t_{i,wk}$ [°C]	korigovaná žádaná teplota v prostoru;
$t_{i,w}$ [°C]	žádaná teplota v prostoru;
$t_{i,x}$ [°C]	aktuální teplota v prostoru;
KOR [–]	faktor vlivu prostorové teploty;



Pokud nastavená teplota odpovídá skutečné, pak podle (5.1) platí $t_{i,wk} = t_{i,w}$. V opačném případě změna žádané teploty zapříčiní paralelní posun otopné křivky, čímž se mění teplota otopné vody. Jestliže je v otopné soustavě více jak jedna zóna, tedy je využito více nezávislých směšovacích okruhů, musí se zde správně volit teplota výstupní vody ze zdroje tepla. Zdroj tepla připravuje vodu podle nejvyššího požadavku s určitým navýšením z důvodu směšování [6].

6.2. Regulace tepelného čerpadla a popis systému

Pro tepelné čerpadlo EcoAir 415 jsou k dispozici dva typy regulátoru. První je regulace pouze pomocí základního regulátoru CTC Basic display při využívání stávajícího kotle jako bivalentního zdroje. Provoz je pak možný na konstantní teplotu, nebo podle externího termostatu. Druhá možnost je využít regulátor otopné soustavy s tepelným čerpadlem IR 12 CTC, ten umožňuje řídit tepelné čerpadlo EcoAir 415 pro vytápění (případně i přípravu teplé vody), dále řídit sestavu akumulární nádrže s elektrickými topnými tyčemi a také řídit až dva otopné okruhy. [30]

Pro tuto práci byl zvolen regulátor IR 12 CTC. Tento regulátor je schopný provádět regulaci podle venkovní teploty nebo podle venkovní teploty s korekcí na vnitřní teplotu. V objektu je použita právě regulace podle venkovní teploty s korekcí na vnitřní teplotu. Také lze využít nastavení na dva časové programy (komfort, útlum). Ty se ovšem vzhledem k velkým akumulacím vlastnostem podlahového vytápění nemusí jevit jako vhodné a jejich využití bude minimální. Regulátor využívá výstupy ze senzorů teploty Pt1000. Čidlo venkovní teploty bude umístěno na severní fasádě objektu tak, aby bylo chráněno před přímým slunečním zářením.



Obr. 28. Inteligentní regulátor IR 12 CTC [30]



Při jmenovitých podmínkách je z tepelného čerpadla přiváděna voda o teplotě 45 °C do akumulární nádrže. Tepelné čerpadlo obsahuje kompresor typu scroll, který pracuje v režimu on/off. Dostatečný průtok do akumulární nádrže zajišťuje oběhové čerpadlo. Tato zařízení jsou řízena přímo regulátorem IR 12. V zásobníku jsou umístěna dvě čidla, první měří teplotu v horní části nádrže a druhé teplotu v nižší části nádrže. Při poklesu teploty pod nastavenou hodnotu, kompresor tepelného čerpadla začne pracovat a nabíjí akumulární nádrž na požadovanou teplotu. V případě nedostatečného výkonu tepelného čerpadla, jako bivalentní zdroj sepne topná tyč pro ohřev vody v zásobníku na požadovanou teplotu. Při poruše tepelného čerpadla a jeho odstávce je využívána rezervní topná tyč jako náhradní zdroj tepla.

V soustavě jsou dva otopné okruhy považované za dvě zóny, každý je regulován zvlášť kvalitativní regulací pro dosažení požadované teploty přírodní vody. To bude zajištěno pomocí regulačních trojcestných směšovacích ventilů řízené servopohonem, které jsou řízené přímo z regulátoru IR 12. Distribuci otopné vody do okruhů budou zajišťovat pro oba okruhy navržená oběhová čerpadla. Vliv vnitřní teploty pro jednotlivé okruhy bude zprostředkovan pomocí dvou pokojových jednotek RC 21.



Obr. 29. Pokojová jednotka RC 21. [30]

V této jednotce se měří teplota v referenční místnosti, dále lze manuálně nastavit posun otopné křivky nebo zapnout útlumový režim. Informace jsou dále předávány do regulační jednotky IR 12, kde korigují otopnou křivku. Jednotka RC 21 obsahuje integrované čidlo teploty, proto je nezbytné, aby byl brán ohled na její umístění. Při umístění je vhodné se vyhnout vnější obvodové konstrukci, umístění v blízkosti oken, dveří a tepelných mostů, nad otopnými tělesy, na přímém slunečním záření, nebo v blízkosti vyzařování tepla od elektrických přístrojů. Pro otopný okruh č.1 (tj. okruh s podlahovým vytápěním) bude pokojová jednotka umístěna v chodbě (111), 1,5 m nad podlahou, vedle rozdělovače R-A. Pro druhý okruh č.2 (tj. okruh s otopnými tělesy) bude pokojová jednotka umístěna v chodbě suterénu místnosti 002 také 1,5 m nad podlahou v rohu místnosti naproti schodišti.



Místní regulace pro podlahové vytápění bude zajištěna servopohony umístěnými na termostatických ventilech jednotlivých podlahových okruhů daného rozdělovače (R-A, R-B). V suterénu na termostatických ventilech otopných těles budou taktéž umístěny servopohony. Trubková koupelňová otopná tělesa budou mít na svých termostatických ventilech osazeny pouze manuální termostatické hlavice pro místní regulaci. V tomto případě jsou tato tělesa použita pouze jako doplněk vytápění a jsou využita pouze v případě nedostatečného výkonu od podlahové otopné plochy nebo při potřebě sušení ručníků apod.

Ekvitermní regulaci zdroje tepla a regulaci otopných okruhů bude tedy zajišťovat zmíněný regulátor IR 12 doplněný pokojovými jednotkami pro korekci na vnitřní teplotu. Místní regulaci bude zajišťovat nezávislý systém inteligentního řízení domácnosti, který bude zároveň sloužit pro řízení ochrany perimetru, osvětlení a stínící techniky. Více o tomto systému nalezneme v kapitole o automatizaci v budovách.

Koncepční zapojení pro regulaci zdroje a regulaci okruhů pomocí výše zmíněného regulátoru IR 12 najdeme v příloze této práce.



7. Automatizace řízení v budovách

V posledních letech roste podíl automatizace, jak v soukromé rodinné bytové zástavbě, tak i v účelových zástavbách. Vzhledem k tomu rostou nároky uživatelů na vyšší komfort při stále vyšším požadavku na úsporu energie. Řízení spotřeby energie, tzv. Energy Management, je již považováno za samozřejmost. Optimalizované regulační funkce jsou již součástí systémů vytápění. V současné době je každá nová instalace vytápění vybavena, jak regulací spotřeby zdroje, tak regulací teploty místnosti. Další funkce automatizace v budovách může být například řízení osvětlení. Tato funkce dokáže uspořit energii využitím detektorů přítomnosti a také zajištěním potřebné úrovně osvětlenosti vzhledem k dennímu světlu. Další neméně důležitou funkcí je ochrana perimetru, kde je zajištěna bezpečnost vzhledem k vnějším vlivům nebo poruchám. Bezpečnost je zajištěna automatickým protipožárním opatřením, systémy proti vniknutí osob či poplašnými zařízeními. [21]

Automatické řízení v budovách má význam především pro tyto tři oblasti:

- Hospodárnost a úspory energie;
- Komfort;
- Bezpečnost;

Jelikož roste náročnost uživatelů budov na komfort a automatizaci, rostou i nároky na propojení jednotlivých snímačů (vypínače, stmívače, teplotní čidla, ovladače rolet, čidla přítomnosti atp.) a také akčních členů (svítidla, pohony rolet, termostatické ventily atp.). Systémy pro automatizaci v budovách (tzv. BMS – Building management systems) se sestávají z navzájem propojených mechanických a elektronických částí, které monitorují a ovládají systémy pro vytápění, klimatizaci, větrání, osvětlení, stínění a ochranu perimetru. Je-li využita klasická elektroinstalace, je nutné nejen silové vedení pro dodávku energie, ale také spínací vodiče pro ovládaní a regulování, dále datové vodiče pro přenos měřených hodnot apod. U klasické elektroinstalace vznikne nepřehledná síť s velkým množstvím kabeláže. Tato síť je dále náročná na údržbu, popřípadě na různá další rozšíření o ovládací prvky či nové funkce. Investice do této sítě pak můžou dokonce převyšovat komfortnější řešení jako je sběrníkový systém. [21]

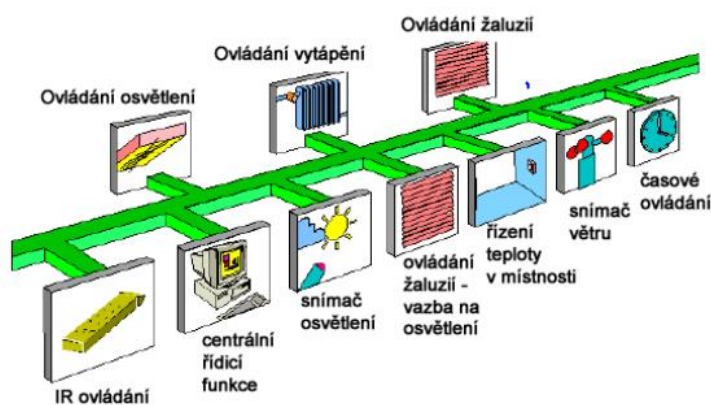


7.1. Standardizované sběrnice a sítě v budovách

Pro informatickou integraci všech řízených a měřených prvků do jednoho uceleného systému se využívá sběrnice komunikační propojení. Původně se komunikace různých systémů u jednotlivých výrobců vyvíjela autonomně. Zde nastával problém komunikace u jednotlivých zařízení a musela se komplikovaně zajistit komunikace mezi dvěma různými sběrnici. Proto se postupně s rozšiřující složitostí systému prosadila myšlenka otevřených systémů a standardizovaných komunikačních protokolů. Další výhodou je možnost výběru zařízení od různých výrobců při rozšiřování stávající instalace o nové prvky [21].

7.2. Standard KNX/EIB

Výrobci elektroinstalační techniky se v rámci EIBA (European Installation Bus Association) dohodli na vývoji vzájemně kompatibilní sběrnice. EIBA se sloučila s dalšími evropskými organizacemi do sdružení Asociace KNX. Pro tyto systémy se využívá označení KNX/EIB. Jedná se o standardizovanou sběrnici zajišťující kompatibilní výměnu dat mezi různými systémy a zařízení nezávisle na výrobci. Tento standard využívá všech výhod i nevýhod decentralizovaných instalací. Standard je koncipován tak, aby pokryl veškeré technické systémy budov a kvalifikovaný pracovník neměl obtíže při jeho instalaci, programování a uvedení do provozu. Vyznačuje se nižší, pro dané účely dostačující, přenosovou rychlostí. Ovšem naráží při aplikacích, kde je potřeba přenášet velké množství dat zároveň se spínacími povely [21]. Jednotlivá zařízení jsou rovnocenné sběrnice přístroje. Příkladné schéma je zobrazeno na obr. 30.



Obr. 30. Akční členy a snímače na sběrnici KNX/EIB [37]



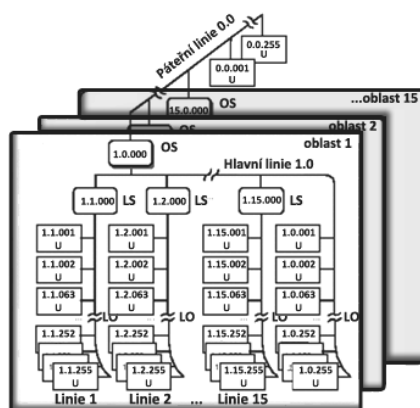
7.2.1. Komunikace KNX

Komunikace probíhá mezi jednotlivými účastníky na sběrnici pomocí datových telegramů. Sběrnici lze realizovat těmito čtyřmi základními komunikačními médii:

- KNX TP, Dvoužilový kroucený pár v datovém kabelu (napájení + přenos dat);
- KNX PL, Využití stávající silnoproudé instalace (napájení + přenos dat);
- KNX RF, Radiofrekvenční přenos (přenos dat);
- KNX IP, Komunikace přes Ethernet či Wi-fi (přenos dat);

7.2.2. Topologie KNX

KNX systémy lze podle potřeby rozšiřovat. Takto se mohou skládat z několika KNX subsystémů, které využívají různá výše zmíněná komunikační média. Jestliže chceme zajistit bezproblémový přenos telegramů mezi jednotlivými zařízeními, musí být dodržena specifická topologie. V KNX systémech mluvíme o stromové topologii. Systémové jednotky se zde označují jako účastníci na sběrnici (U). Tito účastníci jsou spojeni linií (L). Obsazenost linie účastníky závisí na prostorovém rozmístění sítě a na celkovém počtu instalovaných přístrojů. V tomto smyslu se se linie skládá až ze čtyř segmentů, kde každý segment může obsahovat až 64 účastníků. Jeli potřeba využít více než jednu linii lze pomocí liniových spojek (LS) připojit až 15 linií k hlavní linii (HL). Každá tato linie může rozdělením do segmentů obsahovat až 256 účastníků. Společně se tato struktura označuje jako oblast (O). U rozsáhlých instalací lze využít více oblastí propojené páteřní linií (PL). Maximálně se využívá 15 oblastí a v této struktuře lze dosáhnout připojení až 58000 účastníků. Každý účastník bude mít přidělenou individuální adresu, která definuje umístění tohoto prvku ve struktuře, nebo funkci, kterou zařízení provádí. [37]



Obr. 31. Stromová topologie instalace KNX [22]



7.2.3. Instalace a projektování

Při projektování rozmístění jednotlivých prvků na sběrnici KNX/EIB je potřeba dodržet instalační předpisy. Přístroje musí mít vždy k dispozici alespoň minimální napětí 21 V. Pro jednu linii, popřípadě liniový segment, platí tato následující doporučení [22]:

- Celková délka nesmí být delší než 1000 m;
- Mezi navzájem komunikujícími účastníky nesmí vzdálenost překročit 700 m;
- Maximální délka mezi účastníkem a napájecím zdrojem nesmí překročit 350 m;
- Jeli nutno využít více zdrojů (při větším proudovém odběru), tyto zdroje musí být od sebe vzdáleny minimálně 200 m;

Velkou výhodou systému KNX je využití programovacího softwaru ETS. Jedná se o nezávislý inženýrský programovací nástroj používaný pro projektování, navrhování a programování KNX instalací. Obsahuje databázi všech různých produktů od různých výrobců, které lze využít v KNX instalacích. Sjednocené rozhraní návrhového softwaru zajistí snadné projektování různorodých řešení a aplikací tohoto systému.

7.2.4. Zvolený systém

Pro objekt je zvolen systém firmy ABB, konkrétně systém ABB i-bus® KNX. Tato Produktová řada obsahuje všechny komponenty potřebné pro využití v dnešních budovách, od ovládání osvětlení nebo stínění po vytápění, ventilaci, zabezpečení, řízení spotřeby energie a řady dalších. Systém bude využit pro požadované funkce dle přání investora. Řídit bude jednak osvětlení a stínící techniku, dále bude využit k místní regulaci vytápění a v neposlední řadě k ochraně perimetru.

Podrobný návrh celého řídicího systému KNX, včetně schématu zapojení podružného rozvaděče a elektroinstalace, je nad rámec této diplomové práce. V dalších podkapitolách budou popsány jednotlivé oblasti řízení. Pro daný účel budou vždy uvedena zařízení z produktové řady ABB i-bus® KNX, které lze pro tuto oblast řízení využít. Propojení jednotlivých součástí systému bude provedeno sběrnicevým stíněným kabelem typu YCYM 2x2x0,8, které slouží pro napájení a přenos dat.



7.3. Řízení vytápění

Regulace tepelného čerpadla a otopných okruhů bude probíhat pomocí nezávislého regulátoru, jak již bylo popsáno v předchozí kapitole. Nezávislý regulátor pro toto řízení nebude zasahovat do řídicího systému KNX.

Podle vyhlášky č. 193/2007 Sb. musí být každý spotřebič tepelné energie vybaven ventilem s uzavírací a regulační schopností pro zajištění místní regulace. Podlahové okruhy jsou osazeny termostatickými ventily na patrových rozdělovačích a každé otopné těleso je opatřeno termostatickým ventilem. Vyjma koupelňový trubkových otopný těles, kde budou instalované termostatické hlavice, budou na všech ventilech osazeny elektromotorické hlavice obr. 32. Tyto hlavice jsou součástí řídicího systému ABB i-bus® KNX a budou ovládány prostorovými snímači teploty s regulátorem v daných místnostech.

- Použité termostatické hlavice: ABB ST/K 1.1
- Použité prostorové termostaty: ABB 6 108/08-500



Obr. 32. Elektromotorická hlavice ABB ST/K 1.1 [23]

7.4. Řízení osvětlení

K veškerým činnostem v obytných budovách je nutno zajistit dostatečné osvětlení v místnostech. V každém vnitřním prostoru musí být instalováno umělé osvětlení. Požadavky na umělé osvětlení jsou stanovené normou ČSN 73 4301. V každém vnitřním prostoru by pak měla být dodržena hodnota osvětlenosti E_m na srovnávací rovině dle typu místnosti. Na další stránce jsou uvedena doporučení v tab. 20. dle platné normy ČSN 73 4301. [39]



typ prostoru	osvětlenost E_m [lx]	oslnění UGR [-]	podání barev Ra [-]	výška srovnávací roviny nad podlahou [m]
celkové osvětlení obytných místností	50	22	80	0,85
kommunikace v bytě	75	22	80	0
obytné kuchyně, šatny, spíže	100	22	80	0,85
koupelny, WC	200	22	80	0,85
domácí dílny	300	22	80	0,85
kuchyňská pracovní linka	300	22	90	-

Tab. 20. Požadavky na světelně-technické parametry v obytných budovách [10]

Řízení osvětlení bude provedeno subsystémem DALI. Potřeby moderní osvětlovací soustavy vedly ke vzniku specializovaného protokolu DALI (Digital Addressable Lightning Interface). Tento protokol umožňuje určité výhodné funkce při řízení osvětlovacích soustav. Mezi hlavní výhody patří logaritmické stmívání, které je realizováno DALI předřadníky. Logaritmické stmívání je z hlediska citlivosti oka výhodnější. Dále lze nastavit rychlost stmívání. Svítidla lze řídit skupinově nebo individuálně a také je zde možnost nastavení různých světelných scén dle aktuálního požadavku. Další výhodou je zpětná vazba systému, kde lze kontrolovat stav a funkčnost jednotlivých svítidel. Systém DALI je v osvětlovací technice luxusní variantou, ale jeho nevýhoda spočívá v tom, že je řešen pouze pro řízení osvětlovacích soustav. Systém ABB i-bus® KNX umožňuje spolupráci s tímto subsystémem a této spolupráce bude také využito. [39]

DALI systém zde bude fungovat jako podsystém řídicího systému KNX. Veškeré ovládací prvky budou umístěny na straně systému KNX. Na straně systému DALI budou jednotlivé DALI předřadníky propojeny DALI sběrníci. Komunikaci mezi KNX systémem a DALI subsystémem bude zprostředkovávat překladač tzv. gateway. V každé místnosti bude instalován snímač osvětlenosti a snímač přítomnosti osob. Pokud pomocí denního světla nebude dosaženo požadované osvětlenosti budou svítidla v automatickém provozním režimu řízena pomocí DALI předřadníků.

- Použité rozhraní KNX/DALI: ABB KNX/DALI DG/S 8.1
- Použité snímače intenzity osvětlení: ABB LF/U 2.1
- Použité snímače přítomnosti: Busch-Präsenz KNX 6 131/30-24-500



7.5. Řízení stínící techniky

Stínící technika slouží v budovách jako ochrana před různými faktory. Především v létě, kdy je potřeba vyhnout se velkým tepelným zátěžím. V takovémto případě je vhodné instalovat venkovní žaluzie pro snížení solárních tepelných zisků a tím snížit celkovou tepelnou zátěž. Dále slouží stínící technika, jako ochrana proti oslepujícím záření, ochrana soukromí či může sloužit jako zabezpečení proti vniknutí cizích osob. V souvislosti s minimalizací tepelných zisků lze řídit optimální polohu lamel žaluzií tak, aby bylo maximálně využito denní světlo z hlediska osvětlenosti vnitřních prostor, a zároveň minimalizovat tepelné solární zisky. Naopak v zimním období je vhodné co nejvíce využít těchto solárních zisků. Solární energie snižuje potřebu tepla na vytápění a tím je dosaženo žádaných úspor za vytápění.

Venkovní žaluzie budou řízené akčními členy, které umožňují ovládání směru otáčení pohonu žaluzií, natáčení lamel, a také automatické řízení se zpětnou vazbou na osvětlení, vytápění či chlazení. Aby bylo dosaženo optimálního řízení stínící techniky, bude využito kombinovaného snímače, sloužící pro měření a odesílání hodnot venkovní teploty a intenzity osvětlení.

- Použité akční žaluziové členy: ABB JRA/S 8.230.1.1
- Použité kombinované snímače venkovní teploty a osvětlení: ABB 6146/10

7.6. Řízení ochrany perimetru

Ochranou perimetru se rozumí ochrana vnitřního prostředí budovy. Tato ochrana působí nejen proti vniknutí cizích osob, ale také jako ochrana monitorující únik vody, plynu či vzniku požáru. Pro dané požadavky bude řešen zabezpečovací systém proti vniknutí nežádoucích osob a signalizace požáru.

7.6.1. Signalizace požáru

Každý rodinný dům by měl být vybaven detekcí a signalizací požáru. Zařízení se umísťují u východu z domu. Pokud podlahová plocha domu přesahuje 150 m², umístí se další signalizační zařízení v jiné části domu například obývacím pokojem, druhém patře apod. Hlásiče budou v objektu umístěny v prvním patře v předsíni (č. m. 105) a v druhém patře na chodbě (č. m. 203). Pro dané účely bude využit Busch Smoke Alarm[®] ProfessionalLine, který lze připojit na řídicí systém KNX.



7.6.2. Zabezpečovací systém

K ochraně perimetru slouží elektronický zabezpečovací systém, dále jen EZS. Jedná se o systém, který je schopný rozpoznat přítomnost nežádoucích osob a tuto skutečnost na definovaném místě určitým způsobem signalizovat (akusticky, opticky, textovou zprávou). Hlavním účelem EZS je informovat majitele objektu o nežádoucím narušení. Jeli to potřeba doplňují se EZS systémy kamerovými systémy CCTV k monitoringu střeženého prostoru. Zabezpečovací systémy pro budovy se dělí dle požadavků na ochranu do tří kategorií [17].

Obvodová ochrana

Často se nazývá perimetrická ochrana. Jde o první linii venkovní ochrany pozemku. Cílem je zde zajistit chráněný perimetr mezi uvažovanou hranicí a objektem. Zajišťuje se na okraji pozemku tedy se jedná o vstupní brány, závory a oplocení. Využívané detektory musí mít výraznou odolnost vůči vnějším klimatickým vlivům a vyšší odolnost vůči planým poplachům (pohyb listí, sníh, déšť apod).

Plášťová ochrana

Signalizuje narušení obvodu chráněného objektu. Zde se jedná o výplně otvorů, vrata, vstupní dveře apod. Využívá se zde detektorů tříštění skla, a především magnetických kontaktů, které slouží u oken a dveří jako čidla otevření.

Prostorová ochrana

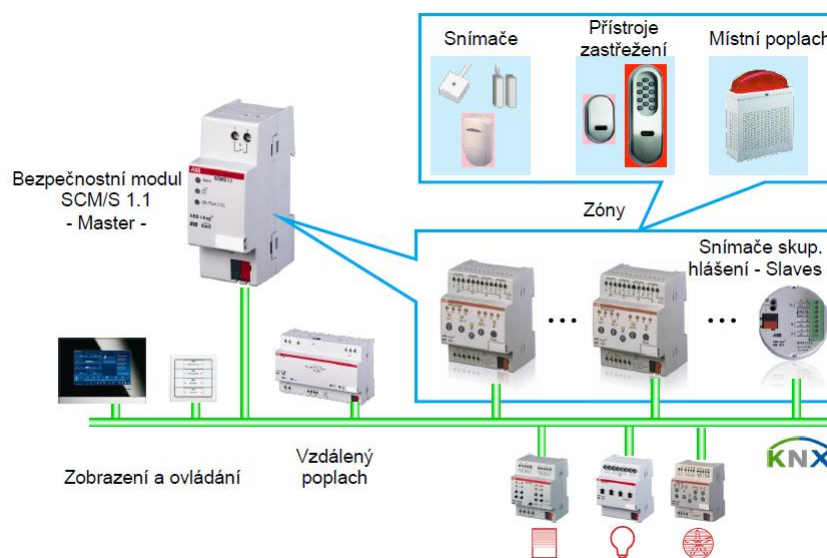
Zřizuje se uvnitř budovy a slouží jako doplněk k plášťové ochraně. Především reaguje na pohyb a infračervené záření cizích osob. Hlavním představitelem je PIR (pasivní infračervené čidlo), které reaguje na změnu elektromagnetického záření v prostoru, jestliže se osoba pohybuje. [17]

Pro kompaktnost řešení bude využit snímač skupinových hlášení. Tento snímač slouží jako rozhraní pro připojení zabezpečovacích snímačů do instalace ABB i-bus® KNX. Využije se pro připojení libovolných pasivních snímačů, jako jsou okenní kontakty, PIR senzory pohybu a také místního akustického poplachu.



Jednotlivá KNX zařízení lze využívat pro různé aplikace v rámci celého systému. V systému zabezpečení bude v tomto smyslu využíváno instalovaných snímačů přítomnosti (původně určených pro řízení osvětlení). Naopak výstupní hodnoty okenních kontaktů budou využity pro řízení vytápění v daných místnostech. Jestliže se bude větrat otevřeným oknem (rozpojený okenní kontakt), elektromotorická hlavice uzavře ventil příslušného otopného okruhu. Pro zajištění těchto logických vazeb bude využit bezpečnostní modul. Tento modul pracuje spolu se snímačem skupinových hlášení v režimu master/slave.

- Použitý snímač skupinových hlášení: ABB MT/S 8.12.2M
- Použitý bezpečnostní modul: ABB SCM/S 1.1



Obr. 33. Příklad integrace EZS do systému KNX [23]

7.7. Ovládací panel

Aby bylo zajištěno pohodlné ovládání celého řídicího systému bude nainstalován ovládací panel ABB-ComfortPanel, který je určen pro ovládání a řízení systémové instalace ABB i-bus® KNX v budově. Umožňuje řídicí, monitorovací a vizualizační funkce pro celou řadu systémových přístrojů a médií v budově. ABB-ComfortPanel musí být vybaven napájecím zdrojem 6186/01 UP-500 s integrovanou sběrníkovou spojkou umožňující připojení ke sběrnici ABB i-bus® KNX.



8. Průkaz energetické náročnosti

Energetickou náročností budovy se rozumí vypočtené množství energie nutné k pokrytí potřeby energie spojené s užíváním budovy. Zejména se jedná o potřebu energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody, osvětlení. Pro výpočty se využívají bilanční postupy, kde se definuje systémová hranice, která vymezuje vstupní a výstupní energii.

8.1. Legislativa

Legislativní souvislost s certifikací budovy udává zákon 406/2000 Sb. o hospodaření s energií a související vyhlášky. Požadavky směrnice evropského parlamentu 2010/31/EC o energetické náročnosti budov vedou k novelizaci zákonů a vyhlášek. V této souvislosti vzniklo mnoho novel zákona 406/2000 Sb. Zásadní novela zákona je 318/2012 Sb. která upravuje zákon a zavádí termín Průkaz energetické náročnosti (PENB). Dále vychází novela 103/2015 Sb., která upravuje některé povinnosti vlastnit k budově PENB. V současné době platí, že je vlastník budovy povinen opatřit PENB při prodeji budovy, nebo její ucelené části, a dále při pronájmu budovy, nebo její ucelené části. [36]

Dalším důležitým dokumentem je vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Tato vyhláška stanoví:

- Nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie,
- Metody výpočtu energetické náročnosti;
- Vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie;
- Vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy;
- Vzor a obsah průkazu a způsob jeho zpracování;
- Umístění průkazu v budově;



8.2. Stanovení a hodnocení ENB

Požadavky na energetickou náročnost budovy jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu. Tyto hodnocené ukazatele energetické náročnosti jsou:

- Roční dodaná energie pro celou budovu;
- Roční neobnovitelná primární energie na základě dílčích dodaných energií;
- Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy;

Hodnocení probíhá na základě porovnání s referenční budovou. Referenční budova je zde výpočtově definovaná budova stejného druhu, geometrického tvaru, orientace, typu užívání, avšak s hodnotami referenčních vlastností budovy, konstrukcí, technických systémů a referenčních klimatických údajů [36]. Referenční vlastnosti a jejich stanovení udává vyhláška č. 78/2013 Sb.

Celková roční dodaná energie se vypočte jako součet dílčích dodaných energií na zajištění potřeb budovy. Stanovuje se intervalovou metodou s měsíčním nebo hodinovým krokem. Energetická bilance probíhá na úrovni budovy podle ČSN EN ISO 13790 a na úrovni technických systémů podle ČSN EN 15 316 a dalších souvisejících norem. Pro výpočet neobnovitelné primární energie se využije přepočtení dodané energie faktorem neobnovitelné primární energie dle tab. 21. [14]

Palivo / energie	F [kWh/kWh]
Zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí	1,1
Propan-butan, LPG, topný olej	1,2
Elektřina	3,0
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)	0,0
Elektřina – dodávka mimo budovu	-3,0
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE > 80 %	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE mezi 50 % a 80 %	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE < 50 %	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2

Tab. 21. Faktory neobnovitelné primární energie [35]



Výpočet celkového hodnocení a vystavení průkazu energetické náročnosti, se provádí dvěma paralelním výpočty pro hodnocenou budovu a referenční budovu. Výpočty se provádí pro jednotná klimatická data a způsob užívání budovy. Pro každou zónu se stanoví standardizovaný způsob využití. Následně jsou výsledky porovnány a je stanovena třída energetické náročnosti hodnocené budovy podle referenční budovy. Pro zařazení je uvedena tab. 22., kde je udávána klasifikační třída pro všechny ukazatele. Hodnota E_r zde představuje požadovanou hodnotu referenční budovy.

Klasifikační třída	Q_{fuel} , nPE	U_{em}
A	$0,5 \times E_R$	$0,65 \times E_R$
B	$0,75 \times E_R$	$0,8 \times E_R$
C	E_R	E_R
D	$1,5 \times E_R$	$1,5 \times E_R$
E	$2 \times E_R$	$2 \times E_R$
F	$2,5 \times E_R$	$2,5 \times E_R$
G		

Tab. 22. Klasifikační třídy energetické náročnosti [36]

- A - mimořádně úsporná;
- B - velmi úsporná;
- C - úsporná;
- D - méně úsporná;
- E - nevhodná;
- F - velmi nevhodná
- G - mimořádně nevhodná;

Pomocí průkazu energetické náročnosti (PENB) se dokládá splnění stanovených podmínek pro hodnocení energetické náročnosti budovy a zároveň je stanovena klasifikační třída energetické náročnosti. Třída C a vyšší představuje zde splnění těchto požadavků. Platnost těchto průkazů je 10 let. [36]



8.3. Vypočtené hodnoty

Průkaz energetické náročnosti je pro zadaný projekt řešen v softwaru PROTECH: Tepelný výkon, který obsahuje modul pro výpočet průkazu energetické náročnosti dle vyhlášky č. 78/2013. Zároveň bude využit vytvořený model k předešlému výpočtu tepelných ztrát budovy.

Klimatická data jsou zde zpracována podle TNI 73 0331:2013, které jsou v souladu s vyhláškou. Objekt je rozdělen na 3 – zóny (obytné místnosti, neobývaný suterén, a nevytápěné podkroví), kterým jsou přiřazeny náležité parametry. Profil užívání je volen podle dané zóny jako: rodinný dům – obytné prostory, rodinný dům - neobývané prostory.

Model je v programu rozdělen na referenční budovu a hodnocenou budovu. Poté lze určit průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy a porovnat ho s referenčním. Dále byly zadány všechny potřebné údaje, dle projektu vytápění, pro výpočet potřeby tepla na vytápění jednotlivých zón. Příprava teplé vody je zde řešena elektrickým zásobníkovým ohříváčem a v softwaru je pak vypočtena roční potřeba energie na přípravu TV. Dále je vypočtena potřeba energie na umělé osvětlení a pomocné energie. Dílčí roční potřeby jsou sečteny a přepočteny na neobnovitelnou primární energii. Závěrem je porovnána celková dodaná energie a neobnovitelná primární energie hodnocené budovy s referenční.

Jednotlivé výsledky pro hodnocení budovy jsou zobrazeny v tab. 23. Grafický průkaz energetické náročnosti je v příloze této práce.

	[W/m ² .K]	[MWh/rok]	[MWh/rok]
	Um	Q_{fuel}	nPE
Hodnocená budova	0,336	32,61	42,9
Referenční budova	0,434	55,38	65,4
HB/RB	0,77	0,59	0,66
Klasifikační třída	B	B	B

Legenda

Um	Součinitel prostupu tepla obálky budovy
Q _{fuel}	Celková roční dodaná energie budově
nPE	Celková roční neobnovitelná primární energie
HB/RB	Poměr hodnocené a referenční budovy

Tab. 23. Výsledky výpočtu energetické náročnosti budovy



9. Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh komfortního systému vytápění s vhodně zvoleným zdrojem tepla. Vedle samotného projektu vytápění jsem se dále zabýval vhodnou regulací systému vytápění, a také možnostmi, které nabízí současný trh pro řešení automatizace v budovách. V závěru byl stanoven průkaz energetické náročnosti budovy. Při tvorbě této diplomové práce jsem vycházel ze znalostí nabytých během magisterského studia oboru Inteligentní budovy.

Řešený projekt je novostavba rodinného domu. Budova se skládá ze dvou nadzemních podlaží, suterénu a je zastřešena sedlovou střechou. Celková zastavěná plocha je 178 m². Budova se nachází v Chebu, kde je počítáno s venkovní výpočtovou teplotou -15 °C. V suterénu se nachází temperovaná garáž, technická místnost, sklady a dílna. Tyto prostory jsou celkově vytápěny na nižší teplotu. Obě nadzemní podlaží slouží jako hlavní obytné části budovy, kde se nachází kuchyně, jednotlivé pokoje a v každém patře jedna koupelna.

Projektu vytápění předcházela návrh vhodných obvodových konstrukcí tvořící obálku budovy, tak aby tyto konstrukce splnily požadavky ČSN 73 0540-2:2011. Následně byl zpracován výpočtový model v softwaru PROTECH TV pro výpočet tepelných ztrát budovy a jednotlivých místností podle ČSN EN 12831. Celková tepelná ztráta budovy pak činí 11 kW.

Na základě výpočtu tepelných ztrát a požadavku na vyšší komfort byl zvolen nízkoteplotní systém podlahového vytápění se jmenovitými provozními teplotami 45/35 °C. V nadzemních podlaží jsou navrženy podlahové otopné plochy se systémem od firmy Giacomini. Pro návrh otopných ploch a podlahových konstrukcí byl využit software TechCON firemní verze od Giacomini. V koupelnách je doplněno podlahové vytápění trubkovými otopnými tělesy. V suterénu jsou navržena pouze desková otopná tělesa typu ventil kompakt. Otopná soustava je v zásadě rozdělena na dva otopné okruhy, kde první slouží pro podlahové vytápění a druhý pro otopná tělesa. Návrh rozvodů, jednotlivých armatur, oběhových čerpadel a hydraulické vyvážení celé otopné soustavy bylo provedeno pomocí softwaru PROTECH Dimos.



Z důvodu nízkoteplotního systému vytápění jsem jako zdroj tepla zvolil tepelné čerpadlo Regulus EcoAir 415, o výkonu 7,36 kW a topném faktoru 3,56 při provozních podmínkách A-15/W45. Jedná se o čerpadlo pracující v režimu on/off. Pro hospodárný a šetrný chod je tepelné čerpadlo doplněno nabíjecí akumulací nádrží Regulus PS 200 N+ o objemu 181 l. V nádrži je instalovaná topná tyč o výkonu 4,5 kW jako bivalentní zdroj a dále topná tyč 7,5 kW jako náhradní zdroj v případě odstávky tepelného čerpadla.

K řízení tepelného čerpadla a otopných okruhů je využit regulátor IR 12 CTC doplněný dvěma pokojovými jednotkami RC21. Regulátor reguluje systém tepelného čerpadla s akumulací nádrží a dva otopné okruhy na základě venkovní teploty s vazbou na vnitřní teplotu. Místní regulace jednotlivých místností je zajištěna elektromotorickými hlavicemi umístěnými na ventilech příslušných podlahových okruhů a otopných těles, které jsou řízeny prostorovými čidly teploty.

V další části jsem koncepčně navrhl řídicí systém pro automatizaci budovy. Jedná se o systém ABB i-bus® KNX, který bude zajišťovat regulaci osvětlení, stínění, zabezpečení a místní regulaci vytápění. Tento systém zajišťuje spolupráci mezi jednotlivými řízenými oblastmi a lze v budoucnosti rozšířit o další prvky podporující standard KNX/EIB.

Závěrem pro zhodnocení energetické náročnosti budovy byl stanoven průkaz energetické náročnosti pomocí vytvořeného modelu v softwaru PROTECH. Budova spadá do klasifikační třídy B (velmi úsporná) ve všech hodnocených ukazatelích energetické náročnosti.



10. Seznam obrázků

Obr. 1.	Prostup tepla konstrukcí [11]	16
Obr. 2.	Závislost parametru U_{eq} na B [11]	25
Obr. 3.	Vliv umístění otopného tělesa v prostoru [39]	36
Obr. 4.	Vertikální a horizontální rozložení teplot pro různé typy vytápění [1]	39
Obr. 5.	Suchý způsob pokládky [1]	40
Obr. 6.	Mokrý způsob pokládky [7]	41
Obr. 7.	Meandrový způsob kladení otopného hadu [7]	42
Obr. 8.	Kladení ve tvaru plošné spirály [7]	42
Obr. 9.	Kladení otopného hadu s využitím okrajové zóny [7]	43
Obr. 10.	Rozdělení na dilatační celky [1]	44
Obr. 11.	Skladby podlahových konstrukcí	45
Obr. 12.	Řez konstrukce podlahového vytápění [7]	46
Obr. 13.	Moodyho diagram třecích ztrát v potrubí [13]	55
Obr. 14.	Charakteristika čerpadla a potrubní sítě [15]	62
Obr. 15.	Diagram hydraulických vlastností Giacomini R557F [24]	63
Obr. 16.	Rozdělovač/sběrač HV 60/125-02 [30]	67
Obr. 17.	Pracovní bod oběhového čerpadla Stratos 25/1-6	68
Obr. 18.	Pracovní bod oběhového čerpadla Stratos 30/1-4	69
Obr. 19.	Paralelně-bivalentní provoz [18]	74
Obr. 20.	Výkonové křivky tepelného čerpadla EcoAir 415	75
Obr. 21.	EA 415 PS [30]	76
Obr. 22.	Graf tlakové ztráty kondenzátoru EcoAir 415 [30]	78
Obr. 23.	Pracovní bod oběhového čerpadla PICO 25/1-4	78
Obr. 24.	Hodnoty součinitele zvětšení objemu vody [35]	81
Obr. 25.	Schéma regulačního obvodu [6]	82
Obr. 26.	Otopná křivka pro dvě různé jmenovité teploty přívodní vody [6]	84
Obr. 27.	Posun otopné křivky dle žádané teploty v zóně [6]	85
Obr. 28.	Inteligentní regulátor IR 12 CTC [30]	86
Obr. 29.	Pokojová jednotka RC 21. [30]	87



Obr. 30.	Akční členy a snímače na sběrnici KNX/EIB [37]	90
Obr. 31.	Stromová topologie instalace KNX [22]	91
Obr. 32.	Elektromotorická hlavice ABB ST/K 1.1 [23].....	93
Obr. 33.	Příklad integrace EZS do systému KNX [23]	97

11. Seznam tabulek

Tab. 1.	Tepelný odpor při přestupu tepla v závislosti na směru tepelného toku	16
Tab. 2.	Lineární činitel prostupu tepla pro různé zasklení	17
Tab. 3.	Součinitele prostupu tepla vybraných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011... 18	
Tab. 4.	Skladby svislých konstrukcí s vypočteným součinitelem přestupu tepla	19
Tab. 5.	Skladby vodorovných konstrukcí s vypočteným součinitelem prostupu tepla 20	
Tab. 6.	Součinitele prostupu tepla výplní otvorů	21
Tab. 7.	Výsledné tepelné ztráty po místnostech	28
Tab. 8.	Podíl tepla sdíleného sáláním pro některá otopná tělesa [4].....	32
Tab. 9.	Tepelný exponent [5]	35
Tab. 10.	Navržená otopná tělesa.....	37
Tab. 11.	Tepelně technické vlastnosti podlahového vytápění.....	48
Tab. 12.	Návrh podlahových otopných ploch.....	52
Tab. 13.	Ekonomické rychlosti a ekonomický tlakový spád [8].....	59
Tab. 14.	Tlakové ztráty a nastavení ventilů podlahových smyček	64
Tab. 15.	Tlakové ztráty navržených vyvažovacích ventilů	65
Tab. 16.	Tlakové ztráty a nastavení ventilů úseků otopných těles.....	66
Tab. 17.	Návrh 3-C směšovacího ventilu HERZ 4037	68
Tab. 18.	Návrh 3-C směšovacího ventilu Siemens VXP 45	69
Tab. 19.	Výkonové parametry EcoAir 415 [30].....	75
Tab. 20.	Požadavky na světelně-technické parametry v obytných budovách [10]	94
Tab. 21.	Faktory neobnovitelné primární energie [35].....	99
Tab. 22.	Klasifikační třídy energetické náročnosti [36]	100
Tab. 23.	Výsledky výpočtu energetické náročnosti budovy	101



12. Seznam příloh

P. 1. Půdorys 1. PP

P. 2. Půdorys 1. NP

P. 3. Půdorys 2. NP

P. 4. Rozvinuté schéma

P. 5. Měření a regulace

P. 6. Grafický průkaz energetické náročnosti

P. 7. Soubor Protech – TV: „Model.STV“

P. 8. Soubor TechCON - Giacomini: „Podlahove okruhy.ctf“

P. 9. Soubor Protech - DIMOS: „Otopna soustava.dmw“



13. Seznam použité literatury

- [1] BAŠTA, Jiří a Ondřej HOJER. *Sálavé a průmyslové vytápění pro IB* [online]. Praha, 2009. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/~bastajir/Basta_Hojer_Salave_a_prumyslove_vytapeni.pdf
- [2] BAŠTA, Jiří. *Pojistné a zabezpečovací zařízení* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2017
- [3] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9.
- [4] BAŠTA, Jiří. *Otopná tělesa*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01351-4.
- [5] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy - otopná tělesa*. 2. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [6] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [7] BAŠTA, Jiří. *Velkoplošné sálavé vytápění*. Praha: Grada, 2010, 96 s. ISBN 978-80-247-3524-5.
- [8] BAŠTA, Jiří., KABELE, Karel. *Otopné soustavy teplovodní sešit projektanta*. Třetí přepracované vydání. STP, 2008. 96 s. ISBN 978-80-01-02064-6
- [9] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [10] *ČSN 73 4301: Obytné budovy* Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [11] *ČSN EN 12831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [12] *ČSN EN ISO 13790: Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [13] HEMZAL, Karel. *Přenosové jevy v technice prostředí*. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02924-7.
- [14] HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*. Praha: EkoWATT, 2009, 43 s. ISBN 978-80-87333-03-7.
- [15] Charakteristika potrubní sítě a charakteristika čerpadla - graf. In: *ELUC* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2059>



- [16] *KNX Základy* [online]. Dostupné z: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/index.php>
- [17] KŘEČEK, Stanislav. *Příručka zabezpečovací techniky*. Vyd. 2. [S.l.: s.n.], 2003. ISBN 80-902938-2-4.
- [18] MASOPUST, Viktor. *Připojení a dimenzování tepelného čerpadla k zadanému objektu* [online]. Praha ČVUT, 2016. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT.
- [19] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie* [online]. Praha: Evropský sociální fond, 2010. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [20] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie* [online]. Praha: Evropský sociální fond, 2010. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna_cerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf
- [21] MERZ, Hermann, HANSEMANN Thomas, HÜBNER Christof. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [22] MLEJNEK, Pavel. *Sběrnice KNX, PIR detektor* [učební text]. Praha ČVUT, 2017.
- [23] *Produktové materiály firmy ABB* [online]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/automatizace-bytu-a-budov/produktove-rady/abb-i-bus-knx/system/vyhody>
- [24] *Produktové materiály firmy Giacomini* [online]. Dostupné z: <https://www.giacomini.cz/>
- [25] *Produktové materiály firmy Honeywell* [online]. Dostupné z: <http://www.honeywell.cz/>
- [26] *Produktové materiály firmy IVAR* [online]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/>
- [27] *Produktové materiály firmy Korado* [online]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/>
- [28] *Produktové materiály firmy Maibes* [online]. Dostupné z: <http://www.meibes.cz/>
- [29] *Produktové materiály firmy Maibes* [online]. Dostupné z: <http://www.meibes.cz/>
- [30] *Produktové materiály firmy Regulus* [online]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz>



- [31] *Produktové materiály firmy Siemens* [online]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/>
- [32] *Produktové materiály firmy Wilo* [online]. Dostupné z: <https://wilo.com/cz/cs/>
- [33] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov (přepracování)*. In: 2010/31/EU.
- [34] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [35] *TZB-info: Technické zařízení budov - stavebnictví, úspory* [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>
- [36] URBAN, Miroslav. *Hodnocení energetické náročnosti budov* [přednáška – učební text]. Praha, 2017.
- [37] VANUŠ, Jan. *Komplexní řízení budov - základní přehled knx systémů: učební text* [online]. Ostrava, 2014.
- [38] VAVŘIČKA, Roman. *Přepočet tepelného výkonu* [přednáška – učební text]. Praha: ČVUT, 2017
- [39] VOTECH, Martin. *Instalace řídicích systémů osvětlovacích soustav*. Praha, 2014. Diplomová práce.
- [40] *Vyhláška č. 78/2013 Sb.: o energetické náročnosti budov*. In: . 2013, ročník 2013.