

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. JAN STODOLA

8 – IB – 2015

Souhrn

Tato práce se zabývá projektovou studií vytápění rodinného domu. S přihlédnutím na stavební konstrukci a dispozice domu byla zvolena dvoutrubková protiproudá otopná soustava s nuceným oběhem a částečně hvězdicovým rozvodem. Jako otopné plochy byla navržena desková otopná tělesa s technologií řízeného zatékání, trubková otopná tělesa, podlahový konvektor s ventilátorem a podlahové otopné plochy. Hydraulické vyvážení otopné soustavy bylo provedeno místní regulací přednastavením termostatických ventilů a regulačních šroubení u otopných těles a na těle patrového rozdělovače otopných okruhů. Jako zdroj tepla byl navržen plynový kondenzační kotel s externím zásobníkem teplé vody. Teplotní spád byl zvolen pro všechny otopné plochy stejný, a to 50/40 °C.

Část práce byla věnována prvkům měření a regulace. Zdroj tepla je řízen ekvitermně regulací, která je dodávána výrobcem kotle. Centrální řídicí jednotka, připojená k internetu, umožňuje individuální prostorovou regulaci jednotlivých místností, regulaci umělého osvětlení a venkovních žaluzií.

Byly také navrženy prvky zabezpečovacího systému jako například detektory kouře, detektory úniku vody a plynu nebo monitorování dveří a oken.

Summary

This thesis deals with a project study of heating of a family house. Considering the build construction and house disposition, the double-pipe counter-current system with forced circulation and partly radial distribution was chosen. Several types of heating surfaces was designed – panel radiators with controlled-leakage technology, towel rail radiators, underfloor convector with ventilator and underfloor heating. Hydraulic balancing of the heating system is solved by local regulation of presetting of thermostatic valves, heater lockshields and lockshields which are located at the body of the storey distributor of the heating circle. As a source of heat, a gas-fired condensing boiler with external hot-water storage bin was chosen. The temperature gradient was chosen the same for all the heating surfaces – 50/40 °C.

A great deal of this thesis was given to the elements of measurement and control. The source of heat is controlled by the equithermal regulation which is delivered by the producer of the boiler. The central control unit connected to the internet enables an individual space regulation of a every room and also a regulation of lightning and outdoor blinds.

Prohlášení

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

V Praze 26. 6. 2015

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za odborné vedení cenné rady při vypracování této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu na cestě k úspěšnému napsání této práce.

Obsah

SOUHRN	- 2 -
SUMMARY	- 3 -
PROHLÁŠENÍ.....	- 4 -
PODĚKOVÁNÍ	- 5 -
PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ, VELIČIN A JEDNOTEK.....	- 8 -
1. ÚVOD.....	- 13 -
2. POPIS OBJEKTU	- 15 -
2.1. Tepelně technické vlastnosti	- 16 -
2.2. Výpočet tepelných ztrát	- 20 -
2.2.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	- 20 -
2.2.2. Návrhová tepelná ztráta větráním	- 23 -
3. OTOPNÁ SOUSTAVA.....	- 26 -
3.1. Volba otopné soustavy.....	- 26 -
3.2. Otopná tělesa.....	- 26 -
3.2.1. Návrh otopných těles	- 28 -
3.3. Podlahové vytápění.....	- 30 -
3.3.1. Tepelně – technický výpočet podlahového vytápění.....	- 31 -
3.4. Výpočet tlakových ztrát	- 33 -
3.5. Hydraulické vyvážení soustavy	- 35 -
3.6. Návrh zdroje tepla.....	- 36 -
3.7. Oběhové čerpadlo	- 38 -
3.8. Příprava teplé vody	- 38 -
3.9. Expanzní nádoba.....	- 40 -
3.10. Potřeba tepla pro vytápění	- 41 -
3.11. Potřeba paliva	- 42 -
4. MĚŘENÍ A REGULACE.....	- 43 -
4.1. Centrální řídicí jednotka	- 43 -
4.2. Regulace otopné soustavy.....	- 44 -

4.2.1. Regulace zdroje tepla.....	- 44 -
4.2.2. Individuální prostorová regulace	- 45 -
4.3. Regulátor topných okruhů	- 46 -
4.4. Řízení umělého osvětlení.....	- 47 -
4.5. Ovládání rolet	- 47 -
4.6. Meteorologická stanice	- 48 -
4.7. Doplnkové funkce.....	- 49 -
5. ELEKTRONICKÝ ZABEZPEČOVACÍ SYSTÉM.....	- 50 -
5.1. Ústředna EZS.....	- 50 -
5.2. Detektory požáru.....	- 51 -
5.3. Detektor úniku plynů	- 51 -
5.4. Detektory otevření oken a dveří.....	- 52 -
5.5. Detektory pohybu	- 53 -
5.6. Detektor úniku vody	- 55 -
5.7. Domovní telefon	- 56 -
6. ZÁVĚR	- 57 -
7. SEZNAM LITERATURY	- 59 -
8. SEZNAM PŘÍLOH.....	- 63 -

Přehled použitých symbolů, veličin a jednotek

Veličina	Jednotka	Popis
A_g	[m ²]	plocha uvažované podlahové konstrukce
A_K	[m ²]	plocha stavební konstrukce
B'	[m]	charakteristický parametr
G_W	[-]	korekční činitel zohledňující vliv spodních vod
$H_{T,ie}$	[W/K]	součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí
$H_{T,ig}$	[W/K]	součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy
$H_{T,ij}$	[W/K]	součinitel tepelné ztráty z nebo do různě vytápěných prostorů
$H_{T,iue}$	[W/K]	součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem
H_u	[MJ/m ³]	výhřevnost paliva
$H_{V,i}$	[W/K]	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním
P	[m]	obvod uvažované podlahové konstrukce
P_B	[kPa]	barometrický tlak
$P_{d,dov,A}$	[kPa]	nejnižší dovolený absolutní tlak
$P_{h,dov,A}$	[kPa]	nejvyšší dovolený absolutní tlak
Q	[W]	přenášený tepelný výkon
Q_c	[W]	celková tepelná ztráta objektu
Q_k	[W]	výkon kotle
$Q_{N,OT}$	[W]	jmenovitý výkon otopného tělesa
$Q_{sk,OT}$	[W]	skutečný výkon otopného tělesa
Q_{VYT}	[J]	skutečná potřeba tepla
$Q_{VYT,teor}$	[J]	teoretická potřeba tepla
R	[Pa/m]	měrná tlaková ztráta
R_{se}	[W/m ² .K]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
R_{si}	[W/m ² .K]	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
S_{iz}	[m]	tloušťka stěny n-té konstrukce
S_n	[m]	tloušťka stěny n-té konstrukce
S_p	[m ²]	podlahová plocha ohraničena krajní trubkou
$U_{equiv,K}$	[W/m ² K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části
U_K	[W/m ² K]	součinitel prostupu tepla stavební části

U_{Kc}	[W/m ² K]	korigovaný součinitel prostupu tepla
U_{VYT}	[m ³]	potřeba paliva
V	[m ³ /h]	objemový průtok armaturou
V_{2P}	[m ³ /osoba·den]	potřeba teplé vody
V_{EN}	[m ³]	objem tlakové expanzní
V_i	[m ³]	objem místnosti
V_S	[m ³]	objem vody v otopné soustavě
V_{TV}	[m ³]	objem zásobníku teplé vody
X_p	[K]	spínací diference pro dohřev TV
\dot{V}_i	[m ³ /h]	výměna vzduchu
$\dot{V}_{inf,i}$	[m ³ /h]	infiltrace obvodovým pláštěm
$\dot{V}_{min,i}$	[m ³ /h]	minimální hygienické množství vzduch
a	[m]	tloušťka vrstvy nad trubkami
b	[m]	tloušťka vrstvy pod trubkami
b_u	[-]	teplotní redukční činitel
c	[-]	podílový součinitel
c	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita vody
d	[dny]	počet dnů otopného období
d_e	[m]	vnější průměr potrubí
d_i	[m]	vnitřní průměr potrubí
e_i	[-]	stínící součinitel
e_K	[-]	korekční činitel
$f_{\Delta t}$	[-]	opravný součinitel na teplotní rozdíl
f_{gl}	[-]	korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty
f_{g2}	[-]	teplotní redukční činitel
$f_{i,j}$	[-]	redukční teplotní činitel
f_o	[-]	opravný součinitel na úpravu okolí
f_p	[-]	opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru
f_x	[-]	opravný součinitel na připojení tělesa
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
h	[m]	výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy

k_v	[m ³ /h]	jmenovitý průtok armaturou
l	[m]	rozteč potrubí
l	[m]	délka úseku potrubí
m	[1/m]	charakteristické číslo podlahy
n	[-]	počet řad trubek
n	[-]	součinitel zvětšení objemu
n	[-]	teplotní exponent otopného tělesa
n_{50}	[1/h]	intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa
n_i	[osoba·den]	obsazenost domu
n_{min}	[1/h]	minimální intenzita výměny vzduchu
q	[W/m ²]	měrný tepelný tok směrem nahoru
q'	[W/m ²]	měrný tepelný tok směrem dolů
r	[m]	šířka okrajové zóny
t_{es}	[°C]	průměrná venkovní teplota za otopné období
t_{ev}	[°C]	oblastní venkovní výpočtová teplota
t_i	[°C]	vnitřní teplota místnosti
t_{is}	[°C]	průměrná vnitřní teplota v objektu
t_{max}	[°C]	maximální projektovaná teplota
t_{min}	[°C]	minimální napouštěcí teplota (u OS 10 °C)
t_p	[°C]	střední povrchová teplota
t_{w1}	[°C]	teplota vstupní vody
t_{w1}	[°C]	teplota přívodní vody
t_{w2}	[°C]	teplota výstupní vody
t_{w2}	[°C]	teplota zpátečky
w	[m/s]	střední rychlost proudění kapaliny
y	[-]	korekční faktor odběru tepla ze zásobníku
\dot{m}	[kg/s]	hmotnostní průtok
ΔP_c	[Pa]	celková tlaková ztráta
ΔP_v	[kPa]	tlaková ztráta ventilu
ΔP_{zm}	[Pa]	tlaková ztráta místními odpory
ΔP_{zt}	[Pa]	tlaková ztráta třením
Δt	[°C]	aritmetický rozdíl teplot
Δt_{ln}	[°C]	logaritmický rozdíl teplot
Δt_{max}	[K]	maximální rozdíl teplot

ΔU_{tb}	[W/m ² ·K]	korekční součinitel prostupu tepla
θ_e	[°C]	venkovní oblastní výpočtová teplota
θ_e	[°C]	venkovní oblastní výpočtová teplota
$\theta_{int,i}$	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{int,i}$	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{m,e}$	[°C]	roční průměrná venkovní teplota
θ_u	[°C]	teplota nevytápěného prostoru
θ_{VSP}	[°C]	vnitřní teplota vytápěného sousedního prostoru
Λ_a	[W/m ² ·K]	tepelná propustnost vrstvy nad trubkami
Λ_b	[W/m ² ·K]	tepelná propustnost vrstvy pod trubkami
Φ_i	[W]	návrhová tepelná ztráta prostoru
$\Phi_{T,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta prostupem
$\Phi_{V,i}$	[W]	návrhová tepelná ztráta větráním
α'_p	[W/m ² ·K]	součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy
α_p	[W/m ² ·K]	součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy
ε	[-]	opravný součinitel na nesoučasnost přírážek
ε_d	[-]	opravný součinitel na zkrácení doby provozu OS
ε_i	[-]	výškový korekční činitel
ε_i	[-]	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty
η	[-]	normovaný stupeň využití
η_K	[-]	účinnost kotle
η_O	[-]	účinnost obsluhy
η_R	[-]	účinnost rozvodu
λ	[-]	součinitel tření
λ_a	[W/m·K]	součinitel tepelné vodivosti materiálu nad trubkami
λ_b	[W/m·K]	součinitel tepelné vodivosti materiálu pod trubkami
λ_b	[W/m·K]	součinitel tepelné vodivosti materiálu, ve kterém jsou zalaty trubky
λ_n	[m ² ·K/W]	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny konstrukce
ξ	[-]	součinitel místního odporu
ξ_φ	[-]	součinitel místního odporu oblouku o úhlu φ
ρ	[kg/m ³]	hustota teplonosné látky při střední teplotě
ρ	[kg/m ³]	hustota vody

τ_a	[s]	doba ohřevu TV
ρ	[kg/m ³]	hustota vody při střední teplotě zásobníku
$(\Delta t)_N$	[-]	nominální teplotní rozdíl
$(\Delta t)_{sk}$	[-]	skutečný teplotní rozdíl

1. Úvod

V poslední době se ve stavebnictví čím dál častěji skloňuje spojení inteligentní budova. Tento pojem pochází stejně jako mnoho ostatních ze Spojených států, kde jsou tyto typy budov společně se západní Evropou nejrozšířenější. V České republice se inteligentní budovy stávají trendem moderního bydlení. Neexistuje žádná přesná přijímaná definice, která tento pojem vysvětluje. Nejobvyklejší definice by se ale dala zformulovat následovně: Inteligentní budova je taková budova, která zajišťuje optimální vnitřní prostředí pro komfort osob prostřednictvím stavební konstrukce, techniky prostředí, řídicích systémů, služeb a managementu. Dnes je hlavním specifikem inteligentních budov také to, že jednotlivé inteligentní prvky či systémy v budově jsou integrovány a řízeny prostřednictvím jediného řídicího systému. Automatizační systémy v budově mají jeden základní cíl, a to udržování a spravování podmínek pro pobyt v prostorách budovy takových, že reagují na měnící se vnější nebo vnitřní požadavky. Celý proces musí probíhat s optimální spotřebou energií a minimálními náklady. Právě tato uvědomělá a smysluplná reakce na měnící se požadavky se považuje za „inteligenci“.

Budování automatizačních systémů v budovách s sebou samozřejmě přináší zvýšenou investiční náročnost. Proto je důležité provést nejdříve důkladnou analýzu budoucích provozních nákladů. Důvody, proč je výhodné zvolit stavbu inteligentní budovy, jsou například snížení spotřeby energií a provozních nákladů, zvýšení produktivity a komfortu poskytovaných služeb, zrychlení návratnosti investice či prodloužení životnosti budovy. Důležitým aspektem inteligentních budov je také jejich ekologická podstata. Cílem je, aby budova neznečišťovala životní prostředí a nehanila okolní krajinu.

Centrální řídicí systém inteligentní budovy by měl zahrnovat veškeré technické, zabezpečovací, kontrolní a regulační prvky. Mezi tyto prvky patří zejména vytápění, větrání a klimatizace, dále osvětlení, stínící technika, zabezpečení budovy i přilehlého pozemku a další prvky poskytující větší komfort či úsporu energií. Právě energetická stránka budovy je v dnešní době rozhodujícím členem a kritéria jsou neustále přísnější. V současnosti je povinnost při téměř jakékoliv činnosti spojené s budovami mít zpracovaný energetický průkaz energetické náročnosti budovy, a proto je kladen velký důraz na zefektivnění celkového provozu budovy. Zefektivnění lze dosáhnout použitím obnovitelných zdrojů nebo zdrojů s vysokou účinností, jako např. plynové kondenzační

kotle, tepelná čerpadla a rekuperační jednotky. Samozřejmě jsou kvalitní tepelně technické vlastnosti budovy.

Propojení všech systémů a subsystémů v jeden celek není jednoduchá záležitost, proto je třeba mít před výstavbou kvalitně a detailně zpracovaný projekt. V průběhu stavby musí být veškeré stavební a ostatní práce zdatně koordinovány. Kompletně propojená domácnost zní velice lákavě, ale může se stát, že je signál mezi systémy přerušen nebo zpomalen. Potom může nastat problém při připojování nových zařízení, protože se může stát, že tato nová část systému bude šíření signálu negativně ovlivňovat.

Cílem této diplomové práce je vypracování projektové studie nízkoteplotního vytápění rodinné vily. Důraz bude kladen na optimalizaci řízení zdroje tepla a individuální místní regulaci.

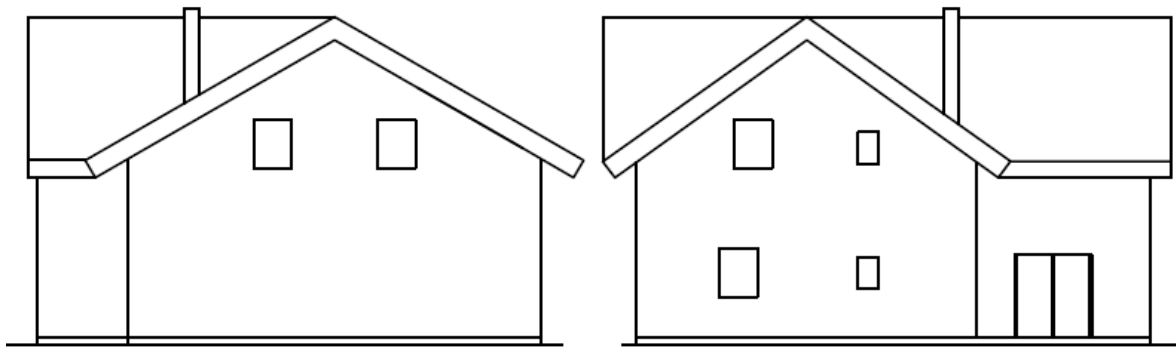
2. Popis objektu

Tato práce se zabývá studií vytápění jednopodlažního rodinného domu s vytápěným podkrovím o celkové užité ploše 288 m². Investorem stavby byly dodány stavební půdorysy v podobě hrubých náčrtů, požadované stavební materiály na stěny, strop a střešní konstrukci, výplně otvorů včetně jejich tepelně technických vlastností a přibližných rozměrů. U nosného obvodového zdiva byl požadavek na hodnotu součinitele prostupu tepla U [W/m²K], a proto bylo nutné dopočítat tloušťku tepelné izolace.

Dům, který není podsklepen, stojí na betonové základové desce v úrovni okolního terénu. V prvním nadzemním podlaží se nachází kuchyně s jídelnou, obývací pokoj, pracovna, nevytápěná spíž, vstupní chodba, hala se schodištěm do vytápěného podkroví a koupelna, která bude sloužit částečně také jako technická místnost. Světlá výška prvního nadzemního podlaží je 2,8 m.

Ve vytápěném podkroví se nachází dva dětské pokoje, ložnice, pokoj pro hosty, koupelna a hala. Nad vytápěným podkrovím se nenachází půdní prostor.

Jedná se o osaměle stojící budovu nacházející se v pardubickém kraji. Venkovní výpočtová teplota pro vybranou oblast je $t_e = -12$ °C.



Obr. 1 Severovýchodní a jihovýchodní pohled na rodinný dům

2.1. Tepelně technické vlastnosti

Výpočet součinitele prostupu tepla U byl proveden podle normy ČSN EN ISO 6946. [1] Hodnoty tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní straně R_{si} a vnější straně R_{se} konstrukce byly voleny podle normy ČSN EN 73 0540-3. [2]

Objekt je postaven na betonové základové desce tloušťky 200 mm, pod kterou je vrstva hutněného štěrkopískového podsypu tloušťky 400 mm. Na betonové desce je položena izolační deska Isover EPS Grey 100 o tloušťce 100 mm a součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 0,031 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [3], dále hydroizolační fólie a betonová mazanina tloušťky 80 mm a o součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 1,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Jelikož bude v koupelnách použito podlahové vytápění, bude betonová mazanina doplněna plastifikátory pro lepší zatékání mazaniny okolo trubek. Podlahová krytina je odlišná podle účelu místnosti. Ve vstupní chodbě, hale, koupelně a kuchyni je použita dlažba, v ostatních místnostech je dřevěná plovoucí podlaha. Hodnota součinitele prostupu tepla podlahové konstrukce přilehlé k zemině je $U = 0,176 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Jedním z požadavků investora na stavební konstrukce bylo, aby nosné obvodové zdivo splňovalo požadavky pro pasivní budovy, tedy aby součinitel prostupu tepla U byl v rozmezí 0,16 až 0,12 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ a aby se blížil k nižší hodnotě. Nosné obvodové zdivo bylo navrženo z broušených cihel Porotherm 36,5 Profi spojených maltou Porotherm Profi. Výrobce u těchto cihel udává hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. [4] Pro izolování nosné obvodové zdi byly vybrány fasádní desky Isover EPS GreyWall s přísadou grafitu a hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,032 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. [5] Na vnitřní straně zdiva byla použita sádrová omítka Knauf MP 75 L tloušťky 10 mm a hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. [6] Na vnější straně zdiva byla použita vápenocementová jádrová omítka Knauf MV 1 tloušťky 20 mm a se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,83 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. [7] Před výpočtem součinitele prostupu tepla nosné obvodové stěny bylo nejprve nutné zjistit, jaká tloušťka tepelné izolace bude použita. Výpočet tloušťky tepelné izolace S_{iz} vychází z rovnic (1) až (3). Ve výpočtu byl součinitel prostupu tepla volen $U = 0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (1)$$

$$0,16 \geq \frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{0,3} + \frac{0,365}{0,14} + \frac{S_{iz}}{0,031} + \frac{0,02}{0,83} + 0,04} \quad (2)$$

$$s_{iz} \geq 0,106 \text{ [m]} \quad (3)$$

R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
S_n	tloušťka stěny n-té konstrukce [m]
s_{iz}	tloušťka stěny n-té konstrukce [m]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]

Podle výpočtu dle vzorce (1) by tepelná izolace měla mít tloušťku minimálně $s_{iz} = 0,106$ m. Aby byl splněn požadavek investora na co nejnižší součinitel prostupu tepla, byla zvolena tloušťka tepelné izolace $s_{iz} = 0,16$ m. Poté byl vypočten skutečný součinitel prostupu tepla s navrženou tloušťkou tepelné izolace (4).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{0,3} + \frac{0,365}{0,14} + \frac{0,16}{0,031} + \frac{0,02}{0,83} + 0,04} \quad (4)$$

$$= 0,125 \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$$

Vnitřní zdivo bylo navrženo ze dvou typů cihel - nosné zdivo ze svisle děrovaných cihel Porotherm 25 AKU SYM s hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,33$ $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ [8] a nenosné zdivo, příčka, z broušených cihel Porotherm 11,5 Profi s hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,26$ $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$. [9] Na obou stranách zdiva byla použita sádrová omítka Kauf MP 75L o tloušťce 10 mm. [6]

Stropní konstrukce byla navržena z keramobetonových stropních nosníků vyztužených svařovanou prostorovou výztuží a z cihelných vložek Porotherm MAIKO. [10] Na stropní konstrukci byla dále položena kročejová izolace Isover TDPT tloušťky 60 mm [11], betonová mazanina tloušťky 70 mm doplněna plastifikátory pro lepší zatékání a podlahová krytina. Hodnota součinitele prostupu tepla stropní konstrukce je $U = 0,39$ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

Střešní konstrukce byla postavena vaznicová s krokveji vzájemně vzdálenými 900 mm. Tepelná izolace, Isover Unirol Plus tloušťky 220 mm a se součinitelem prostupu tepla $U = 0,036$ [12], byla uložena mezi krokve. Z vnitřní strany objektu byla izolace zakryta sádrokartonovými deskami Knauf. Součinitel prostupu tepla střešní konstrukce je $U = 0,159$ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

Výpočty všech stavebních konstrukcí jsou uvedeny v Příloze 7, list 2 na přiloženém CD. V tabulce 1 jsou porovnány vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí s normovými hodnotami podle normy ČSN 73 0540-2 [13]. Z tabulky je patrné, že všechny vypočtené hodnoty splňují doporučené hodnoty. Základová deska a obvodové zdivo vyhovují rovněž požadavkům pro pasivní budovy.

Tab. 1 Porovnání hodnot součinitele prostupu tepla

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]		
	Vypočtené hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
Základová deska	0,15	0,30	0,22 až 0,15
Obvodové zdivo	0,125	0,25	0,18 až 0,12
Vnitřní nosná	0,922	1,8	-
Vnitřní nenosná	1,3	1,8	-
Strop	0,39	1,45	-
Střecha	0,159	0,16	0,15 až 0,10

V celém objektu jsou použita dřevěná okna typu OKNOLUX Klasik IV88. Okna jsou ze čtyřvrstvého lepeného hranolu vyrobeného ze smrku, s izolačním trojsklem tloušťky 4 mm a stavební hloubkou 88 mm. Výrobce udává hodnotu součinitele prostupu tepla okna $U_w = 0,72 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Ze stejného okenního profilu jsou vyrobeny posuvně sklopné dveře použité v místnosti č. 101 ke vstupu na terasu. [14]



Obr. 2 Řez oknem OKNOLUX Klasik IV88 [14]

V objektu jsou také dvě střešní okna, a to VELUX Premium GGL 3066 s nízkoenergetickým trojsklem, která jsou plněná argonem. Hodnota součinitele prostupu tepla udávaná výrobcem je $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. [15]

Vstupní dveře jsou dřevěné OKNOLUX DV78, s izolačním trojsklem tloušťky 4 mm a součinitelem prostupu tepla $U_D = 0,86 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. [14] Interiérové dveře jsou také dřevěné a mají součinitel prostupu tepla $U = 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

2.2. Výpočet tepelných ztrát

Výpočet návrhové tepelné ztráty byl proveden dle normy ČSN EN 12831. Venkovní výpočtová teplota pro uvažovanou oblast je -12 °C . [16]

Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru se vypočítá jako součet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla a návrhové tepelné ztráty větráním.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (5)$$

- Φ_i návrhová tepelná ztráta prostoru [W]
- $\Phi_{T,i}$ návrhová tepelná ztráta prostupem [W]
- $\Phi_{V,i}$ návrhová tepelná ztráta větráním [W]

2.2.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (6)$$

- $H_{T,ie}$ součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí [W/K]
- $H_{T,iue}$ součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem [W/K]
- $H_{T,ig}$ součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy [W/K]
- $H_{T,ij}$ součinitel tepelné ztráty z nebo do různě vytápěných prostorů [W/K]
- $\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota [°C]
- θ_e venkovní oblastní výpočtová teplota [°C]

Výpočet byl proveden zjednodušenou metodou, tedy bez lineárních tepelných mostů. Ve výpočtu bylo použito korigovaného součinitele prostupu tepla. Korekční součinitel prostupu tepla ΔU_{tb} pro výpočet korigovaného součinitele prostupu tepla byl zvolen pro stavební konstrukce $\Delta U_{tb} = 0,05\text{ W/m}^2\text{K}$ a pro výplně stavebních otvorů, oken a dveří $\Delta U_{tb} = 0,1\text{ W/m}^2\text{K}$. [17] Korigovaný součinitel prostupu tepla U_{Kc} byl vypočten podle vzorce (7).

$$U_{Kc} = U_K + \Delta U_{tb} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (7)$$

U_K součinitel prostupu tepla stavební části $[\text{W/m}^2\text{K}]$

ΔU_{tb} korekční součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2\text{K}]$

Součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

$$H_{T,ie} = \sum_K A_K \cdot U_{Kc} \cdot e_K \quad [\text{W/K}] \quad (8)$$

A_K plocha stavební konstrukce $[\text{m}^2]$

U_{Kc} korigovaný součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2\text{K}]$

e_K korekční činitel $[-]$

Hodnota korekčního činitele vystavení povětrnostním vlivům e_K byla zvolena dle normy ČSN EN 12831, tedy $e_K = 1,0$. [11]

Součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem

$$H_{T,iue} = \sum_K A_K \cdot U_{Kc} \cdot b_u \quad [\text{W/K}] \quad (9)$$

A_K plocha stavební konstrukce $[\text{m}^2]$

U_{Kc} korigovaný součinitel prostupu tepla $[\text{W/m}^2\text{K}]$

b_u teplotní redukční činitel $[-]$

Jelikož byly zadány vnitřní výpočtové teploty ve všech místnostech, teplotní redukční činitel b_u byl vypočítán podle vzorce (10)

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (10)$$

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

θ_e venkovní oblastní výpočtová teplota [°C]

θ_u teplota nevytápěného prostoru [°C]

Součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy

$$H_{T,ie} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,K} \right) \cdot G_W \quad [\text{W/K}] \quad (11)$$

f_{g1} korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-]

f_{g2} teplotní redukční činitel [-]

$U_{equiv,K}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části [W/m²K]

G_W korekční činitel zohledňující vliv spodních vod [-]

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (12)$$

$\theta_{m,e}$ roční průměrná venkovní teplota [°C]

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla $U_{equiv,K}$ se určil podle typu podlahy, součinitele prostupu tepla podlahy U a charakteristického parametru B' z tabulek v normě ČSN EN 12831. [11]

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (13)$$

B' charakteristický parametr [m]

A_g plocha uvažované podlahové konstrukce [m²]

P obvod uvažované podlahové konstrukce [m]

Jelikož je součinitel prostupu tepla podlahové konstrukce přilehlé k zemi všech místností $U < 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, bude hodnota charakteristického parametru B' použita pro celou budovu.

Součinitel tepelné ztráty z nebo do různě vytápěných prostorů

$$H_{T,ie} = \sum_K f_{i,j} \cdot A_K \cdot U_K \quad [\text{W/K}] \quad (14)$$

$f_{i,j}$ redukční teplotní činitel [-]

A_K plocha stavební konstrukce [m^2]

U_K součinitel prostupu tepla stavební části [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{VSP}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (15)$$

θ_{VSP} vnitřní teplota vytápěného sousedního prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

2.2.2. Návrhová tepelná ztráta větráním

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (16)$$

$H_{V,i}$ součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

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

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

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

Při výpočtu byla uvažována konstantní hustota vzduchu ρ a měrná tepelná kapacita vzduchu c_p . Vzorec pro výpočet součinitele návrhové tepelné ztráty větráním má zjednodušený tvar (17)

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad [\text{W/K}] \quad (17)$$

\dot{V}_i výměna vzduchu [m^3/h]

U přirozeného větrání se hodnota výměny vzduchu \dot{V}_i určí dvěma způsoby. První způsob počítá s infilracemi obvodovým pláštěm budovy $\dot{V}_{inf,i}$, druhý způsob počítá

s minimální intenzitou výměny vzduchu $\dot{V}_{min,i}$ z hygienického hlediska. Ta hodnota, která je z těchto dvou vyšší, je považována za hodnotu výměny vzduchu.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i} \cdot \dot{V}_{min,i}) \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (18)$$

Hygienické množství vzduchu

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (19)$$

$\dot{V}_{min,i}$ minimální hygienické množství vzduchu [m^3/h]

n_{min} minimální intenzita výměny vzduchu [1/h]

V_i objem místnosti [m^3]

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (20)$$

$\dot{V}_{inf,i}$ infiltrace obvodovým pláštěm [m^3/h]

n_{50} intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa [1/h]

e_i stínící součinitel [-]

ε_i výškový korekční činitel [-]

V tabulce 2 jsou uvedeny celkové tepelné ztráty jednotlivých místností. Podrobný výpočet tepelných ztrát je uveden v Příloze 7, list 4, umístěné na příloženém CD.

Tab. 2 Tepelné ztráty místností

Tabulka místností 1. NP		
Místnost č.	Účel místnosti	Tepelná ztráta místnosti [W]
101	Kuchyň + jídelna	2240
102	Koupelna	990
103	Obývací pokoj	950
104	Pracovna	590
105	Vstupní chodba	130
106	Spíž	-10
107	Hala	200
Celková tepelná ztráta 1. NP		5090
Tabulka místností podkroví		
Místnost č.	Účel místnosti	Tepelná ztráta místnosti [W]
201	Pokoj	560
202	Pokoj	640
203	Koupelna	1110
204	Ložnice	850
205	Pokoj	650
207	Hala	520
Celková tepelná ztráta podkroví		4330

Celková tepelná ztráta objektu je 9420 W.

3. Otopná soustava

Otopná soustava zprostředkovává přenos tepla pomocí otopných ploch do místností a zajišťuje v nich požadovaný teplotní komfort.

Otopná soustava se skládá ze zdroje tepla, potrubních rozvodů a otopných ploch. Nedílnou součástí otopné soustavy je pojistné a zabezpečovací zařízení, prvky regulace a armatury. [18]

3.1. Volba otopné soustavy

Při volbě otopné soustavy se vycházelo z požadavků investora, který měl představu o typu a rozmístění otopných ploch. V obytných místnostech byla umístěna desková otopná tělesa doplněná v místnosti 101 podlahovým konvektorem s ventilátorem a v koupelnách jsou trubková otopná tělesa společně s podlahovou otopnou plochou.

S ohledem na požadavky investora a dispozici objektu byla zvolena v 1. NP částečně hvězdicová otopná soustava a ve vytápěném podkroví hvězdicová. [19] V každém patře je v koupelně umístěn patrový rozdělovač a sběrač ve skříni umístěné na zdi IVAR.CS 553 VP. Zdroj tepla je umístěn v koupelně v 1. NP.

Při volbě teplotního spádu musela být zohledněna použitá kombinace deskových otopných těles a podlahové otopné plochy. Pro podlahové vytápění je potřeba nízký teplotní spád, například 42/34 °C, kdežto pro desková otopná tělesa je s ohledem na poměr teplotní spád/výkon/rozměr výhodnější vyšší teplotní spád. Proto byl při volbě teplotního spádu zvolen kompromis, a to jednotný spád 50/40 °C. Potrubí k deskovým otopným tělesům, trubkovým otopným tělesům a podlahovému konvektoru bylo zvoleno vícevrstvé potrubí IVAR.ALPEX – DUO XS 16x2 mm.

3.2. Otopná tělesa

Jak již bylo uvedeno, v objektu byla použita desková otopná tělesa, trubková otopná tělesa, podlahový konvektor s ventilátorem a podlahové otopné plochy. Návrh otopných těles je důležitou součástí v projektu vytápění, ale je také důležitý z architektonického návrhu místností, protože neslouží pouze k dosažení tepelné pohody v místnosti, ale i k architektonickému uspořádání.

Desková otopná tělesa

Otopná tělesa byla vybrána od osvědčeného českého výrobce KORADO a.s., a to energeticky úsporná desková otopná tělesa RADIK RC PLAN s technologií řízeného zatékání v provedení VENTIL KOMPAKT, tedy se spodním připojením na otopnou soustavu.



Obr. 3 Deskové otopné těleso RADIK RC [20]

Těleso má v sobě zabudovaný rozdělovací ventil, který se nachází ve spodní části otopného tělesa na straně termostatického ventilu, umožňující úplné uzavření zadní desky otopného tělesa. Díky tomuto ventilu bude po větší část otopného období zadní deska otopného tělesa uzavřena a všechny tepelný výkon půjde do přední desky. [20]

Trubková otopná tělesa

Jedním z požadavků investora na otopné plochy bylo, aby v koupelnách byly kromě podlahové otopné plochy také trubková otopná tělesa. Stejně jako desková otopná tělesa byla i trubková tělesa vybrána od firmy KORADO, a to KORALUX RONDO MAX se spodním napojením. S ohledem na velikost tepelných ztrát, nízký teplotní spád a případné využití trubkových těles pro sušení ručníků či oblečení byla vybrána největší tělesa, která výrobce nabízí. V obou koupelnách byla použita tělesa o rozměrech 1820x745 mm.

Podlahový konvektor

Jelikož se v místnosti 101 nachází posuvně sklopné dveře a nelze tedy před ně umístit deskové otopné těleso, bude pro dokrytí tepelných ztrát místnosti sloužit podlahový konvektor. Tato místnost slouží jako kuchyně a jídelna, a proto po domluvě s investorem nevadilo použití podlahového konvektoru s ventilátorem navzdory zvýšenému hluku, který konvektor vyvolává. Byl zvolen podlahový konvektor od výrobce MINIB, a.s. typ KT3 o délce 2 m, šířce 243 mm a stavební výšce pouhých 105 mm. [21]



Obr. 4 Podlahový konvektor s ventilátorem KT3 [21]

3.2.1. Návrh otopných těles

Jelikož výrobce otopných těles udává jejich výkon při nominálním teplotním spádu 75/65/20 °C, je potřeba přepočítat jejich výkon při skutečném teplotním spádu 50/40 °C. Výpočet byl proveden podle [22] a detailnější výpočet i s číselným dosazením je v Příloze 7, List 6, umístěné na příloženém CD.

$$Q_{sk,OT} = Q_{N,OT} \cdot f_{\Delta t} \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_p \quad [W] \quad (21)$$

- $Q_{sk,OT}$ skutečný výkon otopného tělesa [W]
 $Q_{N,OT}$ jmenovitý výkon otopného tělesa [W]
 $f_{\Delta t}$ opravný součinitel na teplotní rozdíl [-]
 f_x opravný součinitel na připojení tělesa [-]
 f_o opravný součinitel na úpravu okolí [-]
 f_p opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [-]

Součinitel na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$ se vypočítá podle vzorce (22).

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{(\Delta t)_{sk}}{(\Delta t)_N} \right)^n \quad [-] \quad (22)$$

- $(\Delta t)_{sk}$ skutečný teplotní rozdíl [-]
 $(\Delta t)_N$ nominální teplotní rozdíl [-]
 n teplotní exponent otopného tělesa [-]

Teplotní exponent n je pro každý typ otopného tělesa jiný. Jeho hodnotu udává výrobce otopného tělesa.

Hodnota Δt se vypočte pomocí teplotního podílového součinitele c , který se vypočítá pomocí skutečných teplotních podmínek.

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad [-] \quad (23)$$

- t_{w1} teplota vstupní vody [°C]
 t_{w2} teplota výstupní vody [°C]
 t_i vnitřní teplota místnosti [°C]

Pro $c \geq 0,7$ platí aritmetická rozdíl teplot

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \quad [°C] \quad (24)$$

Pro $c < 0,7$ platí logaritmický rozdíl teplot

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (25)$$

V tabulce 3 jsou uvedena navržená otopná tělesa, jejich výkon při zvoleném teplotním spádu a tepelná ztráta místností, ve kterých jsou tělesa umístěna. Z tabulky je patrné, na jaký minimální výkon je potřeba navrhnout podlahové otopné plochy, aby plně pokryly tepelné ztráty koupelen.

Tab. 3 Použitá otopná tělesa a podlahový konvektor

Místnost č.	Tepelná ztráta místnosti [W]	Označení těles	Výkon těles [W]
101	2240	VKL 33RC 600/1600	2427
		KT3 243/2000	
102	990	KRM 1820/745	493
103	950	VKL 20RC 600/1000	1101
		VKL 20RC 600/2000	
104	590	VK 20RC 600/1800	660
107	330	VK 20RC 900/600	340
201	560	VK 22RC 600/1000	643
202	640	VKL 22RC 600/1100	707
203	1110	KRM 1820/745	493
204	850	VKL 33RC 600/1000	926
205	650	VKL 22RC 600/1100	707
207	520	VKL 20RC 600/1400	568

3.3. Podlahové vytápění

Pro vyšší výkon podlahové otopné plochy byl zvolen mokrý způsob pokládky, který pracuje s měrným tepelným výkonem vyšším jak 50 W/m^2 . Dále byl volen meandrový způsob pokládky, který umožňuje rovnoměrnější rozložení teploty v místnosti, a to díky tomu, že teplota otopné vody klesá od obvodové konstrukce směrem do místnosti. [23] Pro aplikaci byla zvolena systémová hydroizolační fólie IVAR.SOLOTOP, která dovoluje pokládací rozteč v násobcích 50 mm. Jak už z názvu vyplývá, jedná se o

hydroizolační fólii, nebylo tedy nutné použít další hydroizolační fólie. Spojení jednotlivých desek se provádí zamáčknutím jedné řady nopů jedné desky do druhé a následně jejich zamáčknutím.

Jelikož bude podlahová otopná plocha použita v místnostech, kde hrozí nebezpečí vniknutí vlhkosti do otopné plochy, nebylo možno použít anhydritovou mazaninu bez hydroizolačního materiálu. Byla proto použita betonová mazanina, do které byly přidány plastifikátory pro lepší zatékání otopného hadu. Vlastnosti betonové mazaniny jsou uvedeny v kapitole 2.1. Potrubí otopného hadu bylo zvoleno IVAR.PEXa o rozměru 17x2 mm. Dále je ukázán výpočet pro koupelnu v prvním nadzemním podlaží podle [23].

3.3.1. Tepelně – technický výpočet podlahového vytápění

Tepelná propustnost vrstvy nad trubkami

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} = \frac{1}{\frac{0,0715}{1,1} + \frac{0,002}{1,16} + \frac{0,01}{1,01} + \frac{1}{12}} = 6,25 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (26)$$

a tloušťka vrstvy nad trubkami [m]

λ_a součinitel tepelné vodivosti materiálu nad trubkami [W/m·K]

α_p součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy (volím $\alpha_p = 12$) [W/m²·K]

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_p}} = \frac{1}{\frac{0,3}{0,27} + \frac{0,2}{1,23} + \frac{0,16}{0,031} + \frac{0,085}{1,1} + \frac{1}{8}} = 0,15 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (27)$$

b tloušťka vrstvy pod trubkami [m]

λ_b součinitel tepelné vodivosti materiálu pod trubkami [W/m·K]

α_p součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy (volím $\alpha_p = 8$) [W/m²·K]

Charakteristické číslo podlahy

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a - \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (6,25 - 0,15)}{\pi^2 \cdot 1 \cdot 0,017}} = 8,13 \text{ [1/m]} \quad (28)$$

λ_b součinitel tepelné vodivosti materiálu, ve kterém jsou zalaty trubky [W/m·K]

d_e vnější průměr potrubí [m]

Šířka okrajové zóny

$$r = \frac{2,3}{m} = \frac{2,3}{8} = 0,29 \text{ [m]} \quad (29)$$

Celkový výkon podlahové otopné plochy

Pro volbu správného návrhového nomogramu byla zvolena hodnota charakteristického čísla podlahy $m = 8 \text{ [1/m]}$. Při zadaném teplotním spádu 50/40 °C a tedy známé střední teplotě otopné vody bylo potřeba pomocí návrhového diagramu určit rozteč potrubí a měrný tepelný tok podlahové otopné plochy. Z návrhového diagramu, Příloha 1, byly odečteny následující hodnoty:

rozteč potrubí	$l = 0,3 \text{ [m]}$
měrný tepelný tok směrem nahoru	$q = 80 \text{ [W/m}^2 \text{]}$
střední povrchová teplota	$t_p = 31 \text{ [}^\circ\text{C]}$
měrný tepelný tok směrem dolů	$q' = 6 \text{ [W/m}^2 \text{]}$

Celkový tepelný výkon otopné plochy je dán vztahem (30)

$$Q_{pc} = S_p \cdot (q + q') = 8 \cdot (80 + 6) = 688 \text{ [W]} \quad (30)$$

S_p podlahová plocha ohraničená krajní trubkou [m²]

Stejný postup byl proveden i ve druhé místnosti:

rozteč potrubí	$l = 0,25 \text{ [m]}$
měrný tepelný tok směrem nahoru	$q = 90 \text{ [W/m}^2 \text{]}$
střední povrchová teplota	$t_p = 31 \text{ [}^\circ\text{C]}$

3.4. Výpočet tlakových ztrát

Při proudění teplotnosné látky potrubím vznikají v potrubí tlakové ztráty třením a místními odpory. Tlakové ztráty třením jsou závislé na materiálu potrubí, vnitřním průměru potrubí, teplotnosné látky a její rychlosti. Tlakové ztráty místními odpory vznikají v obloucích, kolenech, armaturách, atd.

Nejprve bylo potřeba vypočítat hmotnostní průtok jednotlivých okruhů, a to z přenášeného výkonu a zadaného zvoleného spádu.

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \rightarrow \dot{m} = \frac{Q}{c \cdot (t_{w1} - t_{w2})} \quad [\text{kg/s}] \quad (31)$$

Q přenášený tepelný výkon [W]

\dot{m} hmotnostní průtok [kg/s]

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

t_{w1} teplota přívodní vody [°C]

t_{w2} teplota zpátečky [°C]

Dalším krokem byl výpočet střední rychlosti proudění kapaliny v průřezu potrubí. Ten se vypočítá z hmotnostního průtoku a průměru potrubí.

$$w = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d_i^2} \quad [\text{m/s}] \quad (32)$$

ρ hustota teplotnosné látky při střední teplotě [kg/m³]

d_i vnitřní průměr potrubí [m]

Tlakové ztráty třením

Dále se vypočítala měrná tlaková ztráta.

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa/m}] \quad (33)$$

λ součinitel tření [-]

Celková tlaková ztráta třením je určena součinem měrné tlakové ztráty a délky úseku potrubí.

$$\Delta P_{zt} = R \cdot l \quad [\text{Pa}] \quad (34)$$

l délka úseku potrubí [m]

Tlaková ztráta místními odpory

V potrubní síti vznikají také ztráty místními odpory, jako jsou oblouky, kolena, armatury, shybky apod. Tlaková ztráta místními odpory se vypočítá podle vzorce (35). Hodnoty součinitele místního odporu jsou tabulkově zpracovány a byly brány z [24].

$$\Delta P_{zm} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (35)$$

ξ součinitel místního odporu [-]

Součinitel místního odporu při výpočtu tlakové ztráty podlahové otopné plochy a meandrovém způsobu pokládky se vypočítá podle vzorce (36)

$$\sum \xi = 2 \cdot (n - 1) \cdot \xi_{\varphi} \quad [-] \quad (36)$$

n počet řad trubek [-]

ξ_{φ} součinitel místního odporu oblouku o úhlu φ [-]

Celková tlaková ztráta

Celková tlaková ztráta jednotlivých okruhů je součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory.

$$\Delta P_c = \Delta P_{zt} + \Delta P_{zm} \quad [\text{Pa}] \quad (37)$$

Číselný výpočet tlakových ztrát okruhů je uveden v Příloze 7, List 9, umístěné na příloženém CD.

Tab. 4 Celková tlaková ztráta okruhů

Okruh	ΔP_c [kPa]	Okruh	ΔP_c [kPa]
A1	2,039	B1	3,199
A2	3,362	B2	2,317
A3	1,529	B3	3,935
A4	1,546	B4	3,136
A5a	2,683	B5	2,537
A5b	2,684	B6	3,124
A6	2,257	B7	2,896
A7	6,631		

3.5. Hydraulické vyvážení soustavy

Důležitým bodem projektu vytápění je hydraulické vyvážení otopné soustavy. Vyvážení se dosáhne toho, že všechny okruhy otopné soustavy budou mít stejnou tlakovou ztrátu k referenčnímu místu při požadovaném hmotnostním průtoku okruhu. [25] K hydraulickému vyvážení otopné soustavy se používají termostatické ventily s přednastavením, regulační šroubení a ventily pro jemnou regulaci na patrových rozdělovačích. Desková otopná tělesa typu ventil kompak, která byla v projektu vybrána, mají v sobě zabudovaný termostatický ventil, který se nastaví na požadovanou hodnotu pomocí diagramu, který přikládám v Příloze 2. [20] Tělesa bylo nutné doplnit regulačním a uzavíracím šroubením. Byla vybrána rohová regulační a uzavírací šroubení, provedení H, R384 od firmy Giacomini. K trubkovým otopným tělesům byla vybrána sada termostatického ventilu a rohového šroubení T439L také od firmy Giacomini. Návrhové diagramy pro R384 a T439L jsou přiloženy v Příloze 3 a 4.

Nejprve bylo nutné nastavit ventily a šroubení u všech těles a na patrových rozdělovačích tak, aby byly co nejvíce otevřeny. Při tomto nastavení však mají ventily a šroubení určitou tlakovou ztrátu, kterou bylo nutné připočítat k tlakové ztrátě okruhu jednotlivých těles. Tím se získala celková tlaková ztráta jednotlivých okruhů. Dále byl spočítán rozdíl tlakových ztrát okruhu s největší tlakovou ztrátou a ostatních okruhů.

Hydraulické vyvážení otopné soustavy bylo provedeno pouze na patrovém rozdělovači pomocí výpočtu k_v hodnoty ventilů na patrovém rozdělovači. [26]

$$k_v = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_o}{\Delta P_v}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (38)$$

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

$\Delta P_o = 100 \text{ kPa}$

ΔP_v tlaková ztráta ventilu $[\text{kPa}]$

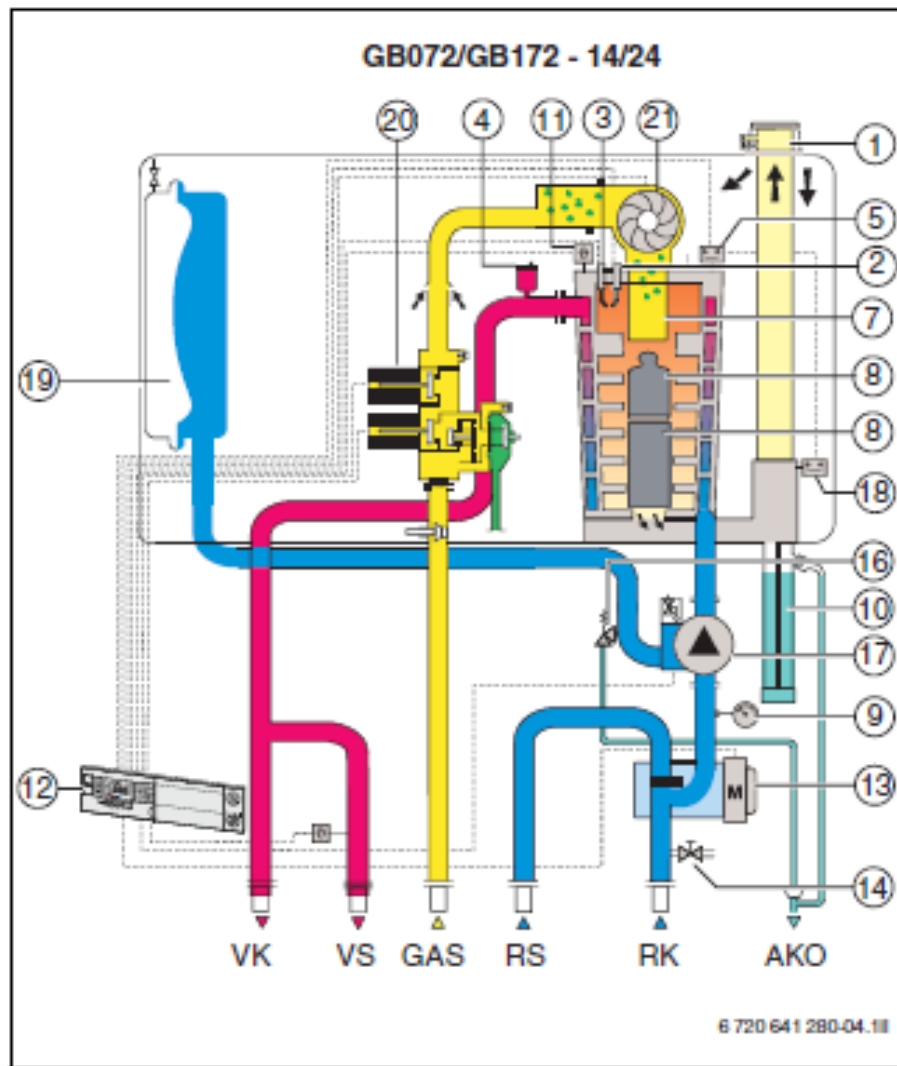
Pro každou vypočítanou k_v hodnotu, respektive určitý rozsah hodnot ventilu, odpovídá určitá pozice nastavení ventilu. Na tuto hodnotu byly zaregulovány jednotlivé otopné okruhy, což je zobrazeno ve výkresové dokumentaci přiložené k této práci.

V Příloze 5 je přiložen návrhový diagram rozdělovače IVAR.CS 553 VP.

3.6.Návrh zdroje tepla

Při výběru zdroje tepla muselo být zohledněno několik hledisek - požadavky investora, umístění zdroje v objektu, oblast výstavky objektu, možnosti regulace, účinnost atd. Jelikož se objekt nachází v plynofikované oblasti a otopná soustava byla navržena na nízký teplotní spád, byl zvolen kotel na zemní plyn, přesněji kondenzační plynový kotel. U kondenzačních kotlů dochází ve speciálním výměníku ke kondenzaci vlhkosti z vodní páry, která je obsažená ve spalínách. Díky tomu se získá jinak nevyužitá tepelná energie pro ohřev topné vody a lze dosáhnout provozní účinnosti až 109 % a snížení spotřeby plynu. [27]

Jako zdroj tepla byl vybrán nástěnný plynový kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB072 o jmenovitém výkonu 14 kW. V kotli se nachází předsměšovací plynový tyčový nerezový hořák pro provoz s minimálními emisemi a výměník tepla ze slitiny hliníku s křemíkem. [28]



Obr. 5 Funkční schéma kotle Logamax plus GB072 [28]

AKO	Výstup kondenzátu	9	Tlakoměr
GAS	Připojení plynu	10	Sifon
RK	Zpátečka kotle	11	Teplotní čidlo na výstupu
RS	Zpátečka zásobníku	12	Řídící jednotka Logamatic BC20
VK	Výstup kotle	13	3cestný přepínací ventil
VS	Výstup zásobníku	14	Kohout pro plnění a vypouštění
1	Přívod vzduchu a odvod spalin	16	Pojistný ventil
2	Zapalovací elektroda	17	Třístupňové oběhové čerpadlo
3	Ionizační elektroda	18	Omezovač teploty spalin
4	Automatický odvzdušňovač	19	Expanzní nádoba
5	Havarijní omezovač teploty	20	Plynová armatura
7	Tyčový plošný hořák z nerezů	21	Ventilátor
8	Vratné hlavy		

3.7. Oběhové čerpadlo

Zvolený kotel obsahuje oběhové třístupňové čerpadlo s charakteristikami uvedenými v Příloze 6. [28] Při projektovaném objemovém průtoku 930 l/h je tlaková ztráta okruhu 6,59 kPa. Pracovní bod se nachází mezi jednotlivými stupni nastavení čerpadla. Proto bylo nutné pomocí přepočtového vztahu (39) vytvořit charakteristiku potrubí sítě.

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \quad [\text{kPa}] \quad (39)$$

Poté byla odečtena hodnota objemového průtoku při nastavení oběhového čerpadla na pozici 2 (1035 l/h). Tato hodnota byla porovnána s projektovanou hodnotou průtoku, a protože byl rozdíl mezi těmito hodnotami 11 %, nebylo potřeba použít vyvažovacího ventilu. Oběhové čerpadlo nastaveno do pozice 2, a tím byl získán skutečný pracovní bod oběhového čerpadla.

3.8. Příprava teplé vody

Příprava teplé vody byla navržena v režimu přednostní přípravy teplé vody. V tomto režimu se při potřebě ohřátí zásobníku teplé vody přepne veškerý výkon kotle do režimu „ohřev teplé vody“ a po ohřátí se přepne zpět do režimu „vytápění“. Také se v případě potřeby, při nízkém teplotním spádu, zvýší teplotní spád. Jelikož navržený zdroj tepla nemá integrovaný zásobník teplé vody, bylo potřeba navrhnout externí zásobník teplé vody. Jelikož je rodinný dům obývat čtyřčlenná rodina se dvěma dospívajícími dětmi, je potřeba teplé vody na osobu $V_{2P} = 0,04 \text{ m}^3/\text{osoba}\cdot\text{den}$. Velikost zásobníku teplé vody se následně vypočítal podle vzorce (39). [29]

$$V_{TV} = V_{2P} \cdot n_i = 0,04 \cdot 4 = 0,16 \quad [\text{m}^3] \quad (40)$$

V_{2P} potřeba teplé vody $[\text{m}^3/\text{osoba}\cdot\text{den}]$

n_i obsazenost domu $[\text{osoba}\cdot\text{den}]$

Bylo tedy potřeba najít zásobník teplé vody o objemu 0,16 m³. Ze sortimentu firmy Buderus byl vybrán zásobník Logalux S160 RW s navařeným výměníkem z hladkých trubek. [30]

Dále bylo potřeba vypočítat dobu ohřevu zásobníku (41).

$$\tau_a = \frac{V_{TV} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k} = \frac{0,16 \cdot 0,94 \cdot 985,7 \cdot 4180 \cdot 10}{14000} = 443 \quad [\text{s}] \quad (41)$$

V_{TV}	objem zásobníku teplé vody	[m ³]
y	korekční faktor odběru tepla ze zásobníku	[-]
Q_k	výkon kotle	[W]
τ_a	doba ohřevu TV	[s]
ρ	hustota vody při střední teplotě zásobníku	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku	[J/(kg.K)]
X_p	spínací diference pro dohřev TV	[K]

Jelikož je doba ohřevu zásobníku teplé vody $\tau_a < 20$ min, což je hodnota pro středně těžké a těžké stavby, je výkon kotle dostačující.



Obr. 6 Řez zásobníkem Logalux S160 RW [30]

3.9. Expanzní nádoba

Expanzní nádoba je zabezpečovací zařízení, které vyrovnává změny roztažnosti vody vlivem teploty a chrání otopnou soustavu proti náhlým změnám tlaku. Součástí navrženého zdroje tepla je integrovaná tlaková expanzní nádoba o objemu 12 l a bylo tedy nutné ověřit, zda bude vyhovovat. [31]

$$\Delta t_{max} = t_{max} - t_{min} = 50 - 10 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (42)$$

Δt_{max}	maximální rozdíl teplot	[K]
t_{max}	maximální projektovaná teplota	[$^\circ\text{C}$]
t_{min}	minimální napouštěcí teplota (u OS 10 $^\circ\text{C}$)	[$^\circ\text{C}$]

$$P_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + P_B = 1,1 \cdot 990 \cdot 9,81 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} + 100 \quad (43)$$

$$= 137,4 \quad [\text{kPa}]$$

$P_{d,dov,A}$	nejnižší dovolený absolutní tlak	[kPa]
ρ	hustota vody	[kg/m^3]
g	tíhové zrychlení	[m/s^2]
h	výška vodního sloupce od středu expanzní nádoby do nejvyššího místa otopné soustavy	[m]
P_B	barometrický tlak	[kPa]
1,1	bezpečnostní součinitel pro plné zavodnění soustavy	

$$\eta = \frac{P_{h,dov,A} - P_{d,dov,A}}{P_{h,dov,A}} = \frac{400 - 137,4}{400} = 0,6565 \quad [-] \quad (44)$$

η	normovaný stupeň využití	[-]
$P_{h,dov,A}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak	[kPa]

$$V_{EN} = \frac{1,3 \cdot V_S \cdot n}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 0,154 \cdot 0,01169}{0,6565} = 0,0036 \quad [\text{m}^3] \quad (45)$$

V_{EN}	objem tlakové expanzní	$[m^3]$
V_S	objem vody v otopné soustavě	$[m^3]$
n	součinitel zvětšení objemu	$[-]$

Tlaková expanzní nádoba, která je součástí kotle Logamax Plus GB072, je pro navrženou otopnou soustavu dostačující.

3.10. Potřeba tepla pro vytápění

Teoretická potřeba tepla

K výpočtu potřeby tepla na vytápění byla použita denostupňová metoda. [32]

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d \quad [J] \quad (46)$$

Q_c	celková tepelná ztráta objektu	$[W]$
d	počet dnů otopného období	$[dny]$
t_{is}	průměrná vnitřní teplota v objektu	$[^{\circ}C]$
t_{es}	průměrná venkovní teplota za otopné období	$[^{\circ}C]$
t_{ev}	oblastní venkovní výpočtová teplota	$[^{\circ}C]$
ε	opravný součinitel na nesoučasnost přírážek	$[-]$
ε_t	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty	$[-]$
ε_d	opravný součinitel na zkrácení doby provozu OS	$[-]$

$$\begin{aligned}
 Q_{VYT,teor} &= 24 \cdot 3600 \cdot 9420 \cdot \frac{238 \cdot (19,15 - 4,1)}{[19,15 - (-12)]} \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 1 \\
 &= 53341 \quad [MJ]
 \end{aligned} \quad (47)$$

Skutečná potřeba tepla

$$Q_{VYT} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} \quad [J] \quad (48)$$

η_R účinnost rozvodu [-]

η_O účinnost obsluhy [-]

η_K účinnost kotle [-]

$$Q_{VYT} = \frac{53341}{0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 60310 \quad [MJ] \quad (49)$$

3.11. Potřeba paliva

$$U_{VYT} = \frac{Q_{VYT}}{H_u} = \frac{61142}{33,48} = 1801 \quad [m^3] \quad (50)$$

H_u výhřevnost paliva [MJ/m³]

V České republice je průměrná hodnota výhřevnosti zemního plynu 33,48 MJ/m³.
[33]

Výkresová dokumentace části vytápění je samostatnou součástí této diplomové práce. Jsou v ní zakresleny všechny otopné plochy, jejich typy a rozměry. Dále pak umístění kotle, zásobníku teplé vody a rozdělovačů otopných okruhů. Dále jsou zakresleny trasy potrubí, detaily rozdělovačů a nastavení regulačních armatur. Dokumentace se skládá ze třech výkresů formátu A3:

půdorys 1. NP č. výkresu 8 – IB – 2015 – 1 – 01

půdorys podkroví č. výkresu 8 – IB – 2015 – 1 – 02

rozvinuté schéma č. výkresu 8 – IB – 2015 – 1 - 03

Výkresová dokumentace je také uložena na příloženém CD. Také tam je uložen soubor formátu .xlsx, ve kterém jsou veškeré výpočty, které jsou uvedeny v textové části práce.

4. Měření a regulace

V následujících kapitolách budou popsány způsoby řízení technologií, které byly navrženy pro zadaný objekt a které by případně mohly být dále použity.

Tato práce se zabývá vytápěním rodinného domu, a proto bude hlavní část měření a regulace zaměřena právě na vytápění. Návrh a výpočet umělého osvětlení není součástí této práce, přesto bude jedna kapitola věnována řízení umělého osvětlení. Stejně tak bude jedna kapitola věnována prvkům stínění.

Měření a regulace má za cíl optimální řízení technologií budovy, jako je například vytápění, větrání, chlazení a osvětlení. Optimálním řízením technologií budovy je namysli efektivní řízení jednotlivých subsystémů a zároveň jejich součinnost. Pro každou technologii nabízejí výrobci vlastní regulační systém. Při využití více technologií v budově je důležité vzájemně provázat jednotlivé regulační systémy tak, aby spolu účinně spolupracovaly. Proto je výhodné zvolit takový regulační systém, který dokáže ovládat více technologií. Z tohoto důvodu byl vybrán systém *Synco Living* od společnosti Siemens, který dokáže ovládat otopnou soustavu, klimatizační jednotky, odečítat údaje o spotřebě elektrické energie, plynu a vody, řídit umělé osvětlení a rolety. [34]

4.1. Centrální řídicí jednotka

Pro ovládání systému *Synco Living* byla zvolena centrální jednotka QAX913. Tato jednotka dokáže nezávisle ovládat a kontrolovat veškeré funkce, a to až ve 12 místnostech. Komunikaci s centrální řídicí jednotkou lze navázat bezdrátově pomocí směrnice KNX RF., případně po směrnici KNX TP1. Kromě základních funkcí, které byly výše popsány, může jednotka sledovat detektory kouře, detektory úniku vody a plynu, spínače otevření oken a dveří. Jednou ze zajímavých funkcí je funkce nepřítomnosti, kdy jednotka může řídit osvětlení a rolety podle navoleného režimu.



Obr. 7 Centrální jednotka QAX913 [34]

4.2. Regulace otopné soustavy

Regulace otopné soustavy se dá rozdělit na regulaci zdroje tepla a prostorovou regulaci. K centrální řídicí jednotce byl pro každý rozdělovač topných okruhů vybrán regulátor RRV918, který může bezdrátově, přes protokol KNX RF, řídit až 8 topných okruhů. Hlavní funkcí regulátoru je udržení požadované prostorové teploty.

4.2.1. Regulace zdroje tepla

Navržený kondenzační plynový kotel má v sobě od výroby zavedený systém regulace Logamatic EMS, a proto pro regulaci zdroje tepla bude využito tohoto systému. [28] Hlavním prvkem systému je digitální řídicí jednotka s integrovaným hořákovým automatem Logamatic BC20. Tato jednotka obsahuje veškeré požadované prvky pro základní nastavení kotle a otopného systému, a řídí výkon kotle a spalovací proces. Pro regulaci kotle byla zvolena ekvitermní regulace s čidlem venkovní teploty na severní fasádě objektu.

Nastavení se provádí pomocí displeje a tlačítek, na kterém se zobrazují požadované parametry. Před uvedením kotle do provozu se nastaví například maximální výstupní teplota vody pro provoz vytápění, maximální teplota teplé vody, provede se test spalin pomocí kominického tlačítka, atd.

4.2.2. Individuální prostorová regulace

Druhou částí problematiky regulace otopné soustavy je individuální prostorová regulace. Při tomto způsobu regulace se objekt rozdělí do samostatných zón se samostatným řízením vnitřního klimatu. Každá takováto samostatná zóna je poté samostatně řízena podle aktuálních požadavků uživatele, případně podle časových plánů, k dosažení požadovaného klimatu a ekonomického provozu.

V objektu byl použit hvězdicový rozvod, a proto mohl být objekt rozdělen do zón podle místností. Z důvodu napojení více těles v jedné zóně na jeden ventil rozdělovače otopných okruhů, byla desková otopná tělesa vybavena regulačními servopohony SSA955. Servopohon má v sobě zabudované čidlo teploty, díky kterému získává aktuální teplotu prostoru a předává ji centrální řídicí jednotce. Díky tomuto čidlu není potřeba mít v místnosti instalované prostorové teplotní čidlo ani prostorovou jednotku.



Obr. 8 Regulační servopohon SSA955 a elektrotermický pohon STA23HD [34]

Trubková otopná tělesa, podlahový konvektor a podlahové otopné plochy budou ovládány elektrotermickými pohony STA23HD, které budou osazeny na ventilech rozdělovače otopných okruhů a budou ovládány pomocí prostorových jednotek.

Jeden z požadavků investora bylo, aby bylo možné regulovat teplotu v místnosti pomocí prostorové jednotky. K tomuto účelu byla použita prostorová jednotka QAW910. Tato jednotka snímá, stejně jako servopohon SSA955, aktuální prostorovou

teplotu a předává tuto informaci centrální jednotce. Na jednotce lze nastavit dva základní druhy provozu, automatický s přednastavenou vnitřní teplotou a ruční.

Prostorová jednotka se montuje na vnitřní stěnu 1,5 m nad podlahu. Pro dodržení správné funkce jednotky je důležité při instalaci dodržovat následující podmínky:

- neumisťovat jednotku na venkovní stěnu, do poliček či výklenků
- nesmí být vystavena přímému slunečnímu záření ani jinému zdroji tepla či chladu
- nutno zachovat min. 60 mm volného prostoru pod jednotkou
- nesmí být vystavena kapající vodě



Obr. 9 Prostorová jednotka QAW910 [34]

4.3. Regulátor topných okruhů

Pro ovládání servopohonů a elektrotermických pohonů bude sloužit regulátor topných okruhů RRV918, který dokáže ovládat až 8 topných okruhů. Proto budou použity dva regulátory, vždy jeden pro rozdělovač topných okruhů. Ke komunikaci s centrální jednotkou využívá protokol KNX RF.

4.4.Řízení umělého osvětlení

Umělé osvětlení doplňuje denní osvětlení a zajišťuje správné světelné podmínky pro pracovní činnost člověka v interiéru. V této části nebude proveden návrh osvětlovací soustavy, ale bude pouze popsán způsob řízení osvětlení. V objektu budou využity dva způsoby ovládání osvětlení. První, základní způsob ovládání osvětlení bude vypnuto/zapnuto. Tohoto způsobu bude využito ve vstupní chodbě, hale a spíži. V ostatních místnostech bude osvětlení ovládáno nejen způsobem vypnuto/zapnuto, ale bude se moci dle aktuálních požadavků stmívat, případně nastavit předem nadefinovaná scéna.

Pro řízení se využívají přístroje od společnosti Hager v produktové řadě tebis RF. K navázání spojení s centrální řídicí jednotkou využívají protokol KNX RF. Jako vstupní člen, senzor, byl vybrán člen TRB302B s funkcí zapnout/vypnout stmívání. Člen je umístěn v přístrojové krabici a je napájen 230 VAC. Výstupní, akční člen byl vybrán člen TRB210 pro montáž do elektroinstalační krabice. [35]

4.5.Ovládání rolet

Stejně jako osvětlení, budou i rolety ovládány přístroji společnosti Hager. Rolety budou ovládány stisknutím tlačítka z centrální řídicí jednotky nebo externími spínači. Rolety budou plně otevřeny nebo zavřeny, případně ovládány po krocích. Jednotlivé polohy rolet mohou být společně s nastavením osvětlení uloženy jako scény pro následné ruční vyvolání, nebo vyvolání podle nastaveného časového plánu.

4.6. Meteorologická stanice

Meteorologická stanice primárně slouží k ochraně venkovních rolet proti větru.

Meteorologické čidlo

Informaci o venkovní teplotě a tlaku vzduchu předává bezdrátově pomocí protokolu KNX systému Synco Living meteorologické čidlo QAC910. Centrální jednotka pak dokáže na displeji zobrazit průběh těchto naměřených veličin za posledních 24 hodin a na základě aktuální hodnoty a změn absolutního tlaku může zobrazit trend vývoje počasí.



Obr. 10 Meteorologické čidlo QAC910 [34]

Čidlo větru

Pro ochranu předokenních rolet proti větru bylo vybráno čidlo větru 5WG1257-3AB42, které je s centrální jednotkou propojeno sběrníci KNX TP1. Pomocí naměřených hodnot lze na dálku nastavovat limit vytažení rolet, případně je plně vytáhnout.



Obr. 10 Čidlo větru 5WG1257-3AB42 [36]

4.7. Doplnkové funkce

Centrální jednotka dokáže také odečítat a shromažďovat údaje o spotřebě tepla, vody, plynu a elektrické energie. Dokáže také ovládat domácí spotřebiče. V případě potřeby je centrální jednotka schopna také regulovat chlazení jednotlivých místností, řídit centrální ventilaci, klimatizační jednotky. Dále je možné dálkově ovládat otopnou soustavu pomocí chytrých telefonů nebo PC pomocí Web serveru OZW772.

Poslední část práce se zabývá elektronickým a zabezpečovacím systémem. Centrální řídicí jednotka systému Synco living sice dokáže sledovat některé prvky zabezpečení, přesto byl vybrán jiný systém od firmy Siemens.

5. Elektronický zabezpečovací systém

Ochrana objektu je nedílnou součástí moderní výstavby. Jedná se například o protipožární ochranu, ochranu proti vloupání, ochranu proti úniku vody a plynu. V poslední části práce bylo navrženo, jak by mohl vypadat a co všechno by obsahoval elektronický zabezpečovací systém objektu.

5.1. Ústředna EZS

Pro zabezpečení objektu byla vybrána ústředna Sintony 60 Compact. Tato ústředna je vhodná pro malé aplikace do 16 zón, má zabudovaný dvouřádkový displej, podsvícenou klávesnici a telefonní modem, na který lze nastavit až 8 různých telefonních čísel. Sama dokáže informovat policii nebo pult centrální ochrany v případě narušení nebo záchrannou službu v případě „zdravotního poplachu“. Ústřednu lze dálkově ovládat a nastavovat, programovat přímo z klávesnice nebo z paměťové karty. Díky SiWay Radio systému dokáže spravovat například detektory pohybu, kouře, okenní a dveřní kontakty. [37]



Obr. 12 Ústředna Sintony 60 compact [37]

Vybrané technické vlastnosti ústředny Sintony 60 compact:

Napájecí zdroj	integrováný spínací zdroj 100 – 240 VAC, 50/60 Hz
Proudový odběr	max. 120 mA
Počet uživatelů	100
Záložní baterie pro 24 h	1,8 Ah
Rozměry (V x Š x H)	170 x 330 x 40 mm

5.2. Detektory požáru

V projektu byl zvolen Multisenzorový hlásič OH720, který pracuje na principu detekce rozptýleného světla. Měřicí komora odolávající externímu světlu detekuje rozptýl IR světla v částicích kouře. Hlásič společně zpracovává naměřenou teplotu a míru hustoty kouře a tím zvyšuje odolnost proti rušivým vlivům. Je vhodný i v místech s výskytem rušivých vlivů, a proto mohl být v návrhu umístěn do kuchyně.



Obr.13 Multisenzorový hlásič OH720 [38]

5.3. Detektor úniku plynů

Pro ochranu objektu před únikem plynu byl zvolen detektor úniku zemního plynu GD-98-NG, který byl umístěn do kuchyně a koupelny v prvním nadzemním podlaží, kde je umístěn plynový kondenzační kotel. [39]



Obr. 14 Detektor GD-98-NG [39]

5.4. Detektory otevření oken a dveří

Pro kontrolu otevření oken a dveří byly vybrány dveřní a okenní spínače AP 260. S ústřednou EZS komunikují pomocí bezdrátového systému SiWay radio systemu. [37]

Spínače také komunikují s centrální jednotkou Synco Living pomocí bezdrátové komunikace KNX RF. Spínače zabráňují zbytečnému plýtvání energií při současném otevřeném oken/dveří a vytápění. Centrální jednotka v takovém případě zablokuje kuželku regulačního ventilu v aktuální poloze a po uplynutí přednastavené doby větrání přepne danou místnost do ochranného režimu.



Obr. 15 Dveřní a okenní spínač AP 260 [34]

5.5. Detektory pohybu

S ohledem na požadavky investora byly detektory pohybu umístěny uvnitř a vně objektu.

5.5.1. Vnitřní detektory

Pro detekci pohybu osob uvnitř objektu byly zvoleny PIR detektory IR 80B. Detektor je bezdrátově připojen k ústředně a má dosah až 12 m (dokáže pokrýt oblast až 144 m²). Detektor je osazen Fresnelovou čočkou a dokáže eliminovat pohyb zvířete až o hmotnosti 12 kg. Montážní výška je mezi 1,8 a 2,4 m. [40]

Detektory byly umístěny převážně v nadzemním podlaží ve všech místnostech kromě koupelny a spíže, kde by bylo jejich umístění vzhledem k dostupnosti zbytečné. Jeden detektor byl umístěn také do haly ve vytápěném podkroví.



Obr. 16 PIR detektor IR 80B [40]

Vybrané technické vlastnosti PIR detektoru IR 80B:

Napájení	9,0 až 16,0 VDC
Spotřeba	12 až 16 mA
Poplachový výstup	30 VDC, 100 mA, R _i 100 Ohmů
Sabotážní výstup	30 VDC, 50 mA
Citlivost	2 stupně
Provozní teplota	-20 až +55 °C
Rozměry (V x Š x H)	87 x 51 x 45 mm

5.5.2. Venkovní detektory

Detekci pohybu osob na pozemku obstarávají detektory pohybu IS 433 pomocí aktivního infračerveného paprsku o dosahu 20 m. Detektor je vhodný i do oblastí, kde panují zhoršené povětrnostní podmínky. [41]

Umístění detektorů je patrné z výkresu 8 – IB – 2015 – 2 – 03.



Obr. 17 Detektor IS 433 [41]

Vybrané technické vlastnosti detektoru IS 433:

Napájení	12 až 30 VDC / 55 mA
Poplachový a sabotážní výstup	30 V (AD/DC), < 0,5 A
System detekce	protnutí dvou paprsků
Doba odezvy	50 až 70 ms
Provozní teplota	-25 až + 60 °C
Rozměry (V x Š x H)	170 x 73 x 71,5 mm

5.6. Detektor úniku vody

Detektor úniku vody slouží k zaznamenání hladiny vody na úrovni podlahy a zabráňuje vytopení místnosti. V projektu byly navrženy dva detektory umístěné v koupelnách. Jelikož je zdroj tepla umístěn v koupelně, bude detektor sloužit nejen pro detekci úniku vody z kotle, případně zásobníku teplé vody, ale také pro zamezení vytopení koupelny. Firma Siemens nabízí detektor úniku vody QFP910. V závislosti na nastavení centrální jednotky Synco Living, na kterou je detektor napojen, může být uzavřen ventil na hlavním přívodu vody, může se aktivovat interiérová siréna případně, při připojení centrální jednotky k internetu, může být odesláno hlášení do PC nebo mobilního telefonu. [34]



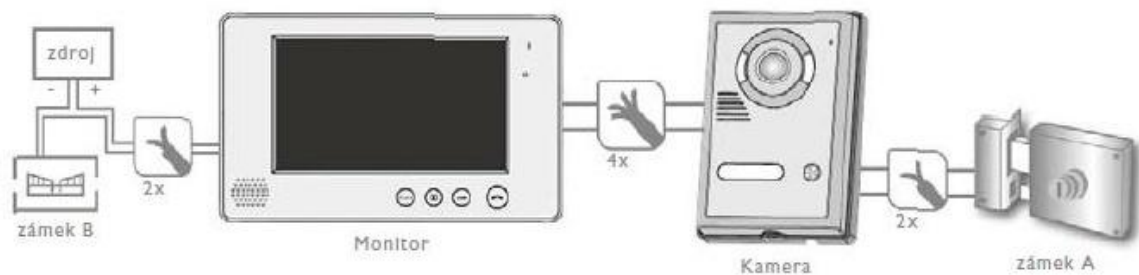
Obr. 18 Detektor úniku vody QFP910 [34]

5.7. Domovní telefon

Domovní telefony nebo také videotelefony lze také použít pro zabezpečení objektu, případně pozemku. Na monitoru telefonu umístěném uvnitř objektu lze vidět osobu pomocí kamery umístěné u vchodových dveří nebo brance na pozemek. Uživatel má tak možnost vidět, kdo přišel na návštěvu, aniž by musel opustit objekt, a může se tedy bezpečně rozhodnout, zda otevře či nikoliv.

V rámci návrhu byl zvolen videotelefon SBV 716LB. Vnitřní část telefonu se skládá ze 7 palcového TFT-LED monitoru s dotykovými tlačítky. Lze si vybrat ze 14 melodií, nastavit hlasitost melodie a příchozího hlasu. Dále umožňuje odemknutí dvou zámků.

Venkovní část je v jednotlačítkovém provedení s CCD kamerou, která má noční přisvit až 4 m. [42]



Obr. 19 Schéma videotelefonu [42]

Výkresová dokumentace části MaR + EZS je samostatnou součástí této diplomové práce. Je v ní zakresleno možné uspořádání prvků MaR a EZS, které byly vybrány v textové části práce. Dokumentace se skládá ze třech výkresů formátu A3:

půdorys 1. NP	č. výkresu 8 – IB – 2015 – 2 – 01
půdorys podkroví	č. výkresu 8 – IB – 2015 – 2 – 02
půdorys pozemku	č. výkresu 8 – IB – 2015 – 2 - 03

Výkresová dokumentace je také uložena na příloženém CD.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zpracování projektové studie nízkoteplotního vytápění rodinné vily. Součástí práce je také část zabývající se měřením a regulací. Celý návrh byl zpracován podle současných nároků na tepelnou pohodu prostředí.

V první části práce byly určeny tepelně technické vlastnosti objektu. Ze zadaných stavebních materiálů byly spočítány jednotlivé součinitele prostupu tepla pro všechny stavební konstrukce. Veškeré vypočítané hodnoty součinitele prostupu tepla splňovaly doporučené hodnoty podle normy ČSN 73 0540-2. Některé stavební konstrukce, jako např. základová deska nebo obvodové zdivo, splňovaly i doporučené hodnoty pro pasivní budovy.

Výpočet tepelných ztrát byl proveden podle normy ČSN EN 12 831. Výpočet byl proveden zjednodušenou metodou stanovení lineárních tepelných mostů pomocí korigovaného součinitele prostupu tepla. Celková vypočtená tepelná ztráta objektu je 9,42 kW.

Otopná soustava v objektu byla vybrána částečně hvězdicová s vertikálním rozvodem mezi patry. V obou patrech byl umístěn rozdělovač/sběrač otopných okruhů. Jelikož objekt nemá technickou místnost, byly rozdělovače umístěny v koupelnách. Rozvody k deskovým otopným tělesům, trubkovým otopným tělesům a podlahovému konvektoru byly provedeny z potrubí IVAR.ALPEX – DUO XS 16x2 mm a to v podlaze a ve drážkách ve zdi. Potrubí podlahového vytápění bylo navrženo z potrubí IVAR.PEXa 17x2 mm. Pro pokrytí tepelných ztrát byla v obytných místnostech a halách použita desková otopná tělesa s technologií řízeného zatékání RADIC RC a podlahový konvektor s ventilátorem. V koupelnách byla použita trubková otopná tělesa a podlahové otopné plochy. Výkon otopných těles byl přepočítán pro skutečný teplotní spád, který byl zvolen jednotně 50/40 °C. Otopná soustava byla hydraulicky vyvážena pomocí termostatických ventilů a regulačních a uzavíracích šroubení u deskových a trubkových těles a regulačního šroubení na těle rozdělovače otopných okruhů.

Jako zdroj tepla byl vybrán nástěnný plynový kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB072 o výkonu 14 kW. Zásobník teplé vody byl navrženo metodou přednostní přípravy teplé vody. Kotel obsahuje z výroby integrovanou tlakovou expanzní nádobu, jejíž dostatečná velikost byla výpočtem ověřena.

Pro měření a regulaci byl zvolen systém Synco Living od společnosti Siemens. Centrální řídicí jednotka systému dokáže ovládat a kontrolovat funkce až ve 12

místnostech. Regulace zdroje tepla byla zvolena ekvitermní s čidlem venkovní teploty na severní fasádě. Prostorovou regulaci zajišťují u deskových otopných těles regulační servopohony, u ostatních otopných těles byly použity elektrotermické pohony umístěné na rozdělovači. Do každé místnosti byla také navržena prostorová jednotka pro nastavování požadované teploty vnitřního vzduchu. Centrální jednotka systému dokáže ovládat umělé osvětlení, rolety, klimatizační jednotky, centrální ventilaci, případně i některé prvky elektronického zabezpečovacího systému.

V objektu byl také navržen elektronický zabezpečovací systém s ústřednou Sintony 60 Compact od společnosti Siemens. Tento systém získává informace z detektoru požáru, úniku plynu, otevření oken a dveří, dále z detektorů pohybu a úniku vody. Některé z těchto informací mohou být poslány v případě nebezpečí určeným bezpečnostním složkám.

Při psaní této práce jsem si prohloubil znalosti z oblasti návrhu a regulace vytápění. Získal jsem také určitý přehled o regulačních a kontrolních prvcích moderního domu.

7. Seznam literatury

- [1] Výpočet tepelných ztrát. VAVŘIČKA, R.: Praha 2011. Podklady ke cvičení. [cit. 10. 10. 2015] Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni.html>
- [2] Odpor při přestupu tepla [online]. TZB-info. [cit. 26. 10. 2014]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/314-odpor-pri-prestupu-tepla>
- [3] Isover [online]. Isover EPS Grey 100. Technický list. 1. 7. 2014. [cit. 24. 10. 2014] Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-eps-grey-100>
- [4] Wienerberger [online] Porotherm 36,5 Profi. Technický list. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/porotherm-365-profi.html?lpi=1119439164442>
- [5] Isover [online]. Isover EPS GreyWall. Technický list. 1. 7. 2014. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-eps-greywall>
- [6] Knauf [online]. MP 75. Technický list. 2011. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.knauf.cz/index.php?ID=1541>
- [7] Knauf [online]. MV 1. Technický list. 2011. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.knauf.cz/index.php?ID=1330>
- [8] Wienerberger [online]. Porotherm 25 AKU SYM. Technický list. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/porotherm-25-aku-sym.html?lpi=1119439164442>
- [9] Wienerberger [online]. Porotherm 11, Profi. Technický list. [cit. 24. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/porotherm-115-profi.html?lpi=1119439164442>
- [10] Wienerberger [online]. Porotherm strop. Technický list. [cit. 25. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/stropy-p%C5%99eklady/katalog-v%C3%BDrobk%C5%AF/porotherm-strop.html?lpi=1119439164895>
- [11] Isover [online]. Isover TDPT. Technický list. 1. 7. 2014. [cit. 25. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-tdpt>
- [12] Isover [online]. Isover Unirol – Plus. Technický list. 1. 7. 2014. [cit. 25. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/isover-unirol-plus>

- [13] ČSN 73 0540-2 Teplená ochrana budov – část 2: Požadavky. ICS 91.120.10. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [14] Oknolux [online]. Okna, dveře, vrata. Katalogový list. 2013. [cit. 30. 10. 2014]. Dostupné z: <http://www.oknolux.cz/drevena-okna-dvere/serie-iv68-iv78-iv88/>
- [15] Velux [online]. Nová generace střešních oken. Katalog výrobků. 1. 9. 2014. [cit. 30. 10. 2010]. Dostupné z: <http://www.velux.cz/pomoc-a-rady/katalogy>
- [16] ČSN EN 12831 tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu. ICS 81.140.10. Praha: ČNI, březen 2005
- [17] VAVERKA, J; kolektiv. Stavební tepelná technika a energetika budov. Nakladatelství Vutium. VUT Brno 2006. ISBN 80-214-2910-0
- [18] BAŠTA, J.; KABELE, K.: Otopné soustavy teplovodní – sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. Společnost pro techniku prostředí 2008
- [19] BAŠTA, J.: Výkresová dokumentace ve vytápění – sešit projektanta. Druhé přepracované vydání. Společnost pro techniku prostředí. Praha 2001. ISBN 80-02-01465-0
- [20] Korado [online]. Energeticky úsporné otopné těleso Radic RC. Katalog výrobku. 2015. [cit. 26. 11. 2014]. Dostupné z: [http://www.korado.cz/ke-stazeni.html?pci\[\]=3&dti\[\]=5001](http://www.korado.cz/ke-stazeni.html?pci[]=3&dti[]=5001)
- [21] Podlahový konvektor s ventilátorem KT3 105 [online]. MINIB, a.s. 2012. [cit. 26. 11. 2014]. Dostupné z: <http://www.minib.cz/convector/detail/20>
- [22] BAŠTA, J.: Otopné plochy. Vydavatelství ČVUT. Praha 2001. ISBN 80-01-02365-6
- [23] BAŠTA, J.: Velkoplošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s. Praha 2010. ISBN 978-80-247-3524-5
- [24] LABOUTKA, K; SUCHÁNEK, T.: Výpočtové tabulky pro vytápění, vztahy a pomůcky - sešit projektanta. Společnost pro techniku prostředí 2001. ISBN 80-02 01466-9
- [25] BAŠTA, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Vydavatelství ČVUT. Praha 2003. ISBN 80-01-02808-9
- [26] BAŠTA, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Nakladatelství ČVUT. Praha 2014. ISBN 978-80-01-05455-0
- [27] Kondenzace [online]. TZB-info. [cit. 16. 3. 2015]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kondenzace>

- [28] Buderus [online]. Logamax plus GB072. Projekční podklady. 2012. [cit. 16. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.buderus.cz/produkty/kotle/nastenne-kondenzacni-kotle/logamax-plus-gb072.html>
- [29] Metody návrhu zásobníku teplé vody [online]. TZB-info. 3. 10. 2011. [cit. 20. 4. 2015]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>
- [30] Buderus [online]. Logalux S160 RW. Technický katalog. 2011. [cit. 20. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.buderus.cz/produkty/zasobniky-prehled/zasobniky-teple-vody/logalux-s135-160rw.html>
- [31] BAŠTA, J.; HOJER, O.: Sálavé a průmyslové vytápění pro IB. Praha 2009
- [32] Výpočet potřeby tepla a paliva, Denostupňová metoda. VAVŘIČKA, R.: Praha 2011. Podklady ke cvičení. [cit. 30. 4. 2015]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni.html>
- [33] Výhřevnost paliva [online]. TZB-info. [cit. 30. 4. 2015]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [34] Siemens [online]. Synco living. Technické podklady. 2015. [cit. 3. 5. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/synco_living/Pages/uvod.aspx
- [35] Hager tebis RF [online]. Siemens. 2014. [cit. 10. 6. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/mereni_a_regulace/regulatory/synco_living/Pages/hagertebis.aspx
- [36] Čidlo větru. Siemens [online]. Siemens, s.r.o. 2014. [cit. 12. 6. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/synco_living/funkce_systemu/Pages/meteorologicka_stanice.aspx
- [37] Siemens [online]. IC60 (Sintony 60). Katalogový list. 2014. [cit. 17. 6. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/pozarni_a_bezpecnostni_systemy/elektronicka_zabezpecovaci_signalizace/ic60_komponenty/Pages/IC60.aspx
- [38] Siemens [online]. Analogové adresovatelné požární hlásiče. Katalogový list. [cit. 17. 6. 2015]. Dostupné z: <https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home>

- [/produkty_a_sluzby/IBT/pozarni_a_bezpecnostni_systemy/eps/automaticke_pozarni_hlasice/Pages/OP720.aspx](#)
- [39] Detektor úniku zemního plynu [online]. Selax. [cit. 18. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.selax.cz/selax/eshop/3-1-Profesionalni-GSM-alarmy/21-2-Detektory-plynu/5/66-GD-983-NG-Detektor-uniku-zemniho-plynu/description#anch1>
- [40] Siemens [online]. Vnitřní detektory pohybu. Brožura. [cit. 18. 6. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/pozarni_a_bezpecnostni_systemy/elektronicka_zabezpecovaci_signalizace/dp_vnitri/Pages/detektory_pohybu_vnitri.aspx
- [41] Detektory pohybu venkovní [online]. Siemens. 2014. [cit. 18. 6. 2015]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/pozarni_a_bezpecnostni_systemy/elektronicka_zabezpecovaci_signalizace/dp_venkovni/Pages/IS433.aspx
- [42] Domovní videotelefony [online]. Repam. [cit. 19. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.repam.cz/nove-produkty/videotelefon.html>

8. Seznam příloh

Přílohy v textové části:

- Příloha 1** Návrhový nomogram podlahového vytápění
Příloha 2 Návrhový diagram těles Radik RC
Příloha 3 Návrhový diagram regulačního H šroubení
Příloha 4 Návrhový diagram termostatického ventilu a rohového šroubení
Příloha 5 Návrhový diagram rozdělovače IVAR.CS 553 VP
Příloha 6 Charakteristiky oběhového čerpadla + pracovní bod čerpadla

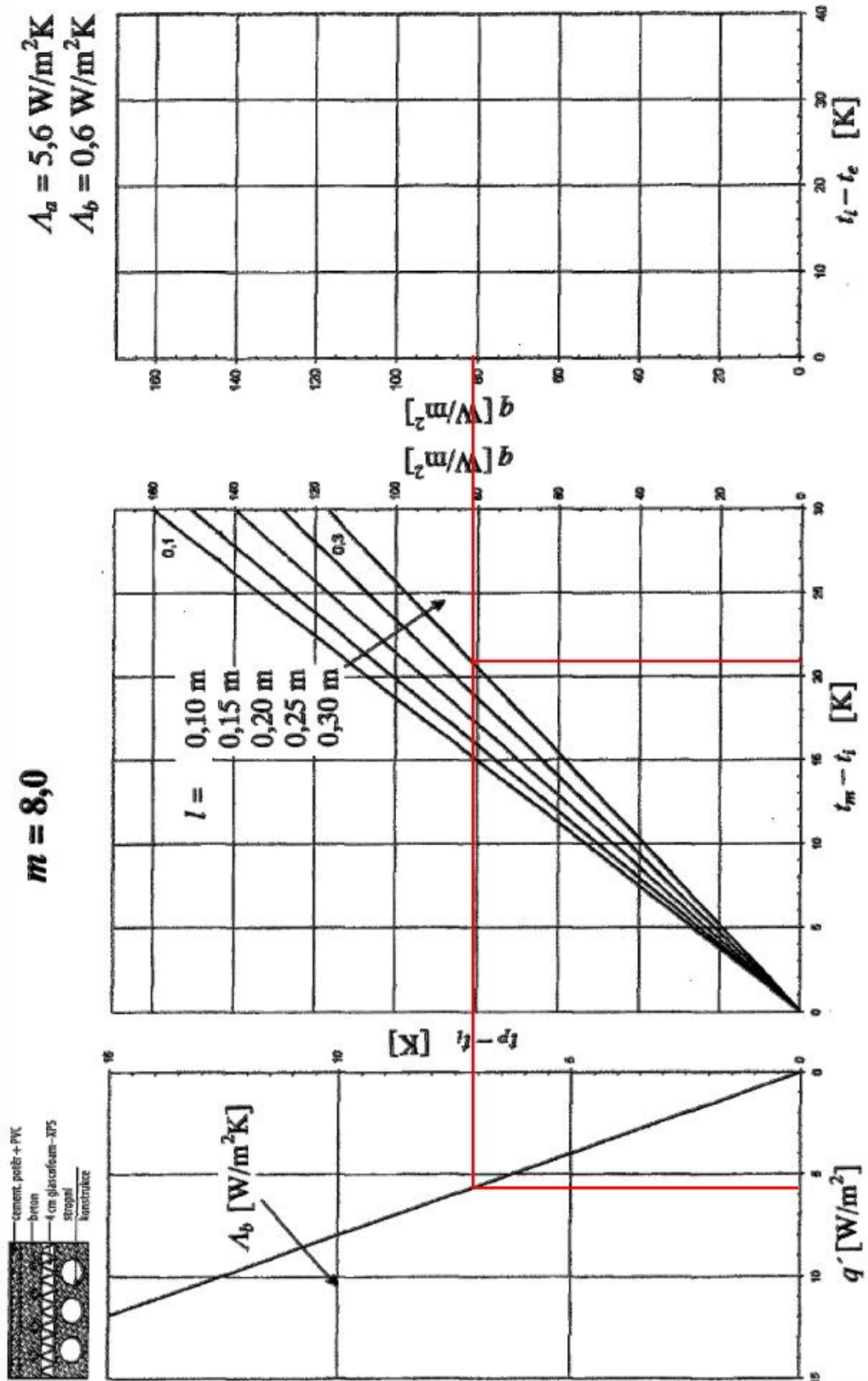
Příloha na CD:

- Příloha 7** Excelový soubor se všema výpočtama

Výkresová dokumentace:

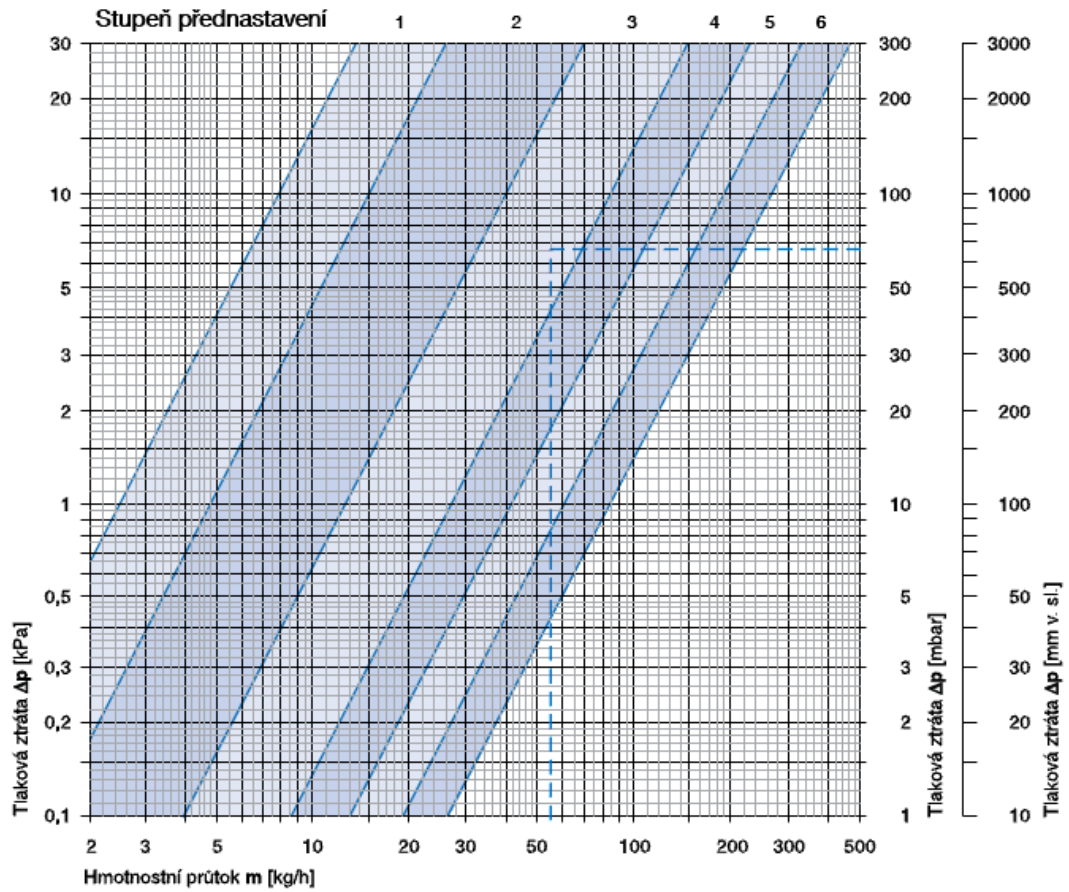
- č. výkresu **8 – IB – 2015 – 1 – 01** půdorys 1. NP
č. výkresu **8 – IB – 2015 – 1 – 02** půdorys podkroví
č. výkresu **8 – IB – 2015 – 1 – 03** rozvinuté schéma
- č. výkresu **8 – IB – 2015 – 2 – 01** půdorys 1. NP
č. výkresu **8 – IB – 2015 – 2 – 02** půdorys podkroví
č. výkresu **8 – IB – 2015 – 2 – 03** půdorys pozemku

Příloha 1

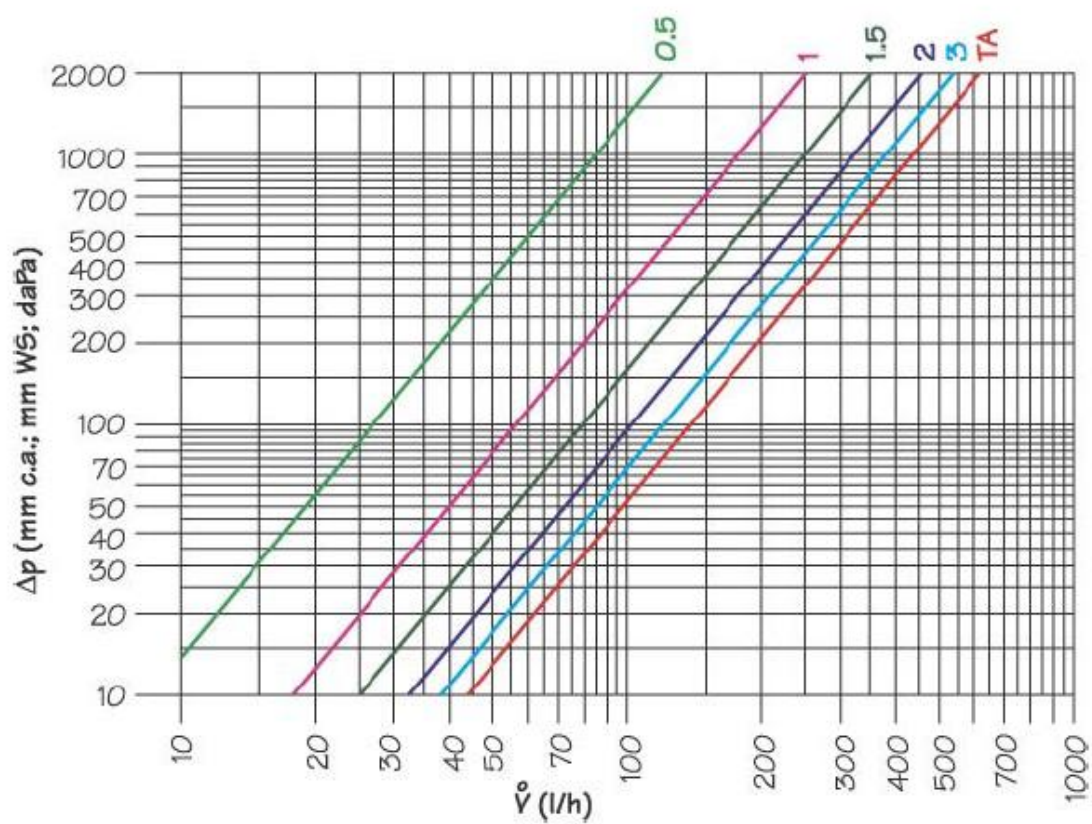


Příloha 2

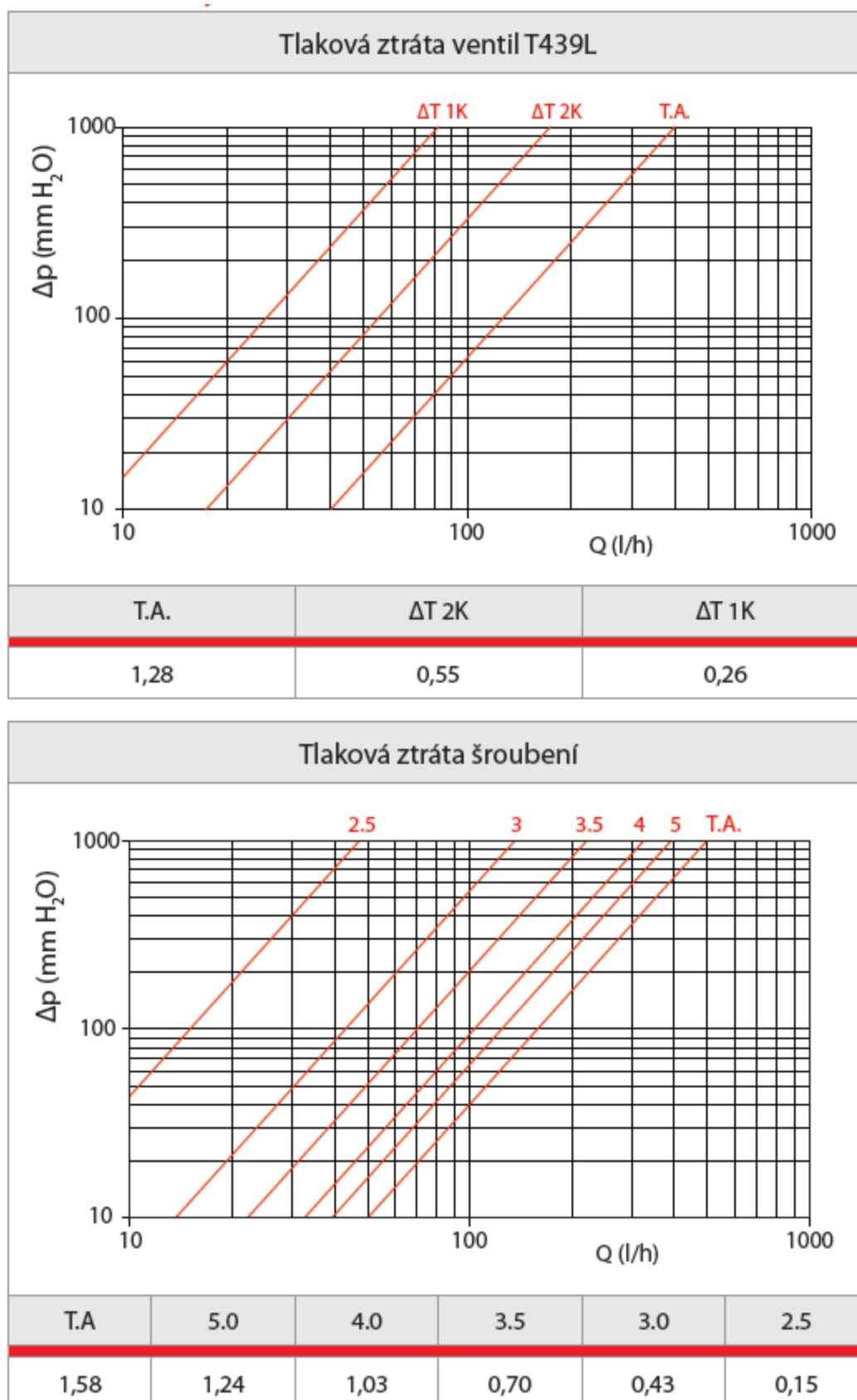
Dvoutrubková otopná soustava



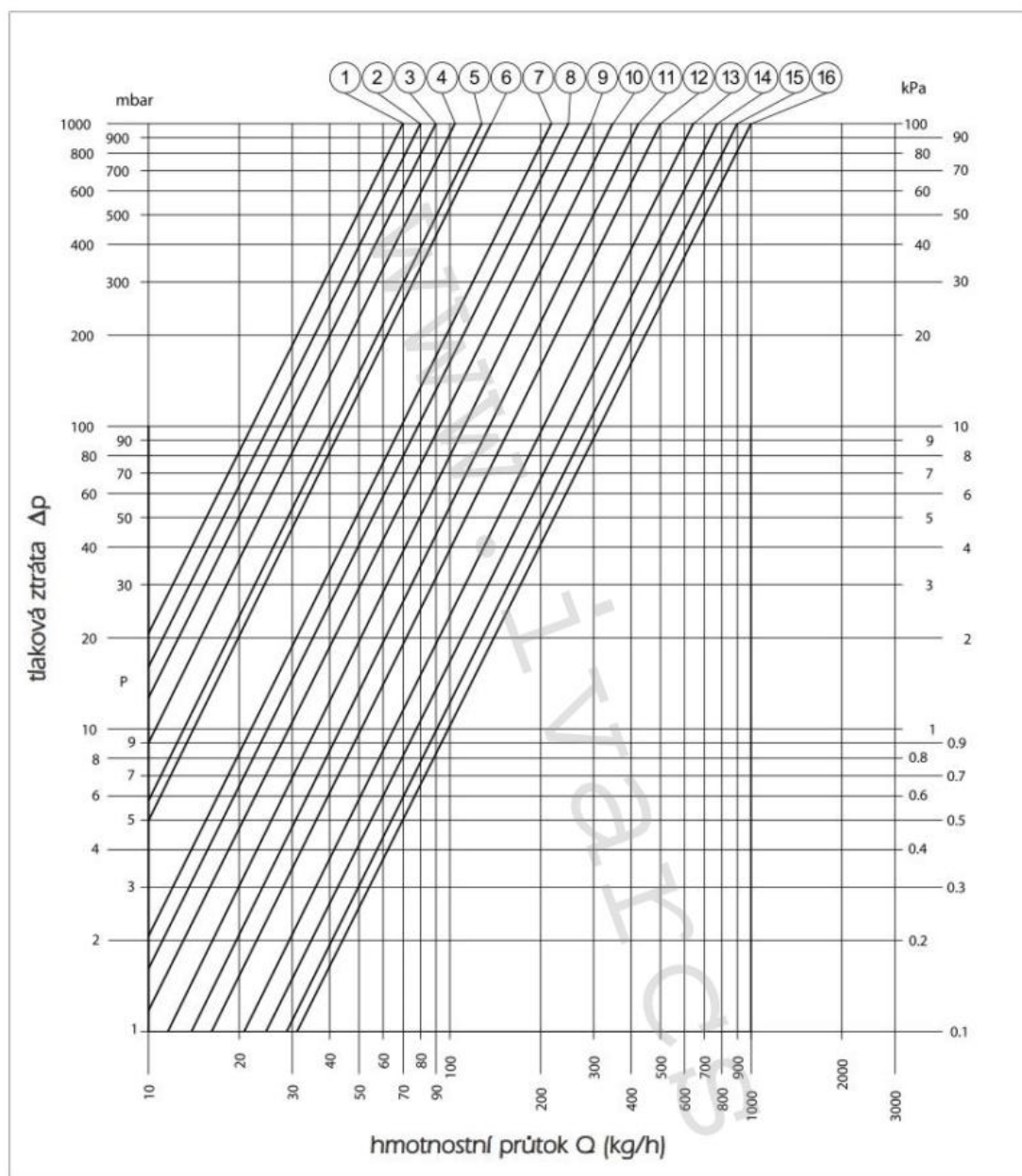
Příloha 3



Příloha 4



Příloha 5



Tabulka nastavitelných hodnot pro seřizování regulačních šroubení na těle rozdělovače:

pozice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
otáčky	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2	3	3 1/4	3 1/2	3 3/4	4	4 1/2	ú.o.
K_v	0,07	0,08	0,09	0,11	0,14	0,16	0,22	0,25	0,29	0,36	0,42	0,50	0,65	0,77	0,90	1,00

Příloha 6

