

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VYTÁPĚNÍ ZÁKLADNÍ ŠKOLY SE ZAMĚŘENÍM NA
VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Jana Pabousková

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Paboušková Jméno: Jana Osobní číslo: 458723
Zadávací katedra: K125
Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí
Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vytápění základní školy se zaměřením na výpočet tepelného výkonu

Název diplomové práce anglicky: Heating of a primary school with focus on calculation of heat load

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je:

1. Rešerše, která se zaměří na:

- způsob výpočtu návrhu tepelného výkonu podle ČSN EN 12831-1,
- variantní řešení způsobu vytápění školských objektů z pohledu sdílení tepla, zdroje tepla a způsobu provozu školských budov.

2. Zpracování projektové dokumentace vytápění základní školy v následujícím rozsahu:

- na základě zpracované rešerše bude zpracovaný projekt,
- půdorysy všech podlaží, rozvinutá schémata, půdorys technické místnosti a schéma zapojení,
- technická zpráva, bilanční výpočty, tepelně technický a hydraulický výpočet otopného systému.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3

Petráš a kol., Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Bašta, Kabele, Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č. 1)

Zmrhal, Větrání škol v souvislostech, Společnost pro techniku prostředí 2017

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 21.09.2021 Termín odevzdání diplomové práce: 02.01.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21.9.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Jana Paboušková

Název diplomové práce: Vytápění základní školy se zaměřením na výpočet tepelného výkonu

Základní část: Rešerše a projekt řešení vytápění budovy školy podíl: 100 %

Formulace úkolů: Zpracování rešerše pro zpracování projektu vytápění budovy školy

Rešeršní část:

- způsob výpočtu návrhu tepelného výkonu podle ČSN EN 12831-1,
- variantní řešení způsoby vytápění školských objektů z pohledu sdílení tepla, zdroje tepla a způsobu provozu školských budov

Zpracování projektu:

- na základě zpracované rešerše bude zpracovaný projekt
- půdorysy všech podlaží, rozvinutá schémata, půdorys technické místnosti a schéma zapojení
- technická zpráva, bilanční výpočty, tepelně technický a hydraulický výpočet otopného systému

Podpis vedoucího DP:

Datum: 21.9.21

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:

Datum:

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:

Datum:

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, dne 1. ledna 2022

.....

Bc. Jana Paboušková

Poděkování

Děkuji panu Ing. Miroslavu Urbanovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Anotace

Tématem diplomové práce je vytápění základní školy se zaměřením na tepelný výkon. Tato diplomová práce je rozdělena na teoretickou textovou část a praktickou projektovou část.

V textové části se diplomová práce zabývá výpočtem tepelného výkonu podle normy ČSN EN 12831-1. Tato část obsahuje vzorový výpočet tepelných ztrát větráním modelové místnosti. Dále textová část obsahuje variantní řešení způsobu větrání školních budov z pohledu zdroje tepla, sdílení tepla a způsobu provozu školních budov. V konceptu je vždy rozebráno několik možností a poté výběr nejvhodnějšího řešení pro konkrétní základní školu.

V projektové části se diplomová práce zabývá návrhem vytápění konkrétní základní školy, který navazuje na studii. Projektová část obsahuje výkresovou dokumentaci, výpočty, technickou zprávu a technické listy.

Klíčová slova

vytápění, základní škola, výpočet tepelného výkonu, zdroj tepla, otopné plochy, regulace, soustava zásobování tepelnou energií

Annotation

The main content of the diploma thesis is heating of a primary school building focused on the heat output. This diploma thesis is divided into the theoretical text part and the practical design part.

The text part of thesis deals with the calculation of heat output according to the ČSN EN 12831-1 standard. This section contains a sample calculation of heat losses caused by ventilation of a model room. The text part also contains an optional solution for ventilation of school buildings from the perspective of the heat source, heat sharing and the mode of operation of school buildings. Several options are always analysed in the concept and subsequently the most suitable solution for the specific primary school building follows.

The design part of the diploma thesis deals with a draft of the heating of a specific primary school, which constitutes a follow-up to the study. The design part contains drawing documentation, calculations, technical report and technical data sheets.

Key words

heating, primary school, heat output calculation, heat source, heating surfaces, regulation, heat supply system

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**ČÁST A
TEXTOVÁ ČÁST**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Jana Paboušková

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2021/2022

Obsah

Úvod	9
A.1 Výpočet tepelného výkonu podle ČSN EN 12831-1	10
A.1.1 Definice modelové místnosti.....	10
A.1.2 Výpočet tepelných ztrát větrání podle ČSN EN 12831-1.....	11
A.1.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet.....	11
A.1.2.2 Výpočet dílčích průtoků vzduchu	11
A.1.2.3 Výpočet jednotlivých objemových průtoků vzduchu pro jednu místnost.....	13
A.1.2.4 Výpočet tepelných ztrát větrání.....	15
A.1.3 Výpočet tepelných ztrát větrání podle ČSN EN 12831	16
A.1.3.1 Vstupní hodnoty pro výpočet	16
A.1.3.2 Hodnoty pomocných výpočtů	16
A.1.3.3 Výpočet tepelných ztrát větráním.....	17
A.1.4 Porovnání původní a nové normy	18
A.2 Variantní řešení způsobu vytápění školních budov.....	20
A.2.1 Popis objektu	20
A.2.1.1 Obecný popis	20
A.2.1.2 Popis konstrukcí.....	22
A.2.2 Klimatické údaje	22
A.2.3 Požadavky na vytápění a větrání základních škol.....	22
A.2.4 Potřeba tepla na vytápění, přípravu teplé vody a ohřev vzduchu	23
A.2.5 Zdroje tepla pro vytápění	25
A.2.5.1 Technická proveditelnost	25
A.2.5.2 Ekonomické kritérium	42
A.2.5.3 Ekologické kritérium	51
A.2.5.4 Celkové vyhodnocení výběru zdroje tepla	54
A.2.6 Volba sdílení tepla	57
A.2.6.1 Učebny, kabinety, sborovna	57
A.2.6.2 Hygienické zázemí	57
A.2.6.3 Tělocvična	57
A.2.6.4 Jídelna	57
A.2.6.5 Kuchyně	58
A.2.6.6 Chodby, hala	58
A.2.7 Způsob provozu školních budov	59
A.2.7.1 Vliv otopné plochy na přerušované vytápění.....	59
A.2.7.2 Volba systému regulace pro základní školy.....	60
Závěr	63
Seznam literatury a podkladů.....	64
Seznam obrázků	69
Seznam tabulek	70
Seznam příloh.....	72

Úvod

Diplomová práce se zabývá vytápěním školních budov. První část zkoumá novou normu ČSN EN 12831-1 – Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3, která vešla v platnost v roce 2017 a nahrazuje původní normu ČSN EN 12831 – Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. V rámci této normy se práce zaměřuje na výpočet tepelných ztrát větráním, jelikož se domnívám, že v této části normy došlo k největším změnám. Cílem práce je ukázat vzorový výpočet tepelných ztrát větráním modelové místnosti podle původní i nové normy. Dále se zamyslet nad změnami, které začaly promlouvat do návrhu tepelných ztrát, a vyhodnotit, zda požadované změny nekladou příliš velké nároky a zda nejsou k výpočtu potřeba informace, které projektant není často přesně schopný vyhodnotit.

Druhá část teoretické práce popisuje volbu vhodného způsobu vytápění školních budov. Domnívám se, že je toto téma velmi důležité, jelikož vnitřní prostředí školních budov, ve kterých se student nachází, může ovlivnit jeho schopnost soustředit se a podat maximální výkon. V krajních případech může nekvalitní vnitřní prostředí budovy vyvolat i zdravotní komplikace.

Pro školní budovy je typické pravidelné užívání budovy ve všední dny. Oproti obytným budovám je zde jasně dané, kdy škola bude užívána a kdy ne. Myslím si tedy, že školní budovy jsou objekty, u kterých stojí minimálně za zamýšlením návrh přerušovaného vytápění, s čímž souvisí i volba vhodného regulačního systému.

Dále je v této práci vedena diskuse nad vhodným zdrojem tepla pro posuzovanou základní školu. Je zde řešena zejména technická proveditelnost, která vede k vyloučení zdrojů tepla, které nejsou možné do základní školy aplikovat. Také se domnívám, že velkou roli ve výběru zdroje tepla hraje i cena, tudíž další kritérium k posouzení vhodného zdroje tepla je ekonomické hledisko.

Určitě vnímám aktuální trend, kdy je velká snaha využívat ekologické zdroje a brát ohled na životní prostředí. Z tohoto důvodu je v této práci posouzen návrh zdrojů tepla s využíváním obnovitelné energie, ale zároveň i návrh tradičních zdrojů. V souvislosti s ekologií je v práci provedena analýza množství vyprodukovaných emisí CO₂ za rok.

Na studii v textové části poté navazuje praktická část, která vychází z analýzy vhodného způsobu vytápění základní školy a tato analýza je využita v projektu.

A.1 Výpočet tepelného výkonu podle ČSN EN 12831-1

V první části studie se práce zabývá výpočtem tepelného výkonu podle nové normy ČSN EN 12831-1, která vešla v platnost v roce 2017 a do českého jazyka byla přeložena v roce 2018. Nová norma ČSN EN 12831-1 obsahuje nový výpočetní postup pro stanovení tepelných ztrát větráním, který se liší oproti původní normě ČSN EN 12831. Z tohoto důvodu je práce zaměřena právě na tyto ztráty.

A.1.1 Definice modelové místnosti

Pro ukázkou výpočtu tepelných ztrát větráním podle původní i nové normy je zvolena jedna místnost z budovy základní školy. Jedná se o místnost č. 4.01, což je kmenová třída ve čtvrtém nadzemním podlaží v řešené základní škole. Tato škola se nachází v Praze, v oblasti Holešovice.

Místnost je ohraničena vnější obvodovou stěnou na jižní straně, dále je ze západní strany obklopena sousední budovou a na zbylých stranách sousedí s kabinetem o vnitřní teplotě 20 °C a s chodbou o vnitřní teplotě 18 °C. V patrech nad místností i pod místností se nachází kmenové třídy o vnitřní teplotě 20 °C. Konstrukční výška místnosti je 4 m, světlá výška je 3,65 m. Modelová místnost je znázorněna na obrázku 1.



Obrázek 1 - Půdorys modelové místnosti č. 4.01

A.1.2 Výpočet tepelných ztrát větrání podle ČSN EN 12831-1

Nová norma ČSN EN 12831-1 [1] dává možnost počítat tepelné ztráty větráním dvěma způsoby. První možností je využití zjednodušeného výpočtu, který je ovšem vhodný pouze pro relativně vzduchotěsné budovy bez nuceného větrání a bez koncových zařízení. Druhou možností je využití univerzálního výpočtového přístupu, který se používá v případě, že objekt je vybaven nuceným větráním. Tento typ větrání se nachází v posuzované základní škole, tudíž je zvolen univerzální výpočet.

A.1.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet

V tabulce 1 jsou uvedeny vstupní hodnoty pro následující výpočet tepelných ztrát.

Tabulka 1 - Vstupní hodnoty pro výpočet (ČSN EN 12831-1)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz
Plocha podlahy	S [m ²]	52,69	-
Vnitřní objem místnosti	V_i [m ³]	192,32	-
Vnitřní výpočtová teplota	t_i [°C]	20	-
Venkovní výpočtová teplota	t_e [°C]	-12	-
Průtok přiváděného venkovního vzduchu	$q_{v,sup,i}$ [m ³ /h]	570	-
Průtok odváděného venkovního vzduchu	$q_{v,exh,i}$ [m ³ /h]	570	-
Minimální intenzita větrání	n_{min} [h ⁻¹]	0,5	ČSN EN 12831-1 B.2.11
Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa	n_{50} [h ⁻¹]	0,8	ČSN EN 730540-2
Teplotní faktor ZZT	η_{rec} [%]	85	-
Návrhový rozdíl tlaků	$\Delta p_{v,ATD,design,z}$ [Pa]	4	ČSN EN 12831-1 B.2.13
Celkový návrhový objemový průtok venkovního vzduchu větracími otvory	$q_{v,ATD,design,z}$ [m ³ /h]	0	-
Průtok spalovacího vzduchu	$q_{v,comb,i}$ [m ³ /h]	0	-
Činitel objemového průtoku	f_{qvz} [-]	0,08	B.2.12
Tlakový exponent netěsností	$v_{leak,z}$ [-]	0,67	B.2.14
Činitel orientace	$f_{dir,z}$ [-]	2	B.2.15
Hustota vzduchu při 20 °C	ρ [kg/m ³]	1,188	-
Měrná tepelná kapacita při 20 °C	c [Wh/(kg.K)]	0,28	-

A.1.2.2 Výpočet dílčích průtoků vzduchu

Na základě vstupních hodnot jsou nejdříve stanoveny jednotlivé objemové průtoky vzduchu a další parametry pro řešenou zónu. Zónu norma charakterizuje jako skupinu místností, která je podle návrhu propojena vzduchem, a to buď přímo, nebo nepřímo (tj. přes jiné místnosti mezi sebou), například prostřednictvím vnitřních koncových vzduchotechnických zařízení nebo zkrácených dveřních

křidel. V tomto případě tvoří jednu zónu jen samostatná místnost 4.01, jelikož vzduchotechnické zařízení přivádí i odvádí stejné množství vzduchu.

Níže jsou uvedeny jednotlivé výpočtové postupy k určení veličin podle normy [1], přehled vypočtených hodnot je uveden v tabulce 2.

- Plocha obálky budovy

$$A_{\text{env},z} = \sum \langle A_k \rangle$$

$$A_{\text{env},z} = 7,31 * 3,65 + 9,08 * 3,65$$

$$A_{\text{env},z} = 59,82 \text{ m}^2$$

$\sum \langle A_k \rangle$ součet ploch povrchů všech stavebních částí (k) náležících do místnosti (i), které oddělují uvažovaný prostor od venkovního prostředí a od nevytápěných prostor [m²]

- Měrná průvzdušnost obálky místnosti při tlakovém rozdílu 50 Pa

$$q_{\text{env},50} = \frac{n_{50} * V_i}{A_{\text{env},i}}$$

$$q_{\text{env},50} = \frac{0,8 * 192,32}{59,82}$$

$$q_{\text{env},50} = 2,57 \text{ m}^3 / (\text{h} * \text{m}^2)$$

- Objemový průtok vzduchu přiváděného do zóny větracími otvory při rozdílu tlaků 50 Pa

$$q_{v,\text{ATD},50,z} = q_{v,\text{ATD},\text{design},z} * \left(\frac{50 \text{ Pa}}{\Delta p_{\text{ATD},\text{design},z}} \right)^{v_{\text{leak},z}}$$

$$q_{v,\text{ATD},50,z} = 0 * \left(\frac{50}{4} \right)^{0,67}$$

$$q_{v,\text{ATD},50,z} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Opravný součinitel zohledňující nerovnotlaké větrání

V případě rovnotlakého větrání je součinitel $f_{e,z} = 1$.

- Objemový průtok vzduchu přiváděný do zóny dodatečnou infiltrací

$$q_{v,\text{inf-add},z} = (q_{\text{env},50} * A_{\text{env},i} + q_{v,\text{ATD},50,z}) * f_{q_v,z} * f_{e,z}$$

$$q_{v,\text{inf-add},z} = (2,57 * 59,82 + 0) * 0,08 * 1$$

$$q_{v,\text{inf-add},z} = 12,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny obálkou budovy

$$q_{v,\text{env},z} = \max \langle q_{v,\text{exh},i} + q_{v,\text{comb},i} - q_{v,\text{sup},i}; 0 \rangle + q_{v,\text{inf-add},z}$$

$$q_{v,\text{env},z} = \max \langle 570 + 0 - 570; 0 \rangle + 12,3$$

$$q_{v,\text{env},z} = 12,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Autorita větracích otvorů v zóně

$$a_{\text{ATD},z} = \frac{q_{v,\text{ATD},50,z}}{q_{v,\text{ATD},50,z} + q_{\text{env},50} * A_{\text{env},i}}$$

$$a_{\text{ATD},z} = \frac{0}{0 + 2,57 * 59,82}$$

$$a_{\text{ATD},z} = 0$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do zóny větracími otvory

$$q_{v,ATD,z} = a_{ATD,z} * q_{v,env,z}$$

$$q_{v,ATD,z} = 0 * 12,3$$

$$q_{v,ATD,z} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny netěsnostmi

$$q_{v,leak,z} = (1 - a_{ATD,z}) * q_{v,env,z}$$

$$q_{v,leak,z} = (1 - 0) * 12,3$$

$$q_{v,leak,z} = 12,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Teplota vzduchu za výměníkem ZZT

$$t_{rec,z} = t_e + \eta_{rec,z} * (t_{exh,z} - t_e)$$

$$t_{rec,z} = -12 + 0,85 * (20 - (-12))$$

$$t_{rec,z} = 15,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabulka 2 – Vypočtené pomocné hodnoty pro zónu (ČSN EN 12831-1)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz na ČSN EN 12831-1
Plocha obálky budovy	$A_{env,z}$ [m ²]	59,82	6.3.3.6/rovnice (36)
Měrná průvzdušnost obálky budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa	$q_{env,50}$ [m ³ /(h.m ²)]	2,57	6.3.3.4/rovnice (31)
Objemový průtok vzduchu přiváděného do zóny větracími otvory při rozdílu tlaků 50 Pa	$q_{v,ATD,50,z}$ [m ³ /h]	0	6.3.3.3.5/rovnice (30)
Opravný součinitel zohledňující nerovnotlaké větrání	f_{ez} [-]	1	6.3.3.3.5/rovnice (29)
Objemový průtok vzduchu přiváděný do zóny dodatečnou infiltrací	$q_{v,inf-add,z}$ [m ³ /h]	12,3	6.3.3.3.5/rovnice (28)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny obálkou budovy	$q_{v,env,z}$ [m ³ /h]	12,3	6.3.3.3.4/rovnice (24)
Autorita větracích otvorů v zóně	$a_{ATD,z}$ [-]	0	6.3.3.3.2/rovnice (22)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do zóny větracími otvory	$q_{v,ATD,z}$ [m ³ /h]	0	6.3.3.3.2/rovnice (21)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny netěsnostmi	$q_{v,leak,z}$ [m ³ /h]	12,3	6.3.3.3.2/rovnice (20)
Teplota vzduchu za výměníkem ZZT	$t_{rec,z}$ [°C]	15,2	6.3.3.7/rovnice (37)

A.1.2.3 Výpočet jednotlivých objemových průtoků vzduchu pro jednu místnost

Z vypočtených hodnot jsou následně stanoveny jednotlivé objemové průtoky vzduchu pro jednu místnost. Níže opět následují jednotlivé výpočtové kroky podle normy ČSN EN 12831-1 [1] a v tabulce 3 jsou uvedeny výsledné hodnoty objemových průtoků pro posuzovanou místnost.

- Minimální objemový průtok vzduchu v místnosti

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} * V_i$$

$$q_{v,min,i} = 0,5 * 192,32$$

$$q_{v,min,i} = 96,16 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti netěsnostmi a větracími otvory

$$q_{v,leak + ATD,i} = q_{v,leak,z} * \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} + q_{v,ATD,z} * \frac{q_{v,ATD,design,i}}{q_{v,ATD,design,z}}$$

$$q_{v,leak + ATD,i} = 12,3 * \frac{59,82}{59,82} + 0 * \frac{0}{0}$$

$$q_{v,leak + ATD,i} = 12,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti obálkou budovy

$$q_{v,env,i} = \frac{q_{v,inf-add,z}}{q_{v,env,z}} * \min \langle q_{v,env,z} ; q_{v,leak + ATD,i} * f_{dir,z} \rangle + \frac{q_{v,env,z} - q_{v,in},z}{q_{v,env,z}} * q_{v,leak + ATD,i}$$

$$q_{v,env,i} = \frac{12,3}{12,3} * \min \langle 12,3 ; 12,3 * 2 \rangle + \frac{12,3 - 12,3}{12,3} * 12,3$$

$$q_{v,env,i} = 24,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti pro technické systémy

$$q_{v,techn,i} = \max \langle q_{v,sup,i} + q_{v,transfer,ij} ; q_{v,exh,i} * q_{v,comb,i} \rangle$$

$$q_{v,techn,i} = \max \langle 570 + 0 ; 570 * 0 \rangle$$

$$q_{v,techn,i} = 570 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti velkými otvory

V tomto případě je $q_{v,open,i} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Objemový průtok vzduchu přestupující do místnosti ze sousední místnosti

Místnost je rovnotlaká, tudíž $q_{v,transfer,i} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tabulka 3 - Výsledné hodnoty objemových průtoků místnosti (ČSN EN 12831-1)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz na ČSN EN 12831-1
Minimální objemový průtok vzduchu	$q_{v,min,i}$ [m^3/h]	96,16	6.3.3.5/rovnice (33)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti netěsnostmi a větracími otvory	$q_{v,leak + ATD,i}$ [m^3/h]	12,3	6.3.3.3.2/rovnice (19)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti obálkou budovy	$q_{v,env,i}$ [m^3/h]	24,6	6.3.3.3.2/rovnice (18)
Objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti pro technické systémy	$q_{v,techn,i}$ [m^3/h]	570	6.3.3.3.3/rovnice (23)
Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti velkými otvory	$q_{v,open,i}$ [m^3/h]	0	6.3.3.3.1
Objemový průtok vzduchu přestupující do místnosti ze sousední místnosti	$q_{v,transfer,i}$ [m^3/h]	0	6.3.3.3.1

A.1.2.4 Výpočet tepelných ztrát větrání

Dále jsou stanoveny jednotlivé tepelné ztráty větráním. Na závěr jsou pro přehled v tabulce 4 uvedeny výsledné hodnoty tepelných ztrát větráním podle normy ČSN EN 12831-1 [1].

- Tepelná ztráta větráním obálkou budovy

$$Q_{v,env,i} = \rho * c * (\max \langle q_{v,env,i} + q_{v,open,i} ; q_{v,min,i} - q_{v,techn,i} \rangle) * (t_{int} - t_e)$$

$$Q_{v,env,i} = 1,188 * 0,28 * (\max \langle 24,6 + 0 ; 96,16 - 570 \rangle) * (20 - (-12))$$

$$Q_{v,env,i} = 261,9 \text{ W}$$

- Tepelná ztráta nuceným větráním

$$Q_{v,sup,i} = q_{v,sup,i} * \rho * c * (t_{int} - t_{rec,z})$$

$$Q_{v,sup,i} = 570 * 1,188 * 0,28 * (20 - 15,2)$$

$$Q_{v,sup,i} = 910 \text{ W}$$

- Tepelná ztráta převodem vzduchu

$$Q_{v,transfer,ij} = q_{v,transfer,i} * \rho * c * (t_{int} - t_{transfer,i})$$

$$Q_{v,transfer,ij} = 0 \text{ W}$$

- Celková tepelná ztráta větráním

$$Q_{v,i} = Q_{v,env,i} + Q_{v,sup,i} + Q_{v,transfer,ij}$$

$$Q_{v,i} = 261,85 + 910 + 0$$

$$Q_{v,i} = 1\,171,9 \text{ W}$$

Tabulka 4 - Výsledné hodnoty tepelných ztrát větráním (ČSN EN 12831-1)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz na ČSN EN 12831-1
Tepelná ztráta větráním obálkou budovy	$Q_{v,env,i}$ [W]	261,9	6.3.3.3.1/rovnice (17)
Tepelná ztráta nuceným větráním	$Q_{v,sup,i}$ [W]	910	
Tepelná ztráta převodem vzduchu	$Q_{v,tranfer,ij}$ [W]	0	
Celková tepelná ztráta větráním	$Q_{v,i}$ [W]	1 171,9	

A.1.3 Výpočet tepelných ztrát větrání podle ČSN EN 12831

Tato kapitola obsahuje výpočet tepelných ztrát větráním totožné modelové místnosti jako v předchozím výpočtu, pouze je v tomto výpočtu aplikována původní norma ČSN EN 12831 [2].

A.1.3.1 Vstupní hodnoty pro výpočet

V tabulce 5 jsou uvedeny vstupní hodnoty pro následující výpočet podle původní normy.

Tabulka 5 - Vstupní hodnoty pro výpočet (ČSN EN 12831)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz
Plocha podlahy	S [m ²]	52,69	-
Vnitřní objem místnosti	V_i [m ³]	192,32	-
Vnitřní výpočtová teplota	t_i [°C]	20	-
Venkovní výpočtová teplota	t_e [°C]	-12	-
Teplota přiváděného vzduchu do vyt. prostoru	t_{su} [°C]	15,2	-
Průtok přiváděného venkovního vzduchu	q_{su} [m ³ /h]	570	-
Průtok odváděného venkovního vzduchu	q_{exh} [m ³ /h]	570	-
Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa	n_{50} [h ⁻¹]	0,8	ČSN EN 730540-2
Teplotní faktor ZZT	η_{rec} [%]	85	-
Stínící činitel	e_i [-]	0,02	ČSN EN 12831 D.5.3
Výškový korekční činitel	ϵ_i [-]	1,2	ČSN EN 12831 D.5.4
Hustota vzduchu při 20 °C	ρ [kg/m ³]	1,188	-
Měrná tepelná kapacita při 20 °C	c [Wh/(kg.K)]	0,28	-

A.1.3.2 Hodnoty pomocných výpočtů

Níže jsou uvedeny jednotlivé výpočtové postupy k určení veličin podle původní normy [2], přehled vypočtených hodnot je uveden v tabulce 6.

- Množství vzduchu infiltrací vytápěného prostoru

$$V_{inf,i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \epsilon_i$$

$$V_{inf,i} = 2 * 192,32 * 0,8 * 0,02 * 1,2$$

$$V_{inf,i} = 7,39 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Redukční teplotní činitel

$$f_{v,i} = \frac{t_i - t_{su}}{t_i - t_e}$$

$$f_{v,i} = \frac{20 - 15,2}{20 - (-12)}$$

$$f_{v,i} = 0,15$$

- Rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti

$$V_{mech,inf} = \max(V_{ex} - V_{su}, 0)$$

$$V_{mech,inf} = \max(570 - 570, 0)$$

$$V_{mech,inf} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabulka 6 - Výsledné hodnoty pomocných výpočtů (ČSN EN 12831)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz na ČSN EN 12831
Množství vzduchu infiltrací vytápěného prostoru	$V_{inf,i}$ [m ³ /h]	7,39	7.2.2/rovnice (17)
Redukční teplotní činitel	$f_{v,i}$ [-]	0,15	7.2
Rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti	$V_{mech,inf}$ [m ³ /h]	0	7.2.3.2/rovnice (18)

A.1.3.3 Výpočet tepelných ztrát větráním

Poté jsou stanoveny jednotlivé tepelné ztráty větráním. Na závěr jsou v tabulce 7 uvedeny pro přehled výsledné hodnoty a celková tepelná ztráta větráním podle normy ČSN EN 12831 [2].

- Tepelná ztráta větráním obálkou budovy

$$Q_{inf} = \rho * c * V_{inf,i} * (t_{int} - t_e)$$

$$Q_{inf} = 1,188 * 0,28 * 7,39 * (20 - (-12))$$

$$Q_{inf} = 78,67 \text{ W}$$

- Tepelná ztráta nuceným větráním

$$Q_{su} = \rho * c * V_{su,i} * f_{v,i} * (t_{int} - t_e)$$

$$Q_{su} = 1,188 * 0,28 * 570 * 0,15 * (20 - (-12))$$

$$Q_{su} = 910 \text{ W}$$

- Rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti

$$Q_{mech} = \rho * c * V_{mech,inf} * (t_{int} - t_e)$$

$$Q_{mech} = 1,188 * 0,28 * 0 * (20 - (-12))$$

$$Q_{mech} = 0 \text{ W}$$

- Celková tepelná ztráta větráním

$$Q_v = Q_{inf} + Q_{su,i} + Q_{mech}$$

$$Q_v = 78,67 + 910 + 0$$

$$Q_v = 988,67 \text{ W}$$

Tabulka 7 - Výsledné hodnoty tepelných ztrát větráním (ČSN EN 12831)

Veličina	Značka	Hodnota	Odkaz na ČSN EN 12831
Tepelná ztráta větráním obálkou budovy	Q_{inf} [W]	78,67	7.2/rovnice (15)
Tepelná ztráta nuceným větráním	Q_{su} [W]	910	
Rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti	Q_{mech} [W]	0	
Celková tepelná ztráta větráním	Q_v [W]	988,67	

A.1.4 Porovnání původní a nové normy

V této části byl proveden výpočet tepelných ztrát větráním podle původní a nové normy. Již z výpočtového postupu výše je podle mého názoru vidět, že nová norma zachází do větších detailů, které promlouvají do výpočtu. Můžeme se přesvědčit, že výsledky obou norem se lehce liší. Podle původní normy ČSN EN 12831 je tepelná ztráta větráním obálkou budovy nižší.

První změnou, kterou jsem v nové normě zpozorovala, je nutnost nejdříve stanovit tepelné ztráty větráním jednotlivých zón a teprve z tohoto výpočtu můžeme určit tepelné ztráty větráním jednotlivých místností.

Dalším faktorem, který podle mého názoru významně nově vstupuje do výpočtu, je vzduchotěsnost budovy. Při výpočtu infiltrace se uvažuje s měrnou průvzdušností budovy. Pro výpočet je možné určit průvzdušnost podle vzorce, který je v nové normě uveden a v kterém se využívají doporučené údaje intenzity větrání podle normy ČSN EN 730540-2. Tento výpočet ovšem není úplně přesný. Jako další možnost pro stanovení vzduchotěsnosti norma uvádí tabulku přímo s hodnotami neprůvzdušnosti $q_{env,50}$, podle které jsou hodnoty určeny v závislosti na tom, zda bude po dokončení stavby provedena zkouška vzduchotěsnosti nebo nikoliv. Pro budovy, kde nejsou k dispozici údaje o vzduchotěsnosti, norma předpokládá nízké požadavky na vzduchotěsnost, a tudíž vyšší hodnoty průvzdušnosti. Domnívám se, že v České republice není zatím běžné provádět měření vzduchotěsnosti po dokončení stavby. Proto by tento údaj mohl podle mého názoru často nereálně promlouvat do výpočtu tepelných ztrát větráním a projektant by nemohl mít přesné informace potřebné pro návrh.

V nové normě se objevilo několik nových veličin. Jednou z veličin, která se v nové normě objevila, je autorita, která vyjadřuje podíl průtoku vzduchu proudícího do zóny větracími otvory k celkovému průtoku přirozeně přiváděnému vzduchu do zóny při tlakovém rozdílu 50 Pa.

Další veličinou, která nově vstupuje do výpočtu průtoku vzduchu infiltrací, je opravný činitel zohledňující dodatečný rozdíl tlaků způsobený nerovnotlakým větráním. V tomto opravném činiteli je brán ohled na objemový průtok spalovacího vzduchu přiváděného do větrací zóny.

Dalších mnoho nových veličin, které vstupují do výpočtu objemového průtoku venkovního vzduchu přiváděného velkými otvory, je uvedeno v příloze nové normy. Tyto veličiny zohledňují například místní průměrnou rychlost větru v okolí fasády nebo rozdíl mezi tlakovými součiniteli na

návětrné a závětrné straně, který se určí odhadem podle počtu venkovních fasád nebo výpočtem přes další detailní informace.

Můžeme se tedy přesvědčit, že nová norma je určitě detailnější než norma původní. Některé veličiny, které nově vstupují do výpočtu (například objemový průtok spalovacího vzduchu přiváděného do větrací zóny), jsou dle mého názoru přínosné. Na druhou stranu se domnívám, že nová norma je oproti původní mírně nepřehledná díky množství nových veličin. U některých veličin si myslím, že požadovaná přesnost normy klade až moc velké nároky na projektanty, kteří nejsou v některých případech schopni objektivně nové veličiny vyhodnotit a zohlednit.

A.2 Variantní řešení způsobu vytápění školních budov

Tato část se věnuje možnostem vytápění školních budov. Níže jsou rozebrány obecné požadavky pro základní školy a poté výběr nejlepší varianty vytápění pro konkrétní zvolenou základní školu.

Na úvod jsou v textu uvedeny základní informace o posuzované budově základní školy, z kterých se vychází při hledání nejlepší varianty způsobu vytápění.

Jelikož součástí každé otopné soustavy je zdroj tepla, nejdříve se v práci zaměřuji na výběr nejvhodnějšího řešení pro školní budovu z tohoto pohledu. Jednotlivé varianty zdrojů tepla jsou řešeny pro konkrétní posuzovanou základní školu s ohledem na tepelnou ztrátu objektu nebo volný pozemek u dané budovy.

Poté následuje výběr nejvhodnější varianty z pohledu možnosti sdílení tepla, kde je brán ohled na obecné požadavky pro školní budovy a také konkrétně pro posuzovanou základní školu. Školní budovy jsou velmi specifické také svým provozem, tudíž poslední část této kapitoly tvoří řešení regulačního systému v tomto typu budov.

Na tato jednotlivá posouzení poté navazuje projektová část.

A.2.1 Popis objektu

Tato kapitola je věnována popisu základní školy z hlediska architektonického a z hlediska tepelně technických vlastností konstrukcí.

A.2.1.1 Obecný popis

Jedná se o základní školu, která je kapacitně určena pro 168 osob. Objekt je rozdělen do tří sekcí.

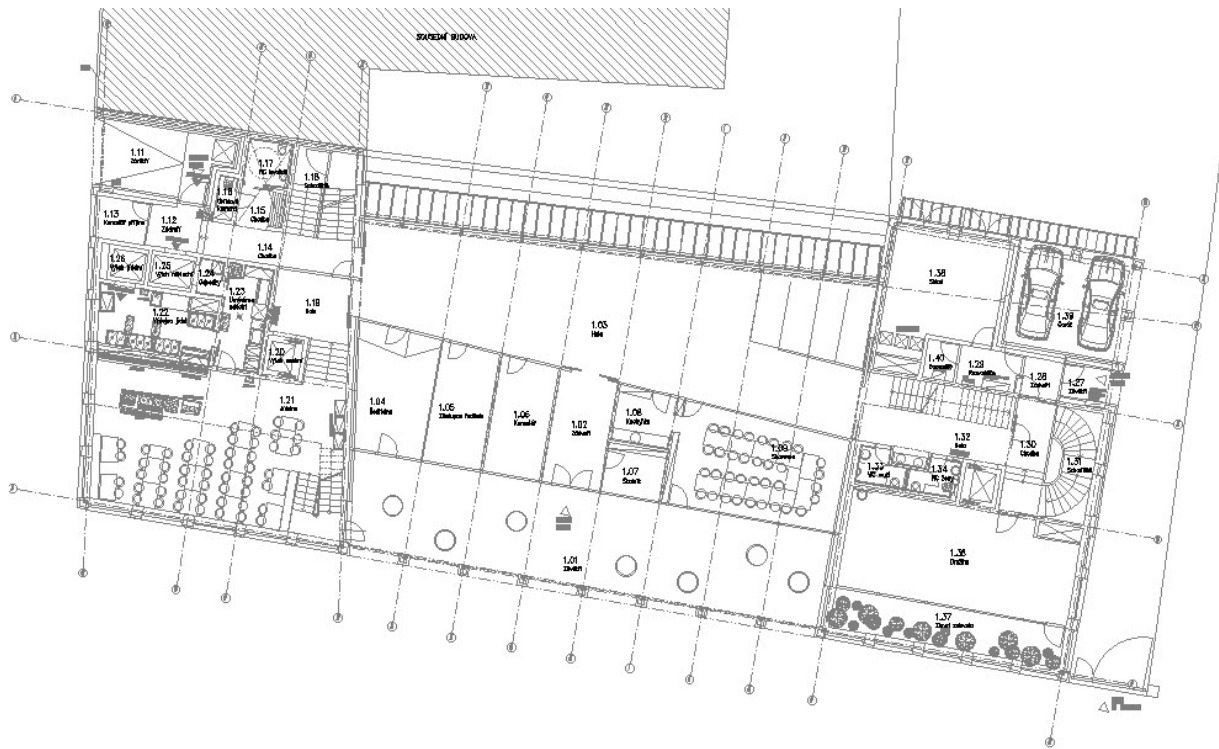
Na jedné straně budovy se nachází jižní věž s jedním podzemním podlažím a šesti nadzemními podlažím. V této části se nachází kuchyně se skladem potravin v prvním podzemním podlaží, jídelna v prvním nadzemním podlaží a ve druhém až pátém nadzemním podlaží se nachází kmenové třídy s kabinetem a specializované učebny. Šesté nadzemní podlaží tvoří půda. K západní straně jižní věže je přilepena sousední budova.

Na druhé straně budovy se nachází severní věž s dvěma podzemními a dvěma nadzemními podlažím. V podzemní podlaží jsou umístěny šatny se sociálním zázemím, technické prostory a pracovní dílna. V prvním nadzemním podlaží se nachází garáž a družina se zimní zahradou, ve druhém nadzemním podlaží se nachází kmenové třídy se šatnou a kabinetem a v mezipatře druhého nadzemního patra galerie.

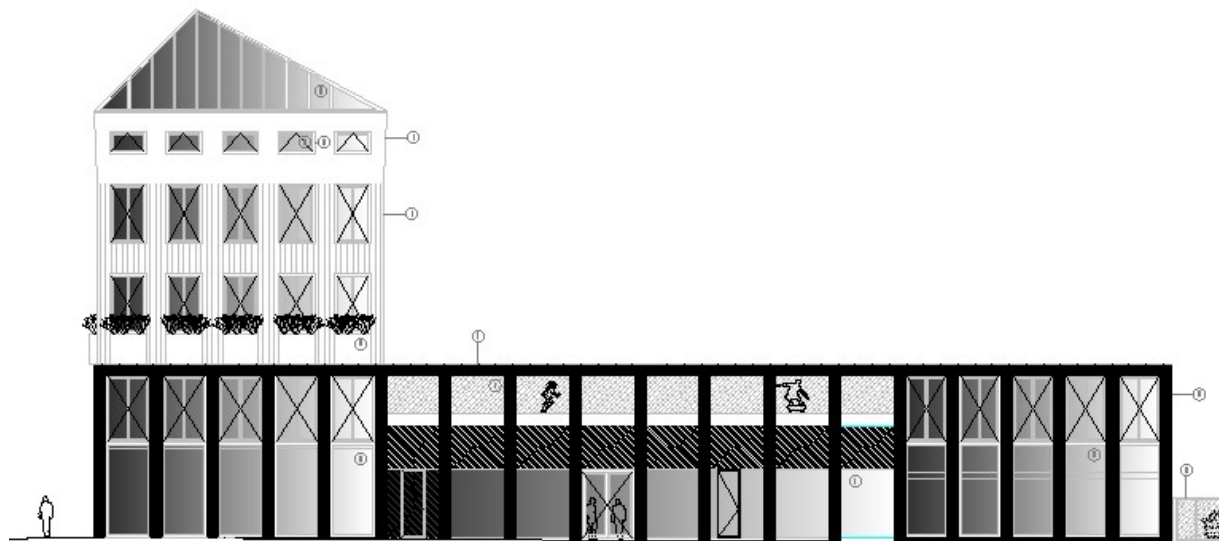
Poslední část budovy tvoří střední trakt, kde se nachází ve druhém podzemním podlaží tělocvična, která má výšku přes dvě patra. Tato část má pouze jedno nadzemní podlaží, které tvoří hlavní hala a kanceláře se sborovnou.

Provoz budovy školy je omezen pouze na pracovní dny. V čase letních prázdnin, státních svátků a víkendů není budova trvale využívána.

Na obrázku 2 je přiložen půdorys prvního nadzemního podlaží základní školy a na obrázku 3 je zobrazen východní pohled na základní školu.



Obrázek 2 - Půdorys 1.NP posuzované základní školy



Obrázek 3 - Východní pohled na posuzovanou základní školu

A.2.1.2 Popis konstrukcí

Skladby jednotlivých konstrukcí jsou převzaty z projektové dokumentace stavební části. Pomocí programu PROTECH jsou podle těchto skladeb vypočteny součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Tepelně technické vlastnosti pro výplně otvorů jsou uvažovány dle technických listů výrobců. V tabulce 8 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty součinitelů prostupu tepla.

Tabulka 8 - Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m².K]
SO1 – Obvodová stěna v 3+4+5NP	0,292
SO2 – Obvodová stěna se sousední budovou	0,480
SO3 – Obvodová stěna v 2PP	0,109
SO4 – Obvodová stěna – tělocvična	0,108
SO5 – Obvodová stěna v 1PP	0,160
SO6 – Obvodová stěna v 1+2NP	0,287
PDL1 – Podlaha 1+2PP	0,209
PDL2 – Podlaha tělocvična	0,190
STR1 – Strop nezateplený	3,047
STR2 – Strop – tělocvična	0,156
STR3 – Strop zateplený	0,469
SCH1 – Střecha jižní věže	0,240
SCH2 – Střecha severní věže	0,131
SCH3 – Střecha střední části	0,324
SN1 – Vnitřní stěna – tělocvična	2,633
SN2 – Vnitřní stěna betonová (tl. 200 mm)	3,372
SN3 – Vnitřní stěna zděná (tl. 100 mm)	1,111
SN4 – Vnitřní nosná stěna	2,063
SN5 – Vnitřní stěna dřevěná	1,195
SN6 – Vnitřní stěna zděná (tl. 150 mm)	1,050
SN7 – Vnitřní stěna SDK	1,601
SN8 – Vnitřní stěna skleněná	3,316
OJD – Okna	0,700
DO – Dveře	1,700

A.2.2 Klimatické údaje

Základní škola je situována v Praze, pro výpočty jsou zvoleny klimatické údaje z meteorologické stanice Praha – Karlov. Výpočtová venkovní teplota je stanovena na -12 °C. Počet otopných dnů pro danou lokalitu je 229 pro t_{em} 13 °C. Průměrná teplota v otopném období je 4,4 °C.

A.2.3 Požadavky na vytápění a větrání základních škol

Vnitřní výpočtové teploty jsou určeny podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [3] v závislosti na požadavcích pro školní budovy a jsou uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 9 - Vnitřní výpočtové teploty pro školní budovy

Typ místnosti	Vnitřní teplota [°C]
Učebny, pracovny	20
Tělocvičny	18
Šatny	20
Sprchy	24
Záchody	18
Chodby	18

Základní škola je větrána nuceně se zpětným získáváním tepla, aby mohly být splněny požadavky na množství přiváděného čerstvého vzduchu do školních prostor. Tyto požadavky jsou určeny podle vyhlášky č. 410/2005 Sb. [3] a jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 - Požadavky na větrání školních budov

Typ místnosti	Množství vzduchu [m³/h]
Učebny	20–30 na 1 žáka
Tělocvičny	20–90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Sprchy	150–200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinu, 25 na 1 pisoár
Umývárny	30 na 1 umyvadlo

A.2.4 Potřeba tepla na vytápění, přípravu teplé vody a ohřev vzduchu

Potřebný výkon zdroje tepla vychází z tepelných ztrát objektu, z potřebné dodávky tepla pro ohřev teplé vody a z potřeby tepla pro ohřev vzduchu. Pro budovu školy je potřebný výkon zdroje tepla stanoven na 85,6 kW.

Výpočet tepelných ztrát budovy je proveden pomocí programu Protech TV, který je určen k výpočtu návrhového tepelného výkonu podle ČSN EN 12 831-1 [1]. Celková výsledná ztráta budovy vychází 55,8 kW a je dána součtem tepelných ztrát jednotlivých místností.

Podrobný výpočet pro potřebu teplé vody je proveden podle ČSN EN 12831-3 [4]. Výpočet potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody a ohřev vzduchu podle denostupňové metody a další podrobné výpočty jsou uvedeny v projektové části.

Přehled výsledných hodnot je uveden v tabulce 11.

$$Q_{PRIP,1} = 0,7 * Q_{VYT,h} + 0,7 * Q_{VET,h} + Q_{TV,h}$$

$$Q_{PRIP,1} = 0,7 * 55,8 + 0,7 * 25,2 + 28,9$$

$$Q_{PRIP,1} = 85,55 \text{ kW}$$

$$Q_{PRIP,2} = Q_{VYT,h} + Q_{VET,h}$$

$$Q_{PRIP,2} = 55,8 + 25,2$$

$$Q_{PRIP,2} = 80,93 \text{ kW}$$

$$Q_{PRIP} = \max(Q_{PRIP,1}; Q_{PRIP,2})$$

$$Q_{PRIP} = \max(85,6; 80,9)$$

$Q_{PRIP} = 85,6 \text{ kW}$

$Q_{VVT,h}$ tepelný výkon pro vytápění [kW]

$Q_{VET,h}$ tepelný výkon pro VZT [kW]

$Q_{TV,h}$ tepelný výkon pro přípravu teplé vody [kW]

$Q_{PRIP,1}$ celkový výkon zdroje tepla varianta 1 [kW]

$Q_{PRIP,2}$ celkový výkon zdroje tepla varianta 2 [kW]

Tabulka 11 - Výsledné hodnoty potřeby tepla

<i>Tepelný výkon pro vytápění</i>	55,8 kW
<i>Tepelný výkon pro přípravu teplé vody</i>	28,9 kW
<i>Tepelný výkon pro VZT</i>	25,2 kW
<i>Celkový tepelný výkon</i>	85,6 kW
<i>Roční potřeba tepla pro vytápění</i>	85,4 MWh/rok
<i>Roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody</i>	49,7 MWh/rok
<i>Roční potřeba tepla pro ohřev vzduchu VZT</i>	26,7 MWh/rok
<i>Celková roční potřeba tepla</i>	161,8 MWh/rok

A.2.5 Zdroje tepla pro vytápění

S ohledem na výše uvedené výpočty výkonu zdroje tepla na vytápění, ohřev teplé vody a ohřev vzduchu VZT jsou uvažovány následující možné varianty zdrojů tepla:

- Plynový kondenzační kotel
- Tepelné čerpadlo vzduch/voda
- Soustava zásobování tepelnou energií
- Tepelné čerpadlo země/voda

V následujících podkapitolách jsou tyto varianty porovnány z hlediska tří kritérií – technická proveditelnost, ekonomické kritérium a ekologické kritérium.

A.2.5.1 Technická proveditelnost

Jako první kritérium je zvolena technická proveditelnost. Zde je vyhodnocována zejména možnost vhodného umístění zdroje tepla a příslušných výrobků do zvolené základní školy s ohledem na velikost pozemku a dispozici objektu. Ke všem posuzovaným zdrojům tepla jsou ve vyhodnocování navrženy veškeré pomocné komponenty otopné soustavy. Na závěr je u každé varianty grafické znázornění půdorysu technické místnosti, schéma zapojení zdroje tepla a koordinační situace s možnostmi připojení na příslušný potřebný rozvod potrubí.

- Plynový kondenzační kotel

První posuzovanou variantou je plynový kondenzační kotel. Tento typ kotlů je schopen odebrat teplo, které je obsažené ve spalinách, dodatečně ho přeměnit na výhřevné teplo a následně ho využít. [5]

U tohoto zdroje tepla je nutné prověřit zejména možnost napojení na veřejný plynovod (na obrázku 6 je znázorněna koordinační situace s připojením na veřejný plynovod). Také je zde nutné ověřit dostatečný prostor pro kouřovod. Z tohoto důvodu je pro tuto variantu změněna dispozice objektu a místnost č. -1.26 je navržena jako technická místnost a místnost č. -1.25 je navržena na praní a sušení.

- *Návrh zdroje tepla*

Z předešlých výpočtů bylo určeno, že potřebný výkon zdroje tepla je 85,6 kW. V závislosti na potřebném výkonu zdroje tepla mohou být navrženy dvě varianty. První varianta je návrh jednoho plynového kondenzačního kotle o dostatečném výkonu. Druhou variantou je návrh dvou plynových kondenzačních kotlů s nižšími výkony obou navržených kotlů. Tato varianta s dvěma plynovými kondenzačními kotli je vybrána z důvodu lepší možnosti vyvážení soustavy. Další výhodou této varianty je, že díky dvěma kotlům nebude místnost prohlášena za plynovou kotelnu a nemusí splňovat přísnější omezení. Plynová kotelna (III. kategorie) se totiž charakterizuje jako kotelna se jmenovitým tepelným výkonem jednoho kotle od 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW včetně a kotelna se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů větším než 100 kW, i když ani jeden z nich nedosahuje jmenovitého tepelného výkonu od 50 kW. Z toho vyplývá, že při použití dvou plynových kotlů s celkovým součtem výkonu menší než 100 kW, nemusí místnost splňovat požadavky plynové kotelny. To přináší finanční úlevy a mírnější požadavky na dispozici místnosti. [6]

Jsou tedy navrženy dva plynové kondenzační kotle Panther Condens 48 KKO o jmenovitém výkonu 45 kW. Tyto zdroje tepla slouží pro vytápění, ohřev teplé vody a ohřev vzduchu. V případě sdílení tepla pomocí otopných těles je zvolen teplotní spád 80/60 °C, pro který výrobce udává jmenovitou účinnost 97,5 %. V případě sdílení tepla pomocí podlahového vytápění je zvolen teplotní spád 50/30 °C, pro který výrobce udává jmenovitou účinnost 106,2 %. Kotle jsou umístěny v místnosti č. -1.26 (znázorněno na obrázku 4 a 5). [7]

- *Příprava teplé vody*

Pro přípravu teplé vody je v tomto případě zvolen nepřímotopný zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP o objemu 725 l. [8]

Zásobník teplé vody je napojen na plynový kondenzační kotel, který je dimenzován i na ohřev teplé vody. Teplá voda je ohřívána na 55 °C. Tento zásobník je umístěn v místnosti č. -1.26.

- *Další komponenty topné soustavy*

Součástí technické místnosti je expanzní nádoba. Pro její návrh je v této fázi použit předběžný výpočet a je navržena expanzní nádoba REFLEX NG 100 l 6 bar. [9]

Také je navržena rozdělovač/sběrač s devíti větvemi – pět větví pro ohřev vzduchu, tři větve pro vytápění a jedna větev pro přípravu teplé vody.

Dále je navržena termohydraulický rozdělovač, který slouží k hydraulickému oddělení primárního (kotlového) okruhu a okruhu topného.

- *Přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin*

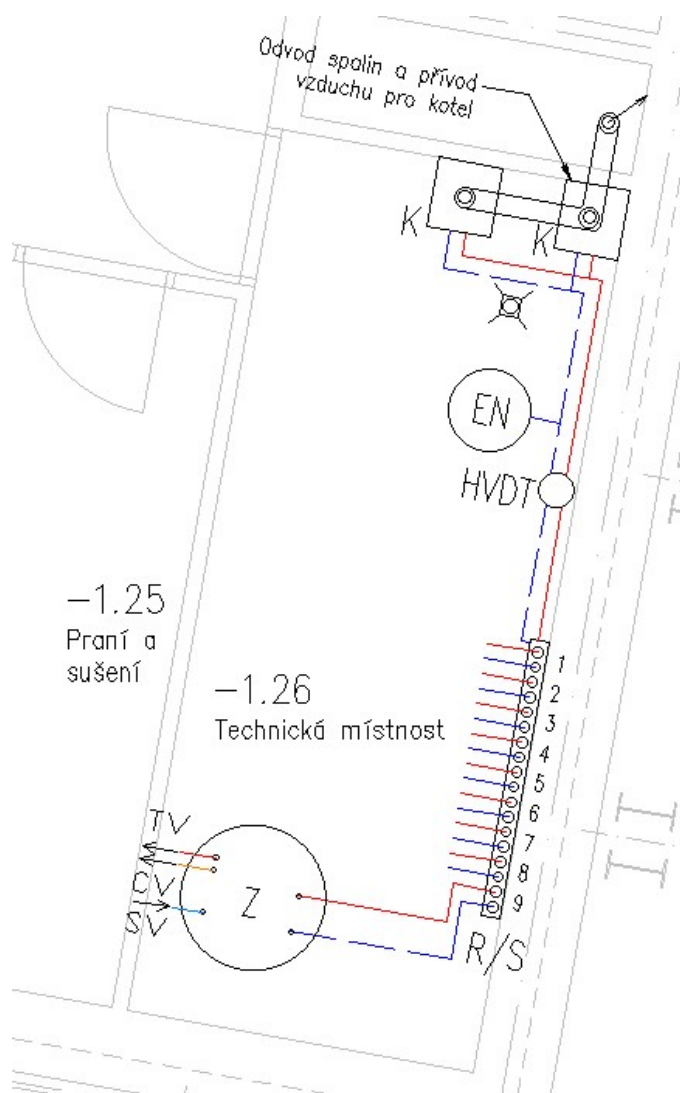
Odtah spalin je zajišťován sdruženým odvodem spalin pro dva kotle značky Thermona na střechu objektu. Technická místnost (č. -1.26) je větrána pomocí nuceného větrání ventilátorem a pomocí větracího průduchu komínu.

- *Regulace*

Kotle jsou regulovány podle venkovní teploty (ekvitermní regulace). V místnosti s kotli je instalován ekvitermní regulátor calorMATIC 470f. Regulátor je vybaven týdenním časovým programem s možností nastavení tří časových oken na jednotlivé dny v týdnu. Regulátor je s kotli propojen dvoužilovým vodičem a na severní fasádě objektu je umístěno venkovní čidlo snímající venkovní teplotu vzduchu. Také je možno stanovit teplotu a čas pro ohřev teplé vody. [10]

- *Požadavky na ostatní profese*

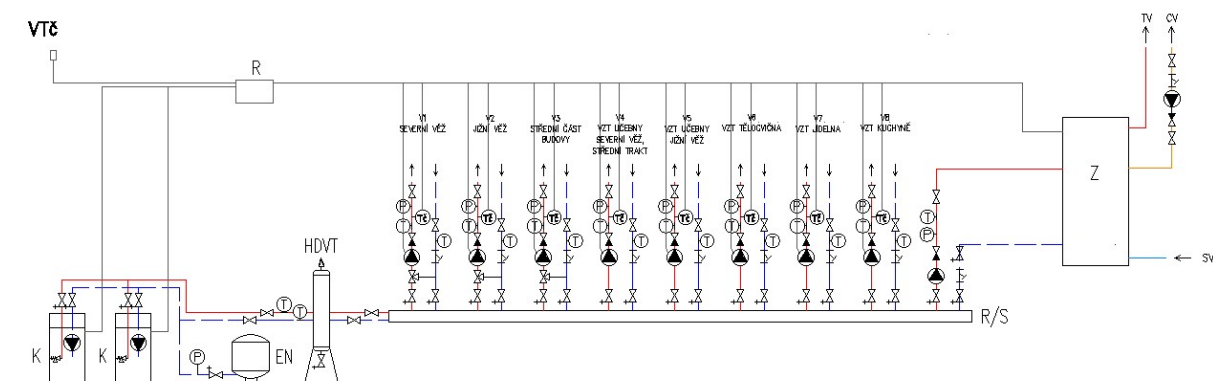
- napojení na elektrickou síť 230 V
- napojení oběhových čerpadel 230/400 V
- napojení na domovní plynovod
- v blízkosti kotle umístění podlahové vpusti, do které bude pomoci odtokového potrubí sveden kondenzát
- napojení venkovního čidla a jeho regulátoru
- napojení zásobníku teplé vody na studenou a teplou vodu



LEGENDA

K	PLYNOVÝ KONDENZAČNÍ KOTEL Panther Condens 48 KKO
EN	EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX N 100 I 6 bar
R/S	ROZDĚLOVAČ/SBĚRAČ
Z	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY OKC 750 NTR/BP
HVDT	HYDRAULICKÝ VYROVŇAVAČ TLAKU
R	REGULÁTOR CALORMATIC 470F

Obrázek 4 – Půdorys technické místnosti s plyn. kondenzačním kotlem



LEGENDA ARMATUR

⊗	UZAVÍRACÍ ARMATURA	⚡	POJISTNÁ ARMATURA	⊘	FILTR
⊘	VYPOUŠTĚCÍ ARMATURA	⬆	ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL	⦿	OBĚHOVÉ ČERPADLO
⊗	ZPĚTNÁ ARMATURA	⊗	TROJCESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL	Ⓢ	SNÍMAČ TEPLoty A TLAKU
Ⓢ	ČIDLO TEPLoty	⊠	ČIDLO VENKOVNÍ TEPLoty	Ⓢ	

Obrázek 5 - Schéma zapojení s plyn. kondenzačním kotlem



Obrázek 6 – Koordinační situace s přípojkou zemního plynu

- **Tepelné čerpadlo vzduch/voda**

Tepelná čerpadla patří mezi zdroje tepla, která využívají obnovitelný zdroj energie. Umožňují odebrat tepelnou energii z prostředí, které má nižší teplotu a převádět ji do jiné teplotně látky, která má teplotu vyšší. Prostedím může být vzduch, voda nebo země. [11]

S ohledem na lokalitu, ve které se řešená základní škola nachází, je vyloučena varianta tepelného čerpadla voda/voda. U tepelného čerpadla typu vzduch/voda je ovšem nutné prověřit zejména to, zda se u pozemku vyskytuje vhodná plocha pro umístění tepelných čerpadel.

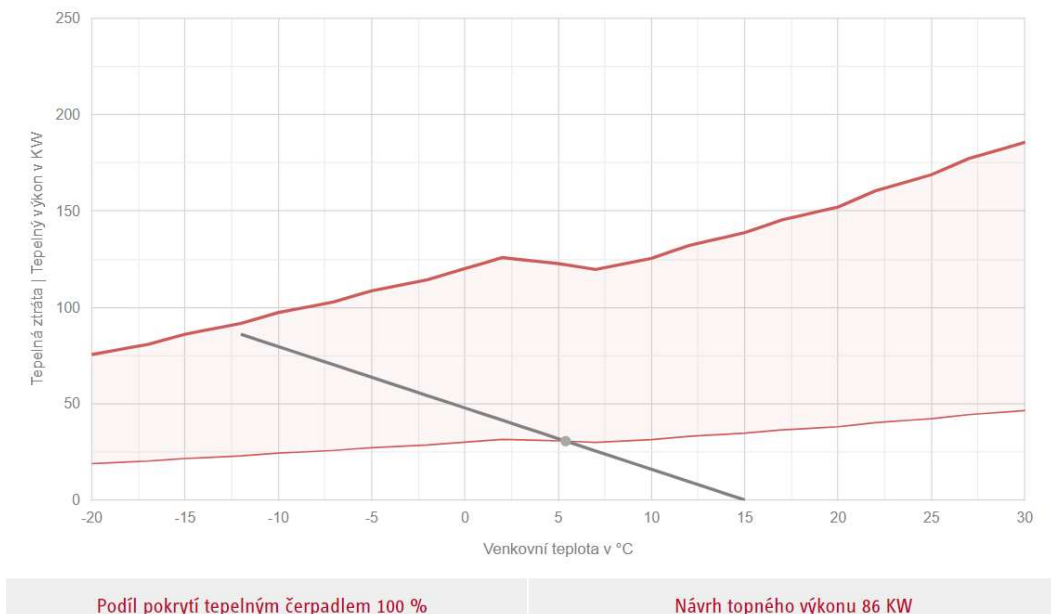
- *Návrh zdroje tepla*

Tepelné čerpadlo pokrývá celkovou potřebu tepla objektu. Pro pokrytí těchto ztrát je navržena kaskáda čtyř tepelných čerpadel Stiebel Eltron WPL 57. [12] Tepelná čerpadla jsou ve venkovním provedení a jsou umístěna na pozemku školy ve vzdálenosti min. 1 m od objektu, na západní části pozemku. Jsou postavena na samostatném betonovém základu (znázorněno na obrázku 12). Nabízelo by se i řešení umístit tepelná čerpadla na střechu severní věže, ovšem v budoucnu se předběžně počítá s druhou etapou stavby, v rámci které se rozšíří severní věž a bylo by velice nákladné celý systém později přesouvat.

U tepelných čerpadel je nutné provést hlukové posouzení a popřípadě navrhnout protihlukové opatření, kterým může být zakrytí čerpadel zděnou budkou s ventilačními mřížkami.

Potrubí je od tepelných čerpadel vedeno topným kanálem do objektu, poté v podhledu prvního podzemního podlaží do technické místnosti č. -1.25 (znázorněno na obrázku 10 a 11).

Na grafu na obrázku 7 je znázorněna schopnost tepelných čerpadel pokrýt v tomto případě stoprocentně tepelné ztráty objektu, tudíž není zajištěn žádný záložní zdroj. Tento návrh je proveden pomocí návrhového softwaru Toolbox od výrobce tep. čerpadel Stiebel Eltron. [13]



Obrázek 7 - Graf pokrytí tep. ztrát tepelným čerpadlem vzduch/voda

- *Návrh vyrovnávací nádoby*

K tepelným čerpadlům jsou navrženy vyrovnávací nádoby, umístěné v místnosti č. -1.25 (obrázek 8). Je uvažován objem nádoby 20 l / kW, tudíž na potřebný tepelný výkon je potřeba objem 1 720 l. Z tohoto důvodu jsou navrženy v budově dvě vyrovnávací nádoby SBP 1000 E o objemu 1000 l. [14]

- *Příprava teplé vody*

Pro přípravu teplé vody je i v tomto případě zvolen nepřímotopný zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP o objemu 725 l. [8]

Zásobník teplé vody je napojen na tepelné čerpadlo, které je dimenzováno i na ohřev teplé vody. Teplá voda bude ohřívána na 55 °C. Tento zásobník je umístěn v místnosti č. -1.25.

- *Další komponenty topné soustavy*

Do technické místnosti je i u této varianty navržena expanzní nádoba. Pro její návrh je v této fázi použit opět předběžný výpočet a je navržena expanzní nádoba REFLEX NG 100 l 6 bar. [9]

Dále je navržena rozdělovač/sběrač s osmi větvemi – pět větví pro ohřev vzduchu a tři větve pro vytápění. Pro zásobník teplé vody je navrženo připojení již před vyrovnávací nádobou z důvodu potřeby vyšší teploty na přípravu teplé vody.

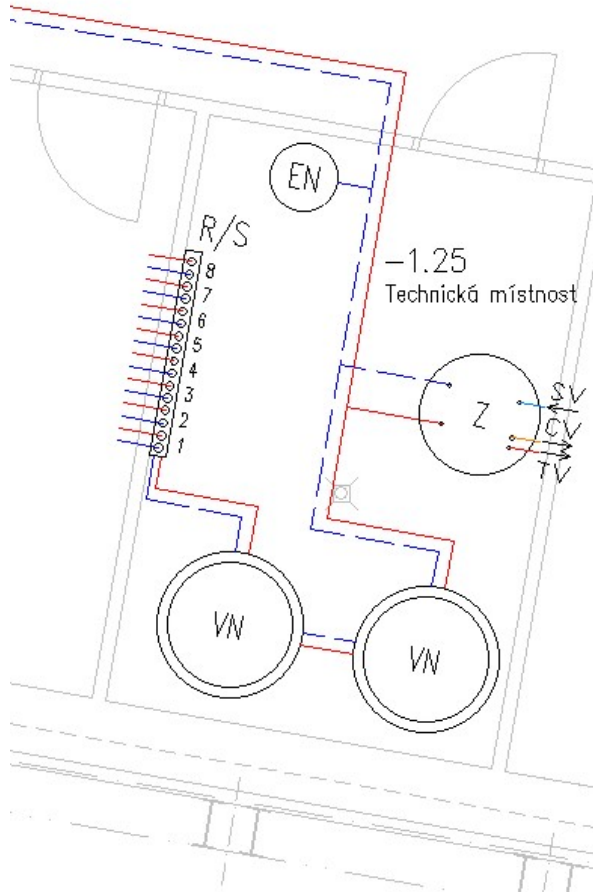
- *Regulace*

Provoz a regulace tepelného čerpadla jsou řízeny regulátorem WPM International (s rozšířením o modul WPE z důvodu regulace většího počtu tepelných čerpadel), osazeným čidlem venkovní teploty. [15]

- *Požadavky na ostatní profese*

- napojení na elektrickou síť 400 V
- napojení oběhových čerpadel 230/400 V
- umístění podlahové vpusti v technické místnosti

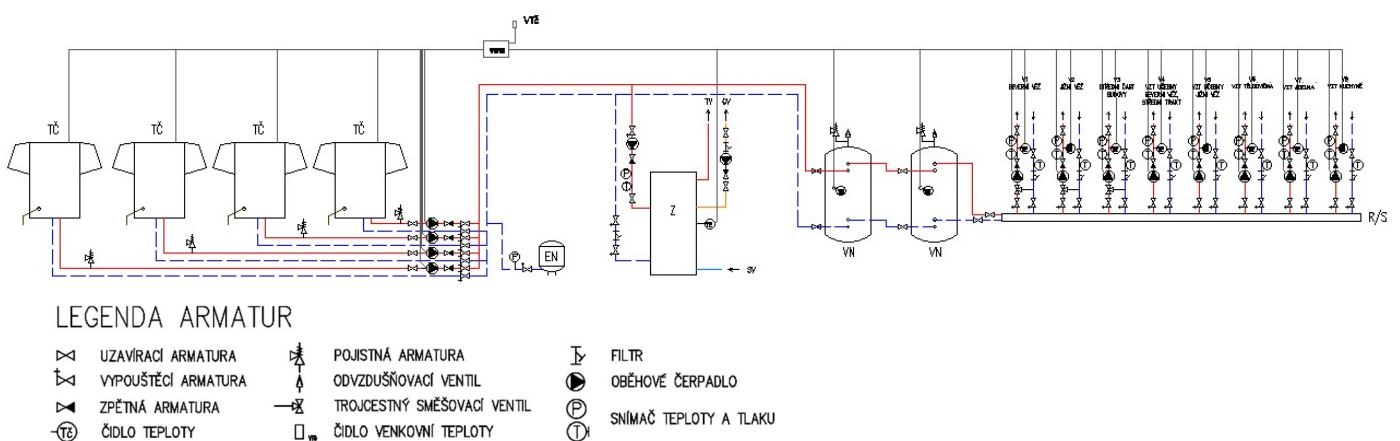
- o odvod kondenzátu od tepelných čerpadel
- o napojení venkovního čidla tepelného čerpadla a jeho regulátoru
- o napojení zásobníku teplé vody na studenou a teplou vodu



LEGENDA

TČ	TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH/VODA Stiebel Eltron WPL57
VN	VYROVNÁVACÍ NÁDOBA SBP 1000 E
EN	EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX N 100 I 6 bar
R/S	ROZDĚLOVAČ/SBĚRAČ
Z	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY OKC 750 NTR/BP

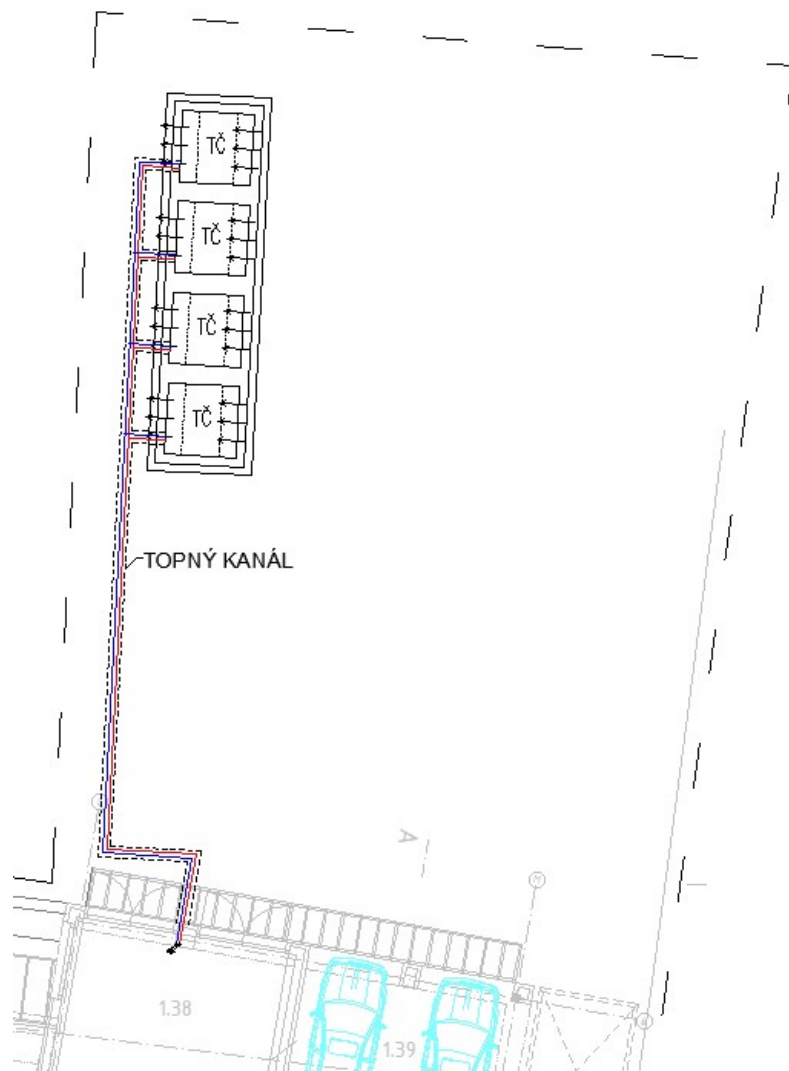
Obrázek 8 - Půdorys technické místnosti s tep. čerpadlem vzduch/voda



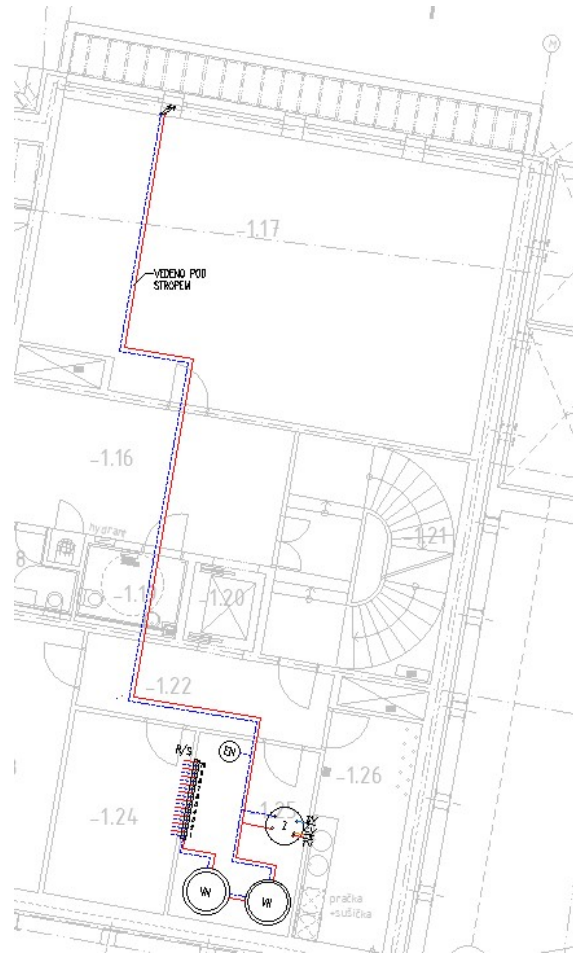
LEGENDA ARMATUR

⊗	UZAVÍRACÍ ARMATURA	⊕	POJISTNÁ ARMATURA	⊖	FILTR
⊕	VYPOUŠTĚCÍ ARMATURA	⊗	ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL	⊕	OBĚHOVÉ ČERPADLO
⊗	ZPĚTNÁ ARMATURA	⊕	TROJCESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL	⊕	SNÍMAČ TEPLoty A TLAKU
⊕	ČIDLO TEPLoty	⊕	ČIDLO VENKOVNÍ TEPLoty		

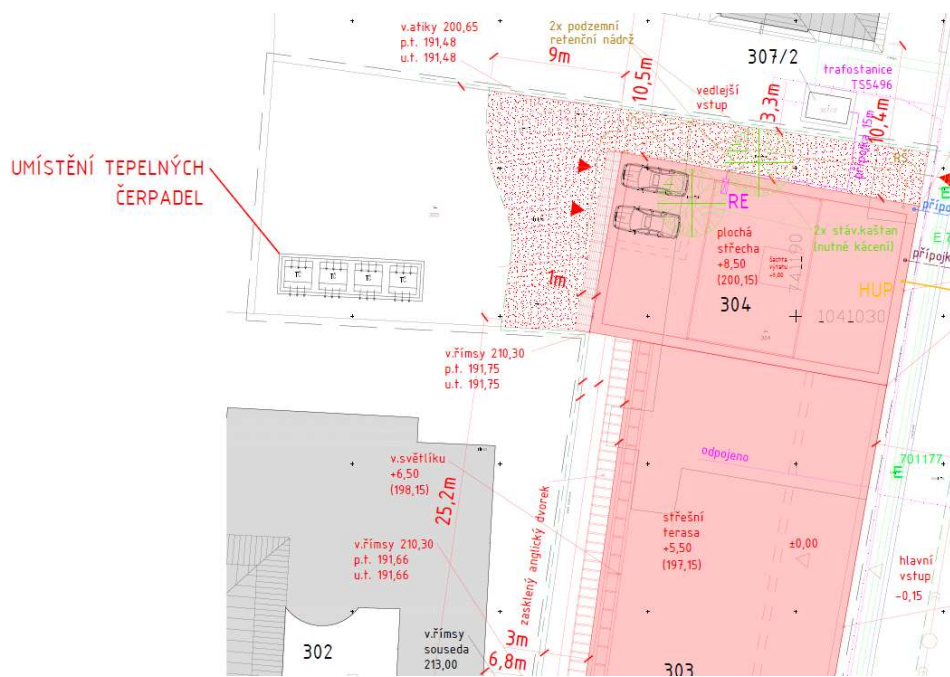
Obrázek 9 - Schéma zapojení s tep. čerpadlem vzduch/voda



Obrázek 10 - Trasa potrubí od tep. čerpadel vzduch/voda



Obrázek 11 - Trasa potrubí od tep. čerpadel vzduch/voda k techn. místnosti



Obrázek 12 - Koordinační situace s umístěním tep. čerpadel vzduch/voda

- **Soustava zásobování tepelnou energií**

Tento typ vytápění je charakteristický dálkovou dodávkou tepla pro vytápění a přípravu teplé vody pro více objektů z jednoho společného zdroje tepla a rozvodem tepla tepelnou sítí, která prochází volným prostorem mezi objekty. Soustava zásobování tepelnou energií (dále jen SZTE) se skládá z primární a sekundární sítě. Primární síť je realizována dálkovým potrubím, které dopravuje teplotonosnou látku o vyšších parametrech a končí v předávací stanici. Sekundární síť začíná v předávací stanici a končí u spotřebitelů. [16]

V této variantě je nejdůležitějším faktorem výskyt rozvodu centrálního horkovodního vedení tepla v dané lokalitě.

- *Zdroj tepla*

Topná soustava objektu je napojena na horkovod společnosti Pražská Teplárenská a.s. Napojení je z uliční přípojky (viz. obrázek 15).

- *Tlakově nezávislá předávací stanice*

Stanice je instalována do technické místnosti č. -1.25, kde je umístěna v kleci, ke které má přístup pouze dodavatel tepla. Tlakově nezávislá předávací stanice značky Avos Vyškov s dvojitupňovým ohřev TV typu OPS TNDV 100 kW je použita pro vytápění, ohřev teplé vody a ohřev vzduchu. [24] Stanice obsahuje dva výměníky – pro vytápění a pro přípravu teplé vody. Sekundární strana od výměníku pro vytápění je vyvedena do rozdělovače a dále do jednotlivých topných větví. Sekundární strana od výměníku pro přípravu teplé vody je vyvedena do zásobníku TV (znázorněno na obrázku 13 a 14). [17]

- *Příprava teplé vody*

Pro přípravu teplé vody slouží výměník v předávací stanici, odkud vede potrubí s teplou vodou do zásobníku teplé vody typu Regulus R0BC 750 o objemu 750 l bez vnitřních výměníků. Tento zásobník je umístěn v místnosti č. -1.25. [18]

- *Další komponenty topné soustavy*

Do technické místnosti je navržena expanzní nádoba. Pro její návrh je v této fázi opět použit předběžný výpočet a je navržena expanzní nádoba REFLEX NG 100 l 6 bar. [9]

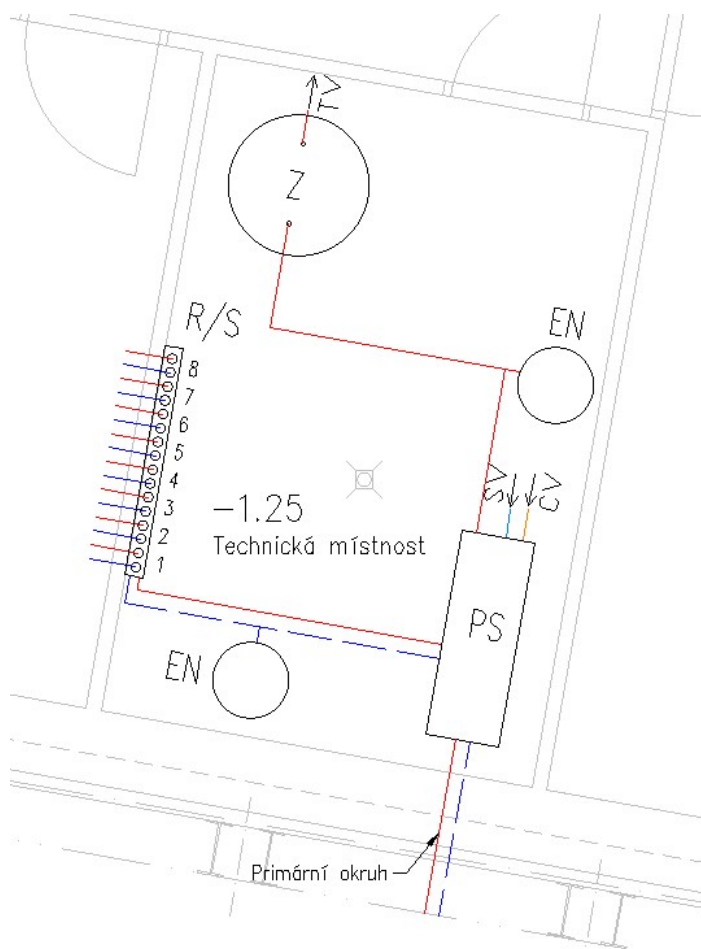
Dále je navržen rozdělovač/sběrač s osmi větvemi – pět větví pro ohřev vzduchu a tři větve pro vytápění.

- *Regulace*

Provoz a regulace zdroje tepla jsou řízeny centrálně podle venkovní teploty pomocí regulačního modulu Siemens RVD125 umístěného v technické místnosti č. -1.25. [19]

- *Požadavky na ostatní profese*

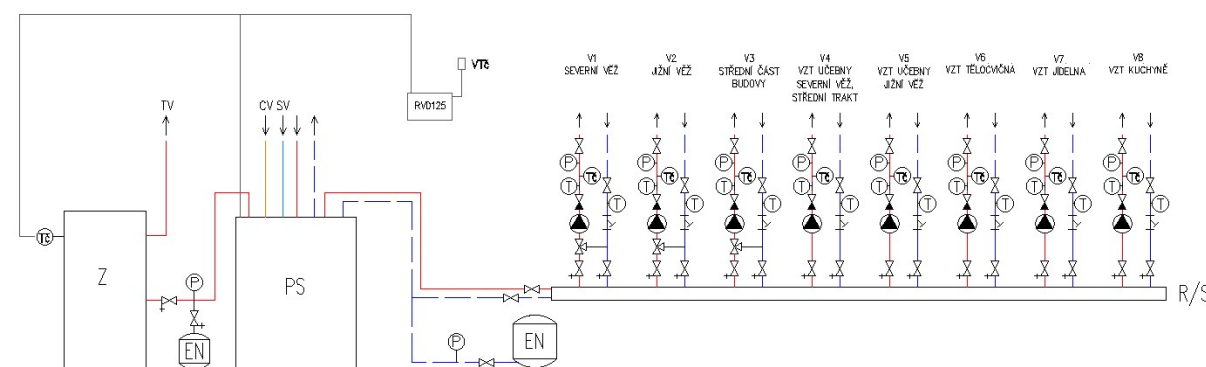
- napojení oběhových čerpadel 230/400 V
- v technické místnosti umístění podlahové vpusti
- napojení venkovního čidla a jeho regulátoru
- napojení předávací stanice na studenou a teplou vodu



LEGENDA

- PS TLAKOVĚ NEZÁVISLÁ PŘEDÁVACÍ STANICE AVOS VYŠKOV
- EN EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX N 100 I 6 bar
- R/S ROZDĚLOVAČ/SBĚRAČ
- Z ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY ROBC 750

Obrázek 13 - Půdorys technické místnosti se SZTE



LEGENDA ARMATUR

- | | | | | | |
|---|---------------------|---|-----------------------------|---|------------------------|
| ⊗ | UZAVÍRACÍ ARMATURA | ⊕ | POJISTNÁ ARMATURA | ⊖ | FILTR |
| ⊘ | VYPOUŠTĚCÍ ARMATURA | ⊕ | ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL | ⊖ | OBĚHOVÉ ČERPADLO |
| ⊗ | ZPĚTNÁ ARMATURA | ⊕ | TROJCESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL | ⊖ | SNÍMAČ TEPLoty A TLAKU |
| ⊗ | ČIDLO TEPLoty | ⊕ | ČIDLO VENKOVNÍ TEPLoty | ⊖ | |

Obrázek 14 - Schéma zapojení SZTE



Obrázek 15 – Koordinační situace se zapojením SZTE

- Tepelné čerpadlo země/voda

Jak již bylo napsáno výše, tepelná čerpadla patří mezi zdroje tepla, která využívají obnovitelný zdroj energie. Umožňují odebírat tepelnou energii z prostředí, které má nižší teplotu a převádět ji do jiné teplotnosné látky, která má teplotu vyšší. V tomto případě tepelné čerpadlo země/voda odebírá tepelnou energii ze země a předává ji topné vodě. [11]

Geotermální vrty

V předchozí kapitole bylo navrženo tepelné čerpadlo vzduch/voda a v této variantě je ověřena možnost užití tepelného čerpadla země/voda. Toto čerpadlo může fungovat buď s plošnými kolektory nebo s geotermálními vrty. Pro instalaci plošných kolektorů je potřeba větší plocha, na které se v budoucnu nemůžou například vysazovat stromy. Proto se domnívám, že plošné kolektory nejsou pro tento objekt vhodný, jelikož zde není v okolí velká plocha pro uložení těchto kolektorů. Naopak geotermální vrty neomezují využití zahrady a zabírají mnohem méně místa. Z tohoto důvodu je vybrána k hodnocení varianta tepelného čerpadla země/voda s geotermálními vrty. [20] [21]

- *Návrh zdroje tepla*

Tepelné čerpadlo země/voda se dimenzuje na pokrytí 80 až 100 % potřebného výkonu. Proto je jako hlavní zdroj tepla navrženo tepelné čerpadlo země/voda IVT GEO G280 o jmenovitém výkonu 81,1 kW. [22]

Jako doplňkový zdroj slouží elektrokotel Protherm RAY KE o výkonu 6 kW. [23] Výkon hlavního i doplňkového zdroje je dimenzován pomocí výpočtové tabulky na webové stránce www.projektuj-tepelnacerpadla.cz, podle které je také spočítán bod bivalence a roční spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla a elektrokotle (uvedeno v tabulce 12 a 13). [24]

Tabulka 12 - Výsledný výkon zdrojů tepla (geotermální vrty)

Výkon tep. čerpadla při -12 °C	81,1 kW
Výkon bivalence při -12 °C	4,5 kW
Bod bivalence	-10 °C

Tabulka 13 - Roční spotřeba el. energie (geotermální vrty)

Spotřeba elektřiny tepelného čerpadla	63,51 MWh; 99,8 %
Spotřeba elektřiny bivalencí	0,15 MWh; 0,2 %

Tepelné čerpadlo i elektrokotel jsou umístěné v technické místnosti č. -1.25 (znázorněno na obrázku 16 a 17). S ohledem na možné problémy s hlukem by tepelné čerpadlo nemělo být umístěné vedle obytných místností.

- *Návrh geotermálních vrtů*

U zařízení, kde požadovaný výkon přesahuje 30 kW, je nutné navrhovat vrtné pole s využitím analytických simulačních programů. U větších budov se navíc před návrhem vrtného pole provádí TRT (thermal response test), který změří tepelnou vodivost zeminy v lokalitě a umožní přesný návrh počtu a hloubky vrtů. Pro účely tohoto hodnocení je proveden pouze předběžný výpočet počtu vrtů z důvodu ověření, zda se geotermální vrty na daný pozemek vejdu. V případě realizace by počet a umístění geotermálních vrtů bylo navrženou odbornou firmou (dodavatel tepelného čerpadla). Pro návrh délky vrtů pro zjednodušený výpočet je nyní uvažována hodnota zisku tepla 50 W/m (tento výkon by musel být ověřen na místě geologickým průzkumem). Je tedy navržen primární okruh s 16 hlubinnými geotermálními vrty o délce 100 m. Vrty jsou rozmístěny tak, aby rozestupy mezi nimi činily minimálně 10 metrů (viz. obrázek 19). [25]

Pro okruhy je zřízena betonová šachta, kde se nachází rozdělovač/sběrač primárního okruhu (viz. obrázek 18).

- *Vyrovnávací nádoba*

K tepelnému čerpadlu je navržena vyrovnávací nádoba, umístěná v místnosti č. -1.25. Je uvažován objem 10 l / kW, tudíž na potřebný tepelný výkon je potřeba nádoba o objemu 860 l. Z tohoto důvodu je navržena vyrovnávací nádoba SBP 1000 E o objemu 1 000 l. [14]

- *Příprava teplé vody*

Pro přípravu teplé vody je i u tohoto zdroje tepla zvolen nepřímotopný zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP o objemu 725 l. [8]

Zásobník teplé vody je napojen na tepelné čerpadlo, které je dimenzováno i na ohřev teplé vody. Teplá voda je ohřívána na 55 °C. Tento zásobník je umístěn v místnosti č. -1.25.

- *Další komponenty topné soustavy*

Pro soustavu jsou potřebné dvě expanzní nádoby. První nádoba je potřeba pro primární okruh se zemními vrty a druhá pro sekundární okruh vytápění. Pro primární okruh je navržena expanzní nádoba REFLEX NG 100 l 6 bar. Pro sekundární okruh vytápění je navržena totožná expanzní nádoba REFLEX NG 100 l 6 bar. [9]

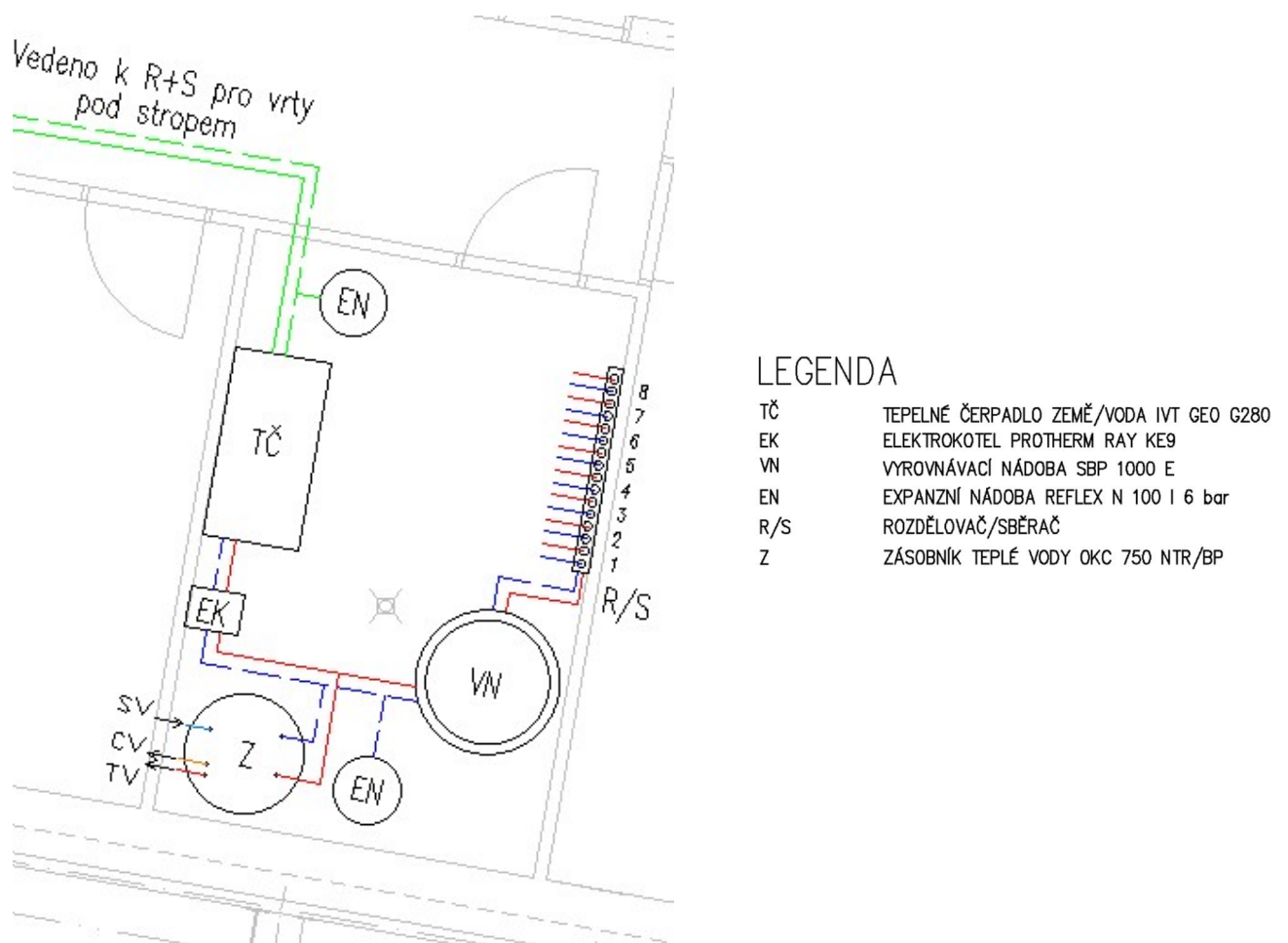
Dále je navržen rozdělovač/sběrač s osmi větvemi – pět větví pro ohřev vzduchu a tři větve pro vytápění. Pro zásobník teplé vody je navrženo připojení již před vyrovnávací nádobou z důvodu potřeby vyšší teploty na přípravu teplé vody.

- *Regulace*

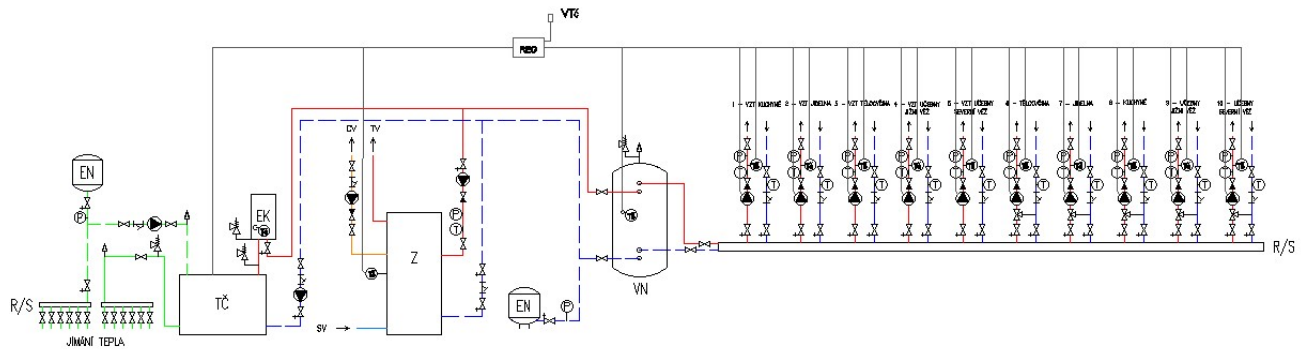
Regulace tepelného čerpadla je řízena ekvitermně podle venkovní teploty pomocí regulačního modulu Rego 5200, který je napojen na čidlo venkovní teploty, umístěné na severní fasádě objektu. [22]

- *Požadavky na ostatní profese*

- napojení tepelného čerpadla a elektrokotle na elektrickou síť 400 V
- napojení oběhových čerpadel 230/400 V
- v technické místnosti umístění podlahové vpusti
- napojení venkovního čidla tepelného čerpadla a jeho regulátoru
- napojení zásobníku teplé vody na studenou a teplou vodu



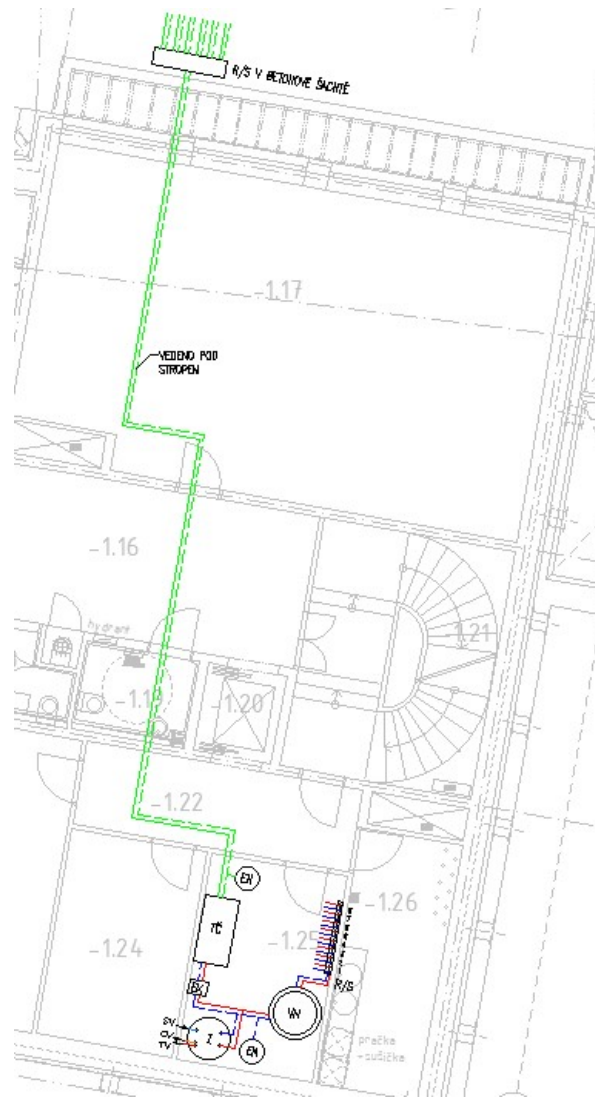
Obrázek 16 - Půdorys technické místnosti s tep. čerpadlem země/voda (geotermální vrty)



LEGENDA ARMATUR

	UZAVÍRACÍ ARMATURA		POJISTNÁ ARMATURA		FILTR
	VYPOUŠTĚCÍ ARMATURA		ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL		OBĚHOVÉ ČERPADLO
	ZPĚTNÁ ARMATURA		TROJCESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL		SNÍMAČ TEPLoty A TLAKU
	ČIDLO TEPLoty		ČIDLO VENKOVNÍ TEPLoty		

Obrázek 17 - Schéma zapojení s tep. čerpadlem země/voda (geotermální vrt)



Obrázek 18 - Trasa potrubí od zemních vrtů



Obrázek 19 – Koordinační situace s umístěním zemních vrtů

Při předběžném návrhu umístění geotermálních vrtů na pozemek budovy bylo zjištěno, že na daný volný pozemek, který patří k základní škole, se při dodržení požadovaných rozestupů vejde jen šest zemních vrtů, což je pro navrhované tepelné čerpadlo a pro požadovaný tepelný výkon objektu nedostatečné. Šest zemních vrtů by podle přibližného návrhu pokrylo jen 50 % potřeby tepla pouze na vytápění objektu, což je dle mého názoru velmi málo na realizaci tohoto systému. Tato varianta byla v rámci tepelného čerpadla země/voda uvažována nejdříve z důvodu jednoduchosti návrhu oproti jiným variantám tepelného čerpadla země/voda. Jak se ale ukázalo, tato možnost není pro daný objekt vhodná.

U staveb, které nemají dostatečně velký pozemek, lze vrty umístit i pod základovou desku. [21] Proto další posuzovanou variantou je tepelné čerpadlo země/voda s geotermálními vrty, navrženými v předchozím návrhu na volném pozemku, doplněné o geotermální vrty, které jsou umístěny pod budovu. Dle předchozího návrhu je potřeba na pokrytí celkové potřeby tepla budovy patnáct vrtů, tudíž šest vrtů je umístěno podle návrhu výše na volný pozemek a zbytek vrtů je umístěn pod budovu, kde bylo ověřeno, že se potřebný počet vrtů vejde.

Typ tepelného čerpadla se nám nemění, u této varianty je opět navrženo tepelné čerpadlo země/voda IVT GEO G280 o jmenovitém výkonu 81,1 kW s doplňkovým zdrojem tepla – elektrokotlem. [22] [23]

Tato varianta je tedy v posuzované základní škole technicky proveditelná, ovšem její provedení je komplikovanější. Půdorys technické místnosti a schéma zapojení zdroje tepla zůstává totožné jako v předchozí variantě tepelného čerpadla země/voda.

Energetické piloty

Pro návrh další varianty tepelného čerpadla země/voda byly inspirací objekty, které se nachází ve stejné lokalitě jako posuzovaná základní škola. Prvním příkladem je budova Argentinská Office Building. Tato budova se vyskytuje na malém pozemku, tudíž by zde byl také problém umístit větší počet zemních vrtů nebo plošné kolektory v případě návrhu tepelného čerpadla země/voda. Z tohoto důvodu byla jako nízkopotenciální zdroj energie pro tepelné čerpadlo země/voda, které slouží jako jeden ze zdrojů tepla a chladu, řešena spodní stavba budovy. Pro odebrání energie pro potřeby vytápění a pro ukládání odpadního tepla při potřebě chlazení v tomto objektu jsou navrženy energetické piloty, které slouží jako akumulátor tepla či chladu. V energetických pilotech dochází také k čerpání geotermální energie z okolního prostředí a zároveň jsou využity jako nosný prvek budovy. Armokoš energetické piloty je před vložením do vyvrtaného otvoru vystrojen potrubním výměníkem PE potrubí a poté zapuštěn a zalit betonem. Výstupy potrubí jsou následně vedeny pod základovou deskou v podkladním betonu do sběrných míst – rozdělovačů a sběračů. Meandry napojení pilot vytvářejí kolektor neboli výměník pro energetické využití základové desky a jejího podloží. Dalším zdrojem pro vytápění je v této budově výměníková stanice. [26]

Důkaz, že tento systém není v této lokalitě ojedinělý, potvrzuje i studentské bydlení v Holešovicích. Areál kampusu je navržen jako ekologicky šetrný a využívá tepelná čerpadla země/voda se 177 kusy energetických pilot. [27]

Další posuzovanou variantou je tedy návrh tepelného čerpadla země/voda s energetickými pilotami. Z ekonomických důvodů se navrhuje pouze počet pilot nutných z hlediska statiky, náklady na další piloty by se již nevyplatily. Proto pokud nestačí počet navržených pilot od statika, zbylý potřebný výkon se pokryje jinými, nezávislými systémy. Další možnou variantou, pokud energetické piloty nepokryjí celou potřebu, je kombinace s hlubinnými vrty mezi piloty nebo mimo základy na volném prostranství, které patří k objektu. [28]

Tato varianta by zasáhla do stavebního provedení a musela by být projednána změna založení stavby. Návrh energetických pilot se provádí analogicky jako u hlubinných vrtů, tudíž při návrhu energetických pilot pro tento objekt postupují v této studii totožným způsobem, jako u návrhu zemních vrtů na volném pozemku, a pro návrh délky vrtů je i v tomto případě zjednodušeně uvažována hodnota zisku tepla 50 W/m (tento výkon by musel být ověřen na místě geologickým průzkumem). [29] Bylo by zde ale potřeba získat návrh ze stavební části, aby bylo jasné, jakou potřebnou výšku budou mít piloty a jaký bude rozestup mezi nimi. Díky tomu bychom věděli, kolik procent z celkové potřeby tepla pokryjí energetické piloty a od toho by se vyvíjel návrh dalšího zdroje tepla nebo návrh zemních vrtů.

Pro účely tohoto srovnání je nyní uvažováno, že by tepelné čerpadlo země/voda s energetickými pilotami dokázalo pokrýt potřebu tepla na vytápění objektu a zbylou potřebu tepla (na ohřev vzduchu a přípravu teplé vody) by pokryl jiný zdroj tepla – v tomto případě napojení na SZTE. Níže je zjednodušeně popsán návrh technických prvků u této varianty, která je v podstatě kombinací dvou předchozích navržených variant.

- Návrh zdroje tepla

Pro potřeby tepla na vytápění je navrženo tepelné čerpadlo země/voda IVT GEO G254 o jmenovitém výkonu 57,2 kW. [22] Bivalentní zdroj v tomto případě navržen není, jelikož podle výpočtové tabulky byl spočítán výkon zdroje tepla a další potřebné údaje a bylo zjištěno, že navržené tepelné čerpadlo pokryje celou potřebnou ztrátu pro vytápění. Tyto údaje můžeme vidět v tabulce 14 a 15. [24]

Tepelné čerpadlo i ostatní technické komponenty budou umístěné v technické místnosti č. -1.25. Zdrojem energie budou tedy energetické piloty, přesný počet by byl stanoven s ohledem na statiku.

Tabulka 14 - Výsledný výkon zdrojů tepla (energetické piloty)

Výkon tep. čerpadla při -12 °C	57,2 kW
Výkon bivalence při -12 °C	0,0 kW
Bod bivalence	-12 °C

Tabulka 15 - Roční spotřeba el. energie (energetické piloty)

Spotřeba elektřiny tepelného čerpadla	40,04 MWh; 100 %
Spotřeba elektřiny bivalencí	0 MWh; 0 %

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody a ohřev vzduchu je zajišťována pomocí SZTE. Napojení na horkovod společnosti Pražská Teplárenská a.s. je z uliční přípojky. Stanice je instalována do místnosti č. -1.26, kde je potřeba změna účelu místnosti pro uložení stanice. Je navržena tlakově nezávislá předávací stanice značky Avos Vyškov s dvojstupňovým ohřev TV typu OPS TNDV 100 kW. Stanice obsahuje dva výměníky – pro ohřev vzduchu a pro přípravu teplé vody. [18]

- *Vyrovnávací nádoba*

K tepelnému čerpadlu je navržena vyrovnávací nádoba, umístěná v místnosti č. -1.25. Je uvažován objem 10 l / kW, tudíž na potřebný tepelný výkon budovy je potřeba objem 558 l. Z tohoto důvodu je navržena vyrovnávací nádoba SBP 700 E o objemu 700 l. [30]

- *Příprava teplé vody*

Pro přípravu teplé vody slouží výměník v předávací stanici, odkud je vedeno potrubí teplé vody do zásobníku TV Regulus R0BC 750 o objemu 750 l bez vnitřních výměníků. Tento zásobník je umístěn v místnosti č. -1.26. [18]

- *Další komponenty topné soustavy*

Pro soustavu s tepelným čerpadlem země/voda jsou potřebné opět dvě expanzní nádoby. První nádoba je potřeba pro primární okruh s energetickými pilotami a druhá pro sekundární okruh pro vytápění. Pro primární okruh je navržena expanzní nádoba REFLEX NG 50 l 6 bar. Pro sekundární okruh vytápění je navržena totožná expanzní nádoba REFLEX NG 50 l 6 bar. [9] Dále je v této soustavě s tepelným čerpadlem navržen rozdělovač/sběrač s třemi větvemi pro vytápění (učebny v jižní věži, učebny v severní věži a místnosti ve střední části budovy).

Pro soustavu s předávací stanicí je navržena jedna expanzní nádoba REFLEX NG 50 l 6 bar. [9] Dále je navržen rozdělovač/sběrač s pěti větvemi pro ohřev vzduchu jednotlivých zón.

- *Regulace*

Regulace je u obou zdrojů tepla řízena ekvitermně podle venkovní teploty.

- *Požadavky na ostatní profese*

- napojení tepelného čerpadla na elektrickou síť 400 V
- napojení oběhových čerpadel 230/400 V
- napojení venkovního čidla a jeho regulátoru

- napojení předávací stanice na studenou a teplou vodu
 - v technických místnostech umístění podlahové vpusti
- **Vyhodnocení technického provedení**

U posuzovaných zdrojů tepla bylo ověřeno, zda je lze nebo nelze technicky provést. U soustavy zásobování tepelnou energií byla kladně ověřena možnost napojení na horkovod Pražské Teplárenské. S tímto zdrojem tepla není z technického pohledu žádný problém, navíc se předpokládá, že přípojku horkovodu bude mít na starost dodavatel tepla, tudíž je podle mého názoru varianta se SZTE technicky nejjednodušeji proveditelná.

U varianty s plynovým kondenzačním kotlem byla také kladně ověřena možnost připojení na veřejný plynovod. Z důvodu návrhu dvou plynových kondenzačních kotlů o menším výkonu, místnost nemusí splňovat požadavky plynové kotelny, z čehož je technické provedení snazší. U této varianty byla z důvodu odtahu spalin na střechu budovy změněna místnost pro umístění kotle.

U tepelného čerpadla vzduch/voda bylo ověřeno, že plocha na umístění čtyř čerpadel je možná, ovšem tepelná čerpadla zasáhnou do plochy, která by mohla být určena pro dětské hry. Domnívám se tedy, že tato varianta není zrovna v tomto případě z technického pohledu nejlepší.

U tepelného čerpadla země/voda bylo nejdříve zjištěno, že možnost s geotermálními vrty na volném pozemku u objektu není možná, i když by u této varianty byla samozřejmě technicky nejjednodušší. Proto byla navržena a posouzena varianta s geotermálními vrty nejen na pozemku, ale i pod objektem, což je ale technicky náročnější na provedení. Další možností u tepelného čerpadla země/voda jsou energetické piloty v kombinaci se SZTE. Tato varianta je dle mého názoru z technického pohledu náročná, jelikož se zde kombinují dva zdroje tepla a také se domnívám, že vliv na tuto variantu má vždy statik kvůli vhodnosti pilot jako základových prvků.

A.2.5.2 Ekonomické kritérium

Druhým posuzovaným bodem při výběru zdroje tepla je uvažováno ekonomické kritérium. Důležitou roli zde hrají investiční náklady na počátku, ale také roční provozní náklady. Ve studii jsou hodnoceny jednotlivé varianty po dobu 15 let, během kterých by zařízení měla být stále funkční. Ceny jednotlivých paliv a energií se mohou určitě po tuto dobu měnit, v rámci tohoto porovnání ale uvažuji aktuální ceny energií a paliv po celou dobu užívání, jelikož jakékoliv změny v budoucnu lze těžko odhadnout.

Pro účely porovnání jsou tedy náklady níže rozděleny na investiční náklady a roční provozní náklady. Mezi investiční náklady se řadí zejména náklady na koupi zařízení, náklady na instalaci zařízení, ale také náklady na projektovou dokumentaci a stavební povolení. Mezi provozní náklady se řadí hlavně náklady na energii a paliva.

Hodnoty investičních nákladů jsou určeny pomocí informací od jednotlivých dodavatelů výrobků. Ceny ročních provozních nákladů u plynového kondenzačního kotle a u tepelných čerpadel jsou vypočítány pomocí online kalkulátoru cen a energií [31], u soustavy zásobování tepelnou energií jsou ceny energie uvažovány podle ceníku společnosti Pražská teplárenská a.s. platného od 1.1.2021. [32] Veškeré uvedené ceny jsou bez DPH.

- Plynový kondenzační kotel

V tabulce 16 jsou uvedeny investiční náklady na plynový kondenzační kotel.

Tabulka 16 - Investiční náklady pro plynový kondenzační kotel

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Projektová dokumentace	10 000
Plynový kotel Panther Condens 48 KKO	51 143
Plynový kotel Panther Condens 48 KKO	51 143
Zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP	59 742
Expanzní nádoba REFLEX NG 100 I 6 bar	2 685
Odvod spalin	12 900
Hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků	12 415
Ekvitermní regulátor calorMATIC 470f	5 977
Přípojka plynu	28 630
Montáž kotle	6 600
Seřízení a spuštění, montáž regulace	5 000
Armatury	18 000
Celkem	264 235

V tabulkách 17 a 18 jsou uvedeny jednotlivé údaje, které tvoří roční provozní náklady. Celkové roční provozní náklady jsou uvedeny v tabulce 19. Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody vychází po započítání účinnosti kotle 165,9 MWh/rok. Pro výpočet je jako dodavatel plynu uvažována společnost ČEZ (smlouva na dobu neurčitou).

Součástí ročních provozních nákladů jsou také roční náklady na údržbu. Hodnoty těchto nákladů jsou určeny na základě normy ČSN EN 15459-1 [33] a v případě plynového kondenzačního kotle tvoří tyto hodnoty 1-2 % z investičních nákladů.

Tabulka 17 - Platba za distribuci zemního plynu

Platba za distribuci				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Pevná cena za odebraný plyn	165,9	MWh	125,7	20 856,9
Stálá měsíční platba za přistavenou kapacitu	12	měsíc	1 239,3	14 871,9
Poplatek OTE	165,9	MWh	2,4	404,8
Celkem				36 133,6

Tabulka 18 - Platba za služby dodávky zemního plynu

Platba za služby dodávky				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Komoditní složka ceny	165,9	MWh	750	124 425
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	0	0
Celkem				124 425

Tabulka 19 - Roční provozní náklady plyn. kondenzačního kotle

Roční provozní náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Platba za distribuci	36 133
Platba za služby dodávky	124 425
Údržba	2 642
Celkem	163 200

- Tepelné čerpadlo vzduch/voda

V tabulce 20 jsou uvedeny investiční náklady pro tepelné čerpadlo vzduch/voda.

Tabulka 20 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo vzduch/voda

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Projektová dokumentace	10 000
Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPL57	639 600
Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPL57	639 600
Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPL57	639 600
Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPL57	639 600
Zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP	59 742
Expanzní nádoba REFLEX NG 100 I 6 bar	2 685
Vyrovnávací nádoba SBP 1000 E	47 390
Vyrovnávací nádoba SBP 1000 E	47 390
Regulátor WPM International + modul WPE	50 190
Protihlukové posouzení	4 000
Celkem	2 779 797

V tabulkách 21 a 22 jsou uvedeny dílčí hodnoty provozních nákladů za rok pro tepelné čerpadlo vzduch/voda. Poté následuje tabulka 23, kde jsou uvedeny celkové roční provozní náklady. Potřebná elektrická energie pro provoz tepelných čerpadel pomocí návrhového softwaru Toolbox od výrobce tep. čerpadel Stiebel Eltron je stanovena na 67,8 MWh/rok. [13] Pro výpočet je jako dodavatel elektřiny uvažována společnost ČEZ (Zelená elektřina).

Stejně jako u plynového kondenzačního kotle jsou i zde součástí ročních provozních nákladů také roční náklady na údržbu. Hodnoty těchto nákladů jsou také určeny na základě normy ČSN EN 15459-1 [33] a v případě tepelného čerpadla jsou tyto hodnoty 2-4 % z investičních nákladů.

Tabulka 21 - Platba za obchod s elektřinou (tep. čerpadlo vzduch/voda)

Obchod s elektřinou				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Silová energie	67 800	kWh	1,755	118 989
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	89	1 068
Daň z elektřiny	67 800	kWh	0,0283	1 918,8
Celkem				121 977,5

Tabulka 22 - Platba za regulované služby (tep. čerpadlo vzduch/voda)

Regulované služby				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Použití sítí	67 800	kWh	0,14844	10 064,2
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	2 559	30 708
Systémové služby	67 800	kWh	0,0933	6 325,8
Obnovitelné zdroje	67 800	kWh	0,495	33 561,5
Poplatek OTE za odběrné místo	-	-	-	46,9
Celkem				80 706,7

Tabulka 23 - Roční provozní náklady tep. čerpadla vzduch/voda

Roční provozní náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Obchod s elektřinou	121 977,5
Regulované služby	80 706,7
Údržba	83 393
Celkem	286 077

- Soustava zásobování tepelnou energií

Investiční náklady pro SZTE jsou uvedeny v tabulce 24. Do investičních nákladů není zahrnuto připojení horkovodu, jelikož se počítá s tím, že připojení zřídí dodavatel tepla.

Tabulka 24 - Investiční náklady pro SZTE

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Projektová dokumentace	10 000
Tlakově nezávislá předávací stanice OPS TNDV 100 kW	170 000
Zásobník teplé vody Regulus R0BC 750	55 100
Expanzní nádoba REFLEX NG 100 6 bar	2 685
Celkem	237 785

V tabulkách 25 a 26 jsou uvedeny provozní náklady za rok. Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody je podle výpočtu výše 161,8 MWh/rok (= 582,48 GJ).

Do provozních nákladů není zahrnuta údržba, u které se opět počítá s tím, že bude součástí nabídky dodavatele tepla.

Tabulka 25 - Platba za tepelnou energii (SZTE)

Platba za tepelnou energii				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Plat za odebrané množství tepelné energie	582,48	GJ	369	214 935,12
Plat za sjednané množství tepelné energie v tarifním pásmu	582,48	GJ	186	108 341,28
Celkem				323 276

Tabulka 26 - Roční provozní náklady SZTE

Roční provozní náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Platba za tepelnou energii	323 276
Celkem	323 276

- Tepelné čerpadlo země/voda

Geotermální vrty

V tabulce 27 jsou uvedeny investiční náklady pro tepelné čerpadlo země/voda s geotermálními vrty, které jsou pod objektem i na pozemku vedle objektu.

Tabulka 27 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo země/voda (geotermální vrty)

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Projektová dokumentace (včetně průzkumu)	20 000
Tepelné čerpadlo IVT GEO G280	534 000
Elektrokotel Protherm RAY 6 KE	21 230
Zásobník teplé vody OKC 750 NTR/BP	59 742
Expanzní nádoba REFLEX NG 100 I 6 bar	2 685
Expanzní nádoba REFLEX NG 100 I 6 bar	2 685
Vyrovňovací nádoba SBP 1000 E	47 390
Regulátor Rego 5200	5 500
Geotermální vrty (1 000 Kč/m)	1 600 000
Celkem	2 293 232

Dílčí roční náklady na provoz tep. čerpadla země/voda (geotermální vrty) jsou uvedeny v tabulkách 28 a 29. Celkové roční náklady na provoz tohoto zdroje tepla jsou uvedeny v tabulce 30. Pro výpočet je jako dodavatel elektrické energie uvažována společnost ČEZ (Zelená elektřina).

Stejně jako u předchozího typu tepelného čerpadlu vzduch/voda jsou zde součástí ročních provozních nákladů roční náklady na údržbu, které tvoří 2-4 % z investičních nákladů. Jsou určeny opět podle normy ČSN EN 15459-1. [33]

Tabulka 28 - Platba za obchod s elektřinou (geotermální vrty)

Obchod s elektřinou				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Silová energie	63 700	kWh	1,755	111 794
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	89	1 068
Daň z elektřiny	63 700	kWh	0,0283	1 802,7
Celkem				114 664,7

Tabulka 29 - Platba za regulované služby (geotermální vrty)

Regulované služby				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Použití sítí	63 700	kWh	0,14844	9 455,6
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	2 559	30 708
Systémové služby	63 700	kWh	0,0933	5 943,2
Obnovitelné zdroje	63 700	kWh	0,495	31 531,5
Poplatek OTE za odběrné místo	-	-	-	46,9
Celkem				77 685,3

Tabulka 30 - Roční provozní náklady tep. čerpadla země/voda (geotermální vrty)

Roční provozní náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Obchod s elektřinou	114 664,7
Regulované služby	77 685,3
Údržba	68 767
Celkem	261 117

Energetické piloty + soustava zásobování tepelnou energií

Investiční náklady na zdroj tepla v podobě kombinace energetických pilot a SZTE jsou uvedeny v tabulce 31. Do investičních nákladů není zahrnuto připojení horkovodu, jelikož se počítá s tím, že připojení zřídí dodavatel tepla. Energetické piloty nejsou tak investičně nákladné jako geotermální vrty, jelikož na energetické piloty je vše připravené ze stavařského hlediska a do pilot je jen upevněno potrubí.

Tabulka 31 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo země/voda (energ. piloty + SZTE)

Investiční náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Projektová dokumentace (včetně průzkumu)	25 000
Tepelné čerpadlo IVT GEO G254	474 000
Tlakově nezávislá předávací stanice OPS TNDV 100 kW	170 000
Zásobník teplé vody Regulus ROBC 750	55 100
Expanzní nádoba REFLEX NG 50 I 6 bar	1 692
Expanzní nádoba REFLEX NG 50 I 6 bar	1 692
Expanzní nádoba REFLEX NG 50 I 6 bar	1 692
Vyrovňovací nádoba SBP 700 E	40 940
Regulátor Rego 5200	5 500
Energetické piloty (155 Kč/m)	173 600
Celkem	949 216

V následujících tabulkách 32 a 33 jsou uvedeny provozní náklady za rok pro tepelné čerpadlo země/voda s energetickými pilotami. Potřebná elektrická energie pro provoz tepelného čerpadla byla stanovena již výše na 40,04 MWh/rok. Pro výpočet je jako dodavatel plynu uvažována společnost ČEZ (Zelená elektřina).

Tabulka 32 - Platba za obchod s elektřinou (energ. piloty + SZTE)

Obchod s elektřinou				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Silová energie	40 040	kWh	1,755	70 270,2
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	89	1 068
Daň z elektřiny	40 040	kWh	0,0283	1 133,1
Celkem				72 471,3

Tabulka 33 - Platba za regulované služby (energ. piloty + SZTE)

Regulované služby				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Použití sítí	40 040	kWh	0,14844	5 943,5
Měsíční poplatek za odběrné místo	12	měsíc	2 559	30 708
Systémové služby	40 040	kWh	0,0933	3 735,7
Obnovitelné zdroje	40 040	kWh	0,495	19 819,8
Poplatek OTE za odběrné místo	-	-	-	46,9
Celkem				60 253,9

V tabulce 34 jsou uvedeny provozní náklady za rok u soustavy zásobování tepelnou energií. Celková roční potřeba tepla na ohřev teplé vody a ohřev vzduchu VZT je 76,4 MWh/rok (=275,04 GJ).

Do provozních nákladů není zahrnuta údržba, která by měla být součástí nabídky dodavatele tepla.

Tabulka 34 - Platba za tepelnou energii (energ. piloty + SZTE)

Platba za tepelnou energii				
Položka	Množství	Měrná jednotka	Jednotková cena bez DPH [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
Plat za odebrané množství tepelné energie	275,04	GJ	369	101 489,76
Plat za sjednané množství tepelné energie v tarifním pásmu	275,04	GJ	186	51 157,44
Celkem				152 647,2

Roční provozní náklady pro kombinaci tep. čerpadla země/voda s energetickými pilotami a SZTE jsou uvedeny v tabulce 35.

Tabulka 35 - Roční provozní náklady tep. čerpadla země/voda (energ. piloty + SZTE)

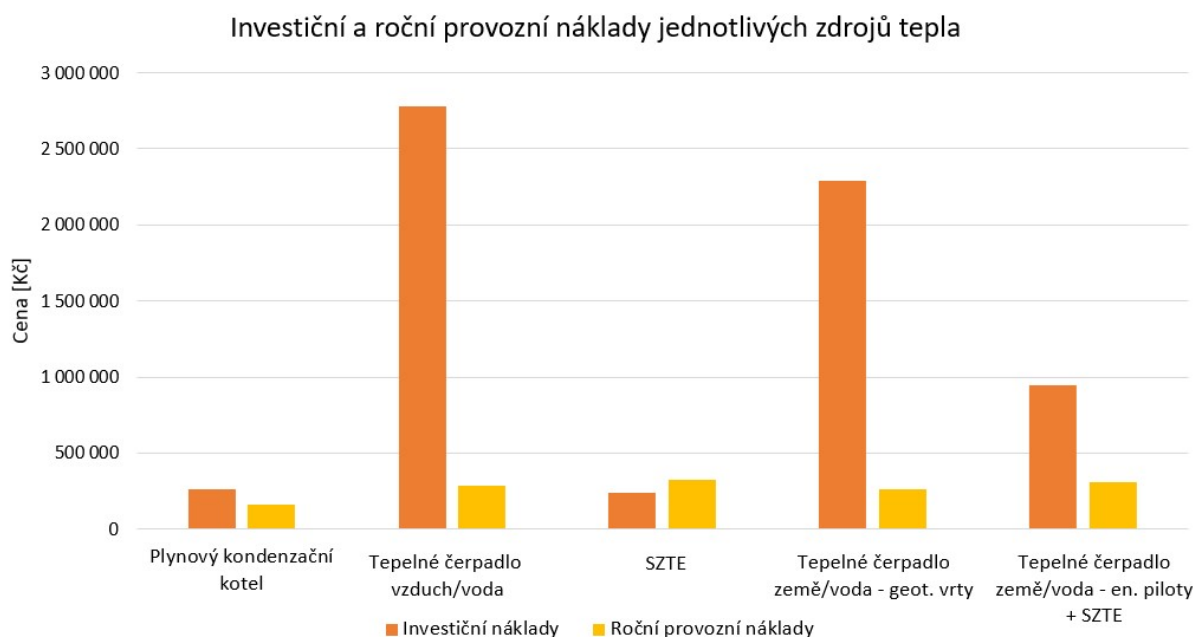
Roční provozní náklady	
Položka	Cena bez DPH [Kč]
Obchod s elektřinou – TČ	72 471,3
Regulované služby – TČ	60 253,9
Údržba TČ	21 673
Platba za tepelnou energii – SZTE	152 647,2
Celkem	307 045,4

- Vyhodnocení ekonomického kritéria

Pro přehled je zde uvedena tabulka 36, kde jsou uvedeny výše spočítané hodnoty počátečních investičních nákladů a ročních provozních nákladů bez DPH. Tyto hodnoty jsou poté znázorněny v grafu na obrázku 20.

Tabulka 36 - Souhrn investičních a ročních provozních nákladů

Investiční a roční provozní náklady [Kč]					
Typ nákladů	Plynový kondenzační kotel	Tepelné čerpadlo vzduch/voda	SZTE	Tepelné čerpadlo země/voda – geotermální vrty	Tepelné čerpadlo země/voda – energetické piloty + SZTE
Investiční náklady	264 235	2 779 797	237 785	2 293 232	949 216
Roční provozní náklady	163 200	286 077	323 276	261 117	307 045

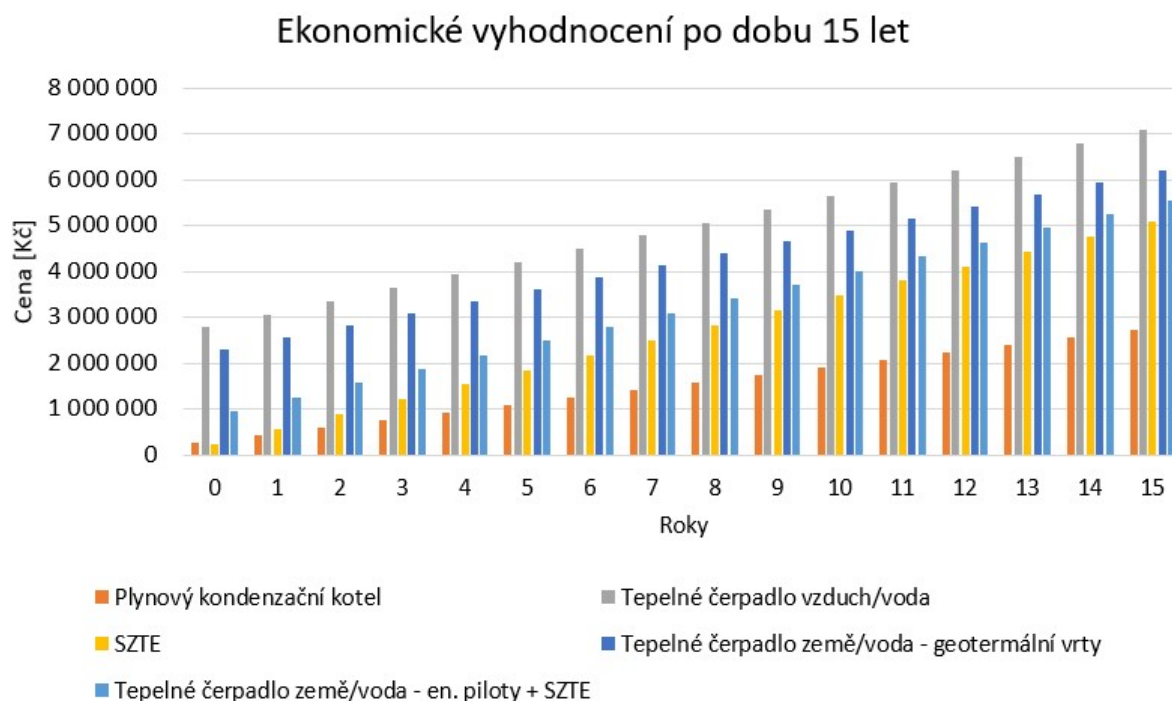


Obrázek 20 - Graf investičních a ročních provozních nákladů

Z grafu je vidět, že největší počáteční investice jsou u varianty s tepelným čerpadlem vzduch/voda. Obě varianty tepelného čerpadla země/voda mají také vysoké investiční náklady, varianta s geotermálními vrty má ještě vyšší investiční náklady než kombinace energetických pilot a SZTE, jelikož cena geotermálních vrtů je vysoká, a navíc v první variantě pokrývají celou potřebu tepla. Naopak u plynového kondenzačního kotle a soustavy zásobování tepelnou energií jsou investiční náklady výrazně nižší než u všech tepelných čerpadel.

Roční provozní náklady jsou při aktuální situaci nejnižší u plynového kondenzačního kotle, největší u kombinace energetických pilot a SZTE. To je způsobeno podle mého názoru zejména vyšší cenou tepelné energie u dodavatele SZTE, protože i roční provozní náklady u samotného zdroje tepla SZTE jsou vysoké a zhruba dvakrát vyšší než u plynového kondenzačního kotle.

Na obrázku 21 je znázorněn graf s ekonomickým vyhodnocením všech posuzovaných variant zdrojů tepla po dobu 15 let. K počátečním investičním nákladům jsou připočítány po dobu 15 let roční provozní náklady. Tuto dobu je uvažována bezproblémová životnost zdrojů tepla. Jedná se o prostou dobu návratnosti. Ceny jsou bez DPH.



Obrázek 21 - Graf s ekonomickým vyhodnocením jednotlivých zdrojů tepla

Z grafu lze vyčíst, že nejvýhodnější varianta z ekonomického hlediska je plynový kondenzační kotel. Je to logické, jelikož tato varianta zdroje tepla měla výrazně nižší investiční i roční provozní náklady, takže se celková částka drží po celou dobu hodnocení velmi nízko. Naopak tepelné čerpadlo vzduch/voda vyšlo nejhůře v počátku i po 15 letech užívání. Soustava zásobování tepelnou energií má vysoké provozní náklady, tudíž lze předpokládat, že kdyby bylo hodnocení provedeno delší dobu než 15 let, jako ekonomicky nejméně výhodné by se jevila kombinace energetických pilot a právě SZTE. Z grafu je vidět, že SZTE ovlivňuje celkově hodnocení. Kombinace tepelného čerpadla země/voda se SZTE přeskočila zhruba v pátém roce hodnocení samotnou variantu tepelného čerpadla země/voda.

A.2.5.3 Ekologické kritérium

Třetím kritériem pro hodnocení nevhodnějšího zdroje tepla je ekologické hledisko, konkrétně je studie v tomto případě zaměřena na emise CO₂ a u plynového kondenzačního kotle ještě navíc na emise NO_x.

- **Plynový kondenzační kotel**

V této variantě jsou zkoumány emise CO₂ plynového kondenzačního kotle. Emisní faktor CO₂ v případě zemního plynu je uvažován 0,2 t CO₂/MWh podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [34] Po započítání účinnosti kotle vychází celková potřeba tepla 165,9 MWh/rok. V tabulce 37 jsou uvedeny hodnoty množství ročních emisí CO₂ u plyn. kondenzačního kotle.

Tabulka 37 - Emise CO₂ u plynového kondenzačního kotle

Emise CO₂		
Roční potřeba tepla [MWh/rok]	Hodnota emisního faktoru CO₂ [t CO₂/MWh]	Množství emisí CO₂ za rok [t/rok]
165,9	0,2	33,2

V případě plynového kondenzačního kotle je potřeba se také zaměřit na emisní limity NO_x, jelikož posledních pár let se tyto limity velmi zpřísňují u zdrojů tepla, které využívají jako palivo zemní plyn. Plynový kondenzační kotel musí splňovat v Praze 7 podmínky minimálně emisní třídy NO_x 5, zvolený kotel má emisní třídu NO_x 6, tudíž kotel tyto podmínky splňuje. [35]

- **Tepelné čerpadlo vzduch/voda**

V tomto případě se množství ročních emisí CO₂ odvíjí od zdroje elektrické energie. Použitá průměrná hodnota emisního faktoru CO₂ je v této analýze 0,86 t CO₂/MWh podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [34] Roční množství vyprodukovaných emisí CO₂ je uvedeno v tabulce 38.

Tabulka 38 - Emise CO₂ u tep. čerpadla vzduch/voda

Emise CO₂		
Roční potřeba elektrické energie [MWh/rok]	Hodnota emisního faktoru CO₂ [t CO₂/MWh]	Množství emisí CO₂ za rok [t/rok]
67,8	0,86	58,3

- **Soustava zásobování tepelnou energií**

Vyhláška č. 140/2021 Sb. [34] udává, že pokud nejsou známy všechny potřebné vstupy pro danou soustavu zásobování tepelnou energií, jako v tomto případě, emisní faktor CO₂ se nestanovuje a pouze se uvede, z jaké soustavy zásobování tepelnou energií je teplo dodávané, včetně uvedení procentuálního zastoupení paliv podílejících se na výrobě tepelné energie v této soustavě zásobování tepelnou energií. Jak už bylo napsáno výše, tepelná energie je dodávaná od společnosti Pražská Teplárenská a.s.

V krajním případě je u objektů napojených na SZTE možné použít emisní faktor zemního plynu. [36] Pro účely porovnání emisí CO₂ bylo zjednodušeně vypočítáno u této varianty přibližné množství vyprodukovaných emisí CO₂ opět pomocí emisního faktoru CO₂ zemního plynu 0,2 t CO₂/MWh. V tomto případě je zjednodušeně uvažováno s účinností 100 %, tudíž celková potřeba tepla je 161,8 MWh/rok. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 39.

Tabulka 39 - Emise CO₂ u SZTE

Emise CO₂		
Roční potřeba tepla [MWh/rok]	Hodnota emisního faktoru CO₂ [t CO₂/MWh]	Množství emisí CO₂ za rok [t/rok]
161,8	0,2	32,4

- Tepelné čerpadlo země/voda

Geotermální vrty

V tomto případě se emise CO₂ odvíjejí od zdroje elektrické energie. Průměrná hodnota emisního faktoru CO₂ je opět 0,86 t CO₂/MWh podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [34] Potřebná elektrická energie pro provoz tepelného čerpadla a elektrokotle je stanovena na 63,7 MWh/rok a výsledné hodnoty emisí z tohoto množství elektrické energie jsou zaznamenány v tabulce 40.

Tabulka 40 - Emise CO₂ u tep. čerpadla země/voda (geotermální vrty)

Emise CO₂		
Roční potřeba elektrické energie [MWh/rok]	Hodnota emisního faktoru CO₂ [t CO₂/MWh]	Množství emisí CO₂ za rok [t/rok]
63,7	0,86	54,8

Energetické piloty + SZTE

V tomto případě se emise CO₂ odvíjejí nejen od zdroje elektrické energie, ale také ze soustavy zásobování tepelnou energií. Pro zdroj elektrické energie je opět použita průměrná hodnota emisního faktoru CO₂ pro elektřinu podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [34] Potřebná elektrická energie pro provoz tepelného čerpadla je stanovena na 40,04 MWh/rok.

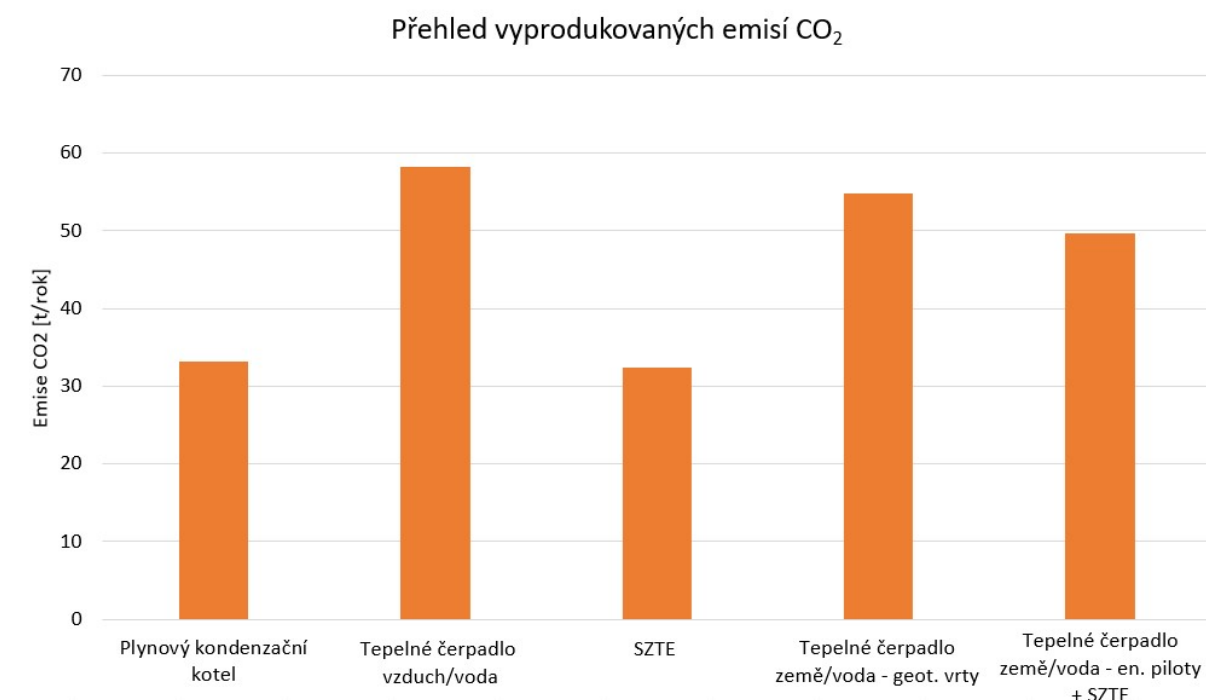
U SZTE je využit stejný postup jako výše, tudíž i zde je zjednodušeně uvažována účinnost 100 % a celková potřeba tepla je 76,4 MWh/rok. Množství emisí CO₂ je vypočítáno pomocí emisního faktoru CO₂ zemního plynu, který je opět stanoven na 0,2 t CO₂/MWh [34]. V tabulce 41 je zaznamenáno množství emisí CO₂ vyprodukovaných za rok.

Tabulka 41 - Emise CO₂ u tep. čerpadla země/voda (energ. piloty + SZTE)

Emise CO₂			
Zdroj tepla	Roční potřeba tepla/ elektrické energie [MWh/rok]	Hodnota emisního faktoru CO₂ [t CO₂/MWh]	Množství emisí CO₂ za rok [t/rok]
Tepelné čerpadlo	40,04	0,86	34,4
SZTE	76,4	0,2	15,3
Celkem			49,7

- Vyhodnocení ekologického kritéria

Na obrázku 22 je znázorněn graf s přehledem ročních vyprodukovaných emisí CO₂ jednotlivých zdrojů tepla.



Obrázek 22 - Graf s přehledem ročních vyprodukovaných emisí CO₂

Bylo zjištěno, že plynový kondenzační kotel a soustava zásobování tepelnou energií vyprodukuje skoro o polovinu méně emisí CO₂ za rok než oba typy tepelných čerpadel. Tepelná čerpadla se sice řadí mezi ekologické zdroje z důvodu využívání obnovitelných zdrojů energie, ovšem v tomto konkrétním případě je potřeba u těchto zdrojů velké množství elektrické energie na pokrytí potřeby tepla, a tudíž se zde ekologická výhodnost těchto zdrojů neprojeví. Samozřejmě s tím souvisí i fakt, že emisní faktor CO₂ elektrické energie je velmi vysoký, což je podle mého názoru způsobeno hlavně tím, že v České republice nejsou na výrobu elektrické energie využívány obnovitelné zdroje. U plynového kondenzačního kotle bylo nutné z ekologického pohledu zkontrolovat emise NO_x, zejména proto, že se posuzovaná budova vyskytuje v centru města. Bylo prokázáno, že plynový kondenzační kotel dosahuje požadovaných emisních limitů NO_x v Praze 7.

A.2.5.4 Celkové vyhodnocení výběru zdroje tepla

Výběr nejhodnější varianty vyšel tedy ze tří faktorů – možnost technického provedení, ekonomické a ekologické kritérium. Z těchto kritérií podle mého názoru nejhůře dopadlo tepelné čerpadlo vzduch/voda. Tato varianta je v případě posuzované základní školy technicky proveditelná, ale jak už bylo napsáno výše, potřeba vyššího počtu tepelných čerpadel zasáhne do větší plochy, která je určena pro studenty k trávení volného času. Z ekologického hlediska dopadla tato varianta nejhůře a z ekonomického pohledu má tepelné čerpadlo vzduch/voda hodně vysoké počáteční investiční náklady a roční provozní náklady nejsou v tuto chvíli natolik nízké, aby se po 15 letech tato varianta vyplatila. Obecně se domnívám, že tepelná čerpadla typu vzduch/voda nejsou pro základní školy v

mnoha případech úplně vhodné, jelikož z důvodu vysoké potřeby elektrické energie tato varianta nevyjde dobře ekonomicky, ani ekologicky.

Co se týká tepelného čerpadla země/voda, obě posuzované varianty vyšly lépe než tepelné čerpadlo vzduch/voda, ale zároveň technické provedení nepatří mezi nejjednodušší. Z důvodu velké spotřeby elektrické energie není ani tolik výhodné ekologicky, ani ekonomicky. Zejména typ s energetickými pilotami je ovšem určitě zajímavý a do budoucna perspektivní, dle mého názoru například pro vysoké budovy, které jsou založeny na pilotách s větší hloubkou.

Jako nejlepší varianta zdroje tepla v posuzované základní škole se tedy jeví buď varianta s plynovým kondenzačním kotlem nebo soustava zásobování tepelnou energií. Ze zjednodušeného ekologického porovnání vyšly oba zdroje téměř totožně. Z ekonomického pohledu vyšel jasně lépe plynový kondenzační kotel, který má nízké investiční a roční provozní náklady a z výsledku je jasně vidět, že se vyplatí nejvíce. Co se týká technického provedení, obě varianty jsou dle mého názoru proveditelné snadněji než tepelná čerpadla. Soustava zásobování tepelnou energií je technicky nejjednodušší, jelikož připojení na veřejný řád zařizuje ve většině případů dodavatel tepla. U plynového kotle musíme počítat s návrhem a realizací komínu. Tyto dvě varianty mají určitě své výhody a nevýhody, ale u tohoto objektu jsem se rozhodla pro soustavu zásobování tepelnou energií, i s ohledem na výskyt teplárny Holešovice v blízkém okolí stavby.

Výsledek analýzy mě překvapil. Zcela určitě momentálně v populaci vnímám jakýsi ekologický trend neboli snahu o větší využívání obnovitelných zdrojů. Myslím, že v aktuální situaci se opravdu u většiny nových staveb přemýšlí nad ekologickým zdrojem, ať už jsou motivací dotace na ekologické zdroje, šetrnost k přírodě nebo získání environmentálního certifikátu jako je například certifikace LEED. Snahu podpořit ekologické zdroje můžeme pozorovat například i u dodavatelů elektřiny, kteří garantují lepší ceny při odběru elektřiny pro tepelná čerpadla.

Bohužel právě s tímto ekologickým trendem se moje vyhodnocení moc neztotožňuje, což mě vede k zamyšlení, proč v tomto případě tepelná čerpadla vyšla v hodnocení nejhůře, a to právě i z ekologického pohledu. Jak už jsem psala výše, jedním z důvodů bych určitě viděla vysoký emisní faktor CO₂ elektrické energie, a to je hlavně z důvodu toho, jakým způsobem se u nás v České republice elektrická energie vyrábí. V jiných zemích, v kterých jsou na výrobu elektrické energie využívány vodní nebo větrné elektrárny, je výroba elektrické energie k životnímu prostředí mnohem šetrnější než u nás. Dalším důvodem bych konkrétně u této budovy viděla to, že objekt nemá velký pozemek na uložení tepelných čerpadel, proto technické provedení není úplně snadné. Navíc k tomu potřeba elektřiny na provoz tepelných čerpadel je u tohoto objektu poměrně vysoká, a tím se vyšplhala nahoru i cena ročních provozních nákladů. Určitě zde hrálo také velkou roli, že je v tomto případě možnost napojení se na veřejný řád plynovodu nebo horkovodu, tudíž je zde možná jiná varianta zdroje tepla.

Zároveň je třeba si určitě uvědomit, že kdyby v mém hodnocení byla uvažována jiná kritéria pro výběr zdroje tepla, jako například hodnocení podle nástroje pro certifikaci kvality budov SBToolCZ, tak se domnívám, že by tepelná čerpadla dopadla jistě mnohem lépe, proto samozřejmě i volba jednotlivých kritérií má na hodnocení velký vliv.

Navzdory tomu, že si uvědomuji, že je trend aktuálně jiný a moje prvotní představa byla spíše využívat obnovitelné zdroje, u tohoto objektu mě zvolená tři kritéria přesvědčila o volbě soustavy zásobování tepelnou energií jako zdroj tepla.

Tento závěr mě vede k otázce, jakým způsobem se vlastně dívá česká legislativa na soustavu zásobování tepelnou energií. Státní instituce sice teplárenství obecně podporují, zejména v obecné

rovině a v případě Státní energetické koncepce a některých dalších dokumentů i v rámci konkrétních navrhovaných opatření, nicméně skutečný stav na trhu s teplem je z pohledu teplárenství velmi vážný. Teplárny jsou dlouhodobě legislativně diskriminovány tím, že se na ně vztahuje výrazně vyšší spektrum požadavků než na ostatní konkurenty na trhu s teplem, což bylo zejména díky poslednímu vývoji cen takzvaných emisních povolenek, které teplárny musí platit za vypuštěné emise CO₂. [37] Jak řekl předseda výkonné rady Teplárenského sdružení ČR Tomáš Drápela: „*Problém pro teplárny není cena povolenky, ale to, že ji musí nakupovat jen teplárny. Na trhu jsou tak znevýhodněny.*“ [38] Tím je na SZTE kladen velký tlak a bez adekvátních opatření by mohlo dojít k rozpadu soustav zásobování tepelnou energií.

Co se ale týká ekologie, teplárny soustavně investují do snížení emisí klasických polutantů, zejména oxidů síry, oxidů dusíku a prachu. Další ekologizační investice vkládají teplárny do modernizace teplárenských zdrojů i distribučních sítí, které přinášejí také zásadní snížení emisí. [37]

V roce 2018 schválila vláda dokument zmiňující podporu SZTE – Implementační plán strategického rámce ČR do roku 2030, v kterém je zmiňováno několik opatření, která by sektoru teplárenství pomohla. Je to například zajištění pokračování provozní podpory vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla, narovnání podmínek účinných soustav zásobování teplem a individuálních výroben tepla nebo zvážení možnosti snížení sazby DPH uplatňované na teplo. [37]

Na podzim roku 2021 proběhla odborná konference Dny teplárenství a energetiky, kde bylo řečeno, že vláda České republiky považuje teplárenství za nejdůležitější energetickou výzvu do následujících let. Proto je podpora teplárenství součástí navrhované novely zákona o podporovaných obnovitelných zdrojích. Zákon řeší transformaci českého teplárenství a umožňuje přechod na jiné než uhelné zdroje, zavedením tzv. přechodové podpory pro teplárny, která znamená podporu odklonu od uhlí k jiným zdrojům. Kdo zaváže do roku 2030 odejít od uhlí, bude mít nárok na podporu. [39]

Dá se tedy říct, že z pohledu legislativy je zde snaha teplárenství podpořit provozně i investičně, aby byly splněny potřebné emisní limity a nedošlo k rozpadu soustav zásobování teplem.

A.2.6 Volba sdílení tepla

Možností, jak sdílet teplo v objektu, je mnoho. Při výběru koncových prvků otopné soustavy je bráno nejvíce v potaz, že se jedná o základní školu a volba koncových prvků je také navržena v závislosti na účelu místnosti. Určitou roli ve výběru otopných ploch hraje také to, zda je navržený zdroj tepla nízkopotencionální.

A.2.6.1 Učebny, kabinety, sborovna

V učebnách, kabinetech a sborovně je uvažováno o deskových tělesech, podlahových konvektorech a velkoplošném vytápění. Velkoplošné vytápění, konkrétně podlahové vytápění, by podle mého názoru bylo velmi vhodné v případě mateřské školy, kde část aktivit probíhá na podlaze a nemusí se zde tím pádem řešit pokles dotykové teploty podlahy. V posuzovaném objektu se ale předpokládá zejména studium, tudíž zde tato varianta je možná, ale není nutná.

Podlahové konvektory jsou vhodné v místnostech, kde je taková dispozice, že je potřeba mít celý volný prostor nebo v místnostech, kde je velké zasklení a desková otopná tělesa by nebyla vhodným estetickým doplňkem. Zároveň ovšem k pokrytí vyšší tepelné ztráty je potřeba větší plocha podlahového konvektoru a také je zde nutno vzít v úvahu, že se podlahové konvektory často stávají úložištěm pro prach a nečistoty. V učebnách v prvních dvou nadzemních podlaží jsou nakonec navrženy podlahové konvektory, jelikož fasádu zde tvoří vysoká okna začínající od nášlapné vrstvy podlahy. V ostatních učebnách a kabinetech jsou použita klasická desková otopná tělesa.

A.2.6.2 Hygienické zázemí

Do hygienického zázemí v obytných domech se nejčastěji navrhuje trubková otopná tělesa, jelikož mohou být využita také k sušení oděvů. V provozech školních budov se ale nepředpokládá, že by bylo pravidelně potřeba sušit oblečení, tudíž jsou i zde navržena desková otopná tělesa, většinou o nižším tepelném výkonu.

A.2.6.3 Tělocvična

Součástí základní školy je také tělocvična, která může být vytápěna několika způsoby. I zde by mohla být desková otopná tělesa, jelikož tepelná ztráta tělocvičny v posuzované základní škole je velmi malá. Deskové otopné těleso by ovšem ztrátu nepokrylo rovnoměrně, a hlavně by zabíralo v tělocvičně prostor.

Další variantou je podlahové vytápění. Výhodou je bezesporu to, že tento systém dává maximální svobodu v následném návrhu daného prostoru, nepřekáží v žádném pohybu a je zde také menší riziko úrazů způsobených případnými vyčnívajícími trubkami.

Díky již zmiňované nízké hodnotě tepelné ztráty tělocvičny je podle mého názoru v tomto případě vhodné navrhnout teplovzdušné vytápění a tím pádem spojit vytápění a větrání tělocvičny VZT jednotkou, jelikož v tělocvičně musí být dodržena dostatečná výměna vzduchu.

A.2.6.4 Jídelna

Jídelna se nachází v prvním nadzemním podlaží. Z důvodu vysokého procenta zasklení obvodových stěn jídelny je zde zvažována volba mezi podlahovým vytápěním a podlahovými konvektory. Nakonec jsou zvoleny podlahové konvektory zejména proto, že je v jídelně velký počet stolů a stojan s nápoji a přibory, tudíž by část plochy byla zakryta a podlahové vytápění by nebylo využito naplno.

A.2.6.5 Kuchyně

Kuchyně v posuzované základní škole nemá moc možností, kam a jak uložit jakékoliv otopné plochy. Podlahové vytápění se zde navrhnout nevyplácí, jelikož polovina podlahové plochy je zastavěna nábytkem a spotřebiči. Místnost nemá velkou tepelnou ztrátu, a hlavně bude mít velké tepelné zisky z příprav jídel, tudíž nám nejde o velké pokrytí ztrát a vytápění místnosti bude řešeno jen deskovým otopným tělesem.

A.2.6.6 Chodby, hala

Chodby jsou řešeny podobně jako učebny. V jednotlivých patrech jsou často chodby vyhřívány místnostmi okolo sebe, ovšem tam, kde je potřeba, se tepelná ztráta místnosti pokryje deskovými otopnými tělesy. Hala v prvním nadzemním podlaží má většinu fasády prosklenou, tudíž zde jsou navrženy podlahové konvektory.

A.2.7 Způsob provozu školních budov

Školní objekty jsou budovy, kde je dopředu předvídatelná potřeba energie na vytápění a větrání. V těchto objektech je ve většině případů pravidelný režim, který se mění jen výjimečně, tudíž víme, od kolika do kolika hodin je potřeba školu vytápět. Ve školní budově máme navíc téměř jistotu, že se v budově nikdo nenachází o víkendech, v noci a o všech prázdninách a svátcích.

V objektech tohoto typu se tedy nabízí možnost nastavení časového provozu přerušovaného vytápění, kdy by došlo k poklesu teploty v budově. Objekt by nebyl vytápěn nepřetržitě na žádanou teplotu vzduchu, ale jen ve chvíli, kdy by byl užíván, a to by mohlo vést ke snížení energií. Tento pokles spotřeby energie je však podmíněn tím, že je přijatelný pokles teploty v místnosti, ke kterému dochází po přerušení vytápění a také tím, že při realizaci výkonu zdroje tepla a dimenze otopné soustavy se bere zřetel na potřebný zátupový výkon. [40] K tomuto opatření je nutno přistupovat individuálně u každého objektu, záleží na typu objektu a také na typu otopné soustavy, v některých případech může přerušované vytápění vést naopak ke zvýšení energií a nemusí být dosaženo žádané teploty vzduchu při začátcích užívání. Pokud je v objektu zvolen návrh přerušovaného vytápění, pak je nutné zvolit vhodný systém regulace soustavy.

A.2.7.1 Vliv otopné plochy na přerušované vytápění

Volba otopné plochy je významným kritériem pro regulovatelnost soustavy. Každý typ otopného tělesa nebo otopné plochy má jinou tepelnou setrvačnost. Tato veličina je podkladem pro hodnocení dynamiky tepelně technického chování otopných těles a ovlivňuje ji především obsah vody, ale také materiál nebo provedení. S tepelnou setrvačností otopné plochy souvisí přenos tepla do vnitřních vytápěných prostorů, a tím i rychlost reakce na regulační zásah a pružnost při zátupu, což je stěžejní kritérium při rozhodování, zda se přerušované vytápění vyplatí nebo ne. [41]

Největší tepelnou setrvačnost mají podlahové otopné plochy, což pro přerušované vytápění není příliš vhodné. Při tomto typu vytápění se nejdříve nahřívá materiál, který je nad topným potrubím v podlaze, a proto trvá déle, než se vytopí samotná místnost. Velký vliv má zde způsob provedení. Vyšší tepelnou setrvačnost mají podlahové otopné plochy, které jsou zhotoveny mokřým způsobem, naopak při suchém způsobu provedení bude tepelná setrvačnost menší. Při mokřém způsobu je použita betonová mazanina nebo anhydrit, které mají vysokou akumulaci schopnost, tudíž u nich nejdéle trvá, než se zahřejí nebo vychladnou. Záleží také na tloušťce betonové vrstvy. Čím je tloušťka akumulaci vrstvy vyšší, tím pomaleji se podlaha nahřívá. Během realizace suchým způsobem nejsou použity žádné mokré procesy. Ve skladbě se tedy nevyskytuje betonová mazanina ani anhydrit. Nad potrubím je materiál s nižší akumulaci schopností a místnost se zahřeje rychleji. [42] [43]

Otopná tělesa mají nižší tepelnou setrvačnost než podlahové otopné plochy, a proto se pro přerušované vytápění hodí více. Záleží ovšem také na typu těles. Desková otopná tělesa mají oproti článkovým otopným tělesům menší tepelnou setrvačnost, jelikož mají i nižší obsah vody. Záleží také na materiálu těles, největší tepelnou setrvačnost mají litinová otopná tělesa, poté ocelová otopná tělesa. Nejmenší tepelnou setrvačností se vyznačují otopná tělesa ze slitin hliníku, která mají vysoký součinitel tepelné vodivosti. Proces náběhu je u těchto těles rychlý. [44]

Podlahové konvektory jsou, co se týká provozní dynamiky a reakce na regulační zásah, nejrychlejšími typy otopných těles. Tato tělesa disponují nízkým vodním objemem, což má za následek nižší tepelnou setrvačnost. U konvektorů se zapnutým ventilátorem je tepelná setrvačnost náběhu výrazně časově kratší než v případě, kdy dojde k vyřazení ventilátorů z provozu. [44]

Dynamika vytápěného objektu je také ovlivněna jeho akumulací schopností. U objektů s lehkými obvodovými konstrukcemi lze pozorovat rychlé změny teplot, jelikož konstrukce nemají vysokou akumulaci vlastnost. Naopak při vytápění objektů, kde jsou obvodové stěny klasifikovány jako těžké, se bude teplota ve vytápěném prostoru měnit pozvolna, protože se po zapnutí topné soustavy část tepla nejdříve spotřebuje na opětovné nahřátí konstrukce. [45]

Je tedy nutno brát ohled na typ topné soustavy, například pokud v objektu máme jako zdroj tepla tepelné čerpadlo. To je při svém provozu nejvíce úsporné, pokud může odebírat nízkopotenciální teplo s nejvyšší možnou teplotní úrovní a předávat ho do topného systému s nejnižší teplotní úrovní, což ideálně splňuje například tzv. aktivace betonovým jádrem. Z důvodu vysoké tepelné setrvačnosti by zde trvalo velmi dlouho, než by se změnila vnitřní teplota na žádanou teplotu. I když je tedy školní budova typ objektu, který není užíván neustále, domnívám se, že přesně tento typ topné soustavy je příklad, kdy by přerušované vytápění naopak spotřebu energií zvýšilo. [46]

Ve zvoleném objektu je jako zdroj tepla soustava zásobování tepelnou energií a jako koncové prvky jsou převážně zvolena desková otopná tělesa, případně podlahové konvektory. Tato varianta patří mezi typy, kdy je vhodné přerušované vytápění s útlumem teploty v době, kdy objekt není užíván. Tento systém dokáže rychle měnit vnitřní teplotu a je zde velký potenciál díky návrhu přerušovaného vytápění ušetřit.

A.2.7.2 Volba systému regulace pro základní školy

Jak bylo řečeno výše, do posuzované základní školy se hodí přerušované vytápění s útlumem teploty. Na této základní škole jsou studenti ve věku od 6 do 15 let, navštěvují tedy školu od první do deváté třídy. Jejich školní den začíná přibližně v 7 hodin ráno a končí odpoledne. Školní rok je pro všechny stejně dlouhý. Budova není užívána o víkendech, prázdninách a o státních svátcích. Tyto vlastnosti lze velmi dobře aplikovat do inteligentních systémů řízení budov, díky předem pevně stanovenému časovému harmonogramu, podle kterého je otopná soustava v objektu regulována.

Tato regulace slouží k tomu, aby byla pro všechny místnosti zajištěna žádaná teplota uvnitř místnosti a zároveň otopná soustava pracovala maximálně efektivně. Je zde využita tzv. kombinovaná automatická regulace, která se skládá z kvalitativní a kvantitativní regulace.

Kvalitativní regulace upravuje parametry topné vody v závislosti na aktuální venkovní teplotě. Tato závislost je pro každý objekt popsána otopnou křivkou, která ukazuje, že při klesání venkovní teploty roste teplota topné vody a naopak. Díky této regulaci se tak do otopných těles dostává právě takové množství tepla, které je potřeba při aktuální venkovní teplotě. Druhou složkou je kvantitativní regulace, která řídí průtok topné vody tělesem, čímž mění výkon tělesa v závislosti na aktuální potřebě. [47]

Kvalitativní regulace je v tomto případě zajištěna ekvitermním regulátorem Siemens RVD125, který je určený pro výměňkové stanice a je napojen na předávací stanici a na teplotní čidlo zásobníku teplé vody. Venkovní čidlo je umístěno na fasádě objektu. [19]

Kvantitativní regulace může být zajištěna přímo osazením regulátoru – termostatickou hlavicí, termopohonu nebo servopohonu na regulační ventil. Termopohon i servopohon může být propojen s regulační jednotkou (např. termostatem), která měří teplotu v místnosti a řídí regulátory osazené na topném tělese. [48]

Je potřeba zvážit, co se do daného objektu hodí. Ruční regulace je pro školní budovy nevhodná, jelikož by studenti mohli manipulovat se snadno ovladatelnými prvky. Navíc je obvyklé, že jednotlivé místnosti mívají odlišný časový rozvrh, tudíž se jako ideální varianta v tomto případě jeví bezdrátový systém regulace vytápění IQRC. Tento systém zajišťuje individuální regulaci teploty v každé místnosti,

tudíž se nemůže stát, že by prostory byly zbytečně vytápěné mimo vyučování. Nastavení systému je centrálně z jednoho místa nebo vzdáleně přes internet. [49]

Všechny prvky systému spolu navzájem komunikují bezdrátově. Mezi tyto prvky patří bezdrátová termostatická hlavice, která reguluje teplotu v místnosti tak, že otevírá a zavírá termostatický ventil na otopném tělese podle definovaného programu z centrální řídicí jednotky nebo regulační jednotky. Dalším prvkem systému je regulační jednotka, která měří teplotu v místnosti a řídí termostatické hlavice. Tyto dva prvky systému jsou znázorněny na obrázku 23. Tato jednotka je bezdrátově programovatelná z centrální řídicí jednotky. Jádrem systému je centrální jednotka, která zajišťuje spolehlivou bezdrátovou distribuci nastavených režimů do jednotlivých zón regulovaného objektu. Software IQRC společně s centrální jednotkou slouží k řízení celého systému. Díky tomuto systému má jeho správce stálý přehled o nastavených a skutečných teplotách v celém objektu. Také lze z těchto údajů vyhodnocovat efektivitu vytápění a poté hledat stále nové možnosti úspor. [49] [50]

Pro zvolený objekt je tedy zvolen systém IQRC od společnosti HDL Automation s.r.o. Termostatické hlavice jsou umístěny na všech otopných tělesech ve všech vytápěných místnostech. V těchto místnostech jsou také nainstalovány regulační jednotky, které jsou umístěny na stěnách místností tak, aby zabezpečovaly nezkraslené měření teploty v místnosti. Do počítače správce budovy je instalován software IQRC pro správu a vzdálený dohled nad topným systémem. Centrální jednotka od stejné společnosti je umístěna v technické místnosti. Pokud někde v budově nebude možnost přímé bezdrátové komunikace mezi řídicí jednotkou a ostatními prvky systému, bude navržen jako součástí systému ještě opakovač signálu, který zabezpečí spolehlivé pokrytí řídicím signálem. [49]



Obrázek 23 - Prvky systému IQRC (regulační jednotka a bezdrátová term. hlavice) [49]

- **Příklady dobré praxe**

Jako příklad, že zvolený systém IQRC ve školních budovách funguje, je ukázán na základní škole Hořovice, kde školu tvoří několik pavilonů vytápěných z lokální kotelny. Dříve zde byla využívána otopná tělesa s ruční regulací, modernizace vytápění školy se uskutečnila v podobě realizace bezdrátové zónové regulace zatím v jednom pavilonu. Snahou byla zejména úspora nákladů na vytápění. Nové termostatické hlavice byly nainstalovány na 96 původních otopných těles a na stěny do vytápěných místností bylo osazeno celkem 22 regulačních jednotek. Celý systém je koordinován centrální řídicí jednotkou a jelikož jsou v tomto případě prostory školy rozsáhlé, bylo zde nutné použít tři prodlužovače signálu. Do počítače správce budovy byl nainstalován software IQRC pro správu a vzdálený dohled nad topným systémem. Na této základní škole je vidět, že tento systém je vhodný i pro rychlou rekonstrukci systému vytápění bez větších stavebních úprav. Tato modernizace přinesla do

školy zejména úsporu financí a také komfort studentů i učitelského sboru spojený s fungováním systému bez obsluhy uživatelem. [51]

Další ukázkou školního objektu, který využívá IQRC systém, je Obchodní akademie v Seredi. Tento objekt je poměrně rozsáhlý a skládá se z několika budov, které jsou propojeny. Kvůli původnímu využívanému systému pouze s ekvitermní regulací docházelo v objektu k situacím, že kvůli vytápění sportovní haly byly zbytečně vytápěny i prázdné třídy. Díky systému IQRC je nyní možné místnosti regulovat nezávisle. Místnosti mají svůj vlastní časově teplotní režim podle rozvrhu hodin a obsazenosti učeben. Celková investice do instalace zde činila 750 000,- Kč. Po porovnání spotřeby energie na vytápění v roce, kdy ještě v budově nebyl nainstalován systém regulace IQRC a v roce, kdy systém nainstalován už byl, je vidět, že došlo k výrazné úspoře energie na vytápění. Obchodní akademie dosáhla úspor téměř 30 %, což představuje snížení nákladů o 584 272,- Kč. Na základě těchto čísel je patrné, že návratnost celkové investice do systému IQRC byla již v průběhu druhé topné sezony. [52]

Závěr

Práce se ve své první části zabývala rozbořem nové normy ČSN EN 12831-1. a v druhé části vhodnou volbou způsobu vytápění pro školní objekty a poté pro konkrétní základní školu v Praze.

Cílem první části práce bylo vyhodnotit přínosy nové normy ČSN EN 12831-1 oproti normě původní ČSN EN 12831. Návrh a vyhodnocení bylo provedeno pomocí vzorového výpočtu modelové místnosti, kterou byla zvolena kmenová třída v základní škole. Byly vypočítány tepelné ztráty větráním místnosti podle obou verzí normy a následně určena důležitost změn. V normě ČSN EN 12831-1 se vyskytují nové veličiny, které promlouvají do výpočtu. Některé z nich jsou určitě přínosem a pomáhají určit přesnost výpočtu. Některé nové výpočtové postupy jsou však podle mého názoru zpracovány do velkých detailů, které projektant nedokáže přesně určit.

Druhá část práce obsahuje hledání nejvhodnější varianty způsobu vytápění posuzované základní školy. Analýza se zabývala výběrem nejvhodnějšího zdroje tepla, volbou koncových otopných ploch a zkoumala možnost využití přerušovaného vytápění ve školních budovách v kombinaci s vhodným regulačním systémem.

Mezi posuzované varianty možných zdrojů tepla byl zvolen plynový kondenzační kotel, tepelné čerpadlo vzduch/voda, soustava zásobování tepelnou energií a tepelné čerpadlo země/voda. Tyto varianty byly posuzovány z pohledu tří kritérií – technická proveditelnost, ekonomické a ekologické hledisko. Z těchto možných variant podle zvolených kritérií vyšel nejlépe plynový kondenzační kotel a soustava zásobování tepelnou energií. Plynový kondenzační kotel má nejnižší investiční i roční provozní náklady, z ekologického hlediska vyšly oba zdroje velmi podobně z důvodu přibližně stejného množství emisí CO₂ vyprodukovaných za rok. Nejvhodnější variantou byla nakonec zvolena soustava zásobování tepelnou energií. Tato varianta je nejjednodušeji technicky proveditelná a bude sloužit jako zdroj tepla v posuzované základní škole.

S ohledem na typ budovy byla ke sdílení tepla pro většinu místností vybrána desková otopná tělesa. Některé místnosti mají velké zasklené plochy, tudíž do nich byly navrženy podlahové konvektory.

Na závěr byla v práci vyhodnocena možnost návrhu přerušovaného vytápění. Tento typ vytápění se do školních objektů bezesporu hodí, ale zároveň bylo v práci poukázáno na to, jaký vliv má na návrh přerušovaného vytápění zdroj tepla a koncové otopné prvky v budově. S ohledem na tyto faktory byla v základní škole v Praze varianta přerušovaného vytápění použita. V návaznosti na to proběhl výběr nejvhodnější varianty regulačního systému. V základní škole není vhodné navrhovat termostatické hlavice s možností ručního ovládání z důvodu možné manipulace s hlavici dětmi. Do objektu byla navržena bezdrátová systémová regulace IQRC, u které se domnívám, že je pro školní objekty velmi vhodná, což je v práci ukázáno na příkladech jiných škol, které tento systém využívají.

Seznam literatury a podkladů

- [1] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 060206.
- [2] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 060206.
- [3] Vyhláška č. 410/2005 Sb. *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. 2005.
- [4] ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 060206.
- [5] Jak funguje kondenzační kotel? | Viessmann. *Viessmann: Topné, průmyslové a chladicí systémy / Viessmann* [online]. Allendorf [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [6] ČSN 07 0703. *Kotelny se zařízeními na plynná paliva*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 070703.
- [7] Závěsný plynový kondenzační kotel Panther Condens 48 KKO. Výměna kotle za nový / Protherm [online]. 2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/files/downloads/projekcni-podklady/pp-1-5-ver-3-panther-condens-48-1245843.pdf>
- [8] OKC NTR/BP – Ohřivače a zásobníky teplé vody Dražice. Ohřivače a zásobníky teplé vody, bojlerů DZ Dražice [online]. Benátky nad Jizerou, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/neprimotopne-zasobniky/stacionarni/okc-ntr-bp#ke-stazeni>
- [9] Expanzní nádoby 'Reflex NG a N': Reflex. Reflex: Expanzní systémy, zásobníkové ohřivače vody, výměníky tepla [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.reflexcz.cz/cz/expanzni-nadoby-reflex-ng-a-n>
- [10] Regulační technika: Ekvitermní regulace. *Plynové kondenzační kotle a tepelná čerpadla Vaillant* [online]. Remscheid, 2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/downloads/projek-n-podklady/pp-kl-06r2-ver2-calormatic-470-2-425628.pdf>
- [11] Tepelná čerpadla – základní informace – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace>
- [12] Tepelné čerpadlo vzduch-voda WPL 57-STIEBEL ELTRON. *STIEBEL ELTRON | Tepelná čerpadla | větrání | vytápění | ohřev vody* [online]. Holzminden, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/tepelna_cerpadla/tepelna_cerpadlavzduch-voda/wpl_47_57/wpl_57.html

- [13] Toolbox | STIEBEL ELTRON. *STIEBEL ELTRON | v Tepelná čerpadla | větrání | vytápění | ohřev vody* [online]. Holzminden, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/toolbox/home/>
- [14] Akumulační zásobník SBP 1000 E – STIEBEL ELTRON. *STIEBEL ELTRON | Tepelná čerpadla | větrání | vytápění | ohřev vody* [online]. Holzminden, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/systemove_zasobniky/akumulacni_zasobniky/akumulacni_zasobniksbp100010101500easbp10001500esol/sbp_1010_e.html
- [15] Regulátor tepelného čerpadla WPM International | STIEBEL ELTRON. *STIEBEL ELTRON | Tepelná čerpadla | větrání | vytápění | ohřev vody* [online]. Holzminden, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.cz/cs/produkty-a-reseni/obnovitelne_zdrojeenergie/regulace_energetickymanagement/wpmsystem/wpm_international.html
- [16] Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR? *OEnergetice.cz - denní zpravodajství z energetiky* [online]. Třebíč, 2015 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplo/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
- [17] 06. OPS tlakově nezávislá předávací stanice s dvojestupňovým ohřevem. *Měřicí a regulační technika – AVOS Vyškov* [online]. Vyškov, 2011 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.avos.cz/soubory/ke-stazeni/objektove-predavaci-stanice/OPS%20TNDV.pdf>
- [18] Zásobník R0BC 750: Regulus. *Regulus – Úsporné řešení pro vaše topení* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/zasobnik-r0bc-750>
- [19] RVD125, RVD145 Regulátor pro dálkové vytápění a přípravu teplé vody. *Home – Siemens Česká republika* [online]. Mnichov, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fd505549-4f51-4194-90ec-52ea60ac1b5a/cz-rvd125-rvd145-zakladni-technicka-dokumentace.pdf>
- [20] Tepelná čerpadla země/voda – plocha – Tepelná čerpadla IVT. *Tepelná čerpadla IVT – švédská kvalita pro vaše pohodlí* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [21] Tepelná čerpadla země/voda – vrt – Tepelná čerpadla IVT. *Tepelná čerpadla IVT – švédská kvalita pro vaše pohodlí* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [22] IVT GEO G nad 20 kW – Tepelná čerpadla IVT. *Tepelná čerpadla IVT – švédská kvalita pro vaše pohodlí* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-geo-g-nad-20-kw>
- [23] Ray: Elektrokotle >> Protherm. *Výměna kotle za nový / Protherm* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/elektricky-kotel-ray-ke-325.html>
- [24] Výpočetní excel: Poměry spotřeb tepla a elektřiny tepelným čerpadlem a bivalentním zdrojem. *PROTC – Technická databáze pro projektanty* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/vypoctove-pomucky-pro-projektanty>

- [25] Návrh tepelného čerpadla. *Projekty tepelných čerpadel země – voda / GEROTop.cz* [online]. Liberec, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/dimenzovani-hlubinnych-vrtu>
- [26] Realizace Argentinská Office Building. *Časopis stavebnictví*. 05/2020. Praha: INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT, 2020, str. 28-33.
- [27] Tepelná čerpadla země voda vytápí univerzitní kampus. *Projekty tepelných čerpadel země – voda / GEROTop.cz* [online]. Liberec, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/student-house>
- [28] Využívání stavebních konstrukcí budov pro ukládání energie – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4977-vyuzivani-stavebnich-konstrukci-budov-pro-ukladani-energie>
- [29] 5.3.4 Energetické piloty. *Tepelná čerpadla*. 04. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, 2013, str. 56.
- [30] Solární topný akumulční zásobník SBP 700 E SOL. *Tepelná čerpadla, fotovoltaické elektrárny, solární ohřev vody* [online]. 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.enerfinplus.cz/solarni-topny-akumulacni-zasobnik-sbp-700-e-sol.html>
- [31] *Nezávislé porovnání cen elektřiny a plynu | Ceny 2021* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/>
- [32] Ceník tepelné energie teplé vody a nosných médií platný od 1.1.2021. *Pražská teplárenská a.s.* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/data/folders/cenik-tepelne-energie-teple-vody-a-nosnych-medii-platny-od-1-1-2021-f175.pdf>
- [33] ČSN EN 15459-1. *Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 060405
- [34] Vyhláška č. 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. 2021.
- [35] Úřad městské části Praha 7. *Emisní limity NOx – zdroj tepla* [elektronická pošta]. Message to: jana.pabouskouva@seznam.cz. 1. listopadu 2021 17:03 [cit. 2021-12-28].
- [36] *Závazný vzor a metodický postup: Energetické posouzení*. 2020, str. 21.
- [37] Diskriminace tepláren musí skončit. *Elektronický časopis 3T – teplo, technika, teplárenství*. 06/2018. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, 2018, str. 6-7.
- [38] Ministr Havlíček považuje teplárenství za nejdůležitější energetickou výzvu. *Elektronický časopis 3T – teplo, technika, teplárenství*. 01/2021. Praha: Teplárenské sdružení České republiky, 2021, str. 3.
- [39] Zákon o podporovaných zdrojích energie dopadne na solárníky tvrdě | Hospodářské noviny (HN.cz). *Hospodářské noviny – byznys, politika, názory (HN.cz)* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66973480-zakon-o-podporovanych-zdrojich-energie-dopadne-na-solarniky-tvrde>

- [40] Stanovení teploty vnějšího vzduchu, do které je možné přerušovat vytápění bez zvětšování zdroje tepla o zátopovou přírážku – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/8281-stanoveni-teploty-vnejsiho-vzduchu-do-ktere-je-mozne-prerusovat-vytapani-bez-zvetsovani-zdroje-tepla-o-zatopovou-prirazku>
- [41] *Otopné plochy – otopná tělesa*. 2. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016, str. 135-137. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [42] Regulace v praxi I – topný okruh a podlahové vytápění – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2011 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7338-regulace-v-praxi-i-topny-okruh-a-podlahove-vytapani>
- [43] Co je to mokré a suché podlahové topení? - KvalitniPodlahovka.cz. *Úvodní stránka - KvalitniPodlahovka.cz* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://kvalitnipodlahovka.cz/co-je-to-mokre-a-suche-podlahove-topeni/>
- [44] Studie vlastností otopných těles – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/15603-studie-vlastnosti-otopnych-teles>
- [45] Dynamika vytápěcích systémů (I) - TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2005 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2512-dynamika-vytapecich-systemu-i>
- [46] Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách (I) - TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2002 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>
- [47] Regulace otopných soustav – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/323-regulace-otopnych-soustav>
- [48] *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014, str. 47-50. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [49] Bezdrátová regulace vytápění budov – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/18059-bezdratova-regulace-vytapani-budov>
- [50] Bezdrátová regulace vytápění – HDL Automation. *HDL Automation – čerstvá šťáva v automatizaci budov – HDL Automation* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.hdl-automation.cz/produkty/oblasti-produktu/bezdratova-regulace-vytapani>
- [51] Bezdrátová zónová regulace vytápění v 1. základní škole Hořovice. *Smart city v praxi – home doprava elektromobily elektrobuses MHD vodíkové technologie* [online]. 2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_304.php

[52] Analýza úspor dosažených po instalaci individuální regulace vytápění IQRC – TZB-info. *TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/19116-analyza-uspor-dosazenych-po-instalaci-individualni-regulace-vytapani-iq-rc>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Půdorys modelové místnosti č. 4.01	10
Obrázek 2 - Půdorys 1.NP posuzované základní školy	21
Obrázek 3 - Východní pohled na posuzovanou základní školu	21
Obrázek 4 – Půdorys technické místnosti s plyn. kondenzačním kotlem	27
Obrázek 5 - Schéma zapojení s plyn. kondenzačním kotlem	27
Obrázek 6 – Koordinační situace s přípojkou zemního plynu	28
Obrázek 7 - Graf pokrytí tep. ztrát tepelným čerpadlem vzduch/voda	29
Obrázek 8 - Půdorys technické místnosti s tep. čerpadlem vzduch/voda	30
Obrázek 9 - Schéma zapojení s tep. čerpadlem vzduch/voda.....	30
Obrázek 10 - Trasa potrubí od tep. čerpadel vzduch/voda.....	31
Obrázek 11 - Trasa potrubí od tep. čerpadel vzduch/voda k techn. místnosti	32
Obrázek 12 - Koordinační situace s umístěním tep. čerpadel vzduch/voda	32
Obrázek 13 - Půdorys technické místnosti se SZTE	34
Obrázek 14 - Schéma zapojení SZTE.....	34
Obrázek 15 – Koordinační situace se zapojením SZTE	35
Obrázek 16 - Půdorys technické místnosti s tep. čerpadlem země/voda (geotermální vrty).....	37
Obrázek 17 - Schéma zapojení s tep. čerpadlem země/voda (geotermální vrty)	38
Obrázek 18 - Trasa potrubí od zemních vrtů.....	38
Obrázek 19 – Koordinační situace s umístěním zemních vrtů	39
Obrázek 20 - Graf investičních a ročních provozních nákladů	50
Obrázek 21 - Graf s ekonomickým vyhodnocením jednotlivých zdrojů tepla.....	51
Obrázek 22 - Graf s přehledem ročních vyprodukovaných emisí CO ₂	54
Obrázek 23 - Prvky systému IQRC (regulační jednotka a bezdrátová term. hlavice) [49].....	61

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vstupní hodnoty pro výpočet (ČSN EN 12831-1).....	11
Tabulka 2 – Vypočtené pomocné hodnoty pro zónu (ČSN EN 12831-1).....	13
Tabulka 3 - Výsledné hodnoty objemových průtoků místnosti (ČSN EN 12831-1)	15
Tabulka 4 - Výsledné hodnoty tepelných ztrát větráním (ČSN EN 12831-1).....	16
Tabulka 5 - Vstupní hodnoty pro výpočet (ČSN EN 12831)	16
Tabulka 6 - Výsledné hodnoty pomocných výpočtů (ČSN EN 12831)	17
Tabulka 7 - Výsledné hodnoty tepelných ztrát větráním (ČSN EN 12831).....	18
Tabulka 8 - Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	22
Tabulka 9 - Vnitřní výpočtové teploty pro školní budovy.....	23
Tabulka 10 - Požadavky na větrání školních budov.....	23
Tabulka 11 - Výsledné hodnoty potřeby tepla	24
Tabulka 12 - Výsledný výkon zdrojů tepla (geotermální vrty).....	36
Tabulka 13 - Roční spotřeba el. energie (geotermální vrty).....	36
Tabulka 14 - Výsledný výkon zdrojů tepla (energetické piloty).....	41
Tabulka 15 - Roční spotřeba el. energie (energetické piloty).....	41
Tabulka 16 - Investiční náklady pro plynový kondenzační kotel	43
Tabulka 17 - Platba za distribuci zemního plynu	43
Tabulka 18 - Platba za služby dodávky zemního plynu	44
Tabulka 19 - Roční provozní náklady plyn. kondenzačního kotle.....	44
Tabulka 20 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo vzduch/voda	44
Tabulka 21 - Platba za obchod s elektřinou (tep. čerpadlo vzduch/voda)	45
Tabulka 22 - Platba za regulované služby (tep. čerpadlo vzduch/voda)	45
Tabulka 23 - Roční provozní náklady tep. čerpadla vzduch/voda	45
Tabulka 24 - Investiční náklady pro SZTE	45
Tabulka 25 - Platba za tepelnou energii (SZTE)	46
Tabulka 26 - Roční provozní náklady SZTE	46
Tabulka 27 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo země/voda (geotermální vrty)	46
Tabulka 28 - Platba za obchod s elektřinou (geotermální vrty)	47
Tabulka 29 - Platba za regulované služby (geotermální vrty)	47
Tabulka 30 - Roční provozní náklady tep. čerpadla země/voda (geotermální vrty)	47
Tabulka 31 - Investiční náklady pro tep. čerpadlo země/voda (energ. piloty + SZTE)	48
Tabulka 32 - Platba za obchod s elektřinou (energ. piloty + SZTE)	48
Tabulka 33 - Platba za regulované služby (energ. piloty + SZTE).....	48

Tabulka 34 - Platba za tepelnou energii (energ. piloty + SZTE)	49
Tabulka 35 - Roční provozní náklady tep. čerpadla země/voda (energ. piloty + SZTE)	49
Tabulka 36 - Souhrn investičních a ročních provozních nákladů.....	49
Tabulka 37 - Emise CO ₂ u plynového kondenzačního kotle	52
Tabulka 38 - Emise CO ₂ u tep. čerpadla vzduch/voda.....	52
Tabulka 39 - Emise CO ₂ u SZTE	52
Tabulka 40 - Emise CO ₂ u tep. čerpadla země/voda (geotermální vrty)	53
Tabulka 41 - Emise CO ₂ u tep. čerpadla země/voda (energ. piloty + SZTE)	53

Seznam příloh

Část B – Projektová dokumentace vytápění

- B.1 Technická zpráva
- B.2 Výkresová část
- B.3 Výpočtová část
- B.4 Technické listy