



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

REKONSTRUKCE VYTÁPĚNÍ ŠKOLNÍ BUDOVY

RECONSTRUCTION OF A SCHOOL BUILDING HEATING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karol Kozák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Karol Kozák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Rekonstrukce vytápění školní budovy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rekonstrukce budov jsou nejčastěji prováděny za účelem snížení jejich provozních nákladů, zejména pak nákladů na vytápění. Většina realizovaných rekonstrukcí je zaměřena pouze na snížení tepelných ztrát objektu a již neřeší potřebu úpravy otopné soustavy, která byla vyprojektována na původní (vyšší) tepelné ztráty. Regulační schopnosti ponechané otopné soustavy jsou omezené a velice často neumožňují efektivní provoz systému vytápění a dosažení plánovaných úspor.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je provést návrh nového otopného systému pro školní budovu.

Seznam literatury:

ČSN 06 0310 Tepelné soustavy v budovách: Projektování a montáž. Praha: ÚNMZ, 2014.

ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu. Praha: ÚNMZ, 2005.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Karolický, Ph.D.
děkan fakulty

ASTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá návrhom nového vykurovacieho systému v budove gymnázia v meste Vlašim. Starý systém vykurovania bude úplne vymenený za nový systém pozostávajúci z doskových radiátorov a medenej potrubnej siete. Práca obsahuje technický popis starého vykurovacieho systému a samotnej budovy, výpočet návrhového tepelného výkonu pomocou výpočtového softvéru TechCON, výber nových doskových radiátorov a vhodných dimenzií potrubnej siete, výpočet a reguláciu tlakových strát, popis zdroja tepla a kontrolu jeho zabezpečovacích komponentov - expanznej nádoby a poistného ventilu, určenie systému merania a regulácie, ako aj výpočet ekvitermických kriviek tohto systému. V neposlednom rade sa počíta celková potreba tepla na vykurovanie. Výkresová dokumentácia vykurovacieho systému je súčasťou príloh práce.

ABSTRACT

This master's thesis pertains to designing a new heating system in secondary grammar school's building in the city of Vlašim. The old heating system is going to be replaced completely for a new system consisting of panel radiators and distribution piping network made of copper. Thesis includes technical description of old heating system and building itself, calculating of suggested heat efficiency using calculation software TechCON, selection of new panel radiators and appropriate dimensions of piping network, calculation and regulation of pressure losses, description of heat source and inspection of its safety components - expansion vessel and safety valve, determination of system for measurement and regulation as well as calculation of equithermal curves of this system. Last but not least total usage of heat is calculated. Blueprints of heating system are included as well.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

vykurovanie, vykurovacia sústava, rekonštrukcia, tepelné straty, tlakové straty, regulácia

KEYWORDS

heating, heating system, reconstruction, heat losses, pressure losses, regulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KOZÁK, K. *Rekonstrukce vytápění školní budovy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jíří Hejčík, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Rekonštrukcia vykurovania školskej budovy vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne dňa 22. mája 2017

.....

Bc. Karol Kozák

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto Ing. Jiřímu Hejčíkovi Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní diplomovej práce, firme Energy Benefit Centre a.s. za poskytnutie témy a možnosť vypracovať diplomovú prácu a taktiež mojim rodičom a rodine za podporu počas celej doby štúdia.

OBSAH

ÚVOD	15
1 SÚČASNÝ STAV	16
1.1 Stavba	16
1.2 Vykurovacia sústava	17
2 REKONŠTRUKCIA	18
3 TEPELNÉ STRATY PODĽA ČSN EN 12 831	19
3.1 Vstupné údaje	20
3.2 Súčiniteľ prechodu tepla	22
3.3 Návrhový tepelný výkon	24
3.3.1 Návrhová tepelná strata prechodom tepla	24
3.3.2 Návrhová tepelná strata vetraním	25
3.3.3 Tepelný zakurovací výkon	26
3.4 Zjednodušená výpočtová metóda	26
3.5 TechCON	27
3.6 Tepelná bilancia objektu	31
3.6.1 Stavebné konštrukcie	31
3.6.2 Vzorový výpočet tepelných strát	31
3.6.1 Celkové tepelné straty	34
4 VYKUROVACIA SÚSTAVA	35
4.1 Vykurovacie telesá	35
4.2 Dimenzovanie sústavy	38
4.2.1 Hydraulický výpočet	38
4.2.2 Výpočet tlakových strát	40
4.2.3 Zregulovanie	42
4.2.4 Nastavenie regulačných členov	44
4.3 Čerpadlo	44
4.4 Izolácia potrubia	46
5 ZDROJ TEPLA	48
5.1 Odovzdávacia stanica TENZA AQHP	48
5.2 Poistné prvky	50
5.2.1 Expanzná nádoba	50
5.2.2 Poistný ventil	52

6	MERANIE A REGULÁCIA	53
6.1	Ekvitermická regulácia.....	53
6.2	Sústava ekvitermických kriviek	56
7	SPOTREBA TEPLA	58
7.1	Denostupňová metóda	58
7.2	Nedostatky denostupňovej metódy	59
	ZÁVER.....	60
	ZDROJE	61
	ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV	64
	ZOZNAM PRÍLOH.....	67

ÚVOD

Potreba navodiť pocit tepelnej pohody v mieste pobytu ľudí viedla k využívaniu dymových plynov na podlahové vykurovanie už v starovekom Ríme a Číne. Hygienické problémy a netesnosti smerovali k budovaniu prvých jednoduchých výmenníkov tepla a počiatkom teplovzdušného vykurovania (14. storočie). Vývoj priemyselnej výroby a samotný vynález parného stroja v neskorších storočiach prispel k aktívnemu využívaniu pary na vykurovanie. V roku 1770 James Watt realizoval vo svojej továrni parné vykurovanie s odberom pary priamo z kotla. [1]

Teplovodné vykurovanie sa v staroveku spájalo hlavne s využitím termálnych prameňov, ktorými sa plnili duté dosky alebo trubky umiestnené v podlahe. Najväčší rozmach teplovodného vykurovania môžeme sledovať v druhej polovici 18. storočia a začiatkom 19. storočia. A to na konkrétnych príkladoch: teplovodné vykurovanie liahne (1777), teplovodné vykurovanie viacposchodového domu (1817), návrh dvojtrubkovej teplovodnej sústavy (1833). [1]

Súčasným trendom je stavba energeticky úsporných, nízkonákladových až pasívnych budov s čo najmenšími nákladmi na zabezpečenie vykurovania a tepelnej pohody v jej priestoroch. Nestály vývoj cien energií, v prípade vykurovania hlavne tepla, súčasný trend výstavby úsporných budov opodstatňuje. Rovnako na tom sú aj rekonštrukcie už stávajúcich objektov. V oboch prípadoch sa snažíme dosiahnuť rovnaký cieľ – znížiť vynaložené finančné prostriedky na prevádzku systému.

V snahe dosiahnuť tento cieľ, prechádzajú budovy počas rekonštrukcie obnovou vonkajších fasád, čím sa zaistia menšie tepelné straty objektu. Problémy s plánovanými úsporami môžu nastať pri ponechaní pôvodného systému vykurovania. Ten bol dimenzovaný na pôvodné, zvýšené, energetické nároky. V takomto prípade môže dochádzať k problémom regulácie a celkovému zníženiu efektivity systému.

Diplomová práca sa zaoberá návrhom nového vykurovacieho systému do čiastočne zrekonštruovaného areálu gymnázia na ulici Tylova v meste Vlašim, s konkrétnym zameraním sa a vypracovaním výpočtov na najstaršiu budovu A. Práca obsahuje výpočet tepelných strát prostredníctvom softwaru TechCon, návrh vykurovacích telies a rozvodov podľa požiadaviek zadávateľa, výpočet hydraulického vyváženia sústavy, návrh merania a regulácie systému spolu s výkresovou dokumentáciou. Zdrojom tepla ostávajú pôvodné odovzdávacie stanice TENZA AQHP typu voda-voda napojené na centrálnu zásobovacieho tepla, pričom súčasná vykurovacia sústava bude kompletne demontovaná vrátane všetkých trubkových rozvodov a telies.

1 SÚČASNÝ STAV

1.1 Stavba

Budova Gymnázia pozostáva zo štyroch objektov (A, B, C, a E) a spojovacej chodby (D). Areál je prístupný z ulíc Tylova a Na Harfě. Najstarší z objektov je budova A z roku 1969, zvyšok areálu bol dostavaný v roku 1989.



Obr. 1 Lokácia budovy

Budova A je konštrukčne riešená ako železobetónový skelet s keramickými štítovými stenami. Zo západnej strany je obvodový plášť tvorený boletickými panelmi. Okná na západnej fasáde sú pôvodné kovové zdvojené. Východná fasáda už bola v minulosti rekonštruovaná (zateplenie a výmena okien). Strecha je plochá, nesená železobetónovými panelmi, so spádovým násypom a tepelnou izoláciou. Krytina je plechová.



Obr. 2 a) Západná fasáda, b) Východná fasáda

Budova B je riešená obdobne, teda ako železobetónový skelet. Obvodový plášť je z panelov. Okná na južnej fasáde sú drevené zdvojené s medziokennými vložkami, na severe bola fasáda v minulosti rekonštruovaná (výmena okien, medziokenné vložky boli vymurované). Pavilón je zastrešený plochou strechou, ktorej bola dodatočne zateplená penovým polystyrénom.

Budova C je tvorená železobetónovým skeletom s plášťom z obvodových panelov. Okná sú pôvodné - drevené zdvojené. Strecha je dvojplášťová, zateplená.

Budova D - spojovacia chodba je vymurovaná z tehlových blokov. Výplne otvorov sú tvorené jednoduchým zasklením do kovových rámov. Strecha spojovacej chodby je plochá.

Konštrukcia budovy E je riešená ako železobetónový skelet s obvodovými panelmi. Okná sú prevažne drevené zdvojené, v telocvični sú luxferové výplne. Strecha je dvojplášťová nesená železobetónovými panelmi s tepelnou izoláciou z minerálnej rohože.

1.2 Vykurovací systém

Budova je napojená na rozvod centrálného zdroja tepla, pričom v budove sa nachádzajú 2 odovzdávacie stanice TENZA AQHP typu voda-voda. Primárnym médiom je teplá voda o teplote $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ktorá odovzdá teplo v doskovom výmenníku a cez merač tepla, dynamický vyrovnávač tlakov a uzáver sa vracia späť do sústavy centrálného zdroja tepla. Odovzdávacia stanica pre budovu B s výkonom 120 kW sa nachádza v suteréne budovy. Zvyšok areálu je zásobovaný teplom z odovzdávacej stanice v suteréne budovy E s výmenníkom o výkone 190 kW.

Budova je vykurovaná teplovodnou vykurovacou sústavou s prevažne liatinovými článkovými vykurovacími telesami. S výnimkou budovy E sú radiátory osadené termostatickými hlavicami. Budovy sú vetrané prevažne prirodzene oknami. V niektorých hygienických zázemiach sú inštalované odťahové ventilátory s nárazovou prevádzkou. V budove E sú inštalované systémy núteného vetrania pre prívod vzduchu do telocvične a pre prívod aj odťah vzduchu v kuchyni.



Obr.3 Odovzdávacia stanica

Ohrev teplej vody v objekte je zabezpečený individuálne elektrickými prietokovými a zásobníkovými ohrievačmi umiestnenými pri daných odberných miestach.

2 REKONŠTRUKCIA

Nová vykurovacia sústava je navrhnutá ako teplovodná, dvojtrubková, proti prúdová s núteným obehom vody a uzavretou expanznou nádobou. V rámci rekonštrukcie vykurovacej sústavy dôjde ku kompletnej demontáži súčasnej sústavy vrátane všetkých liatinových článkových vykurovacích telies a potrubných rozvodov. Nahradené budú doskovými telesami KORADO s bočným napojením typu Klasik s teplotným spádom 65/50 °C. Na rozvodnú sieť budú napojené cez termostatický ventil na prívodnom potrubí a cez uzatvárateľné regulačné šróbenie na potrubí spätnom. Všetky telesá budú osadené termostatickými hlavicami a budú obsahovať odvzdušňovacie ventily.

Nová potrubná sieť bude pozostávať z hladkých medených trubiek spojovaných spájkovaním. Podľa požiadaviek zadávateľa bude potrubie vedené prevažne pod stropom, miestami s prihliadnutím na miestne podmienky vedené pri podlahe. Hlavné rozvody sú vedené v technologických kanáloch v suteréne budovy. Všetky potrubné rozvody vedené cez nevykurované priestory budú opatrené príslušnou izoláciou.

Zdroj tepla ostáva zachovaný v podobe 2 odovzdávacích staníc typu voda-voda. Napojenie jednotlivých okruhov bude realizované pomocou kombinovaného rozdeľovača/zberača. Obeh teplonosnej látky budú zabezpečovať elektronicky riadené obehové čerpadlá. Reguláciu teploty vody pri nábehu umožnia osadené trojcestné zmiešavacie ventily so servopohonmi. Súčasťou odovzdávacej stanice sú poistné ventily a uzavretá expanzná nádoba.

3 TEPELNÉ STRATY PODĹA ČSN EN 12 831

Definujeme ich ako množstvo tepla odvedeného za danú dobu z vykurovaného prostredia do vonkajšieho prechodom tepla a vetraním. [2]

Budovy, určené nie len pre pobyt ľudí, sa stavajú so zámerom splňať určité tepelne technické požiadavky:

- vytvoriť požadovaný tepelný stav podľa typu budovy s účelom navodenia tepelnej pohody pre osoby nachádzajúce sa v jej priestoroch
- zamedziť možnosť kondenzácie na vonkajšej alebo vnútornej strane
- dbať na čo najmenšie tepelné straty konštrukcie a tým pádom znížiť potrebnú energetickú náročnosť a zhospodárniť proces vykurovania

Pravidlo pre hospodárne nakladanie s palivom a energiami by malo platiť všade. Tepelné straty sa snažíme znížiť na najnižšiu prípustnú hodnotu, samozrejme však so zreteľom na konštrukčné, obstarávacie a prevádzkové možnosti a náklady. [3]

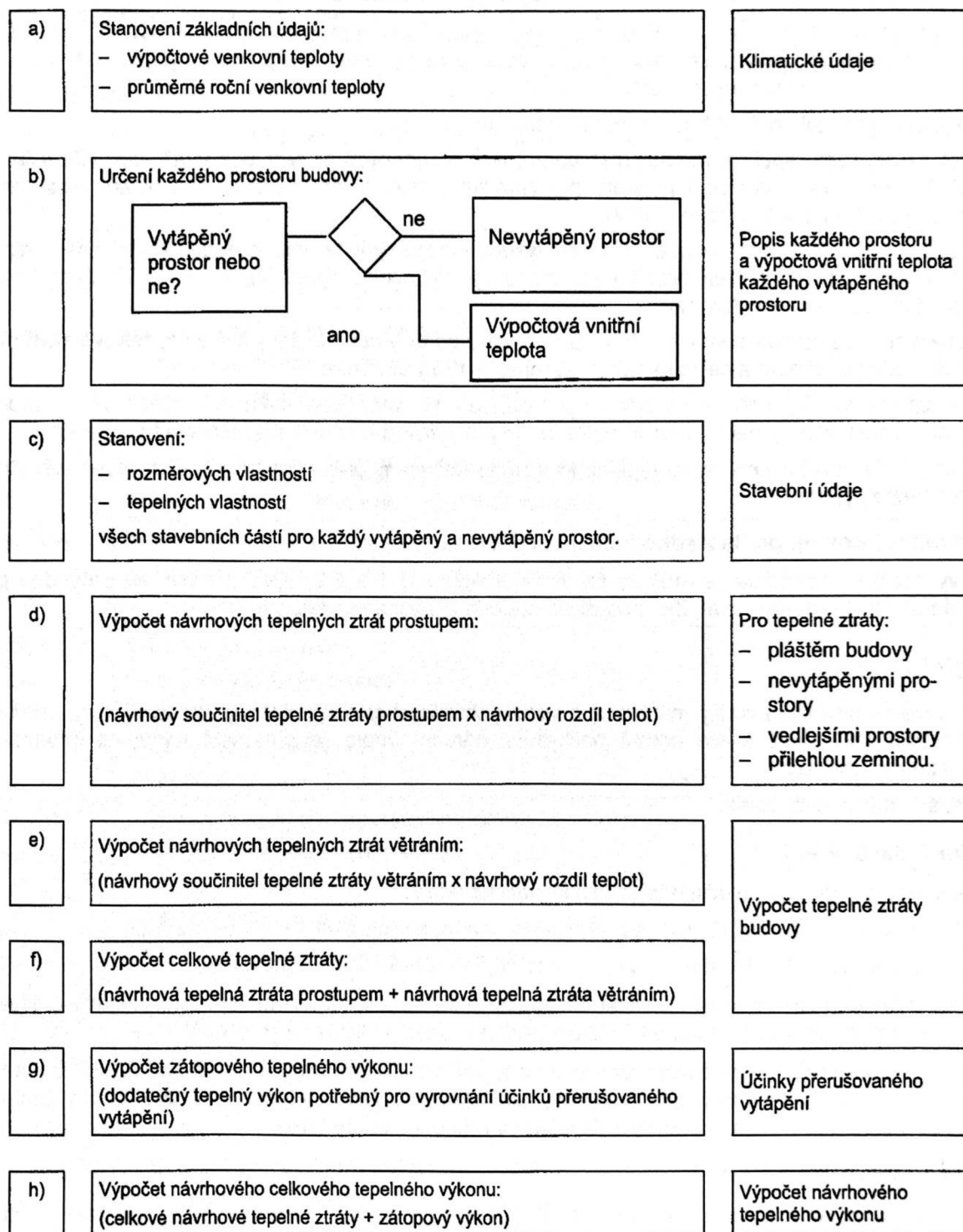
Výpočet tepelných strát je nutnou súčasťou každého projektu vykurovania, nakoľko nám poskytuje kľúčovú informáciu – koľko tepla je nutné prostredníctvom vykurovacej sústavy dodať do priestorov budovy, aby sme zabezpečili dosiahnutie požadovanej vnútornej výpočtovej teploty. Pri prvotných fázach projektu a orientačnom výbere zdroja tepla, oceňovaní projektu a podobne nám môže stačiť jednoduchší výpočet strát, akým je napríklad obáľková metóda. Pre potreby projektovania vykurovacej sústavy však je potrebné uvažovať podrobnejší výpočet pre jednotlivé miestnosti. Postup výpočtu popisuje a upravuje technická norma ČSN EN 12 831 z roku 2005. [3]

Norma udáva postup pre výpočet návrhovej tepelnej straty a návrhového tepelného výkonu pre štandardné prípady (výška miestnosti maximálne 5m, vykurovanie do ustáleného stavu) pri návrhových podmienkach. [4]

Pre jeden vykurovaný priestor je stanovený nasledujúci postup [4]:

- 1) stanovenie základných vstupných parametrov exteriéru
 - vonkajšia výpočtová teplota θ_e
 - priemerná vonkajšia teplota počas vykurovacej sezóny $\theta_{m,e}$
- 2) určenie stavu miestnosti
 - vykurovaná alebo nevykurovaná
 - v prípade že je vykurovaná určenie vnútornej výpočtovej teploty $\theta_{int,i}$
- 3) stanovenie rozmerových a tepelne technických vlastností prvkov konštrukcie
- 4) výpočet tepelných strát prechodom tepla
- 5) výpočet tepelných strát vetraním priestoru
- 6) výpočet zakurovacieho výkonu vykurovaného priestoru
- 7) určenie celkového tepelného výkonu sčítaním výsledkov v bodoch 4,5 a 6

Pomocou technickej normy bude vykonaný ukázkový výpočet miestnosti A.113 pre porovnanie výsledkov s programom TechCON, ktorý bol na výpočet tepelných strát použitý.



Obr. 4 Schéma výpočtu tepelných ztrát podle ČSN EN 12 831 [4]

3.1 Vstupné údaje

Tepelné straty vyčíslujeme voči určitému extrému, maximu, ktoré síce neodpovedá priemernému priebehu vykurovacieho obdobia, ale umožňuje nám efektívne pokryť všetky potreby a požiadavky na dodávky tepla. Spomínaný extrém nám určuje vonkajšia výpočtová

teplota θ_e , ktorá nám následne s teplotou v miestnosti určí teplotný rozdiel pre prechod tepla konštrukciou.

Tab. 3.1 Vstupné údaje výpočtu tepelných strát

Lokalita	Mesto Vlašim (oblasť Benešov)
Vonkajšia výpočtová teplota θ_e [2]	-15 °C
Priemerná teplota počas vykurovacej sezóny $\theta_{m,e}$ [2]	3,9 °C
Počet dní vykurovacej sezóny d [2]	245
Umiestnenie budovy	budova stojaca v zástavbe

Podľa postupu boli pre vykurované miestnosti stanovené vnútorné výpočtové teploty:

Tab. 3.2 Zoznam miestností a vnútorných výpočtových teplôt (1.NP)

Č.M.	Účel miestnosti	Vnútorná návrhová teplota $\theta_{int,i}$	Plocha A[m ²]	Objem V [m ³]
A.101	Učebňa	20	65,53	216,25
A.102	Učebňa	20	62,7	206,91
A.103	Učebňa	20	62,74	207,04
A.104	Učebňa	20	41,93	138,37
A.105	Kabinet	20	21,82	72,01
A.106	Chodba	18	78,78	259,97
A.107	Schodisková hala	18	50,77	167,54
A.108	Sklad učebníc	15	14,54	47,98
A.109	Zborovňa	20	14,18	46,79
A.110	Sklad	12	16,11	53,16
A.111	Zádverie	nevykurované	5,17	17,06
A.112	Chodba	18	11,47	37,85
A.113	Denná miestnosť	20	7,11	23,46
A.114	Šatňa personálu	20	6,35	20,96
A.115	Umyváreň personálu	nevykurované	1,62	5,35
A.116	WC personálu	20	0,93	3,07
A.117	Umyváreň personálu	24	4,03	13,30

Tab. 3.3 Zoznam miestnosti a vnútorných výpočtových teplôt (2.NP)

Č.M.	Účel miestnosti	Vnútorná návrhová teplota $\theta_{int,i}$	Plocha A[m ²]	Objem V [m ³]
A.201	Učebňa	20	65,87	217,37
A.202	Učebňa	20	62,74	207,04
A.203	Učebňa	20	62,74	207,04
A.204	Kabinet	20	19,5	64,35
A.205	Kabinet	20	21,7	71,61
A.206	Kabinet	20	21,95	72,44
A.207	Chodba	18	78,87	260,27
A.208	Schodisková hala	18	76,96	253,97
A.209	Umyváreň chlapci	20	6,25	20,63
A.210	WC chlapci	20	20,92	69,04
A.211	Umyváreň dievčatá	20	10,09	33,30
A.212	WC dievčatá	20	15,97	52,70
A.213	Umyváreň učiteľia	nevykurované	2,60	8,58

3.2 Súčiniteľ prechodu tepla

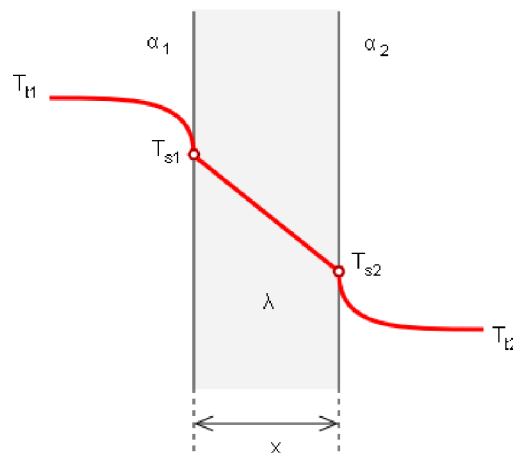
Tepelná strata je proces, ktorý prebieha na princípe prechodu tepla cez zloženu (v stavebníctve väčšinou rovinnú) stenu. Skladá sa z prenosu tepla prúdením (vonkajší a vnútorný povrch steny) a vedením (prenos samotnou konštrukciou steny). [5]

Riadi sa teda vzorcom

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (3.1)$$

kde:

\dot{Q}	tepelný tok [W]
U	súčiniteľ prechodu tepla [W/m ² K]
A	plocha [m ²]
$\theta_{int,i}$	vnútorná návrhová teplota [°C]
θ_e	vonkajšia výpočtová teplota [°C]



Obr. 5 Priebeh teplôt pri prechode tepla [6]

Na vyčíslenie celkovej tepelnej straty medzi dvomi prostrediami tak potrebujeme poznať súčiniteľ prechodu tepla U , stavebnej konštrukcie o určitom tepelnom odpore, ktorý v sebe skrýva tepelne technické parametre konštrukcií. [7]

$$U = \frac{1}{R_{celk}} = \frac{1}{R_{\alpha i} + R_{\lambda} + R_{\alpha e}} \quad (3.2)$$

kde:	U	súčiniteľ prechodu tepla [W/m^2K]
	R_{celk}	celkový tepelný odpor [m^2K/W]
	$R_{\alpha i}$	tepelný odpor prúdenia na vnútornej strane [m^2K/W]
	R_{λ}	tepelný odpor vedenia stenou [m^2K/W]
	$R_{\alpha e}$	tepelný odpor prúdenia na vonkajšej strane [m^2K/W]

Výpočet hodnoty tepelného odporu je závislý na spôsobe prenosu tepla na type steny a jej vlastnostiach (hrúbka steny d_s [m]; súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [$Wm^{-1}K^{-1}$]) a na vlastnostiach prostredia (súčiniteľ prestupu tepla α [$Wm^{-2}K^{-1}$]). V prípade zloženej steny získame výsledný odpor steny sumáciou jednotlivých zložiek danej steny.

Tab. 3.4 Vzťahy pre výpočet tepelného odporu

	Vedenie R_{λ}	Prúdenie R_{α}	Jednotka
Rovinná stena	$\frac{d}{\lambda}$	$\frac{1}{\alpha}$	$[m^2KW^{-1}]$
Valcová stena	$\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$	$\frac{1}{2\pi r \alpha}$	$[mKW^{-1}]$
Guľová stena	$\frac{1}{4\pi\lambda} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$	$\frac{1}{4\pi r^2 \alpha}$	$[KW^{-1}]$

Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [$Wm^{-1}K^{-1}$] ako jedna z hlavných tepelne technických parametrov materiálu popisuje jeho schopnosť viesť teplo. Určuje množstvo tepla, ktoré prejde stenou o hrúbke 1 m a ploche 1 m^2 pri rozdiely teplôt jej strán 1 K. Obecne pre materiály platí, že čím nižšia hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti, tým je materiál lepší izolant. Jeho hodnota je závislá na množstve faktorov, ako napríklad relatívna vlhkosť, stredná teplota, objemová hmotnosť a iné. Samotní výrobcovia uvádzajú tzv. deklarovанú hodnotu súč. tepelnej vodivosti λ_D , ktorá je výsledkom meraní pre definované podmienky (teplota vzduchu 22 ± 5 °C; stredná teplota 10 ± 3 °C; relatívna vlhkosť $50 \pm 5\%$). Z deklarovanej hodnoty sa vychádza pri stanovení hodnôt charakteristických (teplota vzduchu 23 ± 2 °C; relatívna vlhkosť 80 %) a návrhových. Návrhová hodnota súč. tepelnej vodivosti sa stanovuje pre tepelné a vlhkosťné (prípadne aj mechanické) namáhanie, ktoré odpovedajú aplikácii daného materiálu v samotnej stavbe¹. Pri zavádzaní výrobku na trh vyplýva z európskych ustanovení povinnosť výrobcov udávať len deklarované hodnoty súč. tepelnej vodivosti. Z tohto dôvodu treba pri návrhu stavebných konštrukcií postupovať obozretne, nakoľko informácie môžu byť oproti skutočnému stavu mierne skreslené.

¹ Pre jeden materiál je možné nájsť viacero návrhových hodnôt súč. tepelnej vodivosti v závislosti na podmienkach použitia materiálu.

3.3 Návrhový tepelný výkon [4]

Aby sme boli schopní nadimenzovať výkon vykurovacej sústavy potrebujeme určiť celkový návrhový tepelný výkon jednotlivých vykurovaných miestností. Ten získame sčítaním čiastkových tepelných strát ako ukazuje rovnica

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

kde:	$\Phi_{T,i}$	<i>tepelná strata prechodom tepla vykurovaného priestoru [W]</i>
	$\Phi_{V,i}$	<i>tepelná strata vetraním vykurovaného priestoru [W]</i>
	$\Phi_{RH,i}$	<i>zakurovací tepelný výkon [W]</i>

3.3.1 Návrhová tepelná strata prechodom tepla

Návrhová tepelná strata prechodom tepla $\Phi_{T,i}$ pre vykurovaný priestor stanovíme z rovnice

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

kde:	$H_{T,ie}$	<i>súčiniteľ tepelnej straty prechodom z vykurovaného priestoru do vonkajšieho prostredia plášťou budovy [WK⁻¹]</i>
	$H_{T,iue}$	<i>súčiniteľ tepelnej straty prechodom z vykurovaného priestoru do vonkajšieho prostredia nevykurovaným priestorom [WK⁻¹]</i>
	$H_{T,ig}$	<i>súčiniteľ tepelnej straty prechodom do zeminy z vykurovaného priestoru do zeminy v ustálenom stave [WK⁻¹]</i>
	$H_{T,ij}$	<i>súčiniteľ tepelnej straty z vykurovaného priestoru do susedného priestoru vykurovaného na výrazne inú teplotu [WK⁻¹]</i>
	$\theta_{int,i}$	<i>výpočtová vnútorná teplota vykurovaného priestoru [°C]</i>
	θ_e	<i>výpočtová vonkajšia teplota [°C]</i>

Tepelné straty priamo do vonkajšieho prostredia (súč. tepelnej straty $H_{T,ie}$) zahŕňajú všetky časti stavebných konštrukcií, ktoré oddeľujú vykurovaný priestor od vonkajšieho prostredia (steny, podlaha, strop, dvere, okná) a výpočet sa riadi rovnicou

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (3.5)$$

kde:	A_k	<i>plocha stavebnej časti [m²]</i>
	U_k	<i>súčiniteľ prechodu tepla stavebnou časťou [Wm⁻²K⁻¹]</i>
	e_k, e_l	<i>korekčný činiteľ vystavenia poveternostným vplyvom [-]</i>
	ψ_l	<i>činiteľ lineárneho prestupu tepla lineárneho tepelného mosta [Wm⁻¹K⁻¹]</i>
	l_l	<i>dĺžka lineárnych tepelných mostov [m].</i>

Tepelné straty nevykurovaným priestorom (súč. tepelnej straty $H_{T,iue}$) uvažujeme ak sa medzi vykurovaným a vonkajším priestorom nachádza priestor nevykurovaný. Počíta sa podľa rovnice:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot b_u \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (3.6)$$

kde: b_u *teplotný redukčný činiteľ zahrňajúci teplotný rozdiel medzi teplotou nevykurovaného priestoru a vonkajšej návrhovej teploty.*

Tepelné straty do príľahlej zeminy (súč. tepelnej straty $H_{T,ig}$) sa týkajú podláh a stien s priamym alebo nepriamym stykom s podlahou a závisí na viacerých faktoroch (plocha a obvod dosky, hĺbka poschodia pod úrovňou terénu, tep. vlastnosti zeminy a.i.). Hodnota straty z vykurovaného priestoru do zeminy sa riadi rovnicou

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_W \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (3.7)$$

kde: f_{g1} *korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv ročných zmien vonkajšej teploty [-]*

f_{g2} *teplotný redukčný činiteľ zohľadňujúci rozdiel medzi ročnou priemernou vonkajšou teplotou a výpočtovou vonkajšou teplotou [-]*

$U_{equiv,k}$ *ekvivalentný súčiniteľ prechodu tepla stavebnej časti [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]*

G_W *korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv spodnej vody (uvažujeme ak je vzdialenosť medzi uvažovanou hladinou spodnej vody a podzemného poschodia menia ako 1m) [-].*

Tepelné straty do alebo z vykurovaných priestorov pri rôznych teplotách (súč. tepelnej straty $H_{T,ij}$) zohľadňuje prechod tepla medzi dvoma susednými priestormi vykurovanými na odlišné teploty. Vypočíta sa z rovnice

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [\text{WK}^{-1}] \quad (3.8)$$

kde: f_{ij} *redukčný činiteľ teplotný činiteľ korigujúci teplotný rozdiel medzi teplotou susedného priestoru a vonkajšou výpočtovou teplotou [-].*

Ukázkový výpočet tepelnej straty prechodom tepla pre miestnosť A.113 je uvedený v tabuľke 3.6.

3.3.2 Návrhová tepelná strata vetraním

Vo vykurovaných priestoroch dochádza k výmene vzduchu vnútorného za vonkajší. Na základe množstva vymeneného vzduchu a teplôt vnútorného a vonkajšieho vzduchu vieme stanoviť tepelnú stratu vetraním, ktorá sa vypočíta podľa vzťahu

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (3.9)$$

kde: $H_{V,i}$ *súčiniteľ návrhovej tepelnej straty vetraním [WK^{-1}]*

$\theta_{int,i}$ *výpočtová vnútorná teplota vykurovaného priestoru [$^{\circ}\text{C}$]*

θ_e *výpočtová vonkajšia teplota [$^{\circ}\text{C}$].*

Súčiniteľ návrhovej tepelnej straty vetraním $H_{V,i}$ závisí na objemovom toku privádzaného vzduchu a jeho fyzikálnych vlastnostiach. Pri uvažovaní konštantných hodnôt tlaku ρ a mernej tepelnej kapacity vzduchu c_p (oboje pre teplotu $\theta_{int,i}$) môžeme vzťah na výpočet zjednodušiť:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad [\text{W}] \quad (3.10)$$

kde: \dot{V}_i výmena vzduchu vo vykurovanom priestore [m^3h^{-1}].

Stanovenie výmeny vzduchu v priestore \dot{V}_i závisí hlavne na spôsobe vetrania miestnosti (prirodzené alebo nútené), na tesnosti konštrukcie a na type miestnosti (kúpeľňa, šatňa, spáľňa...), od ktorého závisí hygienické minimum privádzaného vzduchu. V diplomovej práci je vetranie miestností zabezpečené prirodzeným spôsobom. Ukážkový výpočet miestnosti A.113 je uvedený v tabuľke 3.7.

3.3.3 Tepelný zakurovací výkon

Z ekonomického hľadiska sa vo vykurovaní často uvažuje s prerušovaným vykurovaním. Preto je do návrhového tepelného výkonu potrebné zahrnúť aj tzv. zakurovací výkon, ktorý v sebe zohľadňuje zvýšenie výkonu potrebného na dosiahnutie vnútornej návrhovej teploty po dobe útlmu. Veľkosť zakurovacieho výkonu závisí hlavne na akumuláčnych schopnostiach stavby, dobe útlmu a zakurovania a teplotnom poklese počas útlmu.

Zjednodušená metóda pre stanovenie zakurovacieho výkonu vychádza z vzťahu

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [\text{W}] \quad (3.11)$$

kde: A_i podlahová plocha vykurovaného priestoru [m^2]
 f_{RH} korekčný súčiniteľ, ktorý závisí na dobe útlmu a poklese teploty [Wm^{-2}].

Ukážkový výpočet tepelného zakurovacieho výkonu pre miestnosť A.113 je uvedený v tabuľke 3.8.

3.4 Zjednodušená výpočtová metóda

Norma ČSN EN 12831 poskytuje v kapitole 9 aj zjednodušenú metódu pre výpočet tepelného výkonu. Pozostáva z rovnakých častí avšak s mierne zjednodušenými a upravenými vzťahmi.

Návrhová tepelná strata prechodom sa stanoví z rovnice

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (3.12)$$

kde: f_k teplotný korekčný činiteľ pre stavebnú časť [-]
 A_k plocha stavebnej časti [m^2]
 U_k súčiniteľ prechodu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$].

Hodnoty korekčného činiteľa sú obsahom prílohy D.7.2.

Návrhová tepelná strata vetraním sa počíta podľa vzťahov (2.9) a (2.10), v ktorých sa pracuje s hygienicky najmenším požadovaným množstvom vzduchu $\dot{V}_{min,i}$. To získame zo vzťahu

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3h^{-1}] \quad (3.13)$$

kde: n_{min} *najmenšia intenzita výmeny vzduchu za hodinu [h^{-1}]*
 V_i *objem vykurovaného priestoru vypočítaný z vnútorných rozmerov [m^3]*

Tepelný zakurovací výkon sa počíta rovnako ako v kapitole 2.4.3.

Celkový návrhový tepelný výkon pre budovu získame sumáciou jednotlivých strát pre miestnosti, ktoré sú súčasťou danej budovy:

$$\phi_{HL,i} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad [W] \quad (3.14)$$

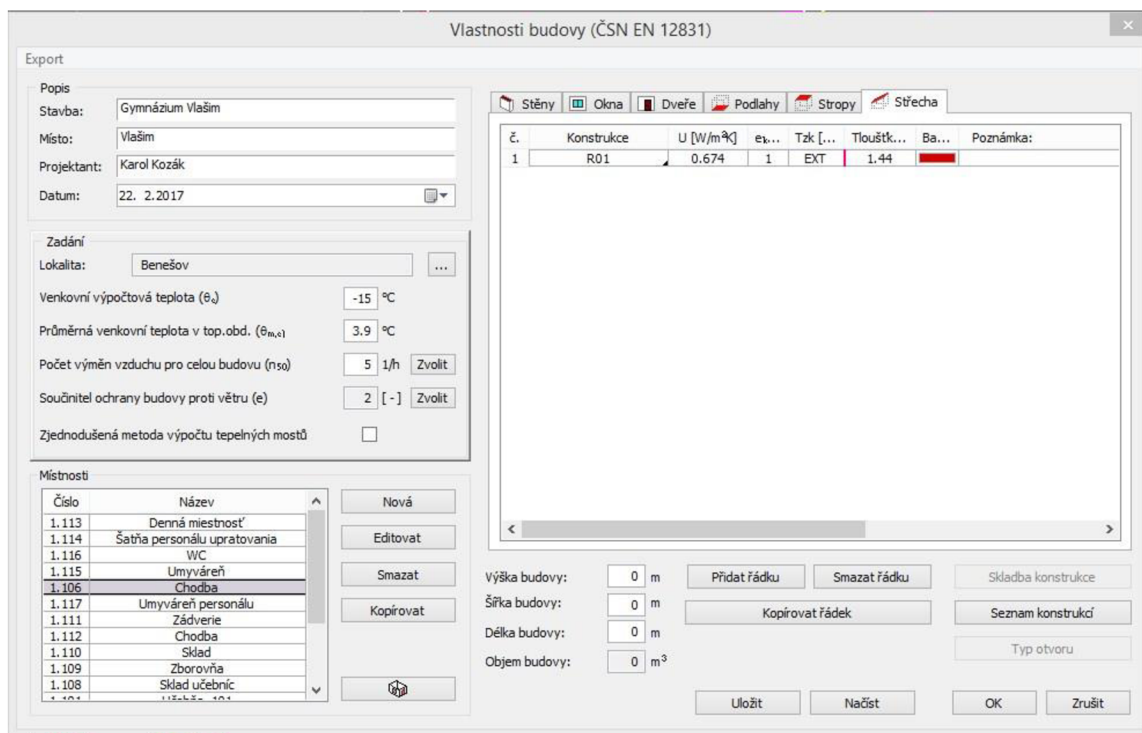
kde: $\sum \phi_{T,i}$ *súčet tepelných strát prechodom všetkých vykurovaných priestorov s výnimkou tepla zdieľaného vnútri budovy [W]*
 $\sum \phi_{V,i}$ *súčet tepelných strát vetraním všetkých vykurovaných priestorov s výnimkou tepla zdieľaného vnútri budovy [W]*
 $\sum \phi_{RH,i}$ *súčet zakurovacích výkonov všetkých vykurovaných priestorov pre vyrovnanie vplyvu prerušovaného vykurovania [W]*

3.5 TechCON

„TechCON je moderný grafický výpočtový software určený na návrh a spracovanie projektov ústredného vykurovania pre operačný systém Windows. Je tvorený z dvoch navzájom prepojených modulov: Tepelné straty a Ústredné vykurovanie. Program rieši výpočet tepelných strát budov, spracovanie projektovej dokumentácie v 2D a 3D priestore, dimenzovanie vykurovacích sústav, hydraulické vyregulovanie vykurovacích sústav, výpočet podlahového vykurovania a špecifikáciu prvkov spolu s celkovou cenovou kalkuláciou. TechCON umožňuje načítať projekt vo formátoch DWG a DXF, z ktorého vytvorí "slepú maticu" vynechaním kótovacích a odkazových čiar. Nakoľko je DXF univerzálny formát pre CAD, môže projektant do TechCONu načítať projekt z ľubovoľného iného CAD systému. Výsledný projekt je možné exportovať do súboru DXF, výpočty a špecifikáciu do súborov HTML a XLS.“²

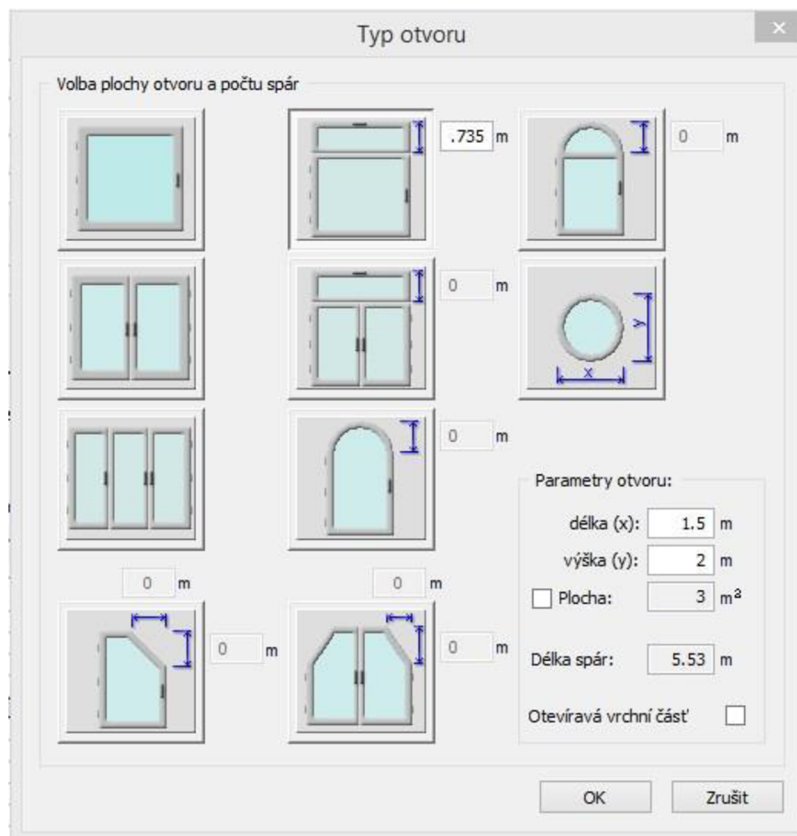
Modul „Tepelné straty“ umožňuje zjednodušenie a urýchlenie výpočtu podľa normy STN (ČSN) EN 12831. Predpokladom pre použitie modulu ako aj pre výpočet tepelných strát je znalosť pôdorysu samotnej budovy a tepelne technických vlastností stavebných konštrukcií. Výpočet začíname zadaním vlastností budovy a stavebných prvkov ako sú steny, okná, dvere, podlaha, strop a strecha (obr. 6).

² Podrobné informácie. TechCON [online]. Dostupné z: <http://www.techcon.sk/index.php?page=pinfo>



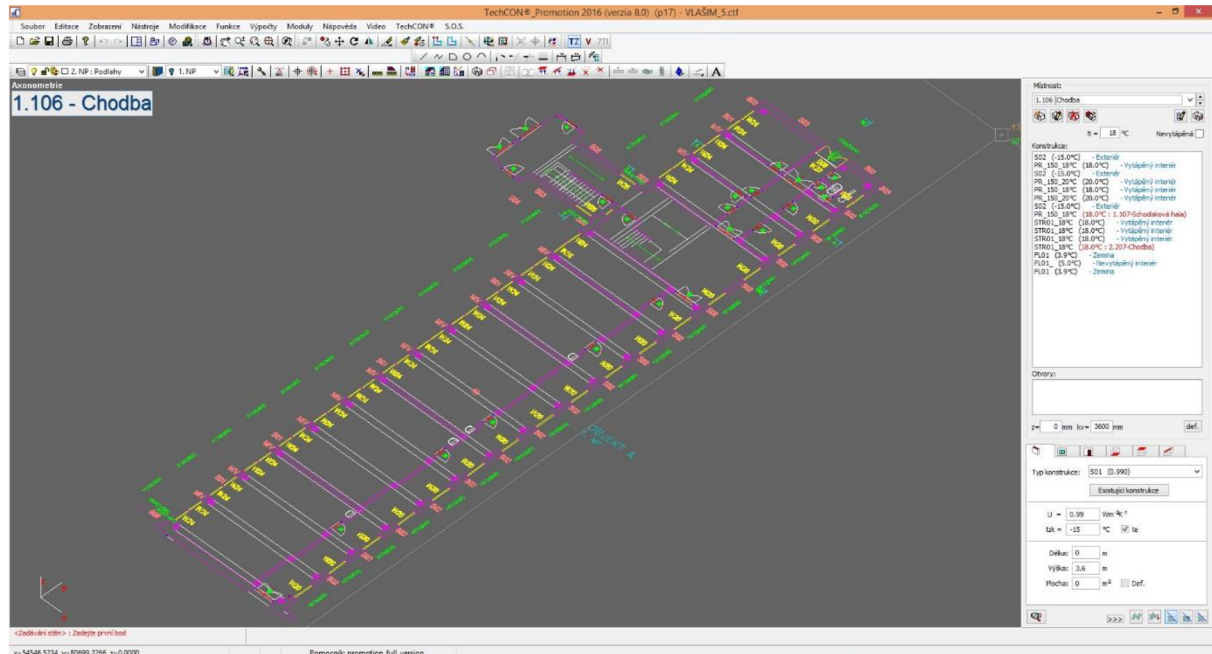
Obr. 6 Vlastnosti Budovy

Hodnoty součiniteleu přechodu tepla je možné zadat přímo nebo software ponúka možnosť výpočtu po vyskladání konstrukcie steny z katalógu materiálov. V prípade okien a dverí obsahuje zoznam základných typov spolu s príslušnou hodnotou součiniteleu přechodu tepla. Je vhodné zadat aj typ otvoru, nakoľko na základe tejto informácie pracuje program s množstvom infiltrovaného vzduchu pri tepelných stratách vetraním (obr. 7).



Obr. 7 Typ otvoru

Po zadání všech prvků použitých v projektu je možné nahrať si projektovou dokumentáciu vo forme "slepej matrice" do pozadia projektu. Nejedná sa o nič iné ako o výkres projektu zo softwaru CAD vo formáte DWG alebo DXF. TechCON je následne s týmto pozadím schopný spolupracovať (zachytávanie čiar a bodov) pri zadávaní stavebných konštrukcií (obr. 8).



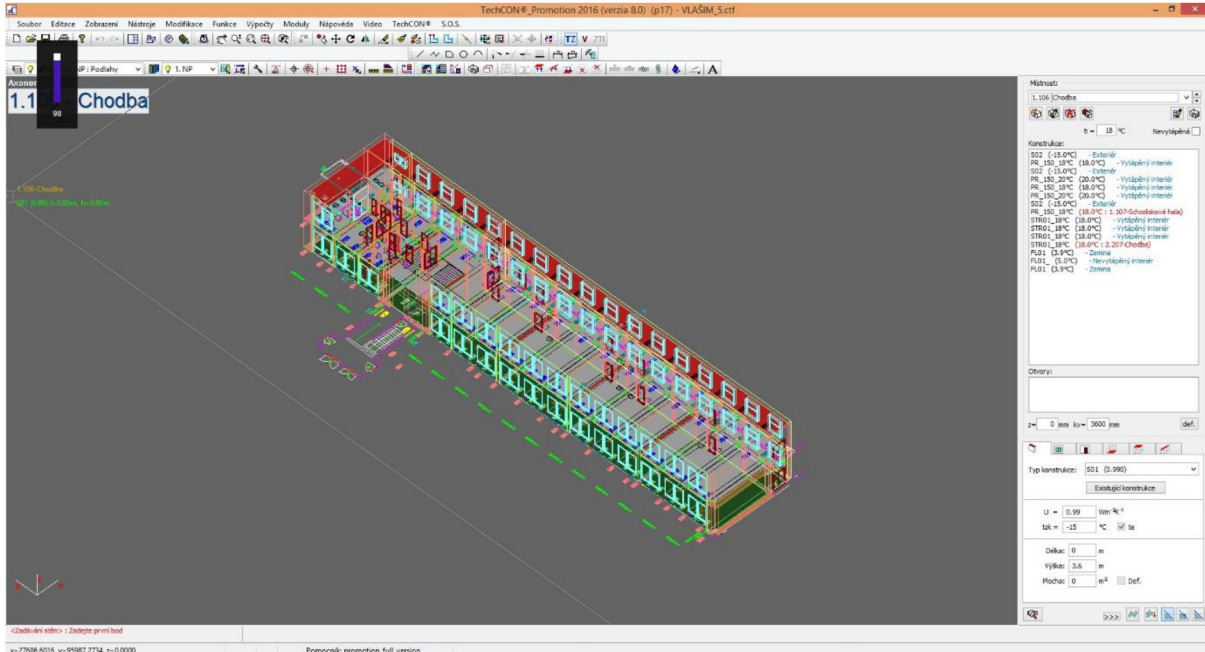
Obr. 8 Projektová dokumentácia ako pozadie projektu

Zadávanie stien a otvorov prebieha pre každú miestnosť samostatne. Pri vytvorení novej miestnosti je potrebné niektoré vstupné údaje ako napríklad:

- popisné číslo
- účel miestnosti
- vnútorná výpočtová teplota
- umiestnenie miestnosti voči úrovni terénu (hodnota G_w pre výpočet tepelných strát do príľahlej zemi))
- hodnota intenzity výmeny vzduchu a parametre núteného vetrania (výpočet tepelných strát vetraním)
- hodnota f_{RH} v prípade uvažovania prerušovaného vykurovania
- konštrukčná a svetlá výška

Obr. 9 Zadávanie novej miestnosti

Na základe nahratého pozadia sme následne schopní zadávať pre danú miestnosť samotné stavebné konštrukcie. Po určení obvodových stien je software schopný automaticky určiť podlahu a z nej aj strop (prípadne strechu). Okná a dvere je možné zadávať len do už predom zadanej steny. Výpočty podlahových plôch a objemov prebiehajú automaticky. Typ konštrukcie je možné jednoducho editovať výberom nami zadaných typov v okne "Vlastnosti budovy". Pre lepšiu predstavu o stave budovy a pri práci s viac poschodiami software poskytuje aj priestorové zobrazenie (obr. 10).



Obr. 10 3D zobrazenie v TechCON-e

Po spustení výpočtu tepelných strát sa zobrazí dialógové okno rozdelené do dvoch častí. V záložke "Budova" môžeme vidieť súhrnný výpočet tepelných strát pre celú budovu (obr. 11). V druhej záložke "Miestnosti" je výpočet podrobnejšie rozdelený pre jednotlivé miestnosti a jednotlivé časti výpočtu (prechod tepla, vetranie, zakurovací výkon). Výsledky je následne možné exportovať do prehľadného súboru PDF alebo priamo vytlačiť. Pre software TechCON existuje rozsiahly manuál a viacero výukových video lekcí od jeho tvorcov, jeho používanie je naozaj dosť intuitívne a podstatne výpočet tepelných strát urýchľuje.

Výpočet tepelných strát (EN 12831)

Soubor: Bilance

Budova Miestnosti

$\theta_{e} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\theta_{m,e} = 3.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

č.	č.m.	Účel miestnosti	$\theta_{m,i}$ [°C]	A_i [m ²]	V_i [m ³]	α_i [-]	$V_{m,i}$ [m ³ /h]	$V_{p,i}$ [m ³ /h]	$\theta_{p,i}$ [°C]	$V_{c,i}$ [m ³ /h]	$V_{m,okl...}$ [m ³ /h]	$V_{p,okl...}$ [m ³ /h]	V_i [m ³ /h]	n [1/h]	n_{min} [1/h]	$V_{min,i}$ [m ³ /h]	$V_{k,i}$ [m ³ /h]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{T,i}$ [W]	$f_{h,i}$ [-]	$\Phi_{H,i}$ [W]	$\Phi_{E,i}$ [W]
1	1.101	Učebňa_101	20.0	66.88	220.70	1.0	66.2	-	-	-	-	-	66.2	0.3	0.5	110.3	110.3	1313	2918	1.00	1070	5301
2	1.102	Učebňa_102	20.0	63.58	209.81	1.0	62.9	-	-	-	-	-	62.9	0.3	0.5	104.9	104.9	1248	2747	1.00	1017	5013
3	1.103	Učebňa_103	20.0	63.62	209.94	1.0	63.0	-	-	-	-	-	63.0	0.3	0.5	105.0	105.0	1249	2748	1.00	1018	5015
4	1.104	Učebňa_104	20.0	42.47	140.16	1.0	42.0	-	-	-	-	-	42.0	0.3	0.5	70.1	70.1	834	1819	1.00	680	3333
5	1.105	Kabinet	20.0	22.08	72.87	1.0	21.9	-	-	-	-	-	21.9	0.3	0.5	36.4	36.4	434	1130	1.00	353	1917
6	1.106	Chodba	18.0	82.08	270.86	1.0	81.3	-	-	-	-	-	81.3	0.3	0.5	135.4	135.4	1520	4081	1.00	1313	6914
7	1.107	Schodisková h	18.0	90.77	167.55	1.0	90.3	-	-	-	-	-	90.3	0.3	0.5	83.8	83.8	940	1319	1.00	812	3071
8	1.108	Sklad učebnic	15.0	15.07	49.74	1.0	14.9	-	-	-	-	-	14.9	0.3	0.5	24.9	24.9	254	294	1.00	241	799
9	1.109	Zborovňa	20.0	14.53	47.96	1.0	14.4	-	-	-	-	-	14.4	0.3	0.5	24.0	24.0	285	1556	1.00	233	2074
10	1.110	Sklad	12.0	16.63	54.88	1.0	16.5	-	-	-	-	-	16.5	0.3	0.5	27.4	27.4	252	1160	1.00	266	1678
11	1.111	Zádvierie	3.5	5.31	17.53	1.0	3.5	-	-	-	-	-	3.5	0.2	0.5	8.8	8.8	55	-55	1.00	0	0
12	1.112	Chodba	18.0	11.53	38.06	1.0	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.5	19.0	19.0	213	461	1.00	185	859
13	1.113	Denná miestnosť	20.0	7.08	27.50	1.0	5.5	-	-	-	-	-	5.5	0.2	0.5	13.8	13.8	164	566	1.00	113	842
14	1.114	Saňa personál	20.0	6.78	22.37	1.0	4.5	-	-	-	-	-	4.5	0.2	0.5	11.2	11.2	133	400	1.00	108	642
15	1.115	Umyváreň	4.2	4.39	14.49	1.0	2.9	-	-	-	-	-	2.9	0.2	0.5	7.2	7.2	47	-47	1.00	0	0
16	1.116	WC	20.0	1.40	4.61	1.0	0.9	-	-	-	-	-	0.9	0.2	1.5	6.9	6.9	82	29	1.00	22	134
17	1.117	Umyváreň per	24.0	1.92	6.34	1.0	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.5	3.2	3.2	42	572	1.00	31	645
18	2.201	Učebňa	20.0	65.93	217.60	1.0	65.3	-	-	-	-	-	65.3	0.3	0.5	108.8	108.8	1295	3942	1.00	1055	6292

Obr. 11 Výsledky tepelných strát

3.6 Tepelná bilancia objektu

3.6.1 Stavebné konštrukcie

Pre stanovenie celkových tepelných strát objektu je potrebné určiť súčinitele prechodu tepla stavebných konštrukcií (obvodových aj vnútorných) a výplní otvorov v konštrukciách (okná dvere). Pri výpočte vychádzame z kapitoly 3.2 a z tepelne technických vlastností použitých materiálov (tab. 3.9).

Tab. 3.5 Ukážka výpočtu súčiniteľa prechodu tepla

S02 (Ťažká vonkajšia stena - YTONG + EPS)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov Z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Odpor pri prestupe R _{si}					0,130	
Omiетка vápenocementová	0,015	0,990	0,000	0,990	0,015	
YTONG P2-500	0,250	0,150	0,000	0,150	1,560	
Polystyrén penový EPS ($\rho = 30 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,100	0,039	0,050	0,041	2,442	
Omiетка vápenocementová	0,007	0,990	0,000	0,990	0,007	
Odpor pri prestupe R _{se}					0,040	
Celkový tepelný odpor R _{celk}					4,194	
Korekčný činiteľ ΔU_{tbk}					0,050	

Činiteľ tepelných mostov Z_{TM} v sebe zohľadňuje vplyvy tepelných mostov a používa sa hlavne pre vonkajšie tepelne - izolačné vrstvy. Podľa vzťahu

$$\lambda_{ekv} = \lambda \cdot (1 + Z_{TM}) \quad [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}] \quad (3.15)$$

kde λ_{ekv} ekvivalentný súčiniteľ prechodu tepla [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
 λ súčiniteľ prechodu tepla [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
 Z_{TM} činiteľ tepelných mostov [-]

sa riadi prepočet súčiniteľa prechodu tepla na jeho ekvivalentnú hodnotu. Používa sa pri zohľadňovaní nasiakavosti alebo prerušení izolačnej vrstvy, vplyvu kotviacich prvkov a podobne.

Celkový výpočet súčiniteľov prechodu tepla jednotlivých stavebných konštrukcií a zoznam súčiniteľov prechodu tepla pre výplne otvorov sú súčasťou prílohy 1 tejto diplomovej práce.

3.6.2 Vzorový výpočet tepelných strát

- Výpočet tepelných strát prechodom tepla (tab. 3.6)
- Výpočet tepelných strát vetraním (tab. 3.7)
- Výpočet zakurovacieho tepelného výkonu (tab. 3.8)

Hodnoty korekčného súčiniteľa f_{RH} sme schopný určiť z prílohy D6 v norme ČSN EN 12831. Z tabuľky D.10a na základe parametrov:

- teplotný pokles 2 K
- vysoká hmotnosť budovy
- doba zakúrenia 4 hodiny

dospejeme pre budovu gymnázia k hodnote korekčného súčiniteľa $f_{RH} = 16 \text{ Wm}^{-2}$. Výpočtom podľa rovnice (2.11) dostávame potrebný zakurovací výkon o hodnote 113 W.

Tab. 3.6 Tepelná strata prechodom tepla pre miestnosť A.113

Tepelné straty priamo do vonkajšieho prostredia						
Kód	Stavebná časť	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$	
		[m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	na jedn.	[WK ⁻¹]	
S02	Vonkajšia stena	8,160	0,288	1,000	2,350	
W20	Okno	3,000	1,300	1,000	3,900	
$\sum A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [WK ⁻¹]						6,250
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$	
		[Wm ⁻¹ K ⁻¹]	[m]	na jedn.	[WK ⁻¹]	
04A	Ukončenie vnútornej deliacej steny do vonkajšej tepelne izolovanej steny, do vonkajšieho	0,125	0,310	1,000	0,039	
04A	Ukončenie vnútornej deliacej steny do vonkajšej tepelne izolovanej steny, do vonkajšieho	0,125	0,310	1,000	0,039	
62A	Okno, parapet	0,120	1,450	1,000	0,174	
62B	Okno, horná hrana	0,120	1,450	1,000	0,174	
62C	Okno, ostienenie	0,120	3,940	1,000	0,473	
Celkom tepelné mosty $\sum \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [WK ⁻¹]						0,898
Celkový súčiniteľ tepelnej straty, priamo do vonkajšieho prostredia $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$						7,148
Tepelné straty cez nevykurované priestory						
Kód	Stavebná časť	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$	
		[m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	na jedn.	[WK ⁻¹]	
-	Žiadna	-	-	-	-	
Celkový súčiniteľ tepelnej straty cez nevykurované priestory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$						0,000
Tepelné straty zeminou						
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$		
		[m ²]	[m]	[m]		
		7,110	3,110	4,572		
Kód	Stavebná časť	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$	
		[Wm ⁻² K ⁻¹]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	[m ²]	[WK ⁻¹]	
FL01	Podlaha	3,513	0,830	7,110	5,901	
Celkom ekvivalentná stavebná časť $\sum A_k \cdot U_{equiv,k}$ [WK ⁻¹]						5,901
Korekčné cinitele		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		na jedn.	na jedn.	na jedn.	na jedn.	
		1,450	0,460	1,150	0,767	
Celkový súčiniteľ tepelnej straty zeminou $H_{T,ig} = \sum (A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$						4,527
Tepelné straty do priestorov vykurovaných na rozdielne teploty						
Kód	Stavebná časť	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		na jedn.	[m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	[WK ⁻¹]	
P100	Vnútorňa stena 100mm	0,057	19,412	2,710	3,006	
D800	Dvere vnútorne 800mm	0,057	1,576	2,000	0,180	
STR01	Strop	0,057	8,340	1,521	0,725	
Celkový súčiniteľ tepelnej straty cez priestory s rozdielnymi teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$						3,911
Celkový súčiniteľ tepelnej straty prechodom $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [WK ⁻¹]						15,586
Teplotné údaje	vonkajšia výpočtová teplota	θ_e	-15,000	[°C]	Teplotný rozdiel	
	vnútorná výpočtová teplota	$\theta_{int,i}$	20,000	[°C]	35,000	
Návrhová tepelná strata prechodom $\phi_{T,i} = H_{T,ie} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ [W]						545,511

Tab. 3.7 Tepelná strata vetraním pre miestnosť A.113

Miestnosť				A. 113 Denná miestnosť
Objem miestnosti		V_i	[m ³]	27,53
Výpočtová vonkajšia teplota		θ_e	[°C]	-15,00
Výpočtová vnútorná teplota		$\theta_{int,i}$	[°C]	20,00
Najmenšie hygienické požiadavky	Najmenšie hygienická intenzita výmeny vzduchu	$n_{min,i}$	[h ⁻¹]	0,50
	Najmenšie hygienické množstvo vzduchu	$V_{min,i}$	[m ³ h ⁻¹]	13,77
Množstvo vzduchu infiltráciou	Nechránené otvory	-	na jedn.	1,00
	Intenzita výmeny vzduchu pri 50 Pa	n_{50}	[h ⁻¹]	5,00
	Činiteľ zaclonenia	e	na jedn.	0,02
	Výškový korekčný činiteľ	ε	na jedn.	1,00
	Množstvo vzduchu infiltráciou	V_{infi}	[m ³ h ⁻¹]	5,51
Výpočet tepelnej straty vetraním	Zvolená výpočtová hodnota	V_i	[m ³ h ⁻¹]	13,77
	Návrhový súčiniteľ tepelnej straty	$H_{v,i}$	[WK ⁻¹]	4,68
	Teplotný rozdiel	$\theta_e - \theta_{int,i}$	[°C]	35,00
	Návrhová tepelná strata vetraním	$\Phi_{v,i}$	[W]	163,80

Tab. 3.8 Výpočet zakurovacieho výkonu

Miestnosť A.113			
Plocha	A	[m ²]	7,11
Korekčný činiteľ	f_{RH}	-	16
Zakurovací výkon	Φ	[W]	113

Výsledky kontrolnej miestnosti A.113 a ich porovnanie sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 3.9. Dosiahli sme podobné až rovnaké výsledky. Mierna nepresnosť sa vyskytuje u tepelnej straty prechodom.

Výsledok zo softwaru TechCON je väčší o necelé 4 % výsledku normy. Môže to byť dôsledok nepresného zadania rozmerových parametrov prípadne zaokrúhľovania TechCONu. Nepresnosť tohto rádu pri celkovej bilancii objektu nebude hrať veľkú rolu a fakt, že sa jedná o vyššiu hodnotu znamená, že sa pohybuje na bezpečnej strane návrhu. Do úvahy môžeme tiež zahrnúť minimálny počet dní s extrémom počasia v podobe vonkajšej teploty o hodnote $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tab. 3.9 Porovnanie výsledkov

A.113 - Denná miestnosť			Norma	TechCON
Tepelná strata prechodom	$\Phi_{T,i}$	[W]	545,1	566
Tepelná strata vetraním	$\Phi_{V,i}$	[W]	163,8	164
Tepelný príkon na zakúrenie	$\Phi_{RH,i}$	[W]	113	113
Celková tepelná strata	$\Phi_{HL,i}$	[W]	820,7	839

3.6.1 Celkové tepelné straty

Výsledná hodnota tepelného výkonu budovy A objektu gymnázia Vlašim bola vyčíslená na **82,6 kW**, čo odpovedá mernej tepelnej strate 88 Wm^{-2} . V tabuľke 3.10 sú uvedené hodnoty pre jednotlivé miestnosti.

Tab. 3.10 Tepelné straty miestností

Miestnosť	Návrhová tepelná strata vetraním	Návrhová tepelná strata prechodom	Tepelný príkon na zakurovací výkon	Celková tepelná strata
	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{T,i}$ [W]	Φ_{RH} [W]	Φ_{HL} [W]
A.101	1313	2918	1070	5301
A.102	1248	2747	1017	5012
A.103	1249	2748	1018	5015
A.104	834	1819	680	3333
A.105	434	1130	353	1917
A.106	1520	4081	1313	6914
A.107	940	1319	812	3071
A.108	254	293	241	788
A.109	285	1556	233	2074
A.110	252	1160	266	1678
A.111	-	-	-	-
A.112	213	461	185	859
A.113	164	566	113	843
A.114	133	400	108	641
A.115	-	-	-	-
A.116	82	29	22	133
A.117	42	572	31	645
A.201	1295	3942	1055	6292
A.202	1232	3708	1004	5944
A.203	1226	3708	999	5933
A.204	384	1174	313	1870
A.205	427	1289	347	2063
A.206	431	1449	351	2231
A.207	1461	3697	1263	6421
A.208	1424	2323	1231	4977
A.209	123	1094	100	1317
A.210	410	3119	334	3863
A.211	199	1048	162	1409
A.212	314	1487	255	2055
A.213	-	-	-	-

4 VYKUROVACIA SÚSTAVA

Ako v prípade väčšiny rekonštrukcií starších budov pôvodné liatinové článkové telesá (obr. 12) budú nahradené novými doskovými telesami značky Korado. Pôvodné oceľové potrubné rozvody budú nahradené rozvodmi z medených trubiek. Návrh rozvodnej siete odpovedá požiadavkám zadávateľa - vedenie potrubia prevažne pod stropom s prihliadnutím na miestne podmienky stavby, kde bude vedené pri podlahe. Realizácia novej siete vytvára požiadavky na vedľajšie stavbárske profície:

- vytvorenie a zapravenie prechodov stenami a stropom pre nové rozvodné potrubie
- zapravenie pôvodných nevyužitých prechodov rozvodného potrubia.



Obr.12 Súčasný stav vykurovacej sústavy

4.1 Vykurovacie telesá

Vykurovacie telesá sú povrchové výmenníky zabezpečujúce dodávku tepla do miestnosti pre navodenie tepelnej pohody tým, že svojim tepelným výkonom pokrývajú úniky tepla do vonkajšieho priestoru, prípadne príľahlých miestností. Odovzdávanie tepla prebieha konvekciou a radiáciou. [1] [9]

V časoch výstavby budovy A komplexu gymnázia boli článkové telesá najrozšírenejším a najpoužívanejším typom telies v obytných ale aj verejných budovách či už pre teplovodnú ale aj parnú vykurovaciu sústavu. Podmienky pre hromadnú sériovú výrobu spĺňali ideálne. Jednotlivé články sa odlievali do foriem a pomocou vsuviek boli spájané do ľubovoľnej dĺžky. Tým ponúkali veľkú voľnosť v návrhu tepelného výkonu. Neskoršia snaha o zníženie nákladov na výrobu viedla k zavedeniu normatívnych rozmerov a typových rád. Liatinové vykurovacie telesá bolo možné používať až do teploty vykurovacej vody 110 °C. Avšak dnes, s trendom využívania nízko potencionálneho tepla prakticky nereálne a maximálne nehospodárne. Medzi hlavné nevýhody liatinových telies patrí veľká merná hmotnosť a merný objem vody, s čím sa neodlučiteľne spája veľká tepelná zotrvačnosť. [10]

Doskové telesá postupne nahradzovali článkové telesá a dnes patria k najrozšírenejším typom vykurovacích telies. Doska telesa je tvorená dvomi prelisovanými plechmi (tvoriacimi kanáliky) zvarnými po obvode odporovo a bodovo v miestach styku medzi kanálíkmi. Vývoj doskových telies bol zameraný na vyrovnanie tepelného modulu tak, aby bol výkon na jednotku

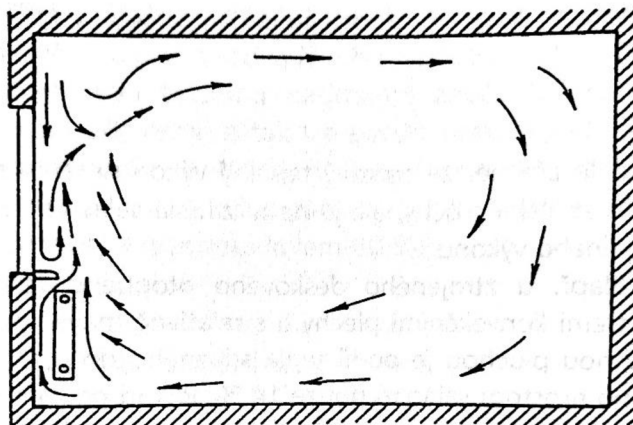
dĺžky porovnateľný s článkovými telesami. Umožnilo to použitie prídavných lisovaných plechov čím došlo k zvýšeniu teplozmennej plochy. Doskové telesá ponúkajú rozsiahlu škálu produktov v závislosti na rozmeroch a počte dosiek/prídavných plechov. Na základe počtu dosiek a prídavných plechov sa zaužívalo dvojčíselné označenie typu telesa. Prvé číslo označujúce počet dosiek, druhé počet prídavných plechov. Bežne vyrábané a dostupné sú typy 10, 11, 20, 21, 22, 33. [9]

Ponúka sa možnosť využiť telesá typu RADIK KLASIK-R, určené presne pre prípad náhrady starých článkových telies. KLASIK-R disponujú pripojovacou roztečou 500 mm, čím sú prispôbené na napojenie na pôvodné oceľové potrubné rozvody. V našom prípade však dôjde ku kompletnej výmene potrubných rozvodov, preto budú na základe tepelných strát jednotlivých miestností volené telesá typu RADIK KLASIK. [11]

Tab. 4.1 Zvolené vykurovacie telesá

Miestnosť	Celková tepelná strata	Vykurovacie teleso/-á	Výkon telesa	Celkový výkon	Pokrytie telesami
	Φ_{HL} [W]				
A.101	5301	6× 21 - 600/1000	878	5268	99
A.102	5012	6× 21 - 600/1000	878	5268	105
A.103	5015	6× 21 - 600/1000	878	5268	105
A.104	3333	4× 21 - 600/1000	878	3512	105
A.105	1917	2× 21 - 600/900	1029	2058	107
A.106	6914	8× 21 - 600/1000	941	7528	109
A.107	3071	2× 22 - 600/1400	1715	3430	112
A.108	788	2× 10 - 600/900	440	880	112
A.109	2074	2× 22 - 600/1000	1143	2286	110
A.110	1678	2× 11 - 600/1000	885	1770	105
A.111		-			
A.112	859	22 - 600/700	858	858	100
A.113	843	11 - 600/1200	824	824	98
A.114	641	11 - 600/1000	687	687	107
A.115		-			
A.116	133	10 - 600/400	166	166	125
A.117	645	22 - 600/700	688	688	107
A.201	6292	6× 22 - 600/1000	1143	6858	109
A.202	5944	6× 22 - 600/900	1029	6174	104
A.203	5933	6× 22 - 600/900	1029	6174	104
A.204	1870	2× 22 - 600/900	1029	2058	110
A.205	2063	2× 22 - 600/900	1029	2058	100
A.206	2231	2× 22 - 600/1000	1143	2286	102
A.207	6421	8× 21 - 600/900	847	6776	106
A.208	4977	4× 21 - 600/1400	1317	5268	106
A.209	1317	22 - 600/1200	1372	1372	104
A.210	3863	2× 33 - 700/1000	1847	3694	96
A.211	1409	2× 21 - 600/900	790	1580	112
A.212	2055	2× 22 - 600/900	1029	2058	100
A.213		-			

Zabezpečenie bezproblémového fungovania a pokrytia tepelných strát priamo súvisí s umiestnením telesa v miestnosti. Teleso by sa malo umiestňovať čo najbližšie k ochladzovaným plochám, ideálne pod okno a v jeho celej dĺžke. Eliminuje sa tak radiačný vplyv studených plôch a dochádza k miešaniu padajúceho studeného vzduchu s teplým stúpajúcim konvekčným prúdom (obr. 13). [1] [9]



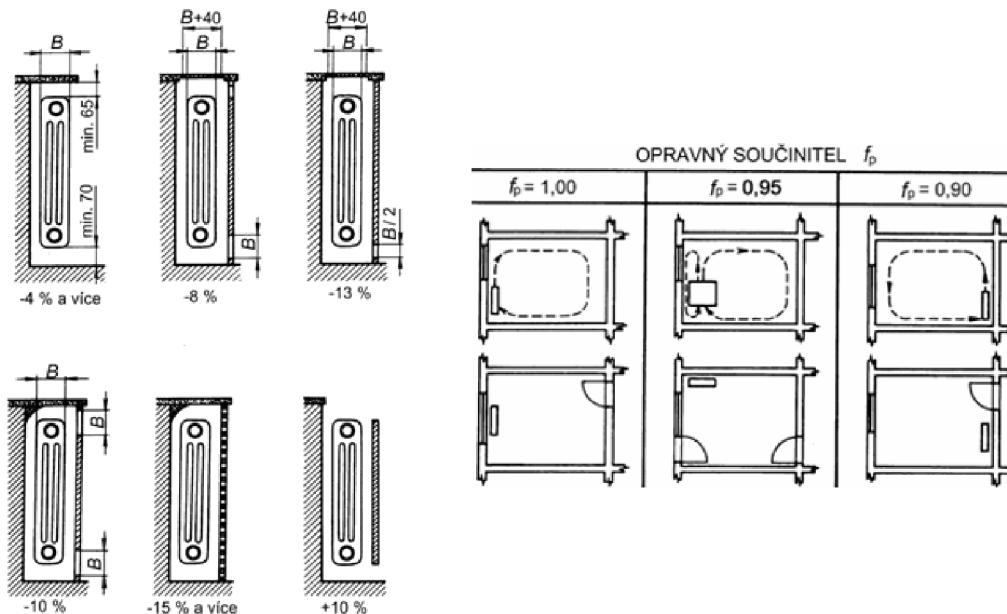
Obr. 13 Vektory prúdenia vzduchu vo vykurovanej miestnosti [9]

Zhoršenie podmienok prúdenia vzduchu okolo telesa, prípadne zabránením šíreniu radiačnej zložky vedie k zníženiu tepelného výkonu. Pri umiestňovaní telies by mali byť dodržiavané vzdialenosti od zadnej steny, podlahy prípadne od parapetu alebo zákrytu. V iných ako ideálnych prípadoch musíme tepelný výkon prepočítať pomocou opravných súčiniteľov podľa vzťahu

$$\dot{Q} = \dot{Q}_n \cdot \varphi_{\Delta t} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_o \cdot \varphi_n \cdot \varphi_p \quad [\text{W}] \quad (4.1)$$

kde	\dot{Q}_n	nominálny tepelný výkon [W]
	$\varphi_{\Delta t}$	opravný súčiniteľ na teplotný rozdiel [-]
	φ_x	opravný súčiniteľ na pripojenie telesa [-]
	φ_o	opravný súčiniteľ na úpravu okolia [-]
	φ_n	opravný súčiniteľ na počet článkov [-]
	φ_p	opravný súčiniteľ na umiestnenie telesa v priestore [-]. [12] [13]

Opravný súčiniteľ na teplotný rozdiel upravuje výsledný tepelný výkon pri použití telesa v iných podmienkach ako v katalógových tabuľkách. **Opravný súčiniteľ na pripojenie telesa** závisí na pripojení prírodného a spätného potrubia k samotnému telesu. Za ideálny stav je považované jednostranné pripojenie zhora – dole. **Opravný súčiniteľ na úpravu okolia** zohľadňuje použitie zákrytov (obr. 14a). Zakrytovanie telesa môže viesť k poklesu výkonu až o 15 %. **Opravný súčiniteľ na počet článkov** upravuje celkový výkon telesa v závislosti na zvýšení alebo znížení počtu článkov oproti počtu 10, pre ktoré sa stanovuje tepelný výkon. Pre menej ako 10 článkov výkon narastá, pre viac klesá. **Opravný súčiniteľ na umiestnenie telesa v priestore** prispôbuje potrebný výkon telesa pri nie ideálnom umiestnení telesa v miestnosti (obr. 14b). Za ideálny stav je považované teleso umiestnené pod oknom. [13]



Obr. 14 a) Opravný súčiniteľ na úpravu okolia; b) opravný súčiniteľ na umiestnenie telesa v priestore

V projekte je uvažované ideálne umiestnenie doskových telies bez potreby zakrytovania s ideálnym pripojením, takže sa s opravnými súčinitel'mi nepočíta.

4.2 Dimenzovanie sústavy

Vykurovacie telesá budú správne fungovať ak budú zapojené v správne vyváženej a zregulovanej sústave. V takom prípade bude k telesám pritekať správne množstvo teplotnej látky a tie budú podávať projektovaný tepelný výkon. Dimenzovanie sústavy môžeme rozdeliť na dve časti. V prvej časti vypočítame tlakové straty a navrhujeme vhodné dimenzie potrubia. V druhej časti navrhujeme vhodné nastavenie regulačných prvkov sústavy. [9]

4.2.1 Hydraulický výpočet

Prúdením vody v potrubí dochádza k poklesu tlaku, spôsobeného trením (o steny potrubia) a stratami na miestnych odporoch (tvarovky potrubia, vstupy do vykurovacích telies a podobne). Hodnoty tlakových strát sa počítajú pre každý úsek potrubia³ samostatne. Sústava je projektovaná ako sústava s núteným obehom, čo znamená že "silu" (dynamický tlak) na prekonanie týchto strát dodá inštalované obehové čerpadlo. Vypočítanie tlakovej straty sústavy umožní voľbu vhodného čerpadla. Celkové tlakové straty získame ako súčet tlakových strát trením a miestnymi odporami. [9]

Tlakové straty trením vznikajú na priamych častiach vykurovacej sústavy, kde dochádza k poklesu energie trením vody o potrubné rozvody. Veľkosť tlakovej straty trením je závislá najmä na dĺžke úseku potrubia a získame ju zo vzťahu

$$\Delta p_{z,t} = R \cdot l \quad [\text{Pa}] \quad (4.2)$$

kde R merná tlaková strata trením [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$]

³ časť potrubia s konštantnou hodnotou prenášaného množstva média a rýchlosťou prúdenia

l *délka úseku potrubia [m].*

Mernú tlakovú stratu dostaneme ako

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (4.3)$$

kde λ *súčiniteľ trenia [-]*
 d_i *priemer potrubia [m]*
 w *rýchlosť prúdenia vody v potrubí [m.s⁻¹]*
 ρ *merná hustota vody [kg.m³].*

Rýchlosť prúdenia vody v potrubí získame postupným prepočtom z prenášaného výkonu v danom úseku

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t} \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.4)$$

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.5)$$

kde \dot{m} *hmotnostný prietok [kg.h⁻¹]*
 Q *tepelný výkon [W]*
 c_p *merná tepelná kapacita vody [J.kg⁻¹.K⁻¹]*
 Δt *teplotný spád*
 ρ *hustota prúdiacej kvapaliny [kg.m⁻³]*
 d_i *priemer potrubia [m].*

Súčiniteľ trenia v sebe zohľadňuje vlastnosti kvalitu vnútorného povrchu potrubia a vlastnosti média obsiahnuté v Reynoldsovom čísle Re, ktoré získame zo vzťahu

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu} \quad [-] \quad (4.4)$$

kde w *rýchlosť prúdenia vody v potrubí [m.s⁻¹]*
 d_i *priemer potrubia [m]*
 ν *kinematická viskozita [m².s⁻¹].*

V závislosti na veľkosti Reynoldsovho čísla určíme, o akú oblasť prúdenia sa jedná – laminárnu alebo turbulentnú. V oblasti tlakových strát trením v rozvodoch vykurovacej sústavy sa stretávame s turbulentným prúdením. Existuje množstvo vzťahov určených pre výpočet hodnoty súčiniteľa trenia. Pre bežné výpočty a hodnoty $Re > 4000$ sa odporúča White-Colebrookov vzťah [14]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda_0}} + \frac{k}{3,71 \cdot d_i} \right) \quad (4.5)$$

kde	λ	súčiniteľ trenia [-]
	Re	Reynoldsove číslo [-]
	λ_0	dosadzovaný súčiniteľ trenia [-]
	k	pomerná drsnosť potrubia [mm]
	d_i	priemer potrubia [m]

K úbytku tlaku dochádza aj u armatúr a tvarových kusov potrubia, ktoré sú účasťou daného úseku potrubia. **Miestne tlakové straty** sú popísané súčiniteľom miestneho odporu ζ (zeta), ktorý popisuje úbytok tlaku v mieste odporu. Z dôvodu závislosti na rôznych faktoroch sa stanovuje experimentálne pre jednotlivé odpory. Jeho hodnoty sa uvádzajú v najrôznejších tabuľkách vo forme pevnej hodnoty, prípadne v závislosti na prietoku, svetlosti potrubia alebo inej veličine. [9]

Veľkosť tlakovej straty je závislá na druhej mocnine rýchlosti prúdenia a vyjadruje sa vzťahom

$$\Delta p_{z,m} = \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad [Pa] \quad (4.6)$$

kde	ζ_i	súčiniteľ miestneho odporu [-]
	w	rýchlosť prúdenia v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]
	ρ	hustota [$kg \cdot m^{-3}$].

Návrh potrubných sietí sa bude riadiť metódou ekonomickej mernej tlakovej straty. Kontrolovaním vhodnej rýchlosti prúdenia z dôvodu zamedzenia rušivých zvukových javov získame dimenzie potrubia. Orientačné hodnoty mernej tlakovej straty R a rýchlosti prúdenia sú zvolené na základe odporúčaní [9] a uvedené v tabuľke 4.2.

Tab. 4.2 Hodnoty veličín pre metódu návrhu podľa ekonomickej mernej tlakovej straty

Potrubná sieť	Rýchlosť w [$m \cdot s^{-1}$]	Merná tlaková strata R [$Pa \cdot m^{-1}$]
Vnútri obytných budov pre prípojky k vykurovacím telesám a stúpacím potrubiam	0,3 – 0,7	60 – 100
Vnútri obytných budov pre horizontálne rozvodné potrubie v pivnici	0,8 – 1,5	110 - 200

4.2.2 Výpočet tlakových strát

Ukážkový výpočet tlakových strát bude prevedený na vykurovacom telese 106a na úsekoch od kombinovaného regulovača/zberača po teleso a späť v tabuľke 4.3. Tlakové straty pre ostatné vykurovacie telesá (spolu s nastavením regulačných armatúr podľa kapitol 4.2.3 a 4.2.4) sú zhrnuté a uvedené v prílohe číslo 2 tejto diplomovej práce.

Tab.4.3 Ukážka výpočtu tlakovej straty

Číslo úseku	Q	m	l	d	w	R	R*I		Z	R*I+Z
	[W]	[kg/h]	[m]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	-	[Pa]	[Pa]
3	86874	4982,022	25,2	50	0,719196	95,63281	2408,99	15,2	3852,423	6261,413
4	61286	3514,609	4,3	50	0,507363	50,89459	218,8467	6,3	794,6462	1013,493
6	941	53,96416	0,7	13	0,115239	20,39504	13,66468	5,4	35,13907	48,80375
6	941	53,96416	0,7	13	0,115239	20,39504	13,66468	2	13,01447	26,67915
4	61286	3514,609	4,3	50	0,507363	50,89459	218,8467	6,1	769,4193	988,2661
3	86874	4982,022	25,2	50	0,719196	95,63281	2408,99	10	2534,489	4943,479

Teleso 106a je najbližším telesom od rozdeľovača a preto u neho môžeme sledovať jednu z najnižších tlakových strát trením. Veľkosť miestnych tlakových strát sa značne odvíja od hodnoty súčiniteľa miestneho odporu, ktorého veľkosť môže byť častokrát problematické určiť na základe viacerých dostupných zdrojov s rozličnými hodnotami. Naskytá sa aj otázka, akým skutočným podielom miestne straty prispievajú do celkovej hodnoty tlakových strát. Napríklad v porovnaní s hodnotami tlakových strát, ktoré slúžia na doregulovanie vykurovacieho systému. Príspevky miestnych odporov sa v bežnom úseku potrubia (koleno, odbočka, vykurovacie teleso a pod.) pohybujú rádovo v desiatkach až stovkách pascalov, naproti tomu hodnoty tlakových strát regulovaných napríklad na termoregulačnom ventilu v tisíckach pascalov.

Hodnoty súčiniteľov miestnych odporov sa dajú nájsť v produktových listoch od výrobcov alebo vo všeobecných tabuľkách, kde sa častokrát vzťahujú k špecifickým rozmerom potrubia. Najzaujímavejším prípadom miestneho odporu je tvarovka potrubia T, v ktorej dochádza k rozdeleniu alebo spájaniu prúdov. Hodnota ζ_0 je v tom prípade závislá na pomere priemerov potrubia a pomere hmotnostných tokov potrubiami. Výpočet pre úseky 3 a 4 je vidieť na obrázku 15.

Najvyššiu tlakovú stratu vykazujú telesá v miestnosti 105 a to 20 505 kPa. Teleso bude osadené plne otvoreným termoregulačným ventilom a regulačným šróbením, čím sa dosiahne minimálny nárast tlakovej straty. Výsledná hodnota bude slúžiť ako referenčná hodnota, podľa ktorej bude prebiehať zregulovanie ostatných telies, ako je popísané v nasledujúcej kapitole 4.2.3.

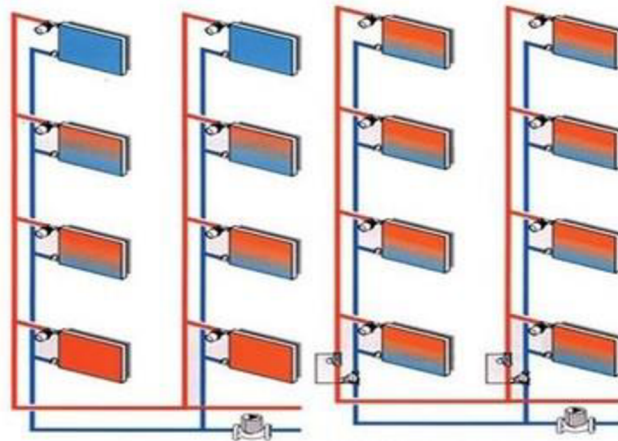
$d_s = 50 \text{ mm}$
 $d_o = 50 \text{ mm}$
 $M_s = 4982 \text{ kg/h}$
 $M_o = 3514,6 \text{ kg/h}$

d_o/d_s [-]	M_o/M_s [-]									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,90	66,5	17,3	8,2	5,0	3,5	2,7	2,3	1,9	1,7	1,6
0,80	41,9	11,1	5,5	3,5	2,5	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3
0,71	26,3	7,3	3,7	2,5	1,9	1,6	1,4	1,3		1,2
0,63	16,7	4,8	2,7	1,9	1,5	1,3	1,2		1,1	
0,56	10,7	3,4	2,0	1,5	1,3	1,2		1,1		1,0
0,50	7,2	2,5	1,6	1,3	1,2	1,1			1,0	
0,45	5,0	1,9	1,4	1,2	1,1			1,0		0,9
0,40	3,5	1,5	1,2	1,1		1,0			0,9	
0,36	2,3	1,3	1,1		1,0				0,9	
0,32	1,9	1,2		1,0					0,9	

Obr. 15 Výpočet miestnej tlakovej straty T-kusu [15]

4.2.3 Zregulovanie

Správne a efektívne hydraulické vyváženie vykurovacej sústavy je nevyhnutným krokom pre jej správne fungovanie. Snahou je dosiahnuť rovnakú tlakovú stratu na trase cez všetky vykurovacie telesá. Voda sa vždy bude snažiť v potrubnej sieti tiecť cestou najmenšieho odporu. Hydraulickým vyvážením sústavy zaistíme správny prietok vody k jednotlivým telesám. Zanedbanie zregulovania sústavy môže viesť k nerovnomernému rozvodu tepla - zvýšeniu (zníženiu) prietoku vody čo sa prejaví na prekurovaní (nedokurovaní) miestnosti (obr. 16). Zároveň dochádza k vystavovaniu ventilov a iných armatúr podmienkam, na ktoré nie sú navrhované. [16]



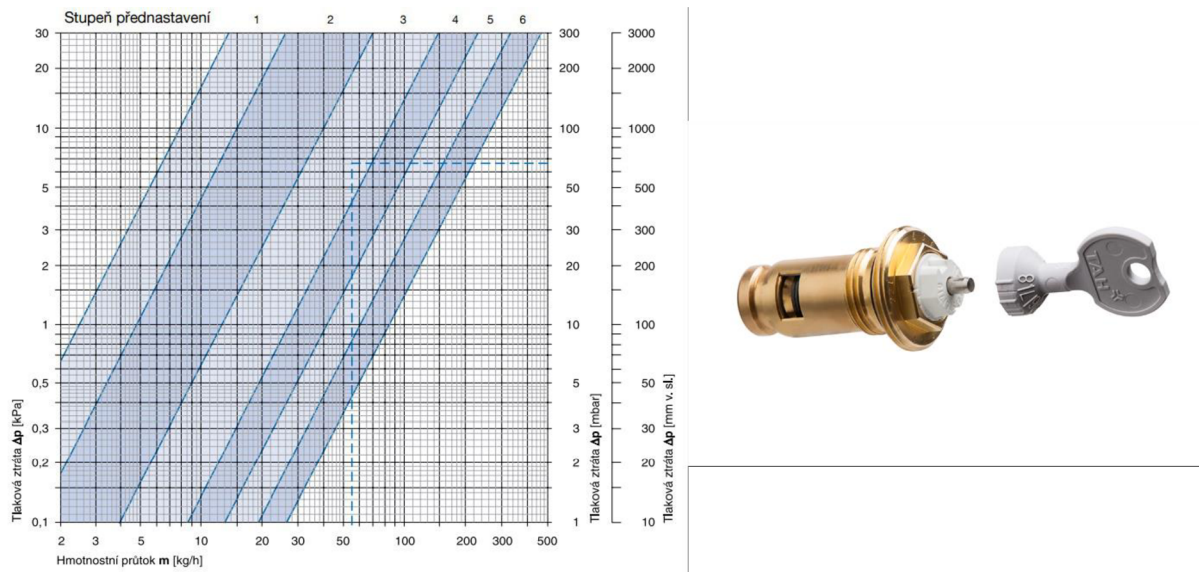
Obr. 16 Dôsledok zlej regulácie vykurovacej sústavy [17]

Nesprávne vyváženie vykurovacej sústavy sa môže prejavíť najrôznejšími spôsobmi, ako napríklad:

- rozdielne teploty v miestnostiach pri rovnakom nastavení termostatických hlavíc
- nerovnomerné rozloženie teploty po dĺžke vykurovacieho telesa
- neklesajúci teplotný spád po výške vykurovacieho telesa
- rušivé akustické vnemy (pískanie, hučanie...). [17]

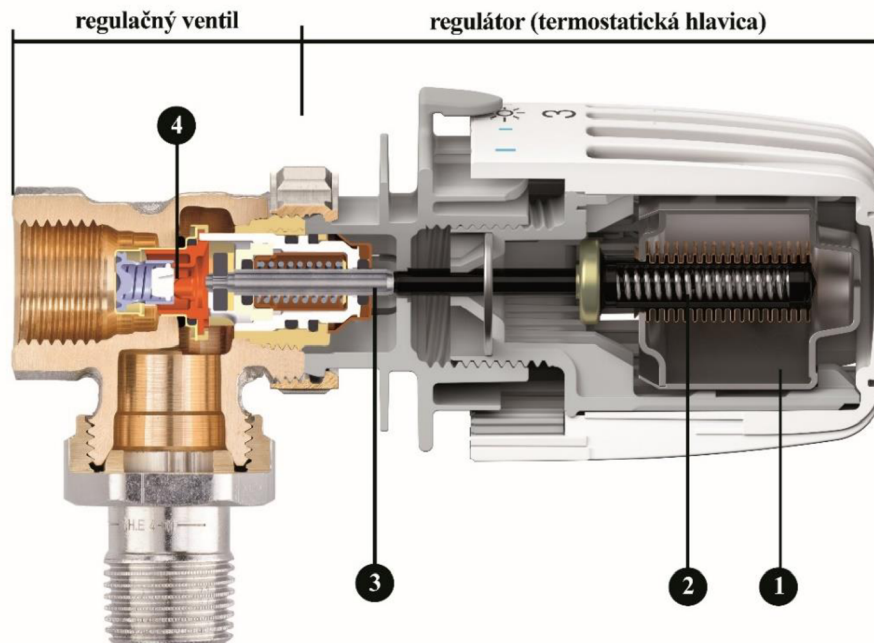
Najbežnejším spôsobom regulácie a vyváženia vykurovacej sústavy je vyváženie pomocou osadenia a prednastavenia termostatických regulačných ventilov (ďalej len TRV) osadených termostatickou hlavicom. Na vykurovacie teleso s najvyššou tlakovou stratou vypočítanou podľa kapitoly 4.2.1 sa osadí plne otvorený TRV (stupeň 6), čím tlakovú stratu zvýšime o minimálne možnú hodnotu. Na zvyšných telesách sa podľa hmotnostného prietoku a potrebnej tlakovej diferencie z diagramu (obr. 17a) volí správne prednastavenie TRV (obr. 17b). Podľa odporúčaní [9] však nie je vhodné voliť nízke stupne prednastavenia TRV. Dochádza k zmenšeniu pásma proporcionality a miesto plynulej regulácie bude TRV kmitať zo stavu otvorenia do stavu zatvorenia, na čo nie je primárne konštruovaný. Dôsledok sa môže prejavíť vo forme nechcených hlukových javov. Ako východisko z takejto situácie sa používajú regulačné šróbenia na spätočnom potrubí, ktorého použitie je v ČR povinné na základe vyhlášky 151/2001 Sb.⁴ (totožná vyhláška, v ktorej je taktiež zakotvená povinnosť používať TRV). Poskytnú určitú časť tlakovej straty a TRV je tak možné prednastaviť na vyšší stupeň.

⁴ Z § 5, odst. 1 vyhlášky 151/2001 Sb.: Každé vykurovacie teleso sa opatrí ventilom s uzatváracou a regulačnou schopnosťou (TRV) s regulátorom (termostatická hlavica) pre zaistenie miestnej regulácie a u dvojbodového napojenia okrem jednotrubkových vykurovacích sústav tiež regulačným šróbením.



Obr. 17 a) Diagram tlakovej straty TRV; b) prednastavenie TRV [18][19]

Termostatický regulačný ventil (obr.18) funguje ako priamy proporcionálny regulátor. Reguluje teda bez dodávky pomocnej energie a rýchlosť regulácia prebieha na základe rozdielu teploty nastavenej a teploty vzduchu v miestnosti. TRV zohľadňuje prevádzku vykurovacieho systému hlavne zohľadňovaním tepelných ziskov vnútorných (spotrebiče, varenie, ľudská činnosť), ale aj vonkajších (najmä slnečné žiarenie), ktoré sa do navrhovania vykurovacej sústavy zaraďujú veľmi zložito na základe ich nepravidelnosti a nepredvídateľnosti. Tým zabráňuje zbytočnému prekurvaniu a plytvaniu teplom. S odvolaním sa na zdroj [20] ušetríme 6,5 % nákladov na vykurovanie, udržaním teploty vzduchu nižšej o 1 °C. [9] [20]



Obr. 18 TRV v reze

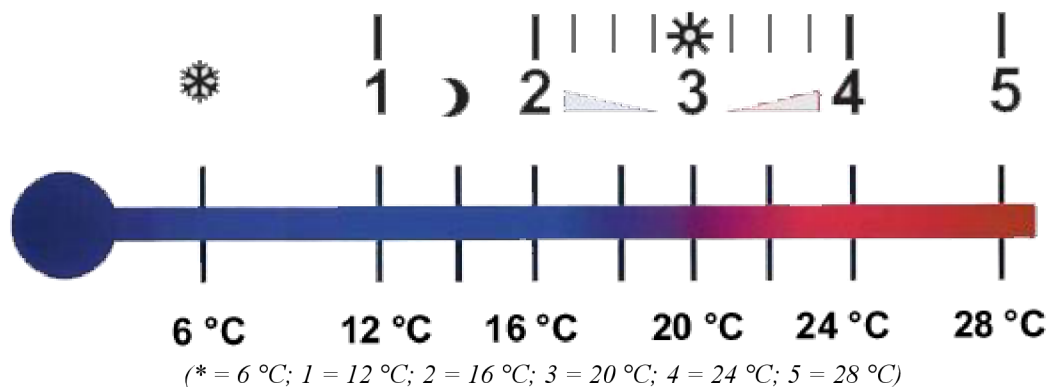
(1 – kvapalinou plnené čidlo; 2 - vlnovec; 3 – vreteno ventilu ; 4 – sedlo ventilu) [21]

Skladá sa z dvoch základných častí: regulačný ventil a regulátor (termostatická hlavica), ktoré medzi sebou spolupracujú. Pôsobením teploty vzduchu v miestnosti dôjde k zohriatiu hlavice ventilu, ktorá začne tlačiť na ventilovú časť, čím ju uzatvára podľa potreby.

Zmenšováním prierezu ventilu nastáva zníženie množstva vody pritekajúcej do radiátora a tým pádom zníženie dodávaného tepla do miestnosti. Pre správne fungovanie TRV musí byť hlavica umiestnená vo vodorovnej polohe a musí byť zabezpečené dostatočné prúdenie okolitého vzduchu okolo hlavice ventilu, aby nedochádzalo k skresľovaniu skutočnej hodnoty teploty vzduchu. [9] [22]

Rozsah regulácie teploty v miestnosti je podľa viacerých výrobcov odporúčaný v rozmedzí 0,5 – 2 K. Pri nižších hodnotách klesá schopnosť TRV plynulo regulovať (dochádza k pomerne rýchlemu kmitaniu len medzi dvomi polohami a mechanickému opotrebovaniu), a pri vyšších hodnotách klesá efektívnosť prevádzky. Požadovanú hodnotu teploty vzduchu v miestnosti volíme pomocou číselnej stupnice na hlavici TRV (obr. 19). V rámci manuálnej regulácie sa obecné odporúča regulovať v menšom rozmedzí. V rozmedzí od 2,5 do 3,5 sa pohybujeme na teplotách približne 18 - 22 °C, ktoré by mali spĺňať požiadavky na tepelnú pohodu v miestnosti. Nárazové uzatváranie a otváranie TRV do krajných polôh sa prejavujú skôr zvýšenou spotrebou tepla ako úsporami na prevádzke.[9] [23]

Obr. 19 Stupnica TRV s odpovedajúcimi teplotami vdychu v miestnosti.[24]



4.2.4 Nastavenie regulačných členov

Najvyššiu tlakovú stratu trením a miestnymi odpormi o hodnote 20 505 Pa vykazujú pred zregulovaním telesá v miestnosti č. 105. Osadením plne otvorených armatúr zvyšujeme túto hodnotu na 21 505 Pa (TRV – 800 Pa, RŠ – 200 Pa). Zvyšné telesá sú zregulované na hodnoty 20 871 – 21 830 Pa, čo by v rámci presnosti celkovej regulácie malo zabezpečiť rovnomerný rozvod vody po celej vykurovacej sústave. Mierne navýšené tlakové straty niektorých telies môžu vyvolať zníženie prietoku vody do telesa a tým pádom vyvolať zníženie tepelného výkonu. Na funkčnosť sústavy to však nebude mať veľký vplyv, nakoľko počas vykurovacej sezóny pracuje sústava v maximálnom projektovanom zaťažení minimálnu dobu v závislosti na klimatických podmienkach.

Zregulovanie jednotlivých telies a nastavenie armatúr je súčasťou prílohy 2 tejto diplomovej práce.

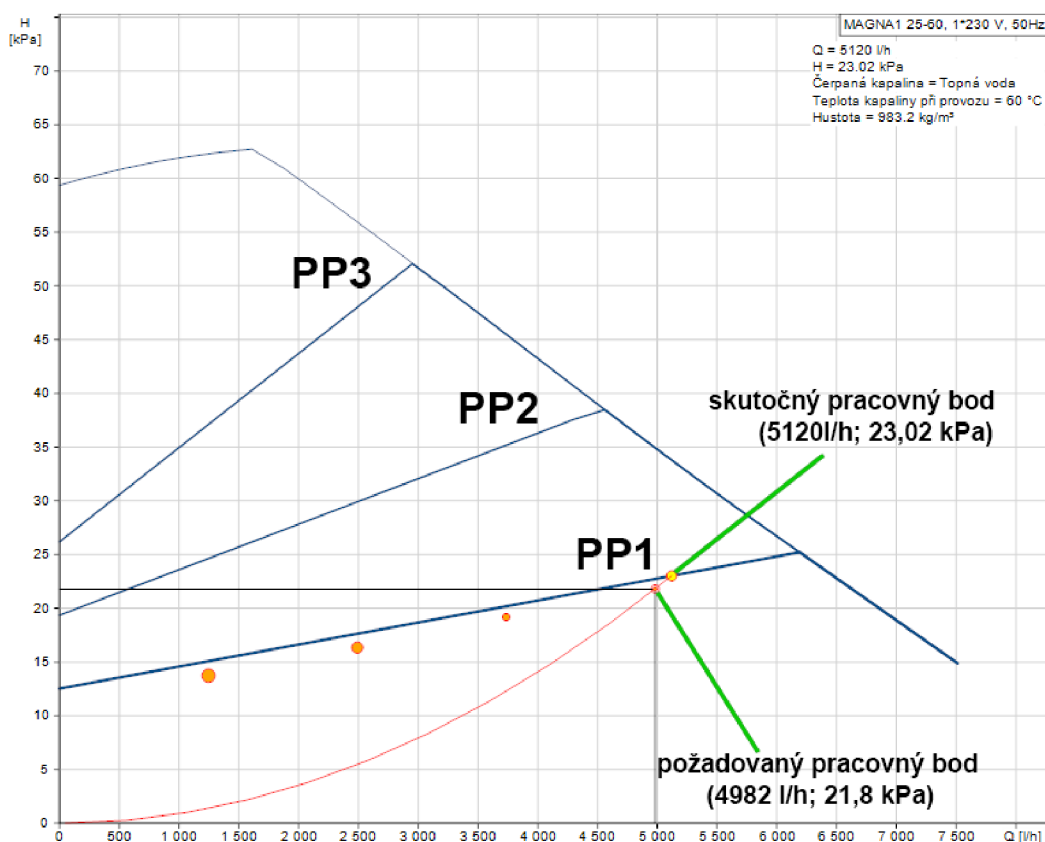
4.3 Čerpadlo

Voľbou vhodného obehového čerpadla zabezpečíme prekonanie tlakových strát a rovnomerné rozvádzanie teplotnej vody v celom systéme. Pre vykurovací okruh budovy A požadujeme dodávku vody 4 982 l/h pri prekonávaní tlakovej straty 21,8 kPa, ktorá odpovedá dopravnej výške čerpadla približne 2,2 m. Tieto parametre slúžia ako vstupné údaje pre voľbu vhodného čerpadla, ktoré je možné zvoliť pomocou online kalkulačky výrobcu Grundfos.

Ako najvhodnejšiu variantu nám systém ponúka obehové čerpadlo MAGNA1 25-60 (obr. 20) s pracovným bodom 5 120 l/h pri tlaku 23,02 kPa (obr. 21). Čerpadlo ponúka celkovo 9 kriviek prevádzky z čoho 3 krivky pre prevádzku podľa proporcionálneho tlaku. Z výroby je čerpadlo prednastavené na krivku PP2 (2. krivka prevádzky podľa proporcionálneho tlaku). Pri inštalácii pre naše podmienky je vyhovujúcou krivka PP1.



Obr. 20 Obehové čerpadlo MAGNA1 25-60 [25]



Obr. 21 Charakteristika čerpadla [25]

4.4 Izolácia potrubia

Princíp tepelných strát a súčiniteľu prechodu tepla (kapitola 3.2) sa s určitými obmenami aplikuje aj na samotné potrubné rozvody na základe rovnakých požiadaviek – ušetrenie tepelnej energie obsiahnutej v zohriatej vode.

Vychádzajúc z tabuľky 3.4 tepelný odpor potrubia pri vedení a prúdení sa počíta podľa vzťahov

$$R_{\lambda} = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad [m \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (4.7)$$

kde λ súčiniteľ tepelnej vodivosti [$Wm^{-1}K^{-1}$]
 r_1, r_2 vnútorný a vonkajší polomer valcovej vrstvy [m]

$$R_{\alpha} = \frac{1}{2\pi r \alpha} \quad [m \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (4.8)$$

kde r polomer valcovej vrstvy [m]
 α súčiniteľ prestupu tepla [$Wm^{-1}K^{-1}$].


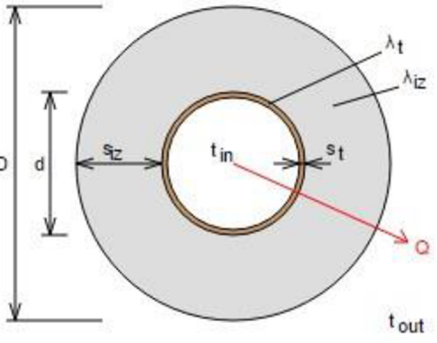
Následne sme z vypočítaných hodnôt a podľa vzťahu 3.2 schopný určiť súčiniteľ prechodu tepla.

Povinnosť použitia tepelnej izolácie na rozvodoch vykurovania stanovuje vyhláška č. 193/2007 Sb., ktorá hovorí, že izolované musia byť všetky rozvody s médiom o teplote 40 °C a viac, ktoré prechádzajú inak netemperovaným priestorom a nie sú určené k temperovaniu teploty tohto priestoru. V prípadoch, kedy nie je možné zaistiť pokles teploty pod kondenzačnú v dochladzovačoch, odpadá povinnosť izolovať kondenzačné potrubia. Vyhláška taktiež priamo upravuje hodnoty súčiniteľa prechodu tepla v závislosti na svetlosti potrubia (tab. 4.4). Pre vnútorné rozvody je maximálna dovolená hodnota $U_{max} = 0,4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Zaizolovaním potrubia predchádzame nadmerným poklesom teplôt teplotonosnej látky a znižujeme povrchovú teplotu potrubia na základe bezpečnostných požiadaviek (ochrana zdravia, bezpečnosť pri práci, protipožiarne opatrenia). Vo vlhkých prostrediach sa izolácia musí chrániť voči okolitým vplyvom vlhkosti. [26] [27]

Tab. 4.4 Predpísané hodnoty súčiniteľa prechodu tepla izolácie potrubia podľa vyhlášky č. 193/2007 Sb [28]

DN [mm]	U [$Wm^{-1}K^{-1}$]
10-15	0,15
20-32	0,18
40-65	0,27
80-125	0,34
150-200	0,40

Výpočty izolácií hlavných suterénnych rozvodov boli vykonané pomocou online kalkulačky pre výpočet tepelných izolácií potrubí na internetovom portáli www.tzb-info.cz (obr. 22) a sú uvedené v prílohe číslo 3 tejto diplomovej práce. Pre potrubia o dimenzii 64×2 a 54×2 vyhovuje izolácia typu Rockwool Flexorock o hrúbke 40 mm a pre potrubie 42×1,5 totožná izolácia s hrúbkou 25 mm. Zavedením izolácie klesnú tepelné straty hlavných rozvodných potrubí o vyše 80 %.

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK</p> <p>Rozměry izolace - tl. 25</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 25$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0.037$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Měď</p> <p>Rozměry trubky - 42x1.5</p> <p>Průměr $d = 42$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 1.5$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 372$ W / m K</p>	
 <p>$D = d + 2 s_{iz} = 92$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 65$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 5$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $rh = 65$ % ???</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = -0.9$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 => $U_{o,193/2007} = 0.27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_o = 0.268 \leq 0.27$ W / m K => VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 10.6$ °C > t_w => na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 79.2$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 16.1$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>80 %</p>
<p>Střední spotřeba izolace</p>	<p>0.2105 m² - platí pro plošnou izolaci</p>

Obr. 22 Výpočet tepelné izolace potrubia Cu 42×1,5 [28]

5 ZDROJ TEPLA

Areál gymnázia je napojený na centrálné zásobovanie teplom (CZT), ktorého sprostredkovateľom je od 1. 1. 2013 spoločnosť Dalkia Kolín a. s. S príchodom do mesta sa zaviazla zmodernizovať systém CZT. Z výroby a rozvodu pary sa prešlo na priamy ohrev vody. Rekonštruované boli stávajúce rozvody CZT spolu s plynovými kotolňami. Taktiež bola postavená nová kotolňa na biomasu. Dalkia pomocou CZT ročne dodáva 80 TJ tepla pre domácnosti, zdravotnícke zariadenia a budovám občianskeho vybavenia. Ohrev vody pre vykurovacie sústavy prebieha v odovzdávacích staniciach v mieste odberu. [29]

5.1 Odovzdávacia stanica TENZA AQHP

Zdrojom tepla pre celý areál ostávajú 2 pôvodné kompaktné odovzdávacie stanice TENZA AQHP typu voda-voda vhodné pre podmienky až do 140 °C a 2,5 MPa, umiestnené v suterénoch budov B (vykurovací okruh budovy B) a E (vykurovacie okruhy budov A, C, D a E). Schéma odovzdávacej stanice je vyobrazená na obrázku 23.

Prívod **primárneho okruhu** do odovzdávacej stanice je cez uzatvárateľnú armatúru a filter pevných nečistôt. Ďalej pokračuje cez regulačný ventil (ekvitermná regulácia teploty) do doskového výmenníka, kde dochádza k odovzdávaniu tepla do vykurovacej sústavy. Návrat média do systému CZT prebieha cez merač tepla, spätnú klapku, regulátor diferenčného tlaku a uzatvárateľnú armatúru. [30]

Sekundárny okruh sa zahrieva v doskovom výmenníku na nami požadovanú teplotu (maximálne však 80 °C). Teplonosné médium opúšťa odovzdávaciu stanicu cez uzatvárateľnú armatúru a gumový kompenzátor poháňané obehovým čerpadlom s elektronickým riadením otáčok. Ochrana pred pretlakom je zabezpečená poistným ventilom osadeným na výstupe z doskového výmenníku. Vratné potrubie sekundárneho média je osadené uzatvárateľnou armatúrou, gumovým kompenzátorom a filtrom. [30]

Doplňovanie stanice sa realizuje odberom z vratného potrubia primárneho okruhu cez sústavu armatúr: filter, solenoidový ventil, vodomer a spätná klapka. Zmena objemu vody v sekundárnom okruhu je kompenzovaná v expanznej nádobe s vakom. Vetvy sú osadené meračmi tlakov a teplôt.

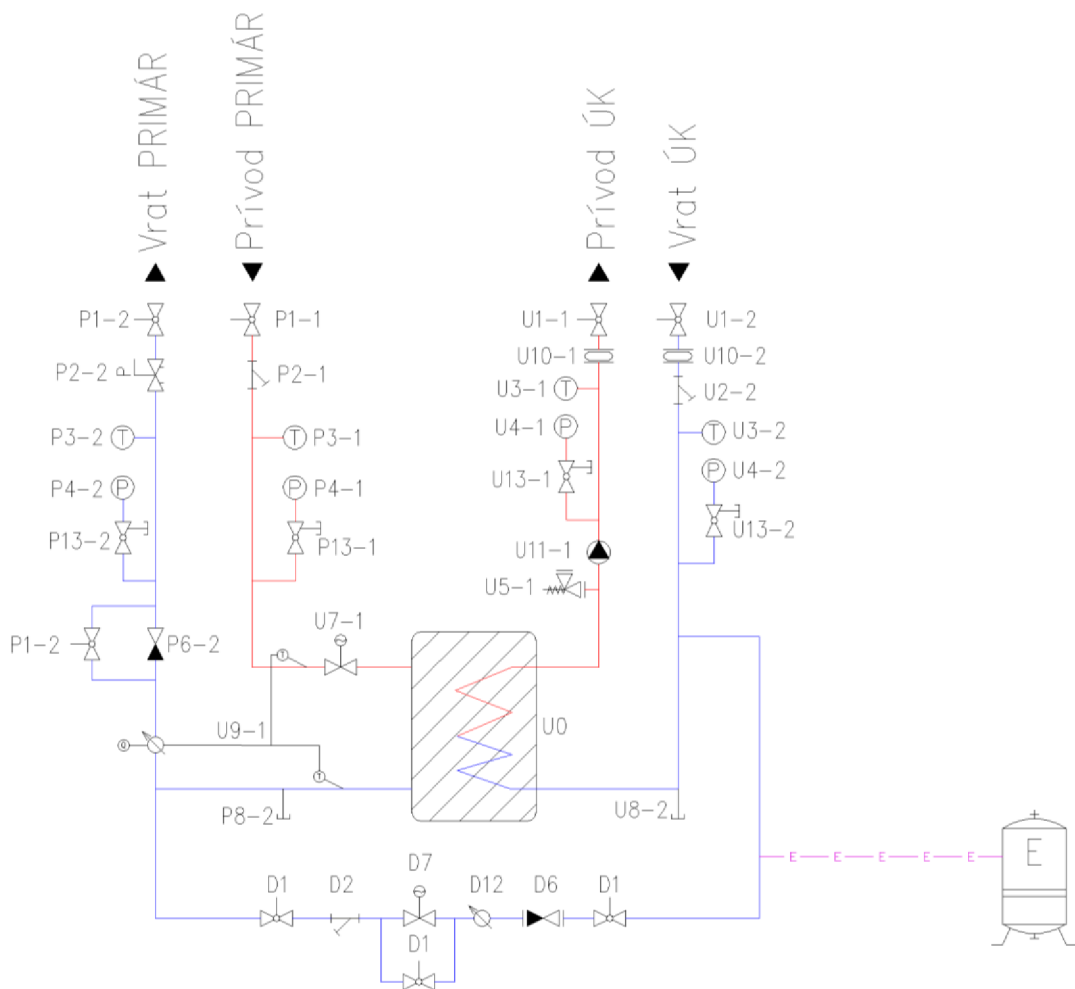
Pre topné okruhy v budovách A, C, D a E je inštalovaná odovzdávacia stanica o výkone 170 kW, ktorý pokrýva potreby spomínaných budov. Primárny okruh pracuje s teplotným spádom 100/55 °C a okruh ústredného vykurovania so spádom 65/50 °C. Odovzdávacia stanica je cez hydraulický vyrovnávač dynamických tlakov napojená na kombinovaný šesťcestný zberač/rozdelovač pre jednotlivé vetvy systému.

LEGENDA

P.....Primár
 U.....Ústredné vykurovanie
 D.....Dopúšťanie

X-1.....Teplé médium
 X-2.....Chaldné médium

- 0 Doskový výmenník
- 1 Gulový kohút
- 2 Filter
- 3 Teplomer
- 4 Tlakomer
- 5 Poistný ventil
- 6 Spätná klapka
- 7 Regulačný ventil
- 8 Vypúšťací ventil
- 9 Merač tepla
- 10 Kompenzátor
- 11 Čerpadlo
- 12 Vodomer
- 13 Gulový kohút s odvodnením



Obr. 23 Schéma odovzdávacej stanice TENZA AŇHP

5.2 Poistné prvky

Uzavretá expanzná nádoba typu Reflex NG 140/6 a poistný ventil DUCO 1/2"×3/4" s otváracím tlakom 5,5 bar sú súčasťou stávajúcej odovzdávacej stanice. V nasledujúcich kapitolách si uvedieme výpočet týchto poistných prvkov vykurovacej sústavy a overíme tak ich vhodnosť, prípadne navrhujeme vhodnú náhradu.

5.2.1 Expanzná nádoba [9] [31] [32]

Je to zariadenie slúžiace na elimináciu objemovej rozťažnosti teplotnosnej látky v sústave. Návrh je potrebný previesť tak, aby pri zmene teploty vody na maximálnu možnú, nevyvolal taký nárast tlaku v sústave, žeby do prevádzky museli byť uvedené zariadenia na obmedzenie tlaku a poistné ventily. Expanzná nádoba sa odporúča zapájať na spätné potrubie kvôli nižšej teplote pôsobiacej na jej membránu. Vo väčšine prípadov má expanzná nádoba červenú farbu.

Pre výpočet tlakovej expanznej nádoby je potrebné poznať niekoľko hodnôt:

- vodný objem vykurovacej sústavy (tab. 5.1)
- maximálna prevádzková teplota sústavy
- maximálny prevádzkový tlak (tlak otvorenia poistného ventilu)
- maximálne prevýšenie vykurovacej sústavy
- minimálny dovolený tlak

Tab. 5.1 Vodný objem vykurovacej sústavy

Množstvo vody v sústave			
	Rozmer	Dĺžka	Objem vody [l]
Potrubie	DN15	745	98,89
Potrubie	DN18	197,31	34,87
Potrubie	DN20	292,79	91,98
Potrubie	DN28	173,64	85,24
Potrubie	DN35	104,93	84,39
Potrubie	DN42	49,1	58,65
Potrubie	DN54	29,49	57,90
Potrubie	DN64	2	5,65
Teleso 10	H=600	15,70	48,67
Teleso 11	H=600	33,50	103,85
Teleso 21	H=600	58,20	337,56
Teleso 22	H=600	59,20	343,36
Teleso 33	H=600	2,00	17,40
			1368,41

Minimálny prevádzkový tlak určíme z hydrostatického tlak sústavy zvýšeného o 0,2 násobok jeho hodnoty:

$$p_a = 1,2(h \cdot \rho \cdot g) \text{ [Pa]} \quad (5.1)$$

- kde:
- p_a minimálny dovolený tlak sústavy [Pa]
 - h maximálne prevýšenie vykurovacej sústavy [m]
 - ρ hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 - g gravitačné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Súčiniteľ zväčšenia objemu vody n je určený na základe maximálnej prevádzkovej teploty z grafu, prípadne z tabuľky 5.2 uvedenej v zdroji [31].

Tab. 5.2 Určenie súčiniteľa zväčšenia objemu vody [31]

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

Výpočet **objemu expanznej nádoby** (tab. 5.3) podlieha vzťahu

$$V_e = 1,3 \cdot V_v \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \text{ [l]} \quad (5.2)$$

<i>kde</i>	V_e	<i>expanzný objem [l]</i>
	V_v	<i>vodný objem sústavy [l]</i>
	n	<i>súčiniteľ zväčšenia objemu vody [-]</i>
	η	<i>stupeň využitia expanznej nádoby [-]</i>

Stupeň využitia expanznej nádoby získame z pomeru rozdielu maximálneho a minimálneho tlaku sústavy k maximálnemu pretlaku:

$$\eta = \frac{p_h - p_d}{p_h} \text{ [-]} \quad (5.3)$$

<i>kde</i>	p_h	<i>najvyšší dovolený pretlak (tlak otvorenia poistného ventilu) [Pa]</i>
	p_d	<i>najnižší dovolený tlak [Pa]</i>

Do vzorcov dosádzame v absolútnych tlakoch (pretlak + barometrický tlak). Dostaneme sa tak k zaokrúhleným hodnotám $p_h = 450$ kPa a $p_d = 200$ kPa. Veľkosť expanznej nádoby potom je:

$$V_e = 1,3 \cdot 1368,41 \cdot 0,01949 \cdot \frac{1}{0,55}$$

$$V_e = 63,2 \text{ l}$$

Súčasne inštalovaná expanzná nádoba Reflex NG 140/6 (140 l) teda dostatočne pokrýva požiadavky na inštalované expanzné zariadenie.

Tab. 5.3 Výpočet expanznej nádoby

Výpočet objemu expanznej nádoby			
Hustota vody	ρ	1000	kg/m ³
Maximálna výška otopnej sústavy	h	8,70	m
Najnižší dovolený pretlak	p_d	102416,40	Pa
Najvyšší dovolený pretlak	p_h	350000	Pa
Barometrický tlak	p_b	101325	Pa
Koeficient využitia exp. nádoby	η	0,55	-
Súčiniteľ zväčšenia objemu pre $t_{max}=65^\circ\text{C}$	n	0,01949	-
Expanzný objem	V_e	63,20	l

5.2.2 Poistný ventil [9] [33]

Poistný ventil (PV) slúži ako zábrana proti prekročeniu maximálneho prevádzkového tlaku. Býva súčasťou zdroja tepla od výrobcu, prípadne je ho projektant povinný navrhnuť čo najbližšie k zdroju tepla. Návrh poistného ventilu závisí od poistoňovaného tepelného výkonu a od veľkosti otváracieho tlaku.

Požadovaný minimálny prierez sedla ventilu môžeme určiť zo vzťahu

$$S_{0,min} = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_w \cdot \sqrt{p_{otv}}} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (5.4)$$

kde Q_p poistoňovaný tepelný výkon [kW]
 α_w výtokový súčiniteľ
 p_{otv} otvárací tlak poistného ventilu.

Inštalovaný poistný ventil DUCO 5,5 bar; 1/2"×3/4" s prierezom sedla 113 mm² plne vyhovuje požiadavkám na poistný ventil.

Dimenzie potrubia PV sa navrhuje podľa vzťahu

$$d_v = 10 + 0,6 \sqrt{Q_p} \text{ [mm]} \quad (5.5)$$

a to tak, aby tlaková strata pripojovacieho potrubia nepresiahla 3 % a tlaková strata odľukového potrubia 10 % z otváracieho tlaku PV (tab. 5.4). Podľa vzťahu 5.5 vyhovujúce je potrubie DN20 s vnútorným priemerom 18 mm.

Tab. 5.4 Návrh poistného ventilu

Poistný ventil			
Poistoňovaný tepelný výkon	Q_p	170	kW
Inštalovaný ventil 1/2" x 3/4" DUCO			
Vypúšťací súčiniteľ	α_w	0,444	-
Prierez sedla	S_0	113	mm ²
Najmenší prietokový prierez	S_{0min}	40,93	mm ²
Vnútorný priemer	d_v	17,82	mm

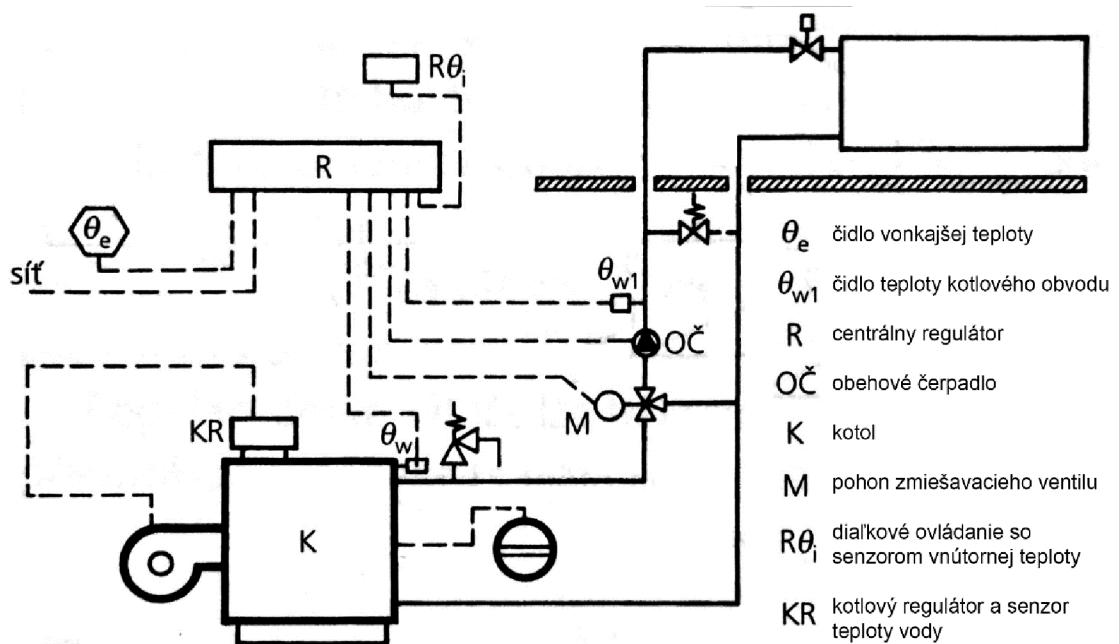
6 MERANIE A REGULÁCIA

Meteorologické podmienky sú počas vykurovacieho obdobia pomerne premenlivé, s čím je spojené aj kolísanie vonkajšej teploty. Vonkajšia teplota ako jeden z hlavných vstupných parametrov tak ovplyvňuje požadovaný tepelný výkon dodávaný vykurovacími telesami na pokrytie tepelných strát a zaistenie tepelnej pohody. Hlavne keď sa jedná o reguláciu podľa vonkajšej teploty vzduchu – ekvitermnú reguláciu, ako je tomu v našom prípade.

6.1 Ekvitermná regulácia [34] [35] [36]

V objektoch s ekvitermnou reguláciou (obr. 24) sa stretávame s nepriamou úmerou medzi vonkajšou teplotou a požiadavkami na dodávku tepla – klesajúca teplota vzduchu vyvoláva nárast teploty vykurovacieho média dodávaného do vykurovacích plôch. Túto závislosť popisuje tzv. vykurovacia krivka (ekvitermná krivka), ktorej presný tvar a jej správne nastavenie sú dôležitými faktormi efektivity regulácie podľa vonkajšej teploty vzduchu.

Inštalovaný senzor na severnej fasáde budovy je cez regulátor vykurovania prepojený s jednotlivými okruhmi sústavy (obr. 25). Na základe pokynov regulátora je využívaný zmiešavací ventil a dochádza tak ku zmene teploty teplonosnej vody podľa potreby. Zdroj tepla tak môže pracovať s konštantnou teplotou. Zvolená ekvitermná krivka, ktorou sa riadi regulátor vyhovuje len pre danú požadovanú teplotu v miestnosti a v závislosti na podmienkach sa posúva alebo mení jej sklon.



Obr. 24 Schéma zapojenia ekvitermickej regulácie [9]

Pre potreby regulácie teploty vytvoríme v kapitole 6.2 sústavu ekvitermickej kriviek (obr. 26) v závislosti na teplote vykurovacej vody, miestnosti a vonkajšej teploty. Pri požadovanej zmene teploty v miestnosti stačí zvoliť novú krivku, ktorá je paralelne posunutou kópiou pôvodnej krivky. Regulácia vykurovacej sústavy v takomto návrhu ovplyvňuje výlučne teplotu vody v potrubí privodnom. Teplota vody v spätočnom médiu je závislá jedine na pracovných podmienkach. Koncové prvky je potreba miestne regulovať prostredníctvom TRV.

Problémom ekvitermickej regulácie býva nezohľadňovanie skutočnej teploty v miestnosti. Nedostatky sa môžu prejaviť v prechodových obdobiach. Napríklad počas teplého jarného dňa, kedy je vonku vyššia teplota, ale budova v sebe nemá žiadne naakumulované teplo

môže dochádzať k nedokurovaniu. Počas slnečných jesenných dní môže nastať jav opačný – prekurovanie objektu. Aj v takýchto príkladoch dochádza v miestnosti z hľadiska vykurovania k tepelným ziskom – vnútorným alebo vonkajším. Regulačný obvod môžeme doplniť o snímač vnútornej teploty v referenčnej miestnosti (hlavne pri rozľahlejších objektoch sa objavuje problém zvoliť vhodnú referenčnú miestnosť). Získame tak ekvitermickú reguláciu so spätnou väzbou, respektíve s korekciou na vnútornú teplotu. Krátkodobá úprava teploty v miestnosti podlieha vzťahu

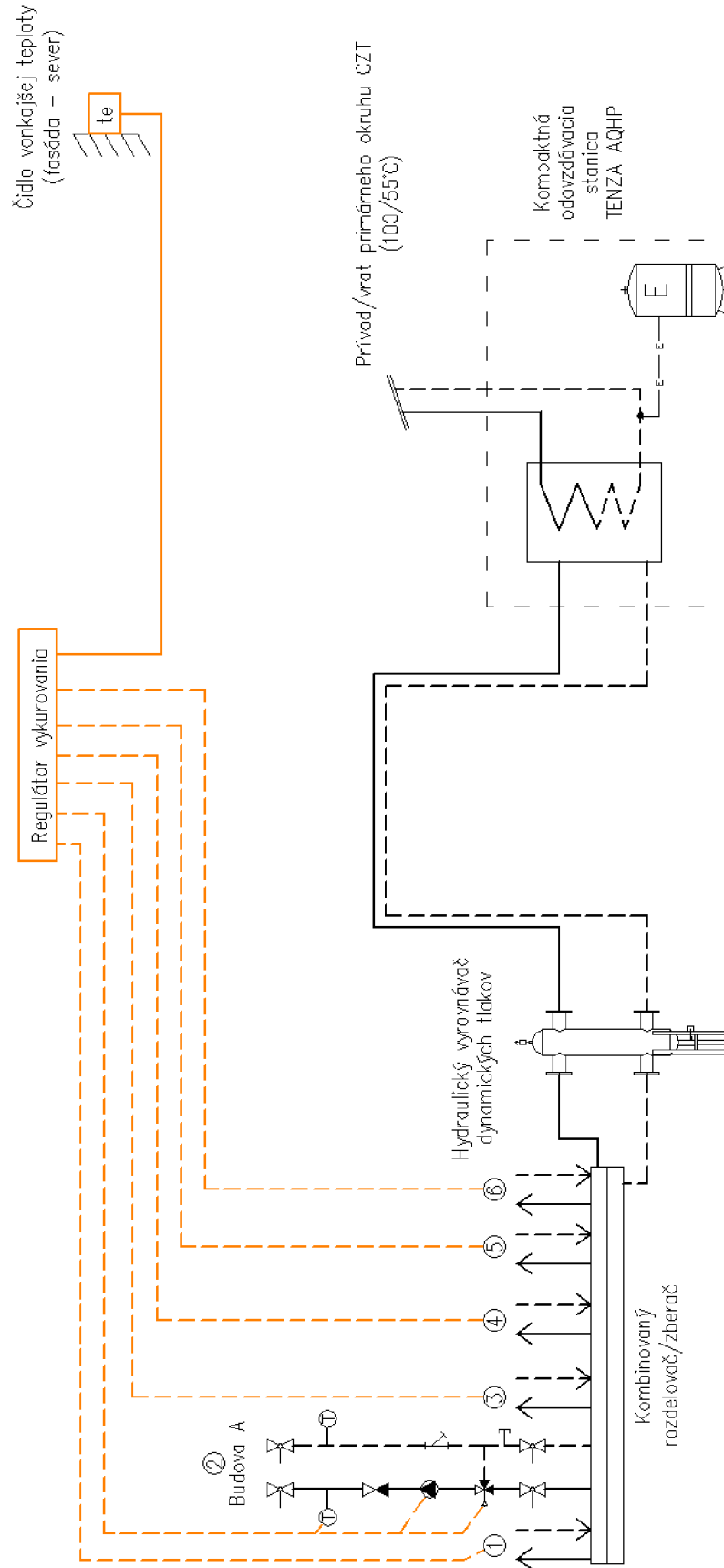
$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{KOR}{2} \cdot (t_{i,w} - t_{i,x}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6.1)$$

<i>kde</i>	$t_{i,wk}$	<i>korigovaná žiadaná teplota v priestore [}^\circ\text{C]}</i>
	$t_{i,w}$	<i>žiadaná teplota v priestore [}^\circ\text{C]}</i>
	KOR	<i>faktor vplyvu priestorovej teploty</i>
	$t_{i,x}$	<i>aktuálna teplota v priestore [}^\circ\text{C]}</i> .

Dlhodobá korekcia je možná pomocou regulátorov s adaptívnou schopnosťou. Samostatne upravujú vykurovaciu krivku a na základe meraných dát sú schopné predvídať vývoj teploty.

Tab. 6.1 Výhody a nevýhody ekvitermnej regulácie [36]

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> + vysoký komfort a úspory + predĺženie životnosti kotla + vhodné aj pre nízko teplotné systémy + referenčná miestnosť nie je nutná + nezávislé riadenie viacerých okruhov (napr. zóny podľa svetových strán) 	<ul style="list-style-type: none"> - investičné náklady - zachytávanie tep. ziskov - nižšie úspory počas nočného útlmu - potreba odbornej obsluhy a času na správne nastavenie ekvitermickej krivky



Obr. 25 Schéma zapojenia ekvitermickej regulácie na zmiešavacích okruhuoch

6.2 Sústava ekvitermických kriviek [37]

Pre stanovenie ekvitermických kriviek potrebujeme určiť tepelnú stratu a strednú teplotu vykurovacej vody pre rôzne teploty vonkajšieho vzduchu a pre rôzne požadované teploty vo vnútornom prostredí objektu. Vytvorili sme 5 ekvitermických kriviek pre vonkajšiu teplotu od -15 do 22 °C a pre požadované vnútorné teploty v rozmedzí 18-22 °C.

Ako je uvedené v kapitole 6.1 medzi vonkajšou teplotou a tepelnou stratou objektu je nepriama úmera. S rastúcou vonkajšou teplotou nám bude klesať tepelná strata. Pre iné teploty ako návrhové (vonkajšia -15 °C, vnútorná prevažne 20 °C) môžeme tepelnú stratu prepočítať vzťahom

$$\phi = \phi_c \cdot \frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} [W] \quad (6.2)$$

kde	ϕ_c	pôvodná návrhová tepelná strata [W]
	$t_{i,n}$	návrhová vnútorná teplota [°C]
	$t_{e,n}$	návrhová vonkajšia teplota [°C]
	$t_{i,v}$	výpočtová vnútorná teplota [°C]
	$t_{e,v}$	výpočtová vonkajšia teplota [°C].

Nižší požadovaný výkon sa prejaví aj poklesom teploty teplotonosnej látky podľa vzťahu

$$\Delta t = (t_{w1} - t_{w2}) \cdot \frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} [W] \quad (6.3)$$

kde	t_{w1}	návrhová teplota vody vykurovacej [°C]
	t_{w2}	návrhová teplota vody vratnej [°C].

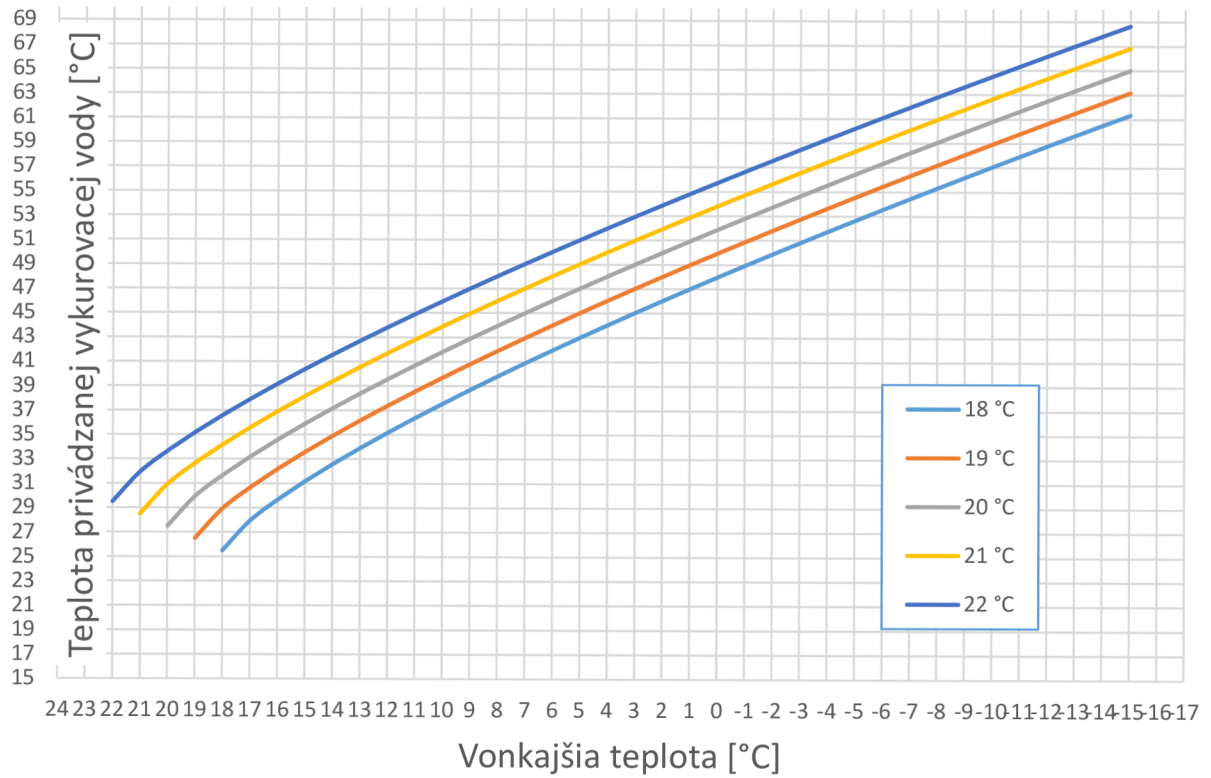
Strednú teplotu chladnejšej vody potrebnej na vykurovanie určíme zo vzťahu

$$t_m = t_{i,n} + \left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_{i,v} \right) \cdot \left(\frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} \right)^{\frac{1}{m}} [W] \quad (6.3)$$

kde	m	teplotný index vykurovacieho telesa (pre doskové telesá $m = 1,3$).
-----	-----	--

Vstupné údaje pre tvorbu ekvitermických kriviek sú súčasťou prílohy 4 tejto diplomovej práce.

EKVITERMICKÉ KRIVKY



Obr. 26 Ekvitermické krivky

7 SPOTREBA TEPLA

7.1 Denostupňová metóda

Dlhodobou zaužívaným spôsobom na výpočet spotreby tepla je tzv. denostupňová metóda. V skutočnosti sa však nejedná o reálne množstvo tepla spotrebovaného počas vykurovacej sezóny, nakoľko v sebe nezahŕňa premenlivé tepelné zisky a iné faktory ovplyvňujúce spotrebu tepla. Výstupom tejto metódy je ročná **potreba tepla**, ktorá by dostatočne pokryla požiadavky spotrebiteľa v tých najhorších možných podmienkach pre prevádzku vykurovacieho systému.

Samotná metóda vychádza zo vzťahu

$$Q_r = 24 \cdot Q_c \cdot 3600 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{in} - t_{en})} \quad [J] \quad (7.1)$$

kde	Q_r	potreba tepla [J]
	Q_c	celková tepelná strata objektu [W]
	ε	opravný súčiniteľ [-]
	η_o	účinnosť obsluhy a regulácie [-]
	η_r	účinnosť rozvodov média [-]
	d	počet dní vykurovacej sezóny [-]
	t_{is}	priemerná vnútorná teplota objektu [°C]
	t_{es}	priemerná vonkajšia teplota počas vykurovacej sezóny [°C]
	t_{in}	vnútorná výpočtová teplota [°C]
	t_{en}	vonkajšia výpočtová teplota [°C]

Samotný opravný súčiniteľ zohľadňuje tri faktory podľa vzťahu

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad [-] \quad (7.2)$$

kde	e_i	opravný súčiniteľ nesúčasnosti tepelnej straty vetraním a prechodom [-]
	e_t	opravný súčiniteľ na zníženie vnútornej teploty [-]
	e_d	opravný súčiniteľ na skrátenie doby prevádzky [-]

Súčiniteľ nesúčasnosti tepelnej straty vetraním a prechodom sa na základe [38] volí v rozmedzí 0,8 – 0,9 (na základe pomeru straty vetraním voči strate prechodom). S odvolaním na [39] volíme hodnoty $e_t = 0,85$ a $e_d = 0,7$.

$$\varepsilon = 0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,7$$

$$\varepsilon = 0,506$$

Do vzťahu (7.1) potom môžeme dosadzovať hodnoty z kapitoly 3.1 a [39]:

$$Q_r = 24 \cdot 82599 \cdot 3600 \cdot 0,506 \cdot \frac{245 \cdot (20 - 3,9)}{(20 - (-15))} \cdot 0,95 \cdot 0,97 \quad [J]$$

$$Q_r = 441,4 \text{ GJ/rok}$$

Správnosť výpočtu je možné skontrolovať pomocou online kalkulačky na internetovom portáli www.tzb-info.cz (obr. 27).

7.2 Nedostatky denostupňovej metódy

Ing. Vladimír Galád v [40] poukazuje na niekoľko hlavných nedostatkov denostupňovej metódy a celkovo nesúhlasí s jej používaním hlavne na rozúčtovanie nákladov na spotrebu tepla v bytových domoch.

Autor článku vidí hlavné nedostatky v nasledujúcich bodoch:

- počíta s neprerušovaným odberom tepla a nezohľadňuje premenlivosť odberu tepla
- nezohľadňuje prípadnú zmenu teploty vonkajšieho povrchu a tým pádom teplotného rozdielu medzi vonkajším a vnútorným prostredím, ktorý je rozhodujúci pre potrebný tepelný výkon budovy
- nezohľadňuje tepelný zisk (stratu) z oslnenia, stupačiek, vnútorných zdrojov, od (do) susedných priestorov
- nezohľadňuje premenlivosť tepelných strát vetraním
- nezohľadňuje orientáciu voči svetovým stranám

Aj na základe vyššie uvedených dôvodov treba výsledok kapitoly (7.1) považovať za orientačný a zďaleka nie koncový. Na presnú tepelnú bilanciú by bolo potrebné použiť simulačné techniky, ktoré v sebe zohľadňujú meteorologické a geografické podmienky, tepelné zisky vnútorných a vonkajších zdrojov a podobne.

Lokalita (Tabuľka)		<input type="radio"/> $t_{em} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ <input checked="" type="radio"/> $t_{em} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$???	
Mesto	Benešov	Dĺžka topného obdobia	$d = 245$ [dny]
Venkovní výpočtová teplota t_e	-15 $^\circ\text{C}$	Prům. teplota během otopného období	$t_{es} = 3,9$ $^\circ\text{C}$
<input checked="" type="checkbox"/> Vytápění		<input type="checkbox"/> Ohřev teplé vody	
Tepelná ztráta objektu	$Q_c = 82,599$ kW	$t_1 =$ <input type="text"/> $^\circ\text{C}$	$\rho =$ <input type="text"/> kg/m^3 ???
Průměrná vnitřní výpočtová teplota t_{is}	20 $^\circ\text{C}$???	$t_2 =$ <input type="text"/> $^\circ\text{C}$	$c =$ <input type="text"/> J/kgK ???
Vytápěcí denostupně	$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3945$ K.dny	$V_{2p} =$ <input type="text"/> m^3/den ???	Koeficient energetických ztrát systému $z =$ <input type="text"/> ???
Opravné součinitele a účinnosti systému	$e_1 = 0,85$??? $\eta_o = 0,95$??? $e_t = 0,85$??? $\eta_r = 0,97$??? $e_d = 0,7$???	Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody	
Opravný součinitel ϵ ???	<input checked="" type="radio"/> $\epsilon = e_1 \cdot e_t \cdot e_d = 0,506$ <input type="radio"/> $\epsilon = 0,765$	$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25,7$ kWh	
$Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \langle \begin{matrix} 441,4 \text{ GJ/rok} \\ 122,6 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \rangle$	Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ <input type="text"/> $^\circ\text{C}$ Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ <input type="text"/> $^\circ\text{C}$ Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ <input type="text"/> [dny]		$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \langle \begin{matrix} 0 \text{ GJ/rok} \\ 0 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \rangle$
Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody			
$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \langle \begin{matrix} 441,4 \text{ GJ/rok} \\ 122,6 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \rangle$			

Obr. 27 Spotreba tepla na vykurovanie
(Pozn.: ohrev TUV je riešený lokálne elektrickými ohrievačmi vody)[38]

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnuť novú vykurovaciu sústavu pre budovu A v rámci areálu gymnázia v meste Vlašim, ktoré podstúpi rekonštrukciu vykurovacej sústavy a vzduchotechniky.

V prvej časti práce bol vyčíslený návrhový tepelný výkon budovy A pomocou grafického výpočtového softwaru TechCON, kde sme sa dopracovali k výslednej hodnote 82,6 kW. V dnešných časoch nízkoenergetických budov by sme v prípade modernej stavby s mernou tepelnou stratou 88 W/m² neuspeli. Budova však bola postavená ako prvá stavba v areáli v roku 1969 a doposiaľ prešla len čiastočnou rekonštrukciou východnej fasády (vymurovanie medziokenných vložiek, výmena okien a zateplenie) čím sa jej súčiniteľ prechodu tepla znížil na 0,288 W/m²K. Zvyšné konštrukcie a strecha sú v pôvodnom stave (boletické panely, okná s kovovými rámami...) a ich súčinitele prechodu tepla sú niekoľkokrát vyššie a umožňujú najväčšie úniky tepla.

Nakoľko sa jedná o rekonštrukciu stávajúceho stavu v rámci prípravných prác bude potrebné odstrániť pôvodné článkové vykurovacie telesá a oceľové rozvody, ktoré budú nahradené novými doskovými telesami typu RADIK Klasik. Tie pracujú s teplotným spádom 65/50 °C a ich výkon je navrhnutý tak, aby pokryli tepelné straty jednotlivých miestností. Po novom budú na vykurovaciu sústavu napojené pomocou medených rozvodov cez regulačné členy. Konkrétne cez TRV na potrubí prívodnom a cez regulačné šróbenie na potrubí spätnom, tak ako je to nariadené vyhláškou 151/2001 Sb. Výhodou použitia TRV osadených termostatickou hlavicou spočíva v zohľadňovaní tepelných ziskov v miestnosti primeraným regulovaním prietoku vody do telesa.

Regulačné členy sú následne použité na hydraulické vyváženie tlakových strát vykurovacej sústavy. Zabezpečíme tak rovnomerný rozvod vody po celej sústave a nebude dochádzať k nedokurovaniu alebo naopak prekurovaniu. Prednastavením TRV a regulačného šróbenia na požadovaný stupeň podľa menovitého prietoku zabezpečíme požadovaný nárast tlakovej straty.

Areál gymnázia je ako odoberateľ tepla napojený na centrálné zásobovanie teplom, ktorého sprostredkovateľom je od 1. 1. 2013 spoločnosť Dalkia Kolín a. s. Ako zdroj tepla pre vykurovanie ostávajú pôvodne inštalované odovzdávacie stanice Tenza AQHP typu voda-voda. Pre budovy A, C, D a E je inštalovaná stanica o výkone 170 kW, ktorá na primárnom okruhu (prívod a odvod CZT) pracuje s teplotným spádom 100/55 °C. Odovzdávanie tepla prebieha v doskovom výmenníku a súčasťou stanice je aj expanzná nádoba (EN) a poistný ventil (PV). Sekundárny okruh odovzdávacej stanice je cez hydraulický vyrovnávač dynamických tlakov napojený na 6-cestný kombinovaný rozdeľovač/zberač, ktorý zabezpečuje rozvod vody pre jednotlivé okruhy sústavy: budovy C a D, budova A, 3x budova E, okruh VZT v budove E. Ohrev teplej vody v objekte je zabezpečený individuálne - elektrickými prietokovými a zásobníkovými ohrievačmi umiestnenými pri daných odberných miestach.

V záverečných kapitolách diplomovej práce bola prevedená kontrola poistných prvkov sústavy (EN, PV), ktoré plne vyhovujú aj novo inštalovanej sústave, výber vhodného obehového čerpadla pre vykurovací okruh budovy A, voľba izolácie hlavných potrubných rozvodov v technologických kanáloch budov E, C, A, základný návrh ekvitermickej regulácie s výpočtom ekvitermickej kriviek a kalkulácia potreby tepla počas vykurovacej sezóny.

Prílohu práce tvorí aj výkresová dokumentácia pozostávajúca s výkresov pôdorysov, rozvinutej schémy a schémy napojenia sústavy na zdroj tepla.

ZDROJE

- [1] BYSTRICKÝ, Václav a Antonín POKORNÝ. *Technická zařízení budov - B*. Vyd. 2. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03450-x.
- [2] POČINKOVÁ, Marcela. *TZB II - Vytápění budov: Tepelné ztráty budov*. Brno, 2006. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně stavební fakulta.
- [3] ŘEHÁNEK, Jaroslav a Antonín JANOUŠ. *Tepelné ztráty budov a možnosti jejich zmenšování*. 2. nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. Knižnice technických aktualit.
- [4] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ŠTĚTINA, Josef. Prostup tepla. Brno, 2012. 8 s. Přednáška. VUT v Brně.
- [6] *Řešené příklady: Prostup tepla stěnou* [online]. [cit. 2015-03-8]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/wiki/OOEET_ResenePriklady
- [7] Součinitel prostupu tepla. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [8] Součinitel tepelné vodivosti. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/311-soucinitel-tepelne-vodivosti>
- [9] PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 8080760209.
- [10] CIHELKA, Jaromír a kol. Vytápění a větrání. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. ISBN 04-216-75.
- [11] RADIK KLASIK - R. *Korado* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-klasik-r.html>
- [12] KATOLICKÝ, Jaroslav. Prevažně konvektivní otopné soustavy. Přednáška. VUT v Brně.
- [13] Otopné plochy (IV - 2.část) - přepočítání tepelného výkonu. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3192-otopne-plochy-iv-2-cast-prepocet-tepelneho-vykonu>
- [14] DEBRECZENI, Ondřej. 2005. Potrubní technika. Brno. Provizorní učební text. VUT v Brně.
- [15] Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy - podrobně. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/24-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-podrobne>
- [16] Hydraulické vyvážení topné soustavy. *Topíme chytře* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.topimechytře.cz/hydraulicke-vyvazeni.html>
- [17] Efektivní hydraulické vyvážení soustav vytápění je cesta pro dosažení úspor energie a nákladů v bytových domech. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/10549-efektivni-hydraulicke-vyvazeni-soustav-vytapani-je-cesta-pro-dosazni-uspor-energie>

- [18] KORADO A.S.. 2015. Energeticky úsporné otopné těleso: Radik RC [online]. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://rc.korado.cz/soubory/14-150204_radikrc_katalog_cz_web.pdf
- [19] Základní vybavení. KORADO [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/vseobecne-udaje/zakladni-vybaveni.html>
- [20] VALENTA, Vladimír. *Co má vědět uživatel o termostatických radiátorových ventilech?* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/3527-co-ma-vedet-uzivatel-o-termostatickyh-radiatorovych-ventilech>
- [21] Termostatická hlavice K. *IMI Hydronic Engineering* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.imi-hydronic.com/sk/produkty-a-eeni/termostaticka-regulace/termostaticke-ventily-a-roubeni/pipojeni-termostaticke/Termostaticka-hlavice-K/>
- [22] *Termostatické ventily šetří našu peňáženku* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.antar.sk/kniha2/clanok23.htm>
- [23] Termostatické hlavice. *Topíme chytře* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.topimechytře.cz/termostaticke-hlavice.html>
- [24] *Návod k montáži a obsluze: Heimeier*. Dostupné také z: <http://files.topeni123.cz/f/IMI%20Heimeier/N%C3%A1vody%20k%20mont%C3%A1%C5%BEi%20hlavic%20a%20ventil%C5%AF.pdf>
- [25] MAGNA1 25-60. *Grundfos* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=14918533639330049967491137431486&pumpsystemid=213371592&qcid=220926178
- [26] ČESKÁ REPUBLIKA. Stanovení podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. In: *Sbírka zákonů*. 2007, 193/2007.
- [27] *Tepelné soustavy v budovách - Projektování a montáž*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [28] Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubu-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>
- [29] Rozsáhlé rekonstrukce vě městě Vlašim. *Veolia Energie* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.vecr.cz/rozsahle-rekonstrukce-ve-meste-vlasim>
- [30] *Tenza AQHP: Tlakově nezávislá horkovodní stanice s dochlazením*. Brno. Dostupné také z: <http://www.tenza.cz/cz/katalogy/>
- [31] BAŠTA, Jiří. *Návrh expanzní nádoby* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [32] FOREJTEK, Jaroslav. *Expanzní nádoby pro topení* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/potrubu-a-armatury/2510-expanzni-nadoby-pro-topeni>

- [33] Výpočet pojistného ventilu pro kotle a výměníky tepla. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/43-vypocet-pojistneho-ventilu-pro-kotle-a-vymeniky-tepla>
- [34] BAŠTA, Jiří a Karel HEMZAL. *Regulace v technice prostředí staveb* [online]. Praha, 2009 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/REG/Basta_Hemzal_Regulace.pdf
- [35] MATZ, Václav. *Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [36] KOUDELKOVÁ, Daniela. *Merania a regulácia v TZB*. Bratislava: SPEKTRUM STU, 2014. ISBN 978-80-227-4291-7.
- [37] Ekvitermní křivky. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/50-ekvitermni-krivky>
- [38] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody?_d19_=2941.7
- [39] KATOLICKÝ, Jaroslav. Spotřeba tepla. Přednáška. VUT v Brně.
- [40] GALÁD, Vladimír. *Patří denostupňová metoda do archivu?* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14332-patri-denostupnova-metoda-do-archivu>

ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

A	plocha	[m ²]
A _i	podlahová plocha vykurovaného priestoru	[m ²]
A _k	plocha stavebnej časti	[m ²]
b _u	teplotný redukčný činiteľ zahŕňajúci teplotný rozdiel medzi teplotou nevykurovaného priestoru a vonkajšej návrhovej teploty	[-]
c _p	Merná tepelná kapacita pri konštantnom tlaku	[J·kg·K ⁻¹]
d	počet dní vykurovacej sezóny	[-]
d _i	priemer potrubia	[m]
d _s	hrúbka steny	[m]
d _v	priemer potrubia poistného ventilu	[m]
e _d	opravný súčiniteľ na skrátenie doby prevádzky	[-]
e _i	opravný súčiniteľ nesúčasnosti tepelnej straty vetraním	[-]
e _k , e _l	korekčný činiteľ vystavenia poveternostným vplyvom	[-]
e _t	opravný súčiniteľ na zníženie vnútornej teploty	[-]
f _{g1}	korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv ročných zmien vonkajšej teploty	[-]
f _{g2}	teplotný redukčný činiteľ zohľadňujúci rozdiel medzi ročnou priemernou vonkajšou teplotou a výpočtovou vonkajšou teplotou	[-]
f _{ij}	redukčný činiteľ teplotný činiteľ korigujúci teplotný rozdiel medzi teplotou susedného priestoru a vonkajšou výpočtovou teplotou	[-]
f _k	teplotný korekčný činiteľ pre stavebnú časť	[-]
f _{RH}	korekčný súčiniteľ, ktorý závisí na dobe útlmu a poklese teploty	[W·m ⁻²]
g	gravitačné zrýchlenie	[m·s ⁻²]
G _w	korekčný činiteľ zohľadňujúci vplyv spodnej vody	[-]
h	maximálne prevýšenie vykurovacej sústavy	[m]
H _{T,ie}	súčiniteľ tepelnej straty prechodom z vykurovaného priestoru do vonkajšieho prostredie plášťom budovy	[W·K ⁻¹]
H _{T,iue}	súčiniteľ tepelnej straty prechodom z vykurovaného priestoru do vonkajšieho prostredia nevykurovaným priestorom	[W·K ⁻¹]
H _{T,ig}	súčiniteľ tepelnej straty prechodom do zeminy z vykurovaného priestoru do zeminy v ustálenom stave	[W·K ⁻¹]
H _{T,ij}	súčiniteľ tepelnej straty z vykurovaného priestoru do susedného priestoru vykurovaného na výrazne inú teplotu	[W·K ⁻¹]
H _{v,i}	súčiniteľ návrhovej tepelnej straty vetraním	[W·K ⁻¹]
k	pomerná drsnosť potrubia	[mm]
KOR	faktor vplyvu priestorovej teploty	[-]
l	dĺžka	[m]
l _l	dĺžka lineárnych tepelných mostov	[m]
m	teplotný index vykurovacieho telesa	[-]

n	súčiniteľ zväčšenia objemu vody	[-]
n_{min}	najmenšia intenzita výmeny vzduchu za hodinu	[h ⁻¹]
p_d	najnižší dovolený tlak	[Pa]
p_h	najvyšší dovolený pretlak	[Pa]
p_{otv}	otvárací tlak poistného ventilu	[Pa]
\dot{Q}	tepelný tok	[W]
Q_c	celková tepelná strata objektu	[W]
Q_p	poisťovaný tepelný výkon	[W]
Q_r	potreba tepla	[J]
Q_n	nominálny tepelný výkon	[W]
R	merná tlaková strata trením	[Pa·m ⁻¹]
R_{celk}	celkový tepelný odpor	[m ² ·K·W ⁻¹]
R_{oc}	tepelný odpor prúdenia na vonkajšej strane	[m ² ·K·W ⁻¹]
R_{oi}	tepelný odpor prúdenia na vnútornej strane	[m ² ·K·W ⁻¹]
R_λ	tepelný odpor vedenia stenou	[m ² ·K·W ⁻¹]
Re	Reynoldsove číslo	[-]
S_0	prierez sedla poistného ventilu	[mm ²]
t	teplota	[°C]
$t_{e,n}$	vonkajšia návrhová teplota	[°C]
$t_{e,s}$	priemerná vonkajšia teplota počas vykurovacej sezóny	[°C]
$t_{e,v}$	vonkajšia výpočtová teplota	[°C]
$t_{i,n}$	vnútorná návrhová teplota	[°C]
$t_{i,s}$	priemerná vnútorná teplota objektu	[°C]
$t_{i,v}$	vnútorná výpočtová teplota	[°C]
$t_{i,w}$	žiadaná teplota v priestore	[°C]
$t_{i,wk}$	korigovaná žiadaná teplota v priestore	[°C]
$t_{i,x}$	aktuálna teplota v priestore	[°C]
t_{w1}	návrhová teplota vody prívodnej	[°C]
t_{w2}	návrhová teplota vody spiatočnej	[°C]
U	súčiniteľ prechodu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentný súčiniteľ prechodu tepla stavebnej časti	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
U_k	súčiniteľ prechodu tepla stavebnou časťou	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
V_e	expanzný objem sústavy	[l]
V_i	objem vykurovaného priestoru vypočítaný z vnútorných rozmerov	[m ³]
V_v	vodný objem sústavy	[l]
w	rýchlosť prúdenia vody v potrubí	[m·s ⁻¹]
ZTM	činiteľ tepelných mostov	[-]

α	súčiniteľ prestupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
α_w	výtokový súčiniteľ	[-]
$\Delta p_{z,m}$	miestne tlakové straty	[Pa]
$\Delta p_{z,t}$	tlakové straty trením	[Pa]
ε	opravný súčiniteľ	[-]
ζ_i	súčiniteľ miestneho odporu	[-]
η	stupeň využitia expanznej nádoby	[-]
η_o	účinnosť obsluhy a regulácie	[-]
η_r	účinnosť rozvodov média	[-]
θ_e	Vonkajšia výpočtová teplota	$[\text{°C}]$
$\theta_{int,i}$	Priemerná vonkajšia teplota	$[\text{°C}]$
$\theta_{m,e}$	Vnútoraná návrhová výpočtová teplota	$[\text{°C}]$
λ	súčiniteľ trenia	[-]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
λ_{ekv}	ekvivalentný súčiniteľ tepelnej vodivosti	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
λ_o	dosadzovaný súčiniteľ trenia	[-]
ν	kinematická viskozita	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
ρ	hustota	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
φ_C	pôvodná návrhová tepelná strata	[W]
$\varphi_{RH,i}$	zakurovací tepelný výkon	[W]
$\varphi_{T,i}$	návrhová tepelná strata prechodom tepla	[W]
$\varphi_{V,i}$	návrhová tepelná strata vetraním	[W]
φ_n	opravný súčiniteľ na počet článkov	[-]
φ_o	opravný súčiniteľ na úpravu okolia	[-]
φ_p	opravný súčiniteľ na umiestnenie telesa v priestore	[-]
φ_x	opravný súčiniteľ na pripojenie telesa	[-]
$\varphi_{\Delta t}$	opravný súčiniteľ na teplotný rozdiel	[-]
ψ_l	činiteľ lineárneho prestupu tepla lineárneho tepelného mosta	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Súčinitele prechodu tepla stavebných konštrukcií a výplní otvorov	68
Príloha 2 – Vyregulovanie vykurovacej sústavy	71
Príloha 3 – Výpočet izolácie potrubia	73
Príloha 4 – Určenie ekvitermických kriviek	76
Príloha 5 – Výkresová dokumentácia	

PRÍLOHA 1

	S01 (Lahká vonkajšia stena - boletický panel)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
1	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	0,990
	Dosky drevovláknité, lisované ($\rho = 400 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,010	0,098	0,000	0,098	0,102	
	Minerálna vlna ($\rho = 300 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,080	0,079	0,200	0,095	0,844	
	Sklo ľahané obyčajné	0,006	0,760	0,000	0,760	0,008	
	Odpor pri prestupe Rse					0,040	
	Celkový tepelný odpor R_{ceik}					1,124	
	Korekčný činiteľ ΔU_{tbc}					0,100	
2	S02 (Ťažká vonkajšia stena - YTONG + EPS)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	0,288
	Omietka vápenocementová	0,015	0,990	0,000	0,990	0,015	
	YTONG P2-500	0,250	0,150	0,000	0,150	1,560	
	Polystyrén penový EPS ($\rho = 30 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,100	0,039	0,050	0,041	2,442	
	Omietka vápenocementová	0,007	0,990	0,000	0,990	0,007	
	Odpor pri prestupe Rse					0,040	
Celkový tepelný odpor R_{ceik}					4,194		
Korekčný činiteľ ΔU_{tbc}					0,050		
3	S03 (Ťažká vonkajšia stena - CDm)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	1,444
	Omietka vápenocementová	0,015	0,990	0,000	0,990	0,015	
	CDm	0,375	0,690	0,000	0,690	0,543	
	Omietka vápenocementová	0,015	0,990	0,000	0,990	0,015	
	Odpor pri prestupe Rse					0,040	
	Celkový tepelný odpor R_{ceik}					0,744	
Korekčný činiteľ ΔU_{tbc}					0,100		
4	F01 (Podlaha prilahlá k zemi)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
	Odpor pri prestupe Rsi					0,170	3,513
	Keramicná dlažba	0,010	1,010	0,000	1,010	0,010	
	Betón ($\rho = 2100 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,090	1,050	0,000	1,050	0,086	
	Asfaltové pásy a lepenky	0,004	0,210	0,000	0,210	0,019	
	Odpor pri prestupe Rse					0,000	
	Celkový tepelný odpor R_{ceik}					0,285	
Korekčný činiteľ ΔU_{tbc}					0,000		
5	F07 (Podlaha nad technol. kanálom)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
	Odpor pri prestupe Rsi					0,170	1,636
	PVC	0,003	0,160	0,000	0,160	0,019	
	Betón ($\rho = 2100 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,050	1,050	0,000	1,050	0,048	
	Železobetón ($\rho = 2300 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,250	1,220	0,000	1,220	0,205	
	Odpor pri prestupe Rse					0,170	
	Celkový tepelný odpor R_{ceik}					0,611	
Korekčný činiteľ ΔU_{tbc}					0,000		

	F10 (Podlaha mezi poschodími)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Tepelný odpor R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Súčiniteľ prechodu tepla U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
6	Odpor pri prestupe Rsi					0,170	1,521
	Drevo tvrdé (kolmo k vláknám)	0,020	0,180	0,000	0,180	0,111	
	Betón ($\rho = 2100 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,050	1,050	0,000	1,050	0,048	
	Železobetón ($\rho = 2300 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,250	1,220	0,000	1,220	0,205	
	Odpor pri prestupe Rse					0,170	
	Celkový tepelný odpor R_{celk}					0,704	
	Korekčný činiteľ $\Delta U_{\text{tšk}}$					0,100	
7	R07 (Strecha šikmá so sklonom do 45° - strecha pôvodná)						0,674
	Odpor pri prestupe Rsi					0,100	
	Železobetón ($\rho = 2300 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,250	1,430	0,000	1,430	0,175	
	Škvára	0,085	0,270	0,000	0,270	0,315	
	Pórobetón ($\rho = 2300 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,200	0,180	0,000	0,180	1,111	
	Železo	0,001	58,000	0,000	58,000	0,000	
	Odpor pri prestupe Rse					0,040	
Celkový tepelný odpor R_{celk}					1,741		
Korekčný činiteľ $\Delta U_{\text{tšk}}$					0,100		
8	SV150 (Vnútomá stena s rozdielom teplôt do 5 °C vrátane 150 mm)						2,158
	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Tehla plná 290/140/65 ($\rho = 1700 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,140	0,730	0,000	0,730	0,192	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Odpor pri prestupe Rse					0,130	
	Celkový tepelný odpor R_{celk}					0,486	
Korekčný činiteľ $\Delta U_{\text{tšk}}$					0,100		
9	SV300 (Vnútomá stena s rozdielom teplôt do 5 °C vrátane 300 mm)						1,546
	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Tehla plná 290/140/65 ($\rho = 1700 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,290	0,730	0,000	0,730	0,397	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Odpor pri prestupe Rse					0,130	
	Celkový tepelný odpor R_{celk}					0,691	
Korekčný činiteľ $\Delta U_{\text{tšk}}$					0,100		
10	SV100 (Vnútomá stena s rozdielom teplôt do 5 °C vrátane 100 mm)						2,710
	Odpor pri prestupe Rsi					0,130	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Tehla plná 290/140/65 ($\rho = 1700 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,065	0,730	0,000	0,730	0,089	
	Omička vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017	
	Odpor pri prestupe Rse					0,130	
	Celkový tepelný odpor R_{celk}					0,383	
Korekčný činiteľ $\Delta U_{\text{tšk}}$					0,100		


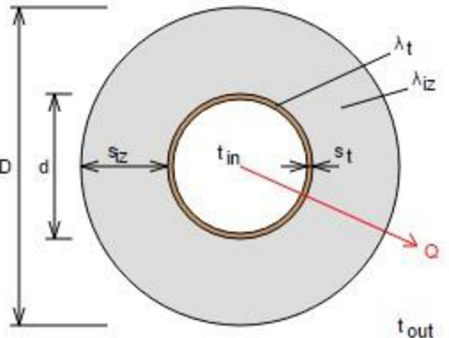
	SV250 (Vnútorná stena s rozdielom teplôt do 5 °C vrátane 250 mm)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Tepelný odpor R [m ² K/W]	Súčiniteľ prechodu tepla U [W/m ² K]	
11	Odpor pri prestupe R _{si}					0,130	1,469	
	Omiетка vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017		
	Tehla dierovaná 240/240/65 ($\rho = 1550 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,240	0,550	0,000	0,550	0,436		
	Omiетка vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017		
	Odpor pri prestupe R _{se}					0,130		
	Celkový tepelný odpor R _{celk}							0,730
	Korekčný činiteľ ΔU_{tbk}							0,100
	SV575 (Vnútorná stena s rozdielom teplôt do 5 °C vrátane 575 mm)	Hrúbka d [m]	Súč. tepelnej vodivosti λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Činiteľ tepelných mostov z_{TM} [-]	Ekvivalentný súč. tepelnej vodivosti λ_{ekv} [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Tepelný odpor R [m ² K/W]	Súčiniteľ prechodu tepla U [W/m ² K]	
12	Odpor pri prestupe R _{si}					0,130	0,928	
	Omiетка vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017		
	Tehla dierovaná 240/375/65 ($\rho = 1450 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,375	0,520	0,000	0,520	0,721		
	Tehla plná 290/140/65 ($\rho = 1700 \text{ kg.m}^{-3}$)	0,140	0,730	0,000	0,730	0,192		
	Omiетка vápenocementová	0,015	0,880	0,000	0,880	0,017		
	Odpor pri prestupe R _{se}					0,130		
	Celkový tepelný odpor R _{celk}							1,207
Korekčný činiteľ ΔU_{tbk}						0,100		


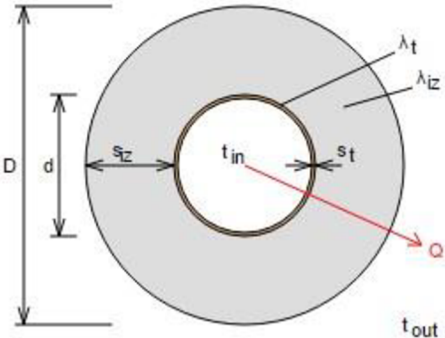
PRÍLOHA 2


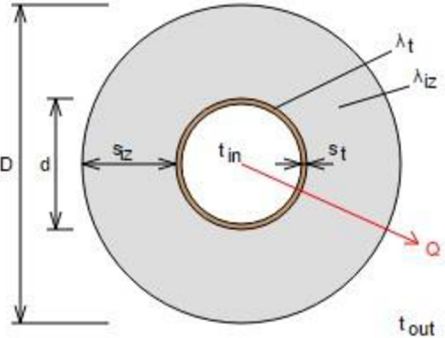
Vykurovacie teleso	Tlaková strata	Nastavenie TRV	Strata TRV	Nastavenie RŠ	Strata RŠ	Celková tlaková strata	Tlaková diferencia
101a	16309,7	4,0	3500	1,5	1400	21209,7	295,2
101b	16309,7	4,0	3500	1,5	1400	21209,7	295,2
101c	16645,6	4,0	3500	1,5	1400	21545,6	-40,8
101d	16645,6	4,0	3500	1,5	1400	21545,6	-40,8
101e	16929,7	4,0	3500	1,5	1400	21829,7	-324,9
101f	16929,7	4,0	3500	1,5	1400	21829,7	-324,9
102a	17166,0	4,5	2800	1,5	1400	21366,0	138,9
102b	17166,0	4,5	2800	1,5	1400	21366,0	138,9
102c	17358,3	4,5	2800	1,5	1400	21558,3	-53,5
102d	17358,3	4,5	2800	1,5	1400	21558,3	-53,5
102e	17857,4	4,5	2800	2,0	600	21257,4	247,4
102f	17857,4	4,5	2800	2,0	600	21257,4	247,4
103a	18239,3	4,5	2800	2,0	600	21639,3	-134,5
103b	18239,3	4,5	2800	2,0	600	21639,3	-134,5
103c	18518,3	5,0	2300	2,0	600	21418,3	86,6
103d	18518,3	5,0	2300	2,0	600	21418,3	86,6
103e	19073,7	5,0	2300	3,0	250	21623,7	-118,8
103f	19073,7	5,0	2300	3,0	250	21623,7	-118,8
104a	19415,4	5,5	1600	2,0	600	21615,4	-110,5
104b	19415,4	5,5	1600	2,0	600	21615,4	-110,5
104c	19924,8	6,0	1200	3,5	390	21514,8	-9,9
104d	19924,8	6,0	1200	3,5	390	21514,8	-9,9
105a	20504,8	8,0	800	4,0	200	21504,8	0,0
105b	20504,8	8,0	800	4,0	200	21504,8	0,0
106a	13282,1	3,5	7000	1,5	1500	21782,1	-277,3
106b	15696,5	4,0	4200	1,5	1500	21396,5	108,3
106c	16388,4	4,0	4200	2,0	750	21338,4	166,5
106d	16517,9	4,0	4200	2,0	750	21467,9	37,0
106e	16764,2	4,0	4200	2,5	450	21414,2	90,6
106f	16917,2	4,0	4200	2,5	450	21567,2	-62,4
106g	17313,5	5,0	2600	1,5	1500	21413,5	91,3
106h	17438,3	5,0	2600	1,5	1500	21538,3	-33,5
107a	18048,7	8,0	2200	3,0	1000	21248,7	256,1
107b	18048,7	8,0	2200	3,0	1000	21248,7	256,1
108a	18127,3	3,5	1500	0,5	1800	21427,3	77,5
108b	18127,3	3,5	1500	0,5	1800	21427,3	77,5
109a	18490,4	6,0	1900	2,0	1000	21390,4	114,4
109b	18490,4	6,0	1900	2,0	1000	21390,4	114,4
110a	18546,4	5,0	2300	2,0	600	21446,4	58,5
110b	18546,4	5,0	2300	2,0	600	21446,4	58,5
112	17389,8	6,0	1200	1,0	2800	21389,8	115,1
113	17374,3	6,0	1200	1,0	2800	21374,3	130,5
114	17496,1	4,0	2200	1,0	1700	21396,1	108,8
116	17570,8	1,5	2000	0,0	1300	20870,8	634,0
117	17585,5	4,0	2200	1,0	1700	21485,5	19,3

201a	17402,3	5,0	3800	4,0	240	21442,3	62,5
201b	17402,3	5,0	3800	4,0	240	21442,3	62,5
201c	17629,8	5,0	3800	4,0	240	21669,8	-165,0
201d	17629,8	5,0	3800	4,0	240	21669,8	-165,0
201e	17818,9	5,5	2600	2,0	1000	21418,9	86,0
201f	17818,9	5,5	2600	2,0	1000	21418,9	86,0
202a	17917,5	5,0	3200	3,0	340	21457,5	47,3
202b	17917,5	5,0	3200	3,0	340	21457,5	47,3
202c	18042,6	5,0	3200	3,0	340	21582,6	-77,7
202d	18042,6	5,0	3200	3,0	340	21582,6	-77,7
202e	18141,5	5,0	3200	3,0	340	21681,5	-176,6
202f	18141,5	5,0	3200	3,0	340	21681,5	-176,6
203a	18387,0	5,5	2200	2,0	900	21487,0	17,8
203b	18387,0	5,5	2200	2,0	900	21487,0	17,8
203c	18566,8	5,5	2200	2,0	900	21666,8	-162,0
203d	18566,8	5,5	2200	2,0	900	21666,8	-162,0
203e	18689,0	5,5	2200	2,0	900	21789,0	-284,2
203f	18689,0	5,5	2200	2,0	900	21789,0	-284,2
204a	18906,1	6,5	1600	2,0	900	21406,1	98,7
204b	18906,1	6,5	1600	2,0	900	21406,1	98,7
205a	19015,6	6,5	1600	2,0	900	21515,6	-10,8
205b	19015,6	6,5	1600	2,0	900	21515,6	-10,8
206a	19340,5	7,0	1200	2,0	1000	21540,5	-35,7
206b	19340,5	7,0	1200	2,0	1000	21540,5	-35,7
207a	14958,6	3,5	6000	2,0	600	21558,6	-53,8
207b	15855,4	4,5	2800	1,0	2800	21455,4	49,5
207c	16146,5	4,5	2800	1,0	2800	21746,5	-241,7
207d	16357,7	5,0	2200	1,0	2800	21357,7	147,1
207e	16567,9	5,0	2200	1,0	2800	21567,9	-63,0
207f	16692,6	5,0	2200	1,0	2800	21692,6	-187,8
207g	16816,7	5,0	2200	1,0	2800	21816,7	-311,8
207h	16918,8	4,5	2800	1,5	1400	21118,8	386,1
208a	10113,7	5,0	5000	1,0	6500	21613,7	-108,8
208b	9884,3	5,0	5000	1,0	6500	21384,3	120,6
208c	10066,1	5,0	5000	1,0	6500	21566,1	-61,3
208d	10230,6	5,0	5000	1,0	6500	21730,6	-225,7
209	10370,0	5,0	7500	1,5	3400	21270,0	234,9
210a	10890,8	5,0	10000	4,0	650	21540,8	-36,0
210b	10890,8	5,0	10000	4,0	650	21540,8	-36,0
211a	10811,5	3,0	9000	1,5	1200	21011,5	493,3
211b	10811,5	3,0	9000	1,5	1200	21011,5	493,3
212a	11146,1	3,5	8500	1,5	1800	21446,1	58,8
212b	11146,1	3,5	8500	1,5	1800	21446,1	58,8

PRÍLOHA 3

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK ▾</p> <p>Rozměry izolace - tl. 25 ▾</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 25$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0.037$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Měď ▾</p> <p>Rozměry trubky - 42x1.5 ▾</p> <p>Průměr $d = 42$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 1.5$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 372$ W / m K</p>	
 <p>$D = d + 2 s_{iz} = 92$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 65$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 5$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $rh = 65$ % ???</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = -0.9$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 ▾ => $U_{o,193/2007} = 0.27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_o = 0.268 \leq 0.27$ W / m K => VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 10.6$ °C > t_w => na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 79.2$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 16.1$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>80 %</p>
<p>Střední spotřeba izolace</p>	<p>0.2105 m² - platí pro plošnou izolaci</p>

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK ▾</p> <p>Rozměry izolace - tl. 40 ▾</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 40$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0.037$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Měď ▾</p> <p>Rozměry trubky - 64x2 ▾</p> <p>Průměr $d = 64$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 2$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 372$ W / m K</p>	
 <p>$D = d + 2 s_{iz} = 144$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 65$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 5$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $rh = 65$ % ???</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = -0.9$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 ▾ => $U_{O,193/2007} = 0.27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_O = 0.268 \leq 0.27$ W / m K => VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 8.6$ °C > t_w => na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 120.6$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 16.1$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>87 %</p>

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK ▾</p> <p>Rozměry izolace - tl. 40 ▾</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 40$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0.037$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Měď ▾</p> <p>Rozměry trubky - 54x2 ▾</p> <p>Průměr $d = 54$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 2$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 372$ W / m K</p>	
 <p style="text-align: center;">$D = d + 2 s_{iz} = 134$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 65$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 5$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $rh = 65$ % ???</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = -0.9$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 ▾ => $U_{O,193/2007} = 0.27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_O = 0.24 \leq 0.27$ W / m K => VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 8.4$ °C > t_w => na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 101.8$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 14.4$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>86 %</p>

PRÍLOHA 4

$t_{e,n}$ [°C]	$t_{i,n} = 18\text{ °C}$			$t_{i,n} = 19\text{ °C}$			$t_{i,n} = 20\text{ °C}$			$t_{i,n} = 21\text{ °C}$			$t_{i,n} = 22\text{ °C}$		
	ϕ [W]	Δt [°C]	t_w [°C]	ϕ [W]	Δt [°C]	t_w [°C]	ϕ [W]	Δt [°C]	t_w [°C]	ϕ [W]	Δt [°C]	t_w [°C]	ϕ [W]	Δt [°C]	t_w [°C]
-15	77879	14,14	61,34	80239	14,57	63,17	82599	15	65	84959	15,43	66,82	87319	15,86	68,64
-14	75519	13,71	60,5	77879	14,14	62,34	80239	14,57	64,17	82599	15	66	84959	15,43	67,82
-13	73159	13,29	59,66	75519	13,71	61,5	77879	14,14	63,34	80239	14,57	65,17	82599	15	67
-12	70799	12,86	58,81	73159	13,29	60,66	75519	13,71	62,5	77879	14,14	64,34	80239	14,57	66,17
-11	68439	12,43	57,95	70799	12,86	59,81	73159	13,29	61,66	75519	13,71	63,5	77879	14,14	65,34
-10	66079	12	57,09	68439	12,43	58,95	70799	12,86	60,81	73159	13,29	62,66	75519	13,71	64,5
-9	63719	11,57	56,21	66079	12	58,09	68439	12,43	59,95	70799	12,86	61,81	73159	13,29	63,66
-8	61359	11,14	55,34	63719	11,57	57,21	66079	12	59,09	68439	12,43	60,95	70799	12,86	62,81
-7	58999	10,71	54,45	61359	11,14	56,34	63719	11,57	58,21	66079	12	60,09	68439	12,43	61,95
-6	56639	10,29	53,55	58999	10,71	55,45	61359	11,14	57,34	63719	11,57	59,21	66079	12	61,09
-5	54279	9,857	52,65	56639	10,29	54,55	58999	10,71	56,45	61359	11,14	58,34	63719	11,57	60,21
-4	51919	9,429	51,74	54279	9,857	53,65	56639	10,29	55,55	58999	10,71	57,45	61359	11,14	59,34
-3	49559	9	50,82	51919	9,429	52,74	54279	9,857	54,65	56639	10,29	56,55	58999	10,71	58,45
-2	47199	8,571	49,88	49559	9	51,82	51919	9,429	53,74	54279	9,857	55,65	56639	10,29	57,55
-1	44839	8,143	48,94	47199	8,571	50,88	49559	9	52,82	51919	9,429	54,74	54279	9,857	56,65
0	42479	7,714	47,98	44839	8,143	49,94	47199	8,571	51,88	49559	9	53,82	51919	9,429	55,74
1	40120	7,286	47,02	42479	7,714	48,98	44839	8,143	50,94	47199	8,571	52,88	49559	9	54,82
2	37760	6,857	46,04	40120	7,286	48,02	42479	7,714	49,98	44839	8,143	51,94	47199	8,571	53,88
3	35400	6,429	45,04	37760	6,857	47,04	40120	7,286	49,02	42479	7,714	50,98	44839	8,143	52,94
4	33040	6	44,03	35400	6,429	46,04	37760	6,857	48,04	40120	7,286	50,02	42479	7,714	51,98
5	30680	5,571	43,01	33040	6	45,03	35400	6,429	47,04	37760	6,857	49,04	40120	7,286	51,02
6	28320	5,143	41,96	30680	5,571	44,01	33040	6	46,03	35400	6,429	48,04	37760	6,857	50,04
7	25960	4,714	40,89	28320	5,143	42,96	30680	5,571	45,01	33040	6	47,03	35400	6,429	49,04
8	23600	4,286	39,81	25960	4,714	41,89	28320	5,143	43,96	30680	5,571	46,01	33040	6	48,03
9	21240	3,857	38,69	23600	4,286	40,81	25960	4,714	42,89	28320	5,143	44,96	30680	5,571	47,01
10	18880	3,429	37,55	21240	3,857	39,69	23600	4,286	41,81	25960	4,714	43,89	28320	5,143	45,96
11	16520	3	36,37	18880	3,429	38,55	21240	3,857	40,69	23600	4,286	42,81	25960	4,714	44,89
12	14160	2,571	35,16	16520	3	37,37	18880	3,429	39,55	21240	3,857	41,69	23600	4,286	43,81
13	11800	2,143	33,89	14160	2,571	36,16	16520	3	38,37	18880	3,429	40,55	21240	3,857	42,69
14	9440	1,714	32,57	11800	2,143	34,89	14160	2,571	37,16	16520	3	39,37	18880	3,429	41,55
15	7080	1,286	31,17	9440	1,714	33,57	11800	2,143	35,89	14160	2,571	38,16	16520	3	40,37
16	4720	0,857	29,65	7080	1,286	32,17	9440	1,714	34,57	11800	2,143	36,89	14160	2,571	39,16
17	2360	0,429	27,93	4720	0,857	30,65	7080	1,286	33,17	9440	1,714	35,57	11800	2,143	37,89
18	0	0	25,5	2360	0,429	28,93	4720	0,857	31,65	7080	1,286	34,17	9439,9	1,714	36,57
19	-	-	-	0	0	26,5	2360	0,429	29,93	4720	0,857	32,65	7079,9	1,286	35,17
20	-	-	-	-	-	-	0	0	27,5	2360	0,429	30,93	4719,9	0,857	33,65
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	28,5	2360	0,429	31,93
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	29,5