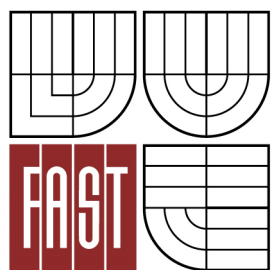




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

NEPŘÍMOTOPNÝ OHŘEV VZDUCHU

INDIRECT AIR HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF BENEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARCELA POČINKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Josef Beneš
Název	Nepřímotopný ohřev vzduchu
Vedoucí diplomové práce	Ing. Marcela Počinková, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku.

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C1. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující dílčí část zadané problematiky.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....
Ing. Marcela Počinková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá nepřímotopným ohřevem vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách. V teoretické části práce jsou vymezeny jednotlivé druhy výměníků v závislosti na druhu umístění ve vzduchotechnickém systému, na druhu použitého materiálu a druhu teplotnosné látky. Problematice výpočtu přenosu tepla u výměníků a popisu způsobů regulace primární teplotnosné látky je věnována samostatná kapitola. V experimentální části se práce zaměřuje na stanovení výkonu stávajícího vzduchotechnického výměníku při určitém teplotním spádu a různých teplotnosných látkách. Ve výpočtové části, na základě hodnot stanovených měření, jsou navrženy dvě varianty řešení pro využívání technologického odpadního tepla. Pro závěrečné zhodnocení jednotlivých řešení byla jako kritéria zvolena efektivita využití a investiční náklady nutné pro realizaci.

Klíčová slova

ohřev vzduchu, kv hodnota, prostup tepla, konvekce, kondukce, vedení tepla, přestup tepla, kvantitativní, kvalitativní, regulace, glykol, teplotnosná kapalina

Abstract

The master Thesis deals with indirect air heating in air handling units. In the theoretical part of the thesis the categories of heat exchangers are defined according to their positioning in ventilation system, used material and type of heat transfer fluid. To the issue of calculating heat exchanges through heat exchangers and description of different kinds of regulation of primary heat transfer fluid is dedicated a separate chapter. The experimental part of the thesis deals with determining performance of current air heat exchanger at set thermal gradient with various heat transfer fluids. In the calculating part of the Thesis, based on measured values, are suggested two possible solutions for use of technological waste heat. Final evaluation of particular solutions was based on the criterion of efficiency usage and implementation investment costs.

Keywords

air heating, kv value, heat transfer, convection, conduction, heat conduction, heat exchange, quantitative, qualitative regulation, glycol, heat transfer fluid

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Josef Beneš *Nepřímotopný ohřev vzduchu*. Brno, 2016. 74 s., 91 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2016

.....
podpis autora
Bc. Josef Beneš

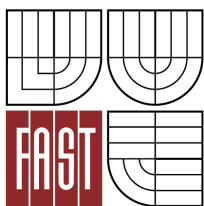
Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2016

.....

podpis autora
Bc. Josef Beneš



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Popisný soubor závěrečné práce

Vedoucí práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D.

Autor práce Bc. Josef Beneš

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav technických zařízení budov

Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby

Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Nepřímotopný ohřev vzduchu

Název práce v anglickém jazyce Indirect air heating

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze .pdf, .zip

Anotace práce Diplomová práce se zabývá nepřímotopným ohřevem vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách. V teoretické části práce jsou vymezeny jednotlivé druhy výměníků v závislosti na druhu umístění ve vzduchotechnickém systému, na druhu použitého materiálu a druhu teplotně nosné látky. Problematice výpočtu přenosu tepla u výměníků a popisu způsobů regulace primární teplotně nosné látky je věnována samostatná kapitola. V experimentální části se práce zaměřuje na stanovení výkonu stávajícího vzduchotechnického výměníku při určitém teplotním spádu a různých teplotně nosných látkách. Ve výpočtové části, na základě hodnot stanovených měření, jsou navrženy dvě varianty řešení pro využívání technologického odpadního tepla. Pro závěrečné zhodnocení jednotlivých řešení byla jako kritéria zvolena efektivita využití a investiční náklady nutné pro realizaci.

Anotace práce v anglickém jazyce	The master Thesis deals with indirect air heating in air handling units. In the theoretical part of the thesis the categories of heat exchangers are defined according to their positioning in ventilation system, used material and type of heat transfer fluid. To the issue of calculating heat exchanges through heat exchangers and description of different kinds of regulation of primary heat transfer fluid is dedicated a separate chapter. The experimental part of the thesis deals with determining performance of current air heat exchanger at set thermal gradient with various heat transfer fluids. In the calculating part of the Thesis, based on measured values, are suggested two possible solutions for use of technological waste heat. Final evaluation of particular solutions was based on the criterion of efficiency usage and implementation investment costs.
Klíčová slova	ohřev vzduchu, kv hodnota, prostup tepla, konvekce, kondukce, vedení tepla, přestup tepla, kvantitativní, kvalitativní, regulace, glykol, teplonosná kapalina
Klíčová slova v anglickém jazyce	air heating, kv value, heat transfer, convection, conduction, heat conduction, heat exchange, quantitative, qualitative regulation, glycol, heat transfer fluid

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí diplomové práce Ing. Marcele Počinkové, Ph.D, za její projevenou trpělivost a odborné konzultace. Dále bych rád poděkoval všem členům rodiny a lidem, kteří mi poskytovali podporu během celého studia i při mimostudijních aktivitách.

Obsah

Abstrakt	4
Klíčová slova	4
Abstract	4
Keywords.....	4
Bibliografická citace VŠKP	5
Prohlášení:.....	6
Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP:	7
Popisný soubor závěrečné práce	8
Poděkování.....	10
A. TEORETICKÁ ČÁST	13
Úvod	13
1 Druhy výměníků pro nepřímotopný ohřev vzduchu.....	15
1.1 Výměníky dle druhu umístění	15
1.1.1 Ve vzduchotechnické jednotce	15
1.1.2 Ve vzduchotechnickém potrubí	16
1.1.3 Ve vnitřním prostředí lokální umístění	16
1.2 Konstrukce výměníků a použité materiály	16
1.2.1 Trubkový lamelový výměník.....	17
1.2.2 Použité materiály	17
1.3 Teplonosné látky	18
1.3.1 Voda	18
1.3.2 Směsi vody s nemrznoucí kapalinou	18
2 Základní fyzikální děje tepelných výměn	20
2.1 Přestup tepla - konvekce	20
2.1.1 Konvekce při volném proudění	23
2.1.2 Konvekce při nuceném proudění - přecházení tepla v trubkách.....	25
2.2 Vedení tepla - kondukce.....	27
2.3 Prostup tepla	29
3 Regulace výkonu výměníků na straně primární teplonosné látky.....	29
3.1 Regulace kvantitativní	30
3.1.1 Dvoucestná regulační armatura.....	30
3.1.2 Regulace za pomoci změny otáček oběhového čerpadla.....	33
3.2 Regulace kvalitativní.....	34
3.2.1 Ekvitermní regulace	34
3.2.2 Regulace směřováním.....	34
3.3 Řízení regulace armatur	35
B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
1 Cíle experimentálního měření.....	37
2 Využitý software.....	37
3 Měřicí zařízení	37
3.1 Příložený ultrazvukový průtokoměr TransPort PT878	37
3.2 Měřič tlakové difference a teploty teplonosné látky TA-SCOPE	38
3.3 Kanálové teplotní čidlo P12L1000	38

4	Okrajové podmínky při měření	39
5	Schéma zapojení měřené soustavy.....	40
6	Postup měření	41
7	Teorie výpočtů.....	42
8	Naměřené hodnoty	43
9	Výpočty.....	52
10	Grafické znázornění.....	52
11	Výsledky měření	56
11.1	Varianta řešení 1	56
11.2	Varianta řešení 2	56
C.	VÝPOČTOVÁ ČÁST	57
1	Analýza objektu	57
2	Návrh tepelného výkonu pro vytápění	58
3	Návrh otopných ploch	61
4	Návrh teplovzdušných vytápěcích jednotek – Sahar	63
5	Vzduchotechnická jednotka	63
6	Ohřev teplé vody.....	64
7	Dimenzování, hydraulické posouzení potrubí a regulace.....	64
8	Návrh zdroje tepla.....	66
9	Návrh zabezpečovacího zařízení a zařízení pro vyrovnávání tlaku.....	67
10	Roční potřeba tepla a paliva	67
	Závěr.....	68
	Seznam použitých zdrojů	69
	Seznam použitých zkratk a symbolů	72
	Seznam příloh.....	74
	Výkresová dokumentace.....	74

A. TEORETICKÁ ČÁST

Úvod

Předmětem mé diplomové práce bude téma nepřímotopného ohřevu vzduchu. Tento způsob vytápění je v dnešní době jeden z nejrozšířenějších při krytí tepelných ztrát objektu a tvorbě vnitřního mikroklimatu. Princip nepřímotopného ohřevu spočívá v centrálním zdroji tepla, který ohřívá nějaký druh teplotonosné látky a předává jí tepelnou energii. Tato teplotonosná látka je následně zpravidla dopravena do místa, kde se nachází teplosměnný element. Teplotonosná látka proudící teplosměnným elementem mu předává tepelnou energii a ten ji hned předává další teplotonosné látce, což je v našem případě vzduch. Zjednodušíme-li tuto definici, při nepřímotopném ohřevu figuruje vždy nějaká primární teplotonosná látka, která předává tepelnou energii sekundární teplotonosné látce přes teplosměnný element. V opačném případě by se jednalo o přímotopný ohřev. Mezi typické a nejrozšířenější zástupce nepřímotopného ohřevu vzduchu patří otopná soustava s otopnými tělesy. Já se však ve své práci zaměřím na další odvětví a to jsou ohříváče vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách potažmo ve vzduchotechnice obecně.

V práci se budu, nejprve krátce věnovat rozdělení vzduchotechnických výměníků dle různých kritérií. V této pasáži obecně poukážu na některá kritéria ovlivňující výkon výměníku potažmo účinnost při přenosu tepla. V další kapitole podrobněji poukážu na problematiku spojenou se schopností výměníku přenášet teplo. Zejména se bude jednat o konvekci a kondukcii tepla a o veličinách a okrajových podmínkách, které je definují. V problematice konvekce se zvláště zaměřím na určování součinitele přestupu tepla α . Co ho ovlivňuje a jak se dá určit pomocí teorie podobnosti v návaznosti na empirická data. V poslední části teoretické části se blíže zaměřím na problematiku kvantitativní a kvalitativní regulace. Jaký vliv má kv hodnota na hydraulické poměry tedy na tlakovou ztrátu armatury a co kv hodnotu definuje. Okrajově se také zaměřím na některé způsoby regulace za pomoci nadřazeného systému Měření a Regulace.

Poznatky získané z teoretické části mé diplomové práce pak využiji při zpracování dvou druhů variant úpravy vytápění stávající výrobní haly s přílehlou administrativou. Mým cílem bude efektivně zakomponovat do stávajícího systému vytápění využívání odpadního tepla s technologií, které vzniká v sousedním objektu při tavení skla. Z tohoto odpadního tepla bude k dispozici pro vytápění vyčleněno 250kW při teplotním spádu 55/45°C. Vlivem chybějících technických podkladů o současné vzduchotechnické jednotce, přesněji nemožnosti určit typ teplovodního ohříváče, provedu experimentální měření s cílem zjistit výkonové a tlakové parametry teplosměnného elementu při teplotních spádech 55/45°C, 55/40°C, 55/35°C a při použití různých druhů teplotonosných látek. S ohledem na zjištěné informace při měření, pak zvolím optimální řešení pro využívání odpadního tepla při vytápění výrobního objektu.

Tyto dvě varianty řešení zpracuji v podobě rozšířené dokumentace pro stavební povolení a na závěr vyhodnotím jejich jednotlivé výhody a nevýhody s cílem doporučit investorovi jednu z variant pro realizaci.

1 Druhy výměníků pro nepřímotopný ohřev vzduchu

Výměníky nebo všeobecněji teplosměnné elementy lze popsat jako hmotné objekty, které mohou zajišťovat řízenou výměnu tepla, látky nebo jejich kombinaci a to mezi dvěma prostředími s rozdílnou teplotní hladinou. Ve vzduchotechnice se zpravidla setkáváme s výměníky instalovanými ve vzduchotechnických jednotkách, v potrubí nebo přímo v místnosti.

Dalším druhem rozdělení výměníků je podle tvaru a velikosti jejich teplosměnné plochy. Zde se např. jedná o deskové výměníky, trubkové výměníky, trubkové s lamelami atd. Podle druhu použitého materiálu to pak může být ocel, nerezová ocel, hliník, měď atd. Řízený přenos tepla a látky však neovlivňuje pouze tvar teplosměnné plochy a druh použitých materiálů, ale záleží i na fyzikálních vlastnostech teplotnosných látek.

Nejčastěji se ve vzduchotechnice jako primární teplotnosná látka (sekundární je vzduch) používá vzduch, chladivo, voda anebo kombinace vody s příměsí nemrznoucí kapaliny v praxi označované jako „glykol“. V návaznosti na druhu teplotnosné látky se poté posuzuje i účinnost přenosu tepla z jedné teplotnosné látky na druhou dle způsobu zapojení výměníku jako takového. Například jiné účinnosti dosáhne výměník deskový se zapojením protiproudým než se zapojením souproudým.

V poslední řadě vliv na výkon a samotnou účinnost přenosu tepla a látky z jedné teplotnosné látky do druhé má regulace. Výkon výměníku se zpravidla řídí dvěma způsoby a to kvantitativním (změnou hmotnostního průtoku jedné z teplosměnných látek) a kvalitativním (změnou teploty vstupující primární teplotnosné látky)

V návaznosti na kvantitativní regulaci a druhu použité teplotnosné látky a tvaru teplosměnné plochy je potřeba posoudit hydraulické charakteristiky daného výměníku a jeho pevnostní parametry.

1.1 Výměníky dle druhu umístění

V oboru vytápění rozlišujeme pro nepřímotopný ohřev vzduchu několik druhů teplosměnných elementů. Každý teplosměnný element pracuje trochu jinak v závislosti na umístění v otopném systému a ve vytápěném prostředí. Ve vzduchotechnickém systému však můžeme obecně rozlišit tři druhy umístění.

1.1.1 Ve vzduchotechnické jednotce

Ve vzduchotechnické jednotce zpravidla rozlišujeme tři druhy výměníků

- Trubkové lamelové výměníky nebo přímé výparníky chladivové pro ohřev vzduchu
- Rekuperační deskové nebo regenerační rotační výměníky pro zpětné získávání tepla nebo tepla a látky
- Z hlediska nepřímotopného ohřevu vzduchu, lze zahrnout i parní vlhčení.

1.1.2 Ve vzduchotechnickém potrubí

Jedná se zejména o vodní lamelové ohřívače a chladivové přímé výparníky v některých případech lze do potrubí umístit i parní vyvíječe. Konstrukčně se jedná o stejné provedení jako ve vzduchotechnických jednotkách, avšak lze optimálně řídit teplotu přiváděného vzduchu pro danou větev vzduchotechnického potrubí. K využití dochází zejména ve stavbách nebo provozech, kde je jedna centrální vzduchotechnická jednotka, a na přívodní vzduch jsou kladeny různé požadavky v závislosti na větrané prostory.

1.1.3 Ve vnitřním prostředí lokální umístění

V některých velmi členitých provozech, mohou vznikat rozdílné požadavky na vnitřní klima zejména ke vztahu k teplotě vnitřního vzduchu. V tomto případě se do místnosti umísťují různé teplosměnné plochy (např. otopná tělesa) pro ohřev vzduchu, případně teplovzdušné vytápěcí jednotky „Sahary“ Obr 1-1 a to jak v provedení s přívodem čerstvého vzduchu a směřováním s vnitřním vzduchem a následným dohřevem a nebo v cirkulačním provedení, kdy je vnitřní vzduch nasáván teplovzdušnou jednotkou z prostoru a dohříván. Na podobném principu pracují i konvektory s ventilátorem, jenž mohou být umístěny v podlaze na stěně nebo zavěšeny pod stropem.

Všechny tyto zařízení jsou v provedení buď teplovodním nebo chladivovým. Lze je však provozovat i jako plynová a elektrická v tomto případě se však jedná o přímotopný ohřev vzduchu.



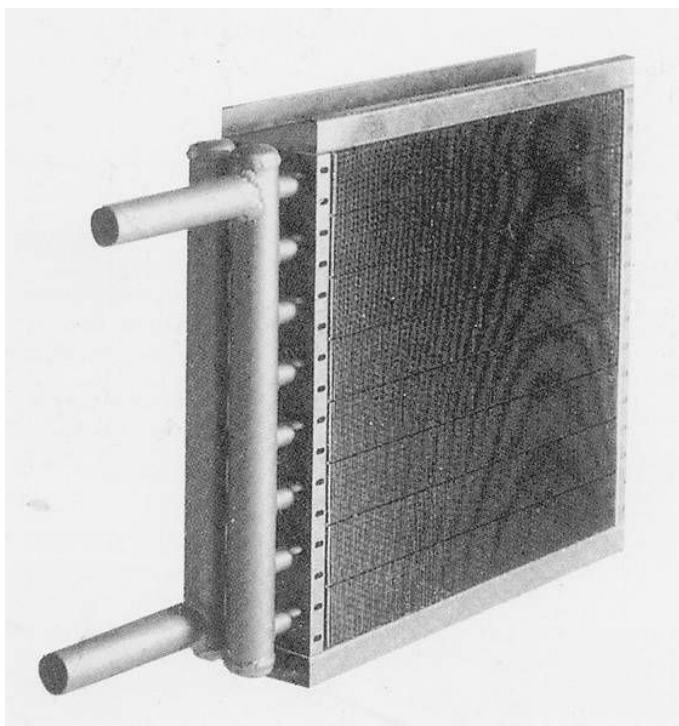
Obr 1-1 Teplovodní vytápěcí jednotka Sahara (1)

1.2 Konstrukce výměníků a použité materiály

Konstrukce výměníku ovlivňuje velikost a tvar teplosměnné plochy. Kdy velikost teplosměnné plochy je důležitá pro určení teoretického maximálního výkonu výměníku, zatímco tvar teplosměnné plochy nám určuje účinnost při předávání tepelné energie mezi dvěma teplosměnnými látkami. Dále i při vhodné volbě materiálu teplosměnné plochy může zvýšit efektivitu přenosu tepla. Ve vzduchotechnice pro ohřev vzduchu se zpravidla používá vodní trubkový lamelový výměník, který se osazuje jak do vzduchotechnických jednotek, tak i do potrubí. Může být použit jako jeden prvek nebo u větších požadavků na výkon a větších průřezových ploch potrubí do soustavy výměníků a tvořit tzv. „výměníkovou stěnu“.

1.2.1 Trubkový lamelový výměník

Jedná se zpravidla o druh výměníku, kde je jako primární teplosměnná látka použita voda nebo některá její kombinace s nemrznoucí kapalinou. Konstrukce výměníku je vytvořena tak, že soustavou menších trubiček proudí primární teplotonosná látka. Aby se zvýšila teplosměnná plocha výměníku, jsou na tyto trubičky přidělané lamely tenkého plechu. Lamely mohou být buď pouze nasazeny, ale pro zvýšení efektivity přenosu tepla jsou zpravidla přiletovány nebo připájeny k trubičkám. Jednotlivé vrstvy lamel poté přijímají za pomoci vedení tepla tepelnou energii z trubiček od primární látky a předávají ji sekundární, která proudí oddělená od primární mezi jednotlivými lamelami.



Obr 1-2 Dvouřadý lamelový ohřívač tepla s 8 okruhy (2)

1.2.2 Použité materiály

Druh použitého materiálu teplosměnné plochy je důležitý u lamelových výměníků zejména z hlediska součinitele vedení tepla λ u lamel. Materiály s větším součinitelem zvyšují účinnost přenosu tepla mezi dvěma teplotonosnými látkami. S ohledem i na ekonomickou stránku konstrukce výměníku jsou nejčastěji použitým materiálem kombinace měděných trubek a hliníkových lamel. Další z použitých materiálů bývá například uhlíková ocel. Součinitele λ jsou uvedeny v tabulce Tab 1-1 kde:

ρ - je měrná hmotnost

λ - součinitel tepelné vodivosti

c - měrná tepelná kapacita

β - teplotní součinitel roztažnosti

Druh kovu	ρ kg/m ³	λ W/mK	c kJ/kgK	β 10 ⁻⁶ K
Hliník	2 700	221	0,920	23,8
Olovo	11 340	35	0,130	29
Železo	7 860	67	0,465	12
Litina	7 200 až 7 300	42 až 63	0,545	9
Ocel 0,2 % C	7 850	50	0,460	11
Ocel 0,6 % C	7 840	46	0,460	11
Měď	8 900	393	0,390	17
Zinek	7 140	109	0,376	29

Tab 1-1 Tepelná vodivost a jiné fyzikální vlastnosti vybraných kovů (3)

1.3 Teplonosné látky

Jako teplonosné látky rozlišujeme ve vzduchotechnice pro ohřev vzduchu několik druhů. Může se jednat o vzduch, zejména při zpětném získávání tepla, může se jednat o chladivo z pravidla při využití tepelných čerpadel vzduch/vzduch a nebo v konečné řadě o vodu nebo o její kombinaci s nemrznoucími kapalinami.

1.3.1 Voda

Běžně dostupná a využívaná teplonosná látka v otopných soustavách. Využití jako teplonosná látka nachází ve dvou skupenství a to jako kapalina nebo v plynné fázi jako pára. V dnešní době se však od použití páry ustupuje z hlediska její výrazně složitější regulace a pára bývá používána spíše už jen pro specifické technologie. Ve vzduchotechnice se jedná zejména o parní vlhčení.

V případě, že provozujeme velkou komplexní soustavu, se doporučuje vodu před napuštěním ošetřit a zbavit ji přebytečných minerálů a rozpuštěného vzdušného kyslíku. Po těchto úpravách se zvyšuje životnost otopné soustavy a zlepšuje se měrná tepelná kapacita teplonosné látky.

Voda je v otopných soustavách využívána zejména díky své velké tepelné kapacitě c a viskozitě ν . Vodu v kapalném stavu lze v otopné soustavě bezpečně provozovat od teplot +5°C do 90°C za předpokladu uzavřené soustavy a zvýšeného tlaku v soustavě lze přesáhnout teplotu 100°C až na teploty 135°C, kdy je voda stále v kapalném stavu. Taková soustava se pak nazývá horkovod.

1.3.2 Směsi vody s nemrznoucí kapalinou

Teplonosná látka skládající se ze směsi a glykolu se primárně využívá v těch otopných soustavách, kde je riziko zamrznutí teplonosné látky v potrubí nebo ve výměníku tepla. Velmi často se jedná například o potrubní rozvody, které jsou vedeny ve venkovním prostředí, a otopná soustava je provozována přerušovaně. Další z možností je např. využití předeřevu ve vzduchotechnické jednotce, kde je výměník vystaven na sekundární straně venkovnímu vzduchu přiváděného do vzduchotechnické jednotky.

Jako směsi glykolu se zpravidla používají:

- Ethylenglykol
- Propylenglykol

Tyto kapaliny jsou pak míchány s vodou v různých poměrech, v závislosti zejména na teplotách okolních prostředí, kde bude otopná soustava provozována. Běžné poměry se pohybují od 20% až do 45%, kdy např. 40% koncentrace ethylenglykolu odpovídá venkovní teplotě -20°C.

V tabulce Tab 1-2 jsou obsaženy vybrané fyzikální vlastnosti jednotlivých nemrznoucích směsí s vodou při teplotě 20°C kde:

T_t - teoretická teplota při, které je teplotnosná látka stále v kapalném stavu

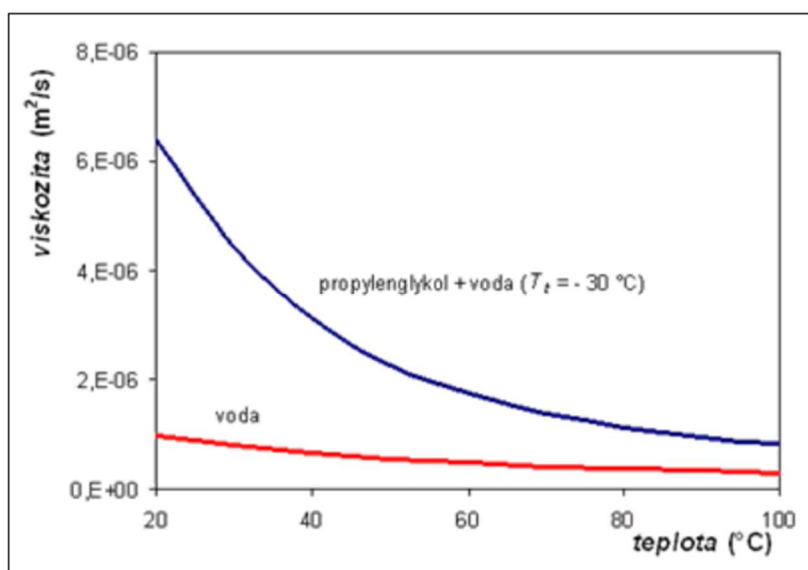
ρ - je měrná hmotnost

ν - kinematická viskozita kapaliny

	T_t (°C)	ρ (kg/m ³)	ν (m ² /s)	c (J/kg.K)
voda	0	998	1,0 x 10-6	4183
etylenglykol + voda	-20	1058	2,8 x 10-6	3630
propylenglykol + voda	-20	1032	4,8 x 10-6	3688
propylenglykol + voda	-30	1047	6,4 x 10-6	3477

Tab 1-2 Fyzikální vlastnosti vody a glykolových směsí s vodou (4)

Z tabulky Tab 1-2 je patrné, že hustota jednotlivých směsí je přibližně stejná, měrná tepelná kapacita směsí s vodou oproti čisté vodě je cca o 25% nižší. Směsi jsou tedy schopné přenášet daleko menší výkon. Co se týče kinematické viskozity, která se projevuje hlavně při posuzování tlakových ztrát, je závislá především na teplotně. Při pohledu na graf Graf 1-1 je patrné, že se zvyšující se teplotou kinematická viskozita směsí klesá a vyrovnává se čisté vodě. (5)



Graf 1-1 Závislost kinematické viskozity vody a směsi propylenglykolu s vodou (4)

V tabulce Tab 1-3 jsou uvedeny hustoty směsi 40% ethylenglykolu s vodou. Data jsou získána z výpočetního programu OemBat.

t	hustota	t	hustota
[°C]	[kg/m ³]	[°C]	[kg/m ³]
0	1060,39	55	1032,32
5	1058,45	60	1029,11
10	1056,39	65	1025,81
15	1054,19	70	1022,42
20	1051,86	75	1018,95
25	1049,41	80	1015,39
30	1046,84	85	1011,76
35	1044,15	90	1008,06
40	1041,35	95	1004,29
45	1038,44	100	1000,45
50	1035,43		

Tab 1-3 Hustota směsi 40% ethylenglykolu a vody

2 Základní fyzikální děje tepelných výměn

Při tepelné výměně mezi dvěma teplotními látkami oddělenými teplosměnnou plochou výměníku rozlišujeme dva fyzikální děje přestup (konvekce) a vedení tepla (kondukce) což dohromady činní prostup tepla.

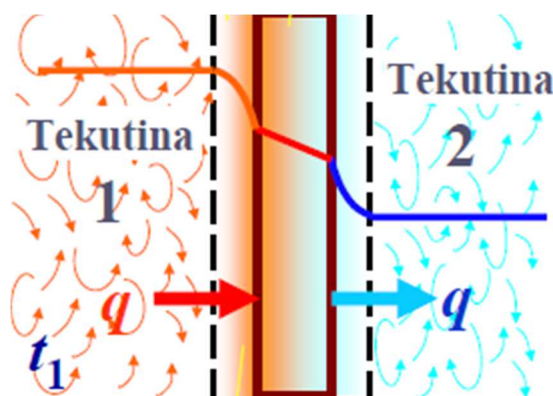
2.1 Přestup tepla - konvekce

Jedná se o fyzikální děj, při kterém na rozhraní dvou látek o různé teplotě dochází k přenesení tepla z jedné látky do druhé. Jedná se tedy o zvláštní druh vedení tepla. (6) K přestupu tepla zpravidla dochází při styku kapaliny nebo plynu s pevnou stěnou. Při tom dochází k ochlazování nebo ohřívání tenké vrstvy tekutiny přiléhající k pevné stěně (záleží na teplotě kapaliny a pevné stěny). Tepelný tok podle rovnice Rov 2-1 je tedy závislý na rozdílu teplot a na součiniteli přestupu α . (7)

$$q = \alpha \times (t_1 - t_2) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Rov 2-1 Tepelný tok přestupu tepla

Součinitel přestupu tepla α je ovlivňován celou řadou dalších faktorů, zejména je to rychlost proudění teplotní látky w , tvar a rozměry teplosměnné plochy, tepelná vodivost λ , tlak p , viskozita teplosměnné látky v , tepelná kapacita c , atd.



Obr 2-1 Přestup tepla z tekutiny 1 na výměňkovou stěnu a do tekutiny 2 (7)

Přestup tepla konvekcí rozlišujeme podle proudění na:

- Volný pohyb, přirozená, volná konvekce
- Vynucená konvekce
- Smíšená (kombinace dvou předešlých)

Jelikož lze ne vždy využít matematického řešení přecházení tepla (pouze u přímé zkoušky) a vzhledem k eliminaci mnoha proměnných během výpočtu, se využívá u výpočtu součinitele podobnosti.

Teorie podobnosti vychází z předpokladu, že pokud máme např. několik různých systémů, stačí definovat pouze jeden z nich (teoreticky nebo experimentálně) a k popisu ostatních nám stačí použít jednoduchých operací (dělení, násobení) na základě vhodných definic. (8) Z teorie nám poté vychází charakteristická konstanta podobnosti – k. (9)

Tato teorie podobnosti lze rozšířit na libovolné fyzikální jevy např. podobnost proudění tekutin, dynamická podobnost, tepelná podobnost atd. Je však omezena podmínkami použití:

- Musí se jednat o jevy stejného druhu
- Mezi systémy musí být geometrická podobnost
- Je možné porovnávat jen stejnorodé veličiny
- Podobnost dvou jevů znamená podobnost jejich charakterizujících veličin
- Pro tepelnou podobnost proudů tekutin je nutná podobná rychlost, viskozita, hustota, teploty, geometrie...
- Konstanty podobnosti u fyzikálních jevů nelze volit libovolně
- U podobných soustav má poměr jistých veličin vždy stejnou hodnotu, kritéria podobnosti či invarianty
- Kritéria se označují počátečními písmeny jmen svých autorů: Ne – Newton, RE - Reynolds, Eu – Euler, Nu – Nusselt nebo K

V souladu s dodržением předchozích podmínek se z diferenciálních rovnic určí kritéria podobnosti dle tří vět podobnosti.

- První věta podobnosti: podobné jevy mají stejná kritéria podobnosti.
- Druhá věta podobnosti: závislost mezi proměnnými lze vyjádřit kritérii podobnosti; $f(K_1, K_2, \dots, K_n) = 0$ (kritéria rovnice)

Třetí věta podobnosti: Jevy jsou si podobné, jsou-li podobné jejich okrajové podmínky a jsou-li kritéria odvozená z těchto podmínek číselně stejná.

Okrajovými podmínkami se rozumí:

- Geometrické
- Fyzikální
- Mezní podmínky
- Časové podmínky

V praxi rozlišujeme několik kritériálních podobností, pro určení součinitele přestupu α nám zpravidla postačí těchto 6.

- Fourierovo číslo:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2}, \quad a = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

Rov 2-2

- Pécletovo číslo:

$$Pe = \frac{wl}{a} = Re \cdot Pr$$

Rov 2-3

- Nusseltovo číslo:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}, \quad \alpha = \frac{Nu \lambda}{l}$$

Rov 2-4

- Prandtlovo číslo:

$$Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{v}{a} = \frac{\mu g c_p}{\lambda}$$

Rov 2-5

- Reynoldsovo číslo:

$$\frac{wl}{v} = Re$$

Rov 2-6

- Grasshoffovo číslo:

$$Gr = \beta \frac{gl^3}{v^2} \Delta t$$

Rov 2-7

Při určování součinitele α se obvykle kritériální rovnice upravují do zjednodušujících tvarů:

$$Nu = f(FO, Pe) = f(FO, Re, Pr)$$

Podmínkou tepelné podobnosti je pak podobnost mechanická vycházející z funkce:

$$Nu = f(FO, Re, Pe, Gr) \text{ nebo } Nu = f(fo, Re, Gr, Pr)$$

U trubkových lamelových výměníků pak určujeme zpravidla součinitel α při přestupu tepla proudící uvnitř trubky, pro které platí:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

Rov 2-8

Po úpravě dostáváme:

$$\frac{\alpha d}{\lambda} = 0,023 \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,8} \left(\frac{\nu}{a} \right)^{0,4}$$

Rov 2-9

Kde:

α - součinitel přestupu tepla $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

d – hydraulický průměr potrubí $[m]$

λ – součinitel tepelné vodivosti $\left[\frac{W}{mK} \right]$

w – rychlost proudící kapaliny $\left[m^3/h \right]$

ν – kinematická viskozita $\left[\frac{m^2}{s} \right]$

a - teplotní vodivost ($a = \lambda / (\rho \cdot c)$) při střední teplotě mezi teplotou stěny a kapaliny

2.1.1 Konvekce při volném proudění

Jedná se o stav, kdy tekutina neproudí kolem teplosměnné plochy za pomoci jiných vnějších sil. Může se např. jednat o proudění vzduchu, které je vyvoláno dvěma rozdílnými měrnými hmotnostmi vzduchu.

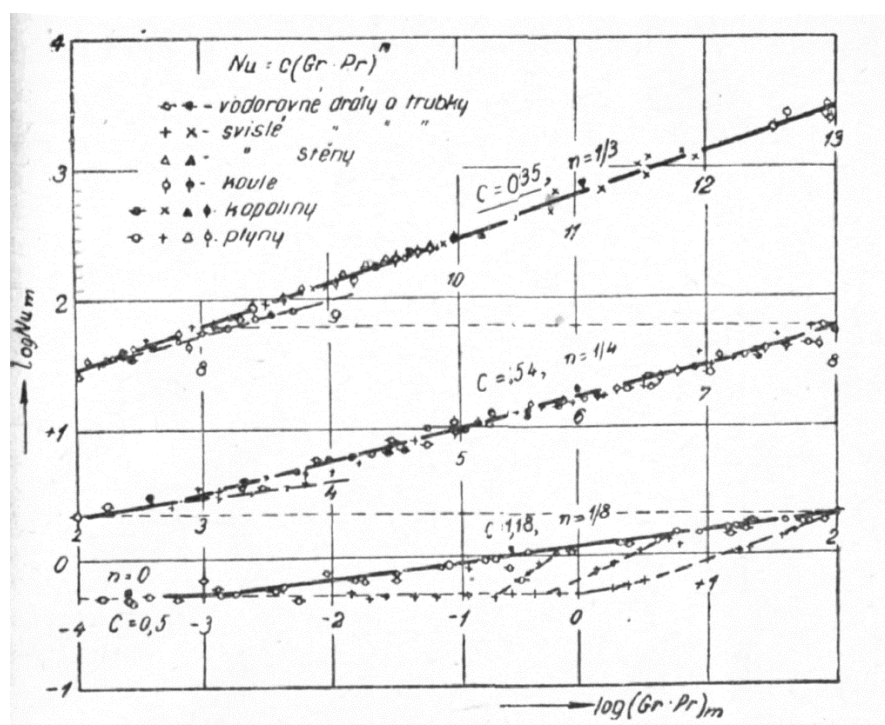
Obecně lze rozlišit 3 druhy samovolného proudění (10):

- Laminární – teplotonosná látka proudí ve vrstvách rovnoběžných ve směru proudu
- Vířnaté
- Turbulentní – části teplotonosné látky přecházejí z jedné vrstvy do druhé

Další závislost je na velikosti prostoru, kdy rozlišujeme (9):

- „neomezený“
- Omezený

Z následujícího grafu Graf 2-1 je patrna logaritmická závislost Nusseltova čísla na násobku Grasshoffova s Prandtlovým v závislosti na tvaru teplosměnné plochy při volném proudění do neomezeného prostoru.



Graf 2-1 Konvekce při volném proudění, do neomezeného prostoru

Matematicky tato závislost lze vyjádřit dle následující rovnice Rov 2-10 a se součiniteli c a n dosazených dle tabulky Tab 2-1. (9)

$$Nu_m = c(Gr \cdot Pr)_m^n$$

Rov 2-10

číslo	$(Gr \cdot Pr)_m$	c	n
1	$1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
2	$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
3	$2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$	0,135	1/3

Tab 2-1 tabulka součinitele c a n

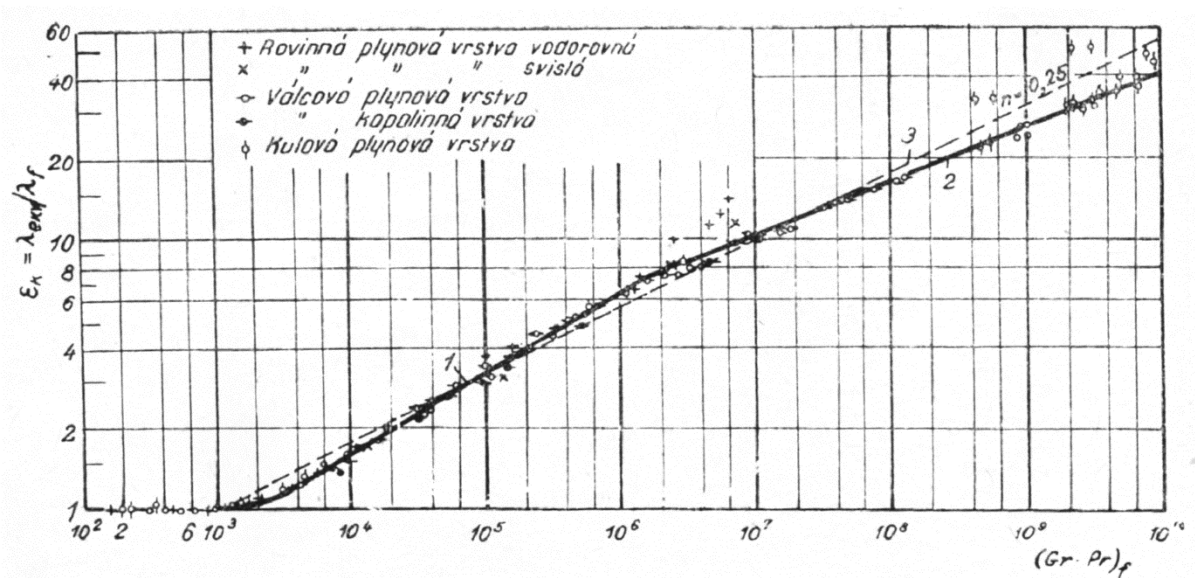
Při konvekci u volného proudění do omezeného prostoru není možné oddělit ochlazování a ohřívání. Důsledkem tohoto stavu je nutnost určit tzv. ekvivalentní tepelnou vodivost λ_{ek} . Tato tepelná vodivost se určí za pomoci součinitele konvekce dle rovnice.

$$\varepsilon_k = \frac{\lambda_{ek}}{\lambda}$$

Rov 2-11

Součinitel konvekce se určí v závislosti průběhu funkce f dle následující rovnice a grafu Graf 2-2 (6):

$$\varepsilon_k = f(Gr \cdot Pr)_f$$



Graf 2-2

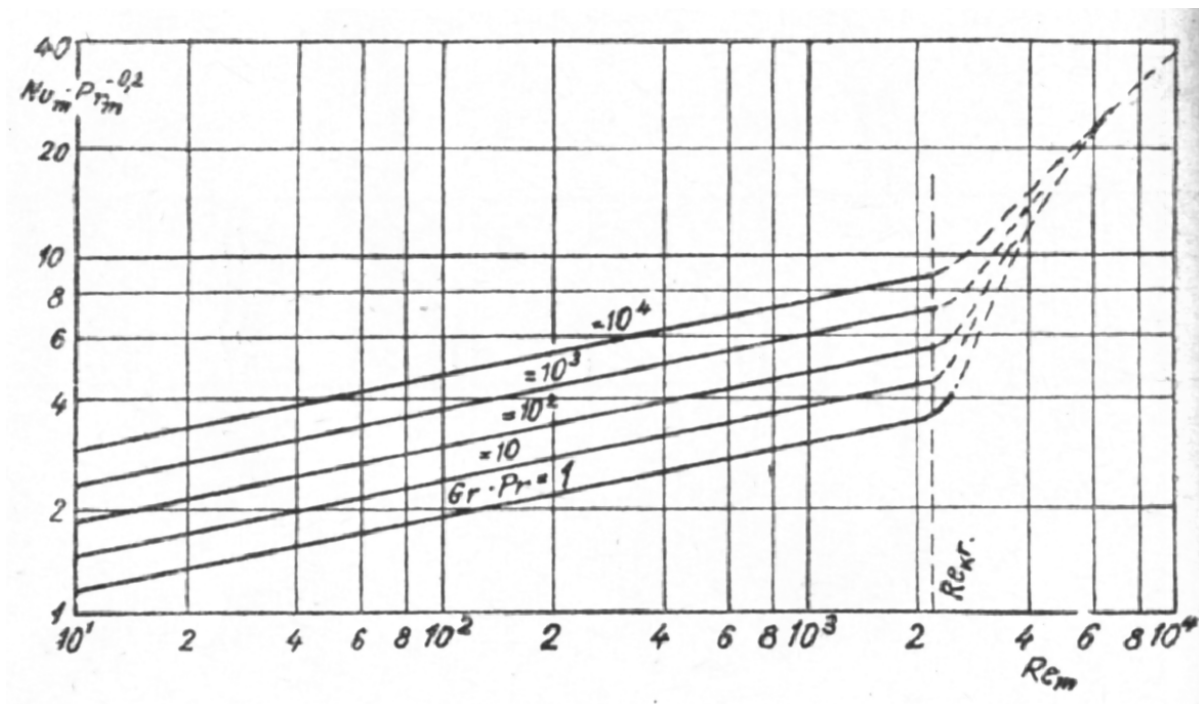
2.1.2 Konvekce při nuceném proudění - přecházení tepla v trubkách

Přestup tepla je závislý na druhu proudění teplotnosné látky. Druh proudění je ovlivňován rychlostí a viskozitou teplotnosné látky a rozlišujeme ho na:

- Laminární proudění jenž platí v rozmezí $0,1 < Re \cdot Pr(D/L) < 10^4$, dle rovnice Rov 2-12 v závislosti dle grafu Graf 2-3, po zjednodušení dostáváme rovnici Rov 2-13. (9)

$$Nu_m = 0,74 Re_m^{0,2} (Gr \cdot Pr)_m^{0,1} Pr_m^{0,2}$$

Rov 2-12



Graf 2-3

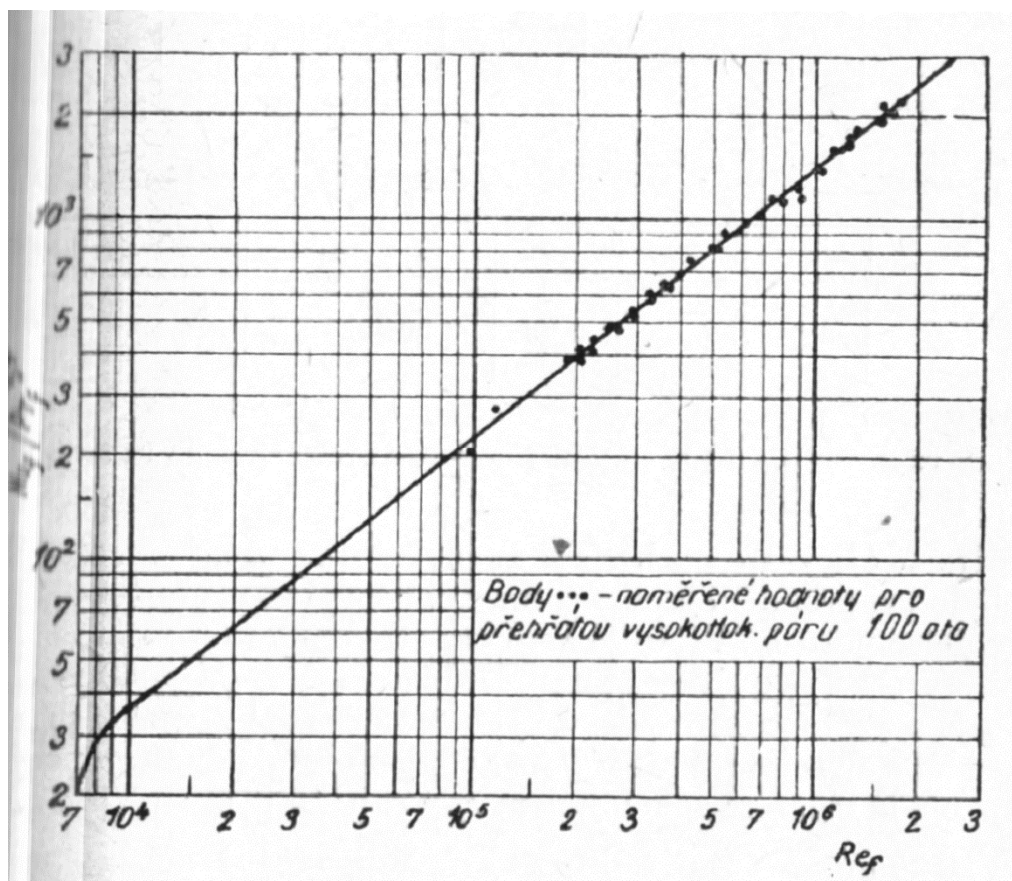
$$Nu = \left[3,65 + \frac{0,19[Re Pr(D/L)]^{0,8}}{1 + 0,117[Re Pr(D/L)]^{0,467}} \right] (v/v_s)^{0,14}$$

Rov 2-13

- Turbulentní proudění nastává při vyšších rychlostech proudění teplotnosné látky a pohybuje se v rozmezích $10^4 < Re Pr(D/L)$. U turbulentního proudění se pak vychází z rovnice Rov 2-14 průběh je znázorněn pomocí grafu Graf 2-4: (9)

$$Nu_f = 0,023 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,4}$$

Rov 2-14



Graf 2-4

V případě proudění teplotnosné látky kolmo k trubce, se postupuje dle rovnice, kde se součinitel c a n dosazují za pomoci tabulky.

$$Nu_f = c \cdot Re_f^n \cdot Pr_f^{0,4}$$

Rov 2-15

Re_f	c	n
5 - 80	0,93	0,4
80 - $5 \cdot 10^3$	0,715	0,46
$5 \cdot 10^3$ - více	0,226	0,6

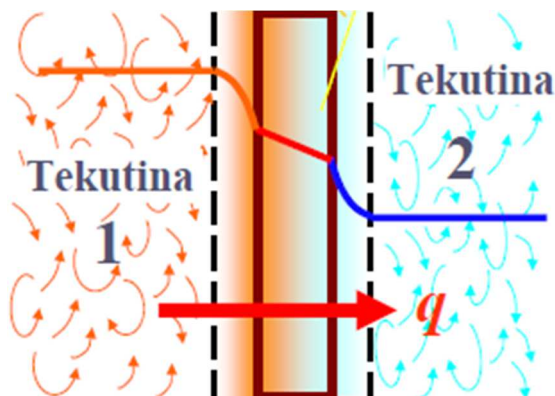
Tab 2-2 závislost součinitele c a n na Reynoldsově čísle

2.2 Vedení tepla - konduktce

Jedná se o jeden ze způsobů šíření tepla v tělesech, kdy částice v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie dalším částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií prostřednictvím vzájemných srážek. Částice se při tomto jevu nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

Pro kapaliny a plyny se uplatňuje kombinace šíření tepla vedením a prouděním, v případě pevných těles se jedná pouze o vedení. Tepelná vodivost materiálu nám určuje rychlost vedení tepla. K určení rychlosti materiálu vést teplo nám slouží součinitel tepelné vodivosti λ . Dle velikosti součinitele můžeme rozlišovat materiál na dvě skupiny: (11)

- Tepelné vodiče: jedná se o materiály s vysokou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a rychlost vedení tepla je velká.
- Tepelné izolanty: jedná se o materiály s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a rychlost vedení tepla je malá.



Obr 2-2 Přenos tepla vedením přes výměňkovou stěnu (7)

U výměníků tepla se jako materiál pro teplosměnnou plochu uvažuje zejména materiál s velmi vysokou tepelnou vodivostí (např. měď, hliník)

Z hlediska dynamiky lze vedení tepla také rozdělit na tzv.: (11)

- Ustálené (stacionární) vedení tepla, což znamená, že teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa se v čase nemění. Typickým příkladem je vedení tepla přes obvodovou stěnu budovy z vnitřního do venkovního prostředí. Také se jedná o výpočtový stav probíhajícího děje u vzduchotechnického výměníku.
- Neustálené (nestacionární) vedení tepla- teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa, mezi kterými dochází k přenosu tepla, se postupně vyrovnávají. Např. chladnutí otopné vody v otopném tělese.

U ustáleného vedení tepla, tedy nedochází ke změně rozdílu teplot tedy $t_1 - t_2$. Podíl rozdílu teplot a tloušťky materiálu, ve kterém dochází k vedení, se nazývá teplotní gradient (spád) a lze ho vyjádřit jako:

$$\frac{t_2 - t_1}{d} \left[\frac{K}{m} \right]$$

Rov 2-16

Hustota tepelného toku stěnou pro ustálené vedení pak lze vyjádřit za pomoci rovnice Rov 2-17:

$$q = \lambda \frac{t_2 - t_1}{d} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Rov 2-17

2.3 Prostup tepla

Jedná se o přenos tepla mezi prostředím oddělenými stěnou v našem případě teplosměnnou plochou výměníku. Tento tepelný Q tok lze definovat rovnicí, za pomoci rozdílu teplot jednotlivých prostředí, velikostí teplosměnné plochy a zejména součinitelem prostupu tepla U (v minulosti se tento součinitel označoval také jako k), jenž je matematické vyjádření kombinace dvou fyzikálních jevů přestupu a vedení tepla.

$$Q = \sum S \times U \times (t_2 - t_1) [W]$$

Rov 2-18

Samotný výpočet součinitele tepla se liší v závislosti na tvaru teplosměnné plochy a v praxi rozlišujeme dvě rozdělení:

- Součinitel prostupu tepla rovinou stěnou dle rovnice Rov 2-19:

$$U_R = k_R = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{s_0}{\lambda_0} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Rov 2-19

- Součinitel prostupu tepla válcovou stěnou dle rovnice Rov 2-20:

$$U_V = k_V = \left(\frac{1}{\alpha_1 D_1} + \sum \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_2} \right)^{-1} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Rov 2-20

Kde:

α – součinitel přestupu tepla mezi teplotonosnou lákou a stěnou výměníku $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

s_0 – tloušťka dané vrstvy teplosměnné plochy výměníku [m]

λ_0 – součinitel tepelné vodivosti $\left[\frac{W}{m K} \right]$

D_i – vzdálenost i-té vrstvy od středu válce [m]

V praxi se však setkáváme s tím, že tloušťka materiálu teplosměnné plochy je tak nízká, že výsledný odpor u vedení tepla je velmi malý, a proto ho při výpočtu zpravidla zanedbáváme. Dominantní je tedy pro výpočet výkonu výměníku samotný přestup tepla.

3 Regulace výkonu výměníků na straně primární teplotonosné látky

V provozu se často setkáváme, že reálné okrajové podmínky nejsou stejné jako ty výpočtové. U vzduchotechnických výměníků se jedná zejména o to, že se nám mění parametry sekundární teplotonosné látky, tedy vzduchu. Dle normy ČSN EN 12831

Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu (12) se výpočtová teplota venkovního vzduchu pohybuje v České Republice od -12°C do -18°C . Ve vzduchotechnice se v praxi však zpravidla situace záměrně zhoršuje a výpočtové teploty se snižují o další 3°C . Vzduchotechnický výměník je pak dimenzován na teplotu, která je pro danou lokalitu extrémní a statisticky se v roce projeví zhruba 5 krát do roka.

V tomto ohledu je třeba v přechodných obdobích, kdy je už teplota venkovního vzduchu nízká a je potřeba vzduch ohřívat, účelně regulovat topný výkon výměníku. Nejčastěji rozlišujeme dva druhy regulace:

- Regulace kvantitativní
- Regulace kvalitativní

Samotná regulace se zpravidla u vzduchotechniky provádí na primární teplotonosné látce, tedy na vodě. Regulace na straně vzduchu je přípustná a provádí se za pomoci tzv. obtoku, kdy se část vzduchu přepustí mimo výměník, zatímco zbytek vzduchu prochází výměníkem. Za výměníkem se tyto dva stavy vzduchu smíchají. Přepouštění se provádí v takovém poměru, aby se za výměníkem dosáhlo požadované výstupní teploty vzduchu. Tento typ regulace je však méně přesný a používá se zejména u rekuperačních výměníků (zpětné získávání tepla). Avšak primární teplotonosná látka voda (a její směs) je daleko snadněji regulovatelná. Oba druhy regulace se liší, zejména hydraulickými poměry v otopné soustavě a typem použitých armatur.

3.1 Regulace kvantitativní

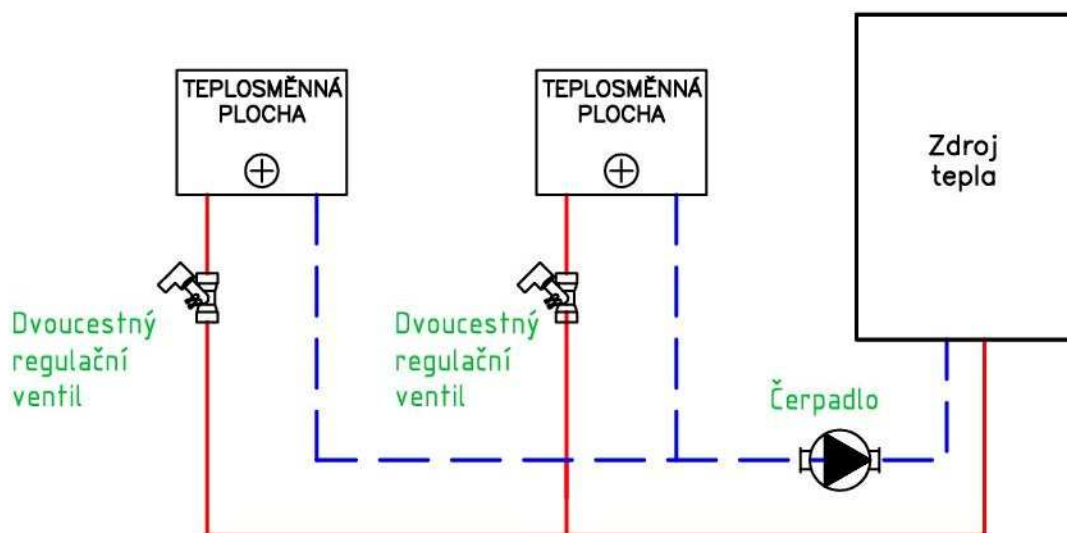
Jedná se o regulaci, kdy se záměrně omezuje objemový průtok primární teplotonosné látky výměníkem. To se projeví tak, že do výměníku vstupuje teplotonosná látka o stále stejné teplotě t_{11} , ale snížením průtoku klesá i rychlost proudění teplotonosné látky a dochází k většímu „vychladnutí“. Touto regulací tedy dochází k poklesu středního rozdílu teplot teplosměnných látek. To se projeví zejména na výstupních teplotách teplotonosných látek t_{12} a t_{21} a dojde tedy ke snížení účinnosti přenosu tepla a snížení topného výkonu výměníku.

Docílení změny objemového průtoku, lze několika způsoby:

- Vsazením místního odporu, zpravidla dvoucestné regulační armatury.
- Změna otáček oběhového čerpala v otopné soustavě, za pomoci frekvenčního měniče.
- Kombinace dvou předešlých metod.

3.1.1 Dvoucestná regulační armatura

Jedná se o nejrozšířenější způsob kvantitativní regulace. Dvoucestná regulační armatura lokálně mění průtok teplotonosné látky v potrubí, tím že se zavírá nebo otevírá Obr 3-1. Tento druh regulace se v celé otopné soustavě projeví jako zásah do hydraulických poměrů. Kdy uzavíráním armatury roste tlaková ztráta dané větve. To může mít dopad na zbytek soustavy v závislosti na použitém čerpadle.



Obr 3-1 Příklad schéma zapojení u kvantitativní regulace

Zvýšením tlakové ztráty a snížením objemového průtoku v dané větvi, se může tato regulace projevit negativně v dalších větvích, kde může dojít k nárůstu objemového průtoku. V dnešní době se však již u menších oběhových čerpadel používá tzv. funkce autoadapt (13), která neustále diagnostikuje hydraulické poměry v otopné soustavě a dokáže vhodně reagovat na případné změny.

Otevíráním a zavíráním armatury se mění její K_v hodnota, která je zjednodušeně definována jako (14):

$$K_v = 0,01 \frac{q}{\sqrt{\Delta p}} \left[\frac{l}{h} \right]$$

Rov 3-1 základní výpočet k_v hodnoty

Kde:

q – je objemový průtok danou armaturou $\left[\frac{l}{h} \right]$

Δp – rozdíl tlaků před a za armaturou (tlaková ztráta armatury) $[kPa]$

Zmíněná rovnice není zcela přesná, ale pro běžnou projekční praxi je plně dostačující. K_v hodnota je průtokový součinitel, který udává charakteristický průtok danou armaturou za přesně definovaných podmínek. U řady výrobců se můžeme také setkat se součinitelem K_{vs} jedná se o hodnotu, která je charakteristická pro plně otevřenou armaturu. Tato hodnota zpravidla definuje, jaké množství objemového průtoku proteče danou armaturou při tlakové ztrátě 1bar (100kPa).

Přesné odvození K_v hodnoty vychází ze základního vztahu pro výpočet tlakové ztráty v potrubí.

$$\Delta p(l) = \frac{\lambda(l) * w^2(l) * \rho(l) * l}{2dv}$$

kde:

$\Delta p(t_1)$ je tlaková ztráta (Pa) při průtoku vody o teplotě t_1 .

λ je součinitel tření (-) pro základní druhy proudění vody o teplotě t_1 v průměru d .

w je rychlost proudění vody (m/s) o teplotě t_1 .

ρ je měrná hmotnost vody (kg/m³) o teplotě t_1 .

l je délka potrubí (m).

d_v je vnitřní průměr potrubí (m).

Pro získání vyjádření K_v hodnoty pro nějakou závislost musí rovnice Rov 3-2 základní vztah pro tlakovou ztrátu potrubí pracovat s rychlostmi proudění teplotně nezávislé látky w , při kterém se součinitel tření λ v závislosti na Reynoldsově číslu prakticky již nemění. Této podmínce tak vyhovuje pouze oblast hydraulicky drsného turbulentního proudění, které je vymezeno tzv. Blasiovou křivkou. Z této podmínky je zřejmé, že hodnota K_v neplatí pro přechodné a laminární proudění. Pro co nejpřesnější určení K_v hodnoty je dobré, aby rychlost proudění byla co nejrychlejší. Tato podmínka je v případě dvoucestných regulačních armatur zpravidla splněna a pro dva různé stavy proudění teplotně nezávislé látky lze zavést vztah Rov 3-3:

$$\Delta p_2(t_2) = \Delta p_1(t_1) * \left(\frac{w_2(t_2)}{w_1(t_1)} \right)^2 * \frac{\rho(t_2)}{\rho(t_1)}$$

Rov 3-3 Tlakoví ztráty při různých stavech proudění

Rychlost proudění lze také jednoduše vyjádřit objemovým průtokem Q (m³/s) a dostáváme upravený vztah Rov 3-4:

$$\Delta p_2(t_2) = \Delta p_1(t_1) * \frac{\left(\frac{4Q_2(t_2)}{\pi d_v^2} \right)^2}{\left(\frac{4Q_1(t_1)}{\pi d_v^2} \right)^2} * \frac{\rho(t_2)}{\rho(t_1)} = \Delta p_1(t_1) * \frac{\frac{16Q_2^2(t_2)}{\pi^2 d_v^4}}{\frac{16Q_1^2(t_1)}{\pi^2 d_v^4}} * \frac{\rho(t_2)}{\rho(t_1)}$$

Rov 3-4 vyjádření rychlosti pomocí objemového průtoku

Po úpravě dostáváme zjednodušený vztah Rov 3-5:

$$\Delta p_2(t_2) = \Delta p_1(t_1) * \frac{Q_2^2(t_2)}{Q_1^2(t_1)} * \frac{\rho(t_2)}{\rho(t_1)}$$

Rov 3-5 vyjádření rychlosti pomocí objemového průtoku zjednodušení

Ze vztahu Rov 3-5 je zřejmé, že nová tlaková ztráta Δp_2 při průtoku Q_2 se získá vynásobením původní tlakové ztráty Δp_1 poměrem kvadrátů nového objemového průtoku Q_2 a původního objemového průtoku Q_1 . Nyní se původní tlaková ztráta označí za jednotkovou $\Delta p_1=1$ a průtočné množství vody Q_1 se laboratorně změří při referenčním tlaku $\Delta p_1=1\text{bar}$. Toto naměřené objemové množství vody Q_1 [m³/h] se

nazývá Kv hodnota. Pro jednotné výsledky se všechny naměřené hodnoty udávají při měrné objemové hmotnosti $\rho(t_1)=1000\text{kg/m}^3$.

Po dosazení do rovnice Rov 3-5 za $Dp_1(t_1)$ hodnotu 1 (1bar) za $Q_1(t_1)$ laboratorně naměřený objemový průtok vody v m^3/h (Kv hodnotu) a za $\rho(t_1)$ měrnou hmotnost vody 1000kg/m^3 , dostáváme vztah pro výpočet tlakové ztráty v Pa za pomoci Kv hodnoty se zohledněním teploty dané teplotnosné látky.

$$\Delta p = \left(\frac{Q_t}{K_v} \right)^2 * \frac{\rho}{1000} * 10^5$$

Rov 3-6 Výpočet tlakové ztráty [Pa] pomocí hodnoty Kv

kde:

Dp je tlaková ztráta armatury (Pa) při pracovní teplotě vody $t^\circ\text{C}$ a při průtoku Q_t .

Q_t je pracovní průtok vody (m^3/h) při pracovní teplotě $t^\circ\text{C}$.

K_v je průtokový součinitel (m^3/h) při $Dp = 100\,000\text{ Pa}$ (1 bar) a při $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$.

ρ je měrná hmotnost vody při pracovní teplotě $t^\circ\text{C}$.

1000 je měrná hmotnost vody, pro kterou byla korigována naměřená hodnota K_v .

3.1.2 Regulace za pomoci změny otáček oběhového čerpadla

V dnešní době je možné využívat v otopných soustavách pro vytápění pouze oběhových čerpadel s elektronickým řízením otáček v souladu se směrnicí EuP v návaznosti na EcoDesign, tedy s takzvanou modulací výkonu.

Princip modulovaného výkonu čerpadla je ten, že čerpadlo je schopné v rámci svého výkonového rozsahu pracovat v jakémkoli bodě. V případě správného návrhu oběhového čerpadla pak již není nutné do otopné soustavy umísťovat regulační ventily a uměle vyvolávat tlakovou ztrátu místním odporem. Toto řešení pak šetří energii při provozu otopné soustavy. Dnešní čerpadla jsou dělána v provedení z tzv. autoadaptem, což znamená, že čerpadlo Automaticky, bez nutnosti zásahu obsluhy, nastavuje neoptimálnější provoz čerpadla tak, aby byl zajištěn patřičný výkon čerpadla pro zajištění vytápění daného objektu a současně aby byly nastaveny co nejnižší otáčky a tím aby docházelo k maximálnímu šetření el. energie (16). Tento způsob regulace výkonu oběhového čerpadla však více méně reaguje na změnu tlakových poměrů v otopné soustavě a proto by se dal řadit spíše do kategorie kombinace změny tlakových poměrů a objemového průtoku v závislosti na oběhovém čerpadle.

V případě větších otopných soustav při velkých tepelných výkonech a objemových průtocích, lze efektivně regulovat výkon otopné soustavy/větvě změnou otáček oběhového čerpadla. Tato regulace se děje za pomoci frekvenčních měničů, jenž změnou vstupní frekvence ovlivňují otáčky oběhového čerpadla, které mají vliv na dopravní výšku čerpadla a objemový průtok.

3.2 Regulace kvalitativní

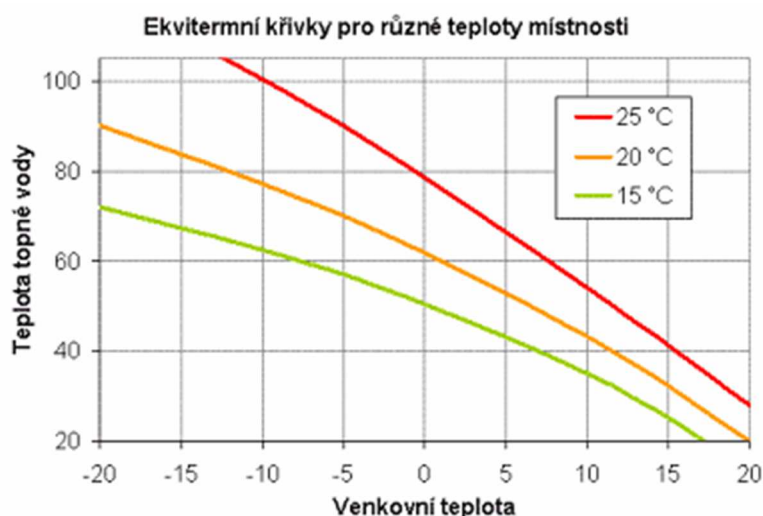
Jedná se o regulaci, kdy se zachovává objemový průtok teponosné látky a dochází pouze ke změně vstupní teploty teponosné látky. Vlivem různých teplot se reguluje výkon. Regulaci můžeme rozdělit do dvou odvětví, kdy dochází ke změně teploty teponosné látky a to:

- Regulaci ekvitermní, změna teploty na zdroji tepla
- Regulaci směřování, mísení teponosných látek o různých teplotách

3.2.1 Ekvitermní regulace

Pojem řízení kotle podle ekvitermní regulace znamená, že se upravuje teplota teponosné látky, na kterou je látka ohřívána ve zdroji tepla. Jedná se tedy o modulaci výkonu samotného zdroje tepla. Princip ekvitermní regulace je řízení výkonu zdroje podle aktuální venkovní teploty a charakteristiky samotné otopné soustavy. Princip vychází z toho, že čím více je venku tepleji tím méně je potřeba dodávat tepla do otopné soustavy. Hledá se tedy optimální poměr mezi dodaným teplem do otopné soustavy a samotnými tepelnými ztrátami objektu.

Tento poměr řízení teploty výstupní teploty teponosná látky je řízen v závislosti na tzv. ekvitermních křivkách. Z grafu je patrná závislost výstupní teploty otopné vody na venkovní teplotě a požadované teplotě v interiéru.

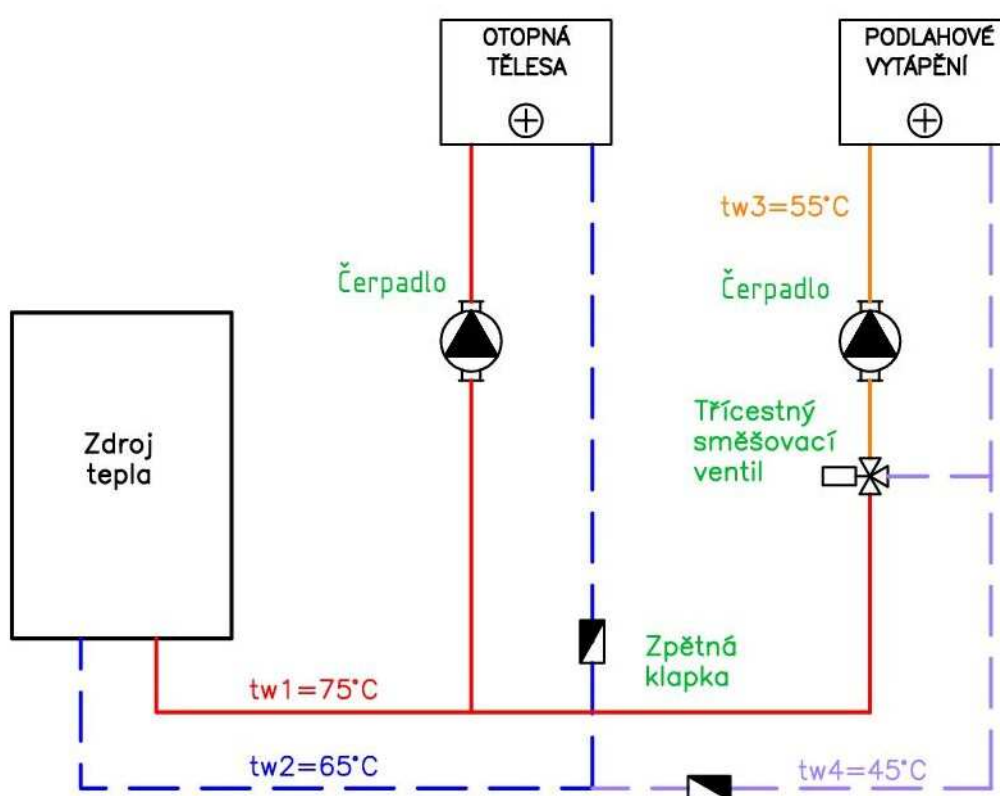


Graf 3-1 Ekvitermní křivky

3.2.2 Regulace směšováním

Jedná se o regulaci při, které dochází k mísení dvou teponosných látek o stejných vlastnostech, ale rozdílných teplotách. Mísení probíhá v takovém poměru, aby výstupní teponosná látka měla požadovanou teplotu. S tímto druhem regulací se zpravidla setkáváme u vzduchotechnických jednotek a v případech pokud máme členitou otopnou soustavu a pro jednotlivé větve potřebujeme teponosné látky o různých teplotách. V takovém případě se směšovací armatura osazuje na patě větve, kde dochází k mísení teponosné látky z primárního okruhu s vratnou teponosnou látkou ze sekundárního okruhu.

Směšování může probíhat, buď za pomoci třícestných, nebo čtyřcestných směšovacích armatur. Tyto armatury jsou zpravidla řízeny vlastním servopohnem, který může být ovládán termostatickou regulací případně nadřazenou MaR. Samotné směšování může být napojeno i na ekvitermní regulaci. Typickým příkladem využití regulace směšování je u staveb s kombinovaným vytápěním otopnými tělesy a podlahovým vytápěním Obr 3-2. Zatím co otopná tělesa potřebují co nejvyšší teplotu teplosměnné látky pro maximalizaci svého výkonu, podlahové vytápění je limitováno maximální vstupní teplotou 55°C. dochází tedy k směšování a úpravě na požadovanou teplotu.



Obr 3-2 Schéma zapojení směšovaného a nesměšovaného topného okruhu

3.3 Řízení regulace armatur

Samotná regulace armatur, může probíhat několika způsoby. A je velice důležitá pro efektivní chod celé otopné soustavy. Zjednodušeně můžeme regulaci armatur rozdělit do tří kategorií:

- Ruční – používá se zejména u hydraulického vyvážení otopné větve (úseku) na nějaký stálý objemový průtok. Pro regulaci výkonu jakéhokoli teplosměnného elementu je v dnešní době nevhodná.

- Termostatické – jedná se o velmi jednoduché a efektivní řízení regulace regulačních armatur. Termostatická hlavice funguje na principu, kdy její součástí je pouzdro s náplní (vosková nebo kapalinová), která vlivem změny vlastní teploty mění svůj objem. Tento princip funguje jako píst, který působí na regulační ventil a tím ho otevírá nebo zavírá. Ke změně teploty dochází v závislosti na tepelné výměně mezi náplní a okolním prostředím. Reakční doba na změnu okolního prostředí se zpravidla projevuje okolo 15 minut.
- Elektrické za pomoci servopohonů – jedná se o nezbytnou regulaci v podobě náročnějších otopných systému jako je regulace topného výkonu vzduchotechnického výměníku. Armatura je osazena elektrickým regulačním pohonem, který v závislosti na nadřazené MaR mění polohu otevření regulační armatury. Samotné řízení probíhá na základě změny poměru napětí. Samotné servopohony pak nejčastěji pracují s napětím 24V a 230V. Ve výjimečných případech se můžeme setkat i s napětím 12V.

Na další druh rozdělení řízení regulace armatury můžeme nahlížet, jako na polohu uzavíracího prvku armatury. Například u dvoucestného regulačního ventilu se jedná o polohu jeho kuželky. Kdy můžeme rozlišovat mezi polohou plně otevřeno, částečně otevřeno nebo uzavřeno.

Taková regulace se pak rozděluje na takzvanou 2-bodovou a 3-bodovou. Kdy u dvou bodové regulace se jedná pouze o dvě možné polohy regulačního prvku a to plně otevřeno nebo uzavřeno tedy on/off. U 3-bodové regulace pak mluvíme i o možnostech ponechat kuželku mezi polohami plně otevřeno a uzavřeno. Tento druh řízení regulace je pak mnohem plynulejší a efektivnější, bez výraznějších dopadů na hydraulické poměry v otopné soustavě v závislosti na tlakových rázech, způsobených regulační armaturou.

B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1 Cíle experimentálního měření

Ve výrobním areálu firmy SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o. v Litomyšli dochází k rekonstrukci vytápění výrobní haly a administrativy s cílem využívat odpadního tepla z technologie, které je produkováno ve vedlejší budově. Pro dispozici vytápění administrativní budovy byla ze systému maření tepla vybudována odbočka, která končí předávacím výměníkem v kotelně výrobní haly. Teoretický dispoziční výkon výměníku je na sekundární straně 250kW při teplotním spádu 55/45°C. Cílem měření bylo ověřit a posoudit výkon výměníku tepla stávající vzduchotechnické jednotky při změně teploty látky a vstupní teploty primární látky z 80°C na 55°C. Vzduchotechnická jednotka v současnosti slouží pro teplovzdušné vytápění prostorů výroby a skladu. Další součástí mého měření bylo sledování změny tlakové ztráty výměníku při změně druhu teploty látky a jejího teplotního spádu.

2 Využitý software

Pro zpracování dat a výsledků svého měření jsem využil sadu programů Microsoft Office a AutoCad.

3 Měřicí zařízení

Jako měřicí zařízení jsem využil stávající systém měření a regulace s vlastní vizualizací a přístroje zapůjčené firmou Termomont s.r.o.. Jednalo se o zařízení na zjišťování objemového průtoku, tlakové difference a teploty teplotních látek. Jmenovitě šlo o:

- Příložený ultrazvukový průtokoměr TransPort PT878 (17)
- Měřič tlakové difference a teploty teplotní látky TA-SCOPE (18)
- Kanálové teplotní čidlo P12L1000

Veškeré zařízení bylo řádně kalibrováno a bylo přizpůsobeno pro daný druh měření.

3.1 Příložený ultrazvukový průtokoměr TransPort PT878

Jedná se ultrazvukový měřič firmy GE Measurement & Control. měřič se skládá z dvou částí, z měřicí přenosné stanice a příloženého čidla, které se upevňuje na rovný úsek potrubí.

Průtokoměr používá k měření tzv. Transit-Time flow metodu. Kdy, dva snímače přiložené na potrubí slouží jako generátory a přijímače ultrazvukového signálu. Tzn., že oba vysílají ultrazvukový signál, ale každý z nich přijímá pouze signál toho druhého. Časový interval mezi vysíláním a příjmem ultrazvukového signálu je tedy měřen v obou dvou směrech. Když tekutina v potrubí neproudí, tranzitní doba obou signálů je stejná. Když potrubím tekutina proudí, časy jsou rozdílné a tranzitní doba signálů, který putoval proti proudu je delší. Rozdíl tranzitní doby po proudu a proti proudu je úměrný rychlosti proudění kapaliny. Pokud je rozdíl záporný znamená to, že kapalina

proudí směrem od čidla 2 k čidlu 1. Lze tak tedy i určit směr proudění kapaliny v potrubí. (17)

Měřicí rozsahy a technické parametry:

- Pro měření rychlosti a objemových průtoků vody a nemrznoucích směsí na bázi glykolu
- Pro potrubí s dimenzí od 12,7mm do 7,6m všech běžně používaných materiálů
- Tloušťka stěny potrubí musí být maximálně 76,2mm
- Rozsah měření je od -12m/s do +12m/s
- Teploty kapalin: -40°C – 150°C

Odchyšky měření:

- Průtok $\pm 2\%$ u potrubí do průměru 150mm

3.2 Měřič tlakové difference a teploty teplotnosné látky TA-SCOPE

Jedná se o měřič firmy IMI Hydronics Engineering (18). Měřicí zařízení se skládá z přenosné měřicí a zaznamenávací stanice, tlakových a teplotních čidel. Měřicí zařízení snímá tlak z dvou měřících bodů a určuje tak tlakový rozdíl mezi těmito dvěma body. Na základě těchto údajů tak lze stanovit tlakovou ztrátu daného úseku mezi měřícími body.

Měřicí rozsahy a technické parametry:

- Celkový tlak: max. 2 500 kPa
- Tlaková difference: 0 - 200 kPa
- Doporučený rozsah tlak. diferencí během měření průtoku: 3 - 200 kPa
- Měření teploty kapalin: -20°C – +120°C

Odchyšky měření:

- Tlaková difference: 0,1 kPa nebo 1 % z udávané hodnoty, platí vyšší hodnota.
- Teplota: <0.2°C

3.3 Kanálové teplotní čidlo P12L1000

Jedná se o dvě teplotní čidla umístěné před a za vzduchotechnickým výměníkem. Výrobce je firma Multi-Vac (19). Čidla jsou napojena na nadřazenou MaR s vizuálním zobrazením s možností odečtu dat. Jedná se o kanálové teplotní čidlo s odporovým výstupem. Čidlo lze využít pro měření, registraci nebo signalizaci teploty vzduchu ve vzduchotechnickém potrubí. V tabulce Tab 3-1 je uvedena závislost odporu čidla na snímané teplotě.

Měřicí rozsahy a technické parametry:

- Teploty vzduchu: -30°C – +250°C
- Teplota okolí: -30°C – +80°C
- Teplotní koeficient: 5000 ppm/°C

- Typ čidla Ni1000
- Maximální relativní vlhkost 80%

Odchyłky měření:

- Přesnost třída B

Závislost odporu na snímané teplotě

t [°C]	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
R [Ω]	871,7	892,5	913,5	934,7	956,2	978,0	1000,0	1022,3	1044,8	1067,6	1090,7	1114,0	1137,6	1161,5	1185,7
t [°C]	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
R [Ω]	1210,2	1235,0	1260,4	1285,4	1311,1	1337,1	1363,5	1390,1	1417,1	1444,4	1472,0	1500,0	1528,3	1557,0	1586,0
t [°C]	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190
R [Ω]	1615,4	1645,1	1675,2	1705,6	1736,5	1767,7	1799,3	1831,2	1863,6	1896,4	1929,5	1963,1	1997,0	2031,4	2066,2
t [°C]	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250			
R [Ω]	2101,3	2137,0	2173,0	2209,5	2246,4	2283,7	2321,5	2359,8	2398,5	2437,6	2477,2	2517,3			

Tab 3-1 závislost odporu na snímané teplotě (19)

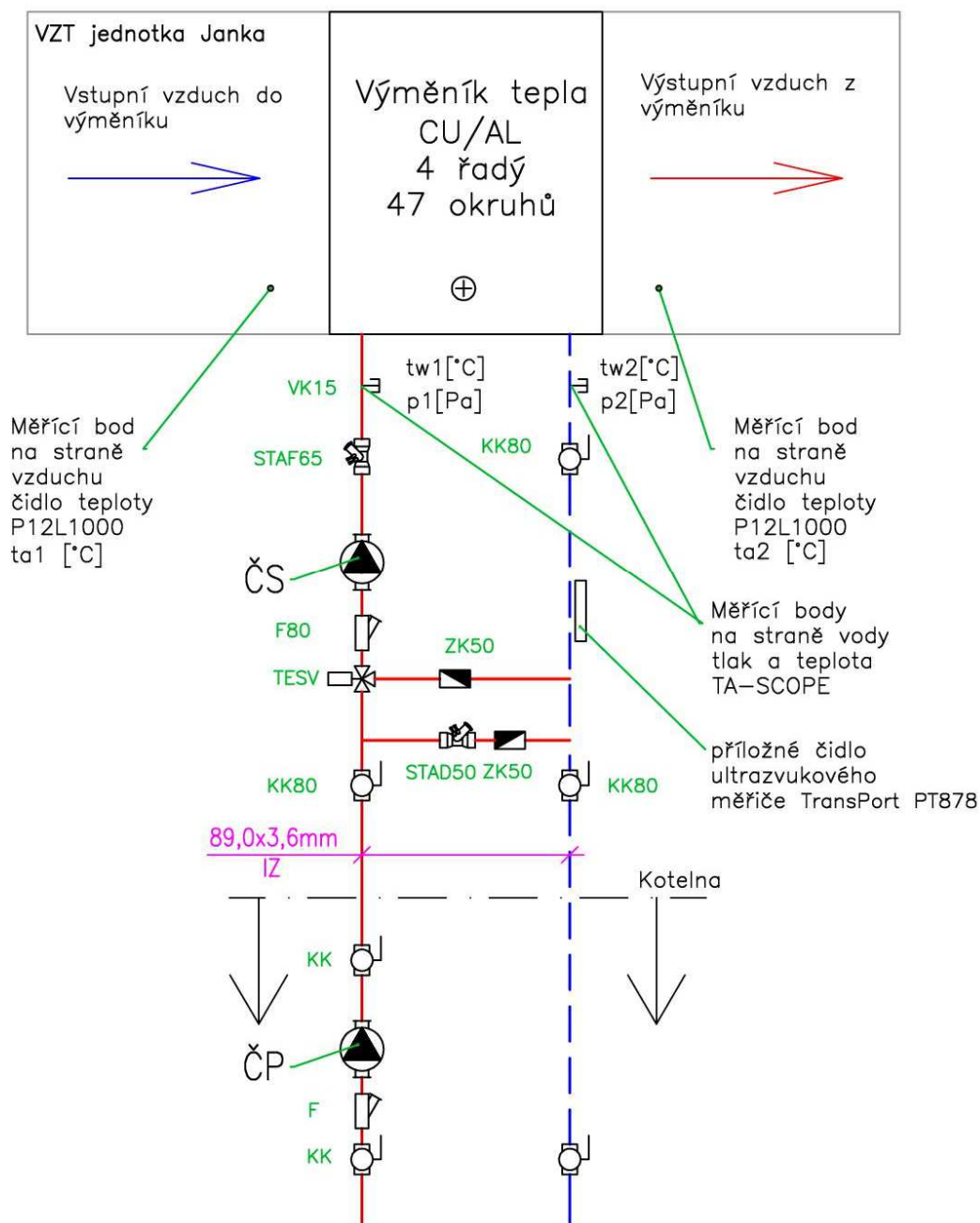
4 Okrajové podmínky při měření

Měření bylo prováděno ve výrobním areálu SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o. v Litomyšli. Měření bylo prováděno po dobu tří dní na stávajícím teplovodním lamelovém výměníku vzduchotechnické jednotky Janka. Výměník byl na otopnou soustavu napojen jako protiproudý. Jedná se o čtyřřadý výměník s 49 okruhy v materiálovém provedení CU/AL. Armatury a oběhová čerpadla jsou podrobně popsána v kapitole schéma měření. Objemový průtok vzduchu V vzduchotechnickou jednotkou byl nastaven nadřazenou MaR na konstantních 28000 m³/h. Potrubí na straně vody bylo v provedení z ocelových bezešvých trub o vnějším průměru 89,0mm s tloušťkou stěny 3,6mm.

	Venkovní teplota vzduchu	Venkovní relativní vlhkost	Teplonosná látka
<i>První den 24. Listopadu 2015</i>	+5°C	75%	voda
<i>Druhý den 25. Listopadu 2015</i>	+4°C	78%	směs vody a ethylenglykolu 30%
<i>Třetí den 26. Listopadu 2015</i>	+5°C	74%	směs vody a ethylenglykolu 40%

5 Schéma zapojení měřené soustavy

Schéma zapojení měřeného výměníku



Kde:

STAF- přírubový vyvažovací ventil STAF fi. IMI-Hydronics dimenze DN65 PN16

STAD- závitový vyvažovací ventil STAD fi. IMI-Hydronics dimenze DN50 PN20

ZK- Zpětná klapka závitová DN50

KK – Kulový kohout uzavírací závitový DN80

VK- vypouštěcí kulový kohout závitový (vstupní měřicí bod) DN15

TESV- Třícestný směšovací ventil se servopohonem přírubový typ 3F50 fi ESBE DN50 PN16

F- Filtr závitový DN80

ČS- Oběhové čerpadlo pro směšovací uzel Magna 50-100F fi Grundfos

ČP – hlavní oběhové čerpadlo osazené na rozdělovači- sběrači v kotelně

Hydraulické zapojení vzduchotechnického výměníku je uzpůsobeno na kvalitativní regulaci za pomoci třícestného směšovacího ventilu. V schématu je i patrné osazení zkratovacího obvodu, který neguje účinky hlavního oběhového čerpadla. Ve zkratovacím obvodu je osazen vyvažovací ventil STAD pro zaregulování. Na přívodním potrubí do výměníku je osazen vyvažovací ventil STAF, kterým bylo možno manuálně regulovat průtok teplotnosné látky a tak dosáhnout požadovaného teplotního spádu.

6 Postup měření

Jak již bylo uvedeno, měření probíhalo po dobu tří dnů a to během odstávky výroby ve výrobní hale. Došlo k odstávce všech otopných větví, kromě otopné větve vzduchotechniky. Za pomoci nadřazené MaR, byl sepnut stávající kotel na plynná paliva v kotelně a byla zprovozněna dodávka otopné vody pro větev vzduchotechniky. Dále byla uvedena do provozu vzduchotechnická jednotka a byl nastaven konstantní objemový průtok vzduchu 28000 m³/h.

V místě měření došlo k sejmutí tepelné izolace z potrubí. Na obnažené vratné potrubí otopné soustavy se umístilo příložné čidlo ultrazvukového měřiče TransPort PT878 a do vypouštěcích kohoutů se pomocí závitů přišroubovala snímací čidla měřiče TA-SCOPE. Veškerá instalovaná měřicí zařízení byla následně kalibrována pro měření. V nadřazeném systému MaR, poté došlo k nastavení vstupní teploty teplotnosné látky na 55°C za pomoci třícestného směšovacího ventilu a zvýšení výkonu oběhového směšovacího čerpadla. Následně došlo k zaregulování objemového průtoku teplotnosné látky na požadovaný teplotní spád 10K a k ověření kalibrace měřících zařízení.

Po naměření a zaznamenání 20 hodnot došlo k přeregulování na teplotní spád 15K a poté v poslední fázi přeregulování na spád 20K. Hodnoty byly odečítány displejů jednotlivých měřících zařízení v intervalu 1 minuty a následně zapisovány na papír. Po ukončení tří částí měření došlo k demontáži měřidel.

Následující den byla měřidla opětovně namontována a do izolované části otopného systému byla napuštěna směs vody a ethylenglykolu v poměru 30% glykolu. Měření bylo opakováno s novou teplotnosnou látkou. Poslední den byla hodnota poměru glykolu upravena na 40% a měření bylo naposledy opakováno.

7 Teorie výpočtů

Pro stanovení výkonu výměníku při použití různých teplotních látek a různých teplotních spádů bude potřeba některé hodnoty dopočítat. Pro každé jednotlivé měření teplot jsem určil teplotní spád na straně teplotní látky a na straně vzduchu. Následně jsem z každých naměřených 20 hodnot určil pro každý teplotní spád aritmetický průměr.

Pro stanovení tepelného výkonu výměníku budu vycházet z teplotního spádu na straně vzduchu, kdy za použití rovnice Rov 7-1 dopočítám předané teplo výměníku vzduchu.

$$Q = \frac{V}{3600} \times \rho \times c \times \Delta t_a [W]$$

Rov 7-1

Kde:

Q – předaný tepelný výkon vzduchotechnickým výměníkem vzduchu [W; kW]

V - objemový průtok vzduchu vzduchotechnickým výměníkem [m^3/h]

ρ - hustota vzduchu [$\frac{kg}{m^3}$]

c – měrná tepelná kapacita vzduchu [$\frac{J}{kgK}$]

Δt_a – teplotní rozdíl vstupního vzduchu a výstupního vzduchu dle: $\Delta t_a = t_{a2} - t_{a1}$ [K]

Hustota ρ a tepelná kapacita vzduchu se vlivem změny teploty vzduchu mění. Hustota při ohřevu vzduchu klesá, zatím co tepelná kapacita vzduchu roste. Teplotní rozdíl Δt_a u jednotlivých měření však není tak markantní, aby změna hustoty ρ a tepelné kapacity c nějak výrazně ovlivňovala samotný výpočet výkonu výměníku. Proto pro výpočet uvažuji s hustotou a tepelnou kapacitou vzduchu při 20°C při tlaku 100kPa.

Hodnoty jsou dle tabulky:

$$\rho = 1,188 \frac{kg}{m^3}$$

$$c = 1010 \frac{J}{kgK}$$

8 Naměřené hodnoty

Jednotlivé naměřené hodnoty jsou postupně řazeny ve sloupcích. Z těchto hodnot je následně na konci každého sloupce aritmetický průměr. Zprůměrované hodnoty pak byly použity při výpočtu.

DATUM MĚŘENÍ:	24.11.2015
ČAS MĚŘENÍ:	10:25
VENKOVNÍ TEPLOTA:	5°C
RELATIVNÍ VLHKOST:	75%
MÍSTO MĚŘENÍ:	Litomyšl
TEPLONOSNÁ LÁTKA:	voda
TEPLOTNÍ SPÁD	10K
ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:	1 minuta
OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU	28000 m3/h
TEPLONOSNÁ LÁTKA	Vzduch

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková diference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	54,6	45,1	9,5	15,73	20,75	4,9	30,0	25,1
2	55,0	44,4	10,6	15,50	20,80	5,1	30,8	25,7
3	54,6	44,6	10,0	15,95	20,71	5,1	30,5	25,4
4	55,0	45,3	9,7	15,70	20,67	5,0	29,8	24,8
5	54,7	45,6	9,1	15,58	20,68	4,9	29,9	25,0
6	55,5	45,6	9,9	15,52	20,68	5,1	30,0	24,9
7	54,5	45,6	8,9	15,82	20,82	5,0	30,7	25,7
8	55,2	44,6	10,6	15,58	20,60	5,1	30,9	25,8
9	54,7	44,6	10,1	15,71	20,64	5,0	30,8	25,8
10	54,6	44,5	10,1	15,57	20,70	5,0	29,5	24,5
11	55,4	44,4	11,0	15,64	20,79	4,9	29,4	24,5
12	55,4	44,7	10,7	15,53	20,78	5,1	30,4	25,3
13	54,6	45,2	9,4	15,60	20,54	5,1	30,3	25,2
14	55,2	45,2	10,0	15,59	20,45	4,9	29,8	24,9
15	54,6	44,7	9,9	15,39	20,52	5,1	30,1	25,0
16	54,5	44,4	10,1	15,77	20,68	5,1	30,9	25,8
17	54,8	44,8	10,0	15,75	20,50	5,0	29,7	24,7
18	54,7	45,0	9,7	15,52	20,63	4,9	30,5	25,6
19	54,9	44,7	10,2	15,81	20,57	5,0	30,7	25,7
20	55,1	45,2	9,9	15,63	20,78	5,0	30,6	25,6
	aritmetický průměr		10,0	15,6	20,7			25,3

DATUM MĚŘENÍ:	24.11.2015
ČAS MĚŘENÍ:	10:43
VENKOVNÍ TEPLOTA:	5°C
RELATIVNÍ VLHKOST:	75%
MÍSTO MĚŘENÍ:	Litomyšl
TEPLONOSNÁ LÁTKA:	voda
TEPLOTNÍ SPÁD	15K
ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:	1 minuta
OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU:	28000 m3/h
TEPLONOSNÁ LÁTKA	Vzduch

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková diference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	54,9	40,3	14,6	6,13	12,54	5,1	29,1	24,0
2	55,3	39,9	15,4	6,64	12,75	5,0	29,3	24,3
3	54,5	39,6	14,9	6,60	12,64	4,9	26,2	21,3
4	55,3	40,1	15,2	6,40	12,62	5,1	26,4	21,3
5	55,2	39,7	15,5	6,20	12,51	5,1	29,8	24,7
6	54,8	39,8	15,0	6,61	12,38	5,1	28,1	23,0
7	55,2	39,7	15,5	6,50	12,70	5,1	29,4	24,3
8	55,1	39,9	15,2	6,27	12,45	4,9	28,9	24,0
9	55,3	40,5	14,8	6,12	12,45	5,1	26,7	21,6
10	54,8	39,4	15,4	6,39	12,49	5,0	27,0	22,0
11	55,4	40,7	14,7	6,30	12,51	5,0	29,6	24,6
12	54,9	39,7	15,2	6,57	12,47	4,9	29,5	24,6
13	55,1	40,2	14,9	6,57	12,68	5,0	28,1	23,1
14	54,7	39,8	14,9	6,59	12,50	5,0	26,7	21,7
15	54,5	39,2	15,3	6,17	12,67	5,1	28,1	23,0
16	54,7	39,7	15,0	6,30	12,42	5,1	28,3	23,2
17	54,8	39,2	15,6	6,57	12,57	5,0	28,3	23,3
18	55,2	40,1	15,1	6,52	12,62	4,9	28,4	23,5
19	55,1	39,9	15,2	6,38	12,58	4,9	26,9	22,0
20	54,8	39,9	14,9	6,54	12,38	4,9	26,4	21,5
	aritmetický průměr		15,1	6,4	12,5			23,1

DATUM MĚŘENÍ:	24.11.2015
ČAS MĚŘENÍ:	11:16
VENKOVNÍ TEPLOTA:	5°C
RELATIVNÍ VLHKOST:	75%
MÍSTO MĚŘENÍ:	Litomyšl
TEPLONOSNÁ LÁTKA:	voda
TEPLOTNÍ SPÁD	20K
ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:	1 minuta
OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU	28000 m3/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková difference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	54,6	34,6	20,0	2,84	8,43	5,0	26,8	21,8
2	54,9	34,7	20,2	3,00	8,46	4,9	25,8	20,9
3	55,1	35,2	19,9	2,84	8,45	4,9	25,2	20,3
4	55,2	35,0	20,2	3,10	8,44	5,0	24,7	19,7
5	55,4	36,1	19,3	3,13	8,41	4,9	25,3	20,4
6	55,1	35,1	20,0	3,01	8,40	4,9	24,9	20,0
7	55,2	35,0	20,2	3,00	8,52	5,1	25,2	20,1
8	54,5	33,9	20,6	2,91	8,45	5,1	26,4	21,3
9	54,6	35,2	19,4	2,92	8,39	5,1	26,6	21,5
10	55,1	35,5	19,6	2,98	8,51	5,0	24,7	19,7
11	54,8	35,0	19,8	2,90	8,52	4,9	25,8	20,9
12	54,8	35,3	19,5	2,81	8,45	5,1	26,1	21,0
13	55,2	35,6	19,6	2,92	8,48	5,1	25,0	19,9
14	54,6	35,2	19,4	2,98	8,51	5,0	24,8	19,8
15	55,4	35,5	19,9	3,15	8,45	5,0	25,5	20,5
16	55,2	35,2	20,0	3,17	8,47	4,9	25,9	21,0
17	54,7	35,3	19,4	3,02	8,45	5,1	26,8	21,7
18	54,5	34,9	19,6	3,14	8,48	4,9	26,3	21,4
19	54,6	34,0	20,6	3,16	8,37	5,0	25,2	20,2
20	54,6	34,2	20,4	2,97	8,37	4,9	25,7	20,8
	aritmetický průměr		19,9	3,0	8,5			20,6

DATUM MĚŘENÍ: 25.11.2015

ČAS MĚŘENÍ:	10:35
VENKOVNÍ TEPLOTA:	4°C
RELATIVNÍ VLHKOST:	78%
MÍSTO MĚŘENÍ:	Litomyšl
TEPLONOSNÁ LÁTKA:	voda + ethylenglykol 30%
TEPLOTNÍ SPÁD	10
ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:	1 minuta
OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU	28000 m3/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková difference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	55,2	45,6	9,6	20,83	21,00	4,0	28,3	24,3
2	55,4	44,9	10,5	20,82	21,23	4,1	28,1	24,0
3	55,4	45,7	9,7	20,53	21,10	4,0	28,6	24,6
4	55,0	45,2	9,8	19,92	21,01	4,0	28,5	24,5
5	55,2	45,3	9,9	20,32	21,20	3,9	28,8	24,9
6	55,3	45,7	9,6	20,58	21,19	3,9	28,0	24,1
7	54,9	45,0	9,9	19,89	21,01	3,9	28,2	24,3
8	55,4	45,5	9,9	20,49	21,37	4,1	28,3	24,2
9	54,5	45,0	9,5	20,25	20,99	3,9	29,1	25,2
10	54,7	44,6	10,1	19,87	21,03	4,1	28,9	24,8
11	54,5	44,1	10,4	20,77	21,20	4,0	29,0	25,0
12	55,0	45,0	10,0	20,38	21,10	4,1	29,1	25,0
13	54,8	44,5	10,3	19,86	21,32	3,9	28,1	24,2
14	55,3	44,9	10,4	20,24	21,24	3,9	28,5	24,6
15	54,9	44,4	10,5	20,84	21,21	3,9	28,4	24,5
16	54,5	44,5	10,0	19,98	21,35	4,1	28,5	24,4
17	55,0	44,7	10,3	20,36	21,19	4,1	28,9	24,8
18	55,2	44,7	10,5	20,24	21,12	4,1	28,5	24,4
19	55,2	45,3	9,9	19,98	21,36	3,9	28,3	24,4
20	55,3	45,6	9,7	20,54	21,12	4,1	28,2	24,1
	aritmetický průměr		10,0	20,3	21,2			24,5

DATUM MĚŘENÍ:**25.11.2015****ČAS MĚŘENÍ:**

11:08

VENKOVNÍ TEPLOTA:

4°C

RELATIVNÍ VLHKOST:

78%

MÍSTO MĚŘENÍ:

Litomyšl

TEPLONOSNÁ LÁTKA:

voda + ethylenglykol 30%

TEPLOTNÍ SPÁD

15K

ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:

1 minuta

OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU:28000 m³/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková diference Δp [kPa]	objemový průtok V [m ³ /h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	54,5	39,6	14,9	7,79	12,56	4,0	26,3	22,3
2	54,7	39,3	15,4	7,83	12,71	3,9	26,0	22,1
3	55,4	40,2	15,2	7,93	12,43	4,0	26,0	22,0
4	54,9	40,2	14,7	7,66	12,49	4,1	26,1	22,0
5	55,5	40,8	14,7	8,03	12,48	4,1	25,1	21,0
6	55,0	40,4	14,6	7,91	12,55	4,0	25,5	21,5
7	55,3	40,8	14,5	7,85	12,73	4,1	26,3	22,2
8	55,1	40,0	15,1	7,97	12,49	4,0	25,3	21,3
9	55,1	40,3	14,8	7,91	12,56	4,1	26,5	22,4
10	54,6	39,2	15,4	7,86	12,55	3,9	25,6	21,7
11	54,5	40,1	14,4	7,90	12,62	4,0	25,4	21,4
12	55,0	39,7	15,3	7,66	12,71	4,0	26,2	22,2
13	55,4	41,0	14,4	7,93	12,79	4,1	25,4	21,3
14	55,3	40,8	14,5	7,89	12,72	4,0	26,1	22,1
15	54,6	39,4	15,2	7,97	12,61	3,9	25,0	21,1
16	55,4	40,8	14,6	7,85	12,58	4,0	25,4	21,4
17	54,5	39,9	14,6	7,70	12,63	3,9	25,1	21,2
18	55,5	41,1	14,4	7,97	12,80	4,1	25,1	21,0
19	55,1	39,9	15,2	7,75	12,52	4,1	25,1	21,0
20	54,7	39,3	15,4	7,86	12,67	4,0	26,4	22,4
	aritmetický průměr		14,9	7,9	12,6			21,7

DATUM MĚŘENÍ:**25.11.2015****ČAS MĚŘENÍ:**

11:08

VENKOVNÍ TEPLOTA:

4°C

RELATIVNÍ VLHKOST:

78%

MÍSTO MĚŘENÍ:

Litomyšl

TEPLONOSNÁ LÁTKA:

voda + ethylenglykol 30%

TEPLOTNÍ SPÁD

20K

ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:

1 minuta

OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU:

28000 m3/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup t_{w1} [°C]	teplota výstup t_{w2} [°C]	teplotní spád Δt_w [K]	tlaková difference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup t_{a1} [°C]	teplota výstup t_{a2} [°C]	teplotní spád Δt_a [K]
1	55,1	35,4	19,7	3,49	7,93	4,0	22,0	18,0
2	55,1	35,3	19,8	3,51	8,07	4,1	22,8	18,7
3	54,7	35,0	19,7	3,53	8,01	3,9	22,7	18,8
4	54,8	34,5	20,3	3,58	7,89	4,0	22,2	18,2
5	55,1	34,9	20,2	3,59	8,04	4,0	22,4	18,4
6	55,1	35,3	19,8	3,59	7,89	4,1	22,2	18,1
7	54,6	34,6	20,0	3,52	8,03	4,1	22,7	18,6
8	55,4	35,5	19,9	3,47	8,08	3,9	22,1	18,2
9	54,9	35,3	19,6	3,50	8,04	4,0	22,2	18,2
10	54,7	34,9	19,8	3,57	7,90	3,9	22,5	18,6
11	55,5	35,4	20,1	3,57	7,97	4,1	22,2	18,1
12	54,6	35,0	19,6	3,54	7,90	4,1	22,8	18,7
13	54,7	35,0	19,7	3,61	7,92	3,9	22,1	18,2
14	55,2	35,5	19,7	3,43	7,96	4,0	22,9	18,9
15	55,4	35,5	19,9	3,51	7,93	4,0	22,3	18,3
16	54,6	34,9	19,7	3,57	8,04	4,0	22,8	18,8
17	54,5	34,2	20,3	3,52	8,08	4,0	22,1	18,1
18	54,7	34,8	19,9	3,60	8,06	3,9	22,8	18,9
19	54,9	34,6	20,3	3,61	7,94	4,1	22,4	18,3
20	55,3	35,1	20,2	3,50	7,97	4,0	22,6	18,6
	aritmetický průměr		19,9	3,5	8,0			18,4

DATUM MĚŘENÍ: 26.11.2015

ČAS MĚŘENÍ: 10:13

VENKOVNÍ TEPLOTA: 5

RELATIVNÍ VLHKOST: 74%

MÍSTO MĚŘENÍ: Litomyšl

TEPLONOSNÁ LÁTKA: voda + ethylenglykol 40%

TEPLOTNÍ SPÁD 10

ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ: 1 minuta

OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU: 28000 m³/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup tw1 [°C]	teplota výstup tw2 [°C]	teplotní spád Δtw [K]	tlaková diference Δp [kPa]	objemový průtok V [m ³ /h]	teplota vstup ta1 [°C]	teplota výstup ta2 [°C]	teplotní spád Δta [K]
1	55,0	45,1	9,9	22,13	21,68	5,1	29,3	24,2
2	55,0	44,6	10,4	22,09	21,71	5,0	29,2	24,2
3	55,1	44,6	10,5	22,12	21,75	5,1	29,4	24,3
4	55,3	44,9	10,4	22,14	21,67	5,0	29,0	24,0
5	55,4	45,3	10,1	21,91	21,80	4,9	29,0	24,1
6	54,7	44,8	9,9	22,00	21,58	4,9	29,2	24,3
7	54,6	44,4	10,2	22,06	21,68	5,0	29,3	24,3
8	54,6	44,5	10,1	21,90	21,56	5,0	29,1	24,1
9	54,8	44,8	10,0	22,07	21,72	5,1	29,1	24,0
10	54,5	44,1	10,4	22,12	21,60	5,0	29,2	24,2
11	54,5	44,3	10,2	21,97	21,80	5,1	29,4	24,3
12	54,6	44,5	10,1	22,18	21,76	5,1	29,4	24,3
13	54,9	44,7	10,2	22,22	21,76	4,9	29,0	24,1
14	55,3	45,5	9,8	22,10	21,67	5,1	29,1	24,0
15	54,5	44,4	10,1	21,86	21,66	5,1	29,1	24,0
16	55,5	46,0	9,5	21,93	21,75	5,1	29,2	24,1
17	54,7	44,1	10,6	21,96	21,68	4,9	29,0	24,1
18	54,8	44,7	10,1	22,00	21,70	5,1	29,0	23,9
19	55,2	45,2	10,0	22,00	21,57	4,9	28,8	23,9
20	55,0	44,6	10,4	21,93	21,70	4,9	29,2	24,3
	aritmetický průměr		10,1	22,0	21,7			24,1

DATUM MĚŘENÍ:**26.11.2015****ČAS MĚŘENÍ:**

10:44

VENKOVNÍ TEPLOTA:

5

RELATIVNÍ VLHKOST:

74%

MÍSTO MĚŘENÍ:

Litomyšl

TEPLONOSNÁ LÁTKA:

voda + ethylenglykol 40%

TEPLOTNÍ SPÁD

15K

ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:

1 minuta

OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU:

28000 m3/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup t_{w1} [°C]	teplota výstup t_{w2} [°C]	teplotní spád Δt_w [K]	tlaková difference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup t_{a1} [°C]	teplota výstup t_{a2} [°C]	teplotní spád Δt_a [K]
1	54,5	39,1	15,4	8,67	12,91	5,0	26,0	21,0
2	54,9	40,2	14,7	8,51	12,73	4,9	26,3	21,4
3	55,3	40,2	15,1	8,57	12,91	5,0	26,1	21,1
4	54,6	39,8	14,8	8,56	12,59	5,0	25,9	20,9
5	54,5	39,9	14,6	8,48	12,82	5,1	26,4	21,3
6	55,2	40,6	14,6	8,58	12,86	5,1	26,7	21,6
7	54,6	39,8	14,8	8,45	12,73	5,0	26,7	21,7
8	54,9	39,5	15,4	8,70	12,60	5,0	26,0	21,0
9	54,6	39,9	14,7	8,40	12,74	4,9	26,4	21,5
10	54,7	40,1	14,6	8,53	12,68	5,1	26,2	21,1
11	54,7	39,5	15,2	8,53	12,90	5,1	26,4	21,3
12	54,9	40,3	14,6	8,64	12,75	5,1	26,3	21,2
13	54,5	39,8	14,7	8,70	12,65	5,1	26,5	21,4
14	55,1	39,8	15,3	8,63	12,75	5,0	26,2	21,2
15	55,2	39,9	15,3	8,45	12,55	5,0	26,0	21,0
16	55,1	40,1	15,0	8,66	12,64	5,0	26,4	21,4
17	55,4	40,2	15,2	8,44	12,60	5,1	26,7	21,6
18	55,5	40,4	15,1	8,39	12,69	5,0	26,6	21,6
19	55,5	40,2	15,3	8,71	12,53	5,1	26,8	21,7
20	54,6	39,8	14,8	8,65	12,84	4,9	26,1	21,2
	aritmetický průměr		15,0	8,6	12,7			21,3

DATUM MĚŘENÍ:**26.11.2015****ČAS MĚŘENÍ:**

11:12

VENKOVNÍ TEPLOTA:

5°C

RELATIVNÍ VLHKOST:

74%

MÍSTO MĚŘENÍ:

Litomyšl

TEPLONOSNÁ LÁTKA:

voda + ethylenglykol 40%

TEPLOTNÍ SPÁD

20K

ČASOVÝ KROK MĚŘENÍ:

1 minuta

OBJEMOVÝ PRŮTOK VZDUCHU:

28000 m3/h

číslo měření	Teplonosná látka					Vzduch		
	teplota vstup t_{w1} [°C]	teplota výstup t_{w2} [°C]	teplotní spád Δt_w [K]	tlaková difference Δp [kPa]	objemový průtok V [m3/h]	teplota vstup t_{a1} [°C]	teplota výstup t_{a2} [°C]	teplotní spád Δt_a [K]
1	55,0	35,4	19,6	3,01	7,31	5,0	21,4	16,4
2	55,0	35,4	19,6	3,10	7,36	5,0	21,1	16,1
3	54,9	34,9	20,0	3,19	7,33	4,9	21,4	16,5
4	54,7	34,9	19,8	3,04	7,29	4,9	21,0	16,1
5	55,4	35,6	19,8	3,02	7,33	4,9	21,3	16,4
6	55,5	35,7	19,8	3,12	7,30	4,9	21,0	16,1
7	55,3	34,8	20,5	2,98	7,30	4,9	20,9	16,0
8	55,0	35,3	19,7	3,04	7,36	5,0	21,6	16,6
9	55,0	34,9	20,1	3,07	7,32	5,1	21,4	16,3
10	54,9	35,0	19,9	3,01	7,35	5,0	21,2	16,2
11	55,0	34,6	20,4	3,04	7,30	5,0	20,9	15,9
12	55,5	35,7	19,8	3,03	7,35	5,1	21,6	16,5
13	54,6	34,1	20,5	3,08	7,28	5,0	21,2	16,2
14	55,2	35,2	20,0	3,06	7,28	4,9	21,3	16,4
15	55,3	34,9	20,4	3,08	7,30	5,1	21,4	16,3
16	55,2	35,1	20,1	3,17	7,36	5,0	20,9	15,9
17	54,5	34,1	20,4	3,04	7,34	4,9	21,4	16,5
18	55,2	34,7	20,5	3,12	7,28	5,0	21,0	16,0
19	55,2	35,1	20,1	3,15	7,34	5,0	21,1	16,1
20	55,4	35,6	19,8	2,99	7,34	4,9	21,5	16,6
	aritmetický průměr		20,0	3,1	7,3			16,3

9 Výpočty

Byl proveden výpočet výkonu výměníku v závislosti na druhu použité teplotnosné látky a následný přepočet na % vyjádření výkonu, kdy nejvyšší 100% výkon představuje výkon u teplotnosné látky vody při teplotním spádu 10K.

Objemový průtok vzduchu

$V_a = 28000 \text{ m}^3/\text{h}$

Hodnoty při teplotě 20°C a tlaku 100kPa

Hustota vzduchu

$\rho = 1,188 \text{ kg/m}^3$

Měrná tepelná kapacita vzduchu

$c = 1010 \text{ J/kgK}$

	teplotní spád Δt_w [K]	rozdíl teplod Δt_a [K]	Výkon výměníku Q [kW]	Výkon vyjádřev v %
Voda	10	25,3	235,64	100,00%
	15	23,1	215,11	91,29%
	20	20,6	192,67	81,76%
30% glykol	10	24,5	228,78	97,09%
	15	21,7	202,33	85,86%
	20	18,4	172,04	73,01%
40% glykol	10	24,1	225,24	95,58%
	15	21,3	198,87	84,40%
	20	16,3	151,70	64,38%

Tab 9-1

10 Grafické znázornění

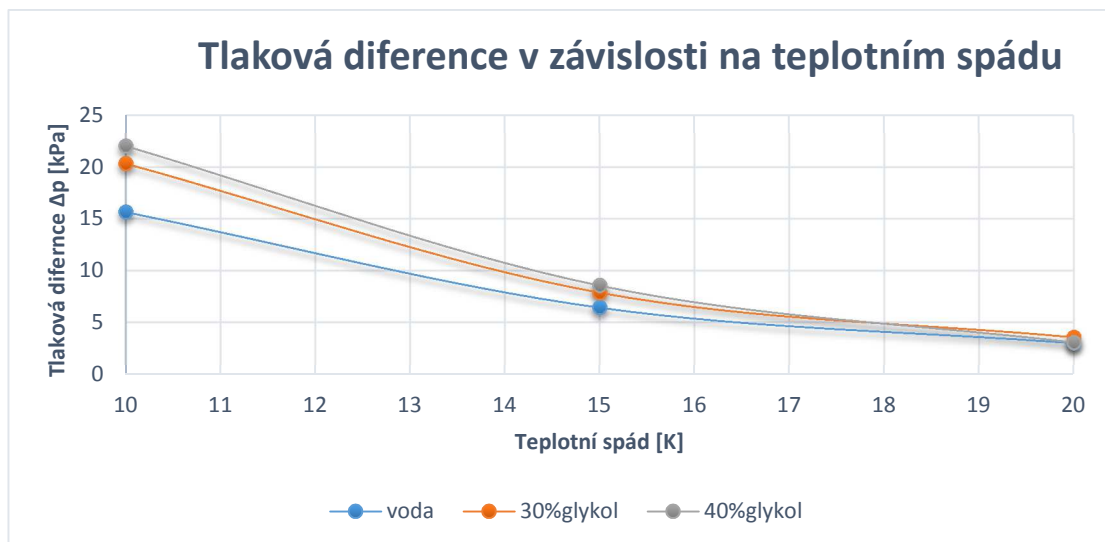
Výsledky svého měření jsem následně pro lepší srozumitelnost převedl do podoby grafu. V případě grafu Graf 10-1 můžeme pozorovat změnu tlakové ztráty v závislosti na teplotním spádu teplotnosných látek, kdy vlivem poklesu vratné teploty klesá zároveň objemový průtok. To se zejména projevuje menší rychlostí proudění teplotnosné látky a z původně turbulentního proudění pozvolna přechází proudění do laminárního. Následkem této změny klesá tlaková ztráta výměníku nelineární křivkou.

Na dalším grafu Graf 10-2 pak můžeme sledovat opačný stav, kdy proto, abychom zvýšily teplotu vratné teplotnosné látky, je potřeba navyšovat objemový průtok. Z grafu se dá vysledovat i projev hustoty a tepelné kapacity směsi vůči objemovému průtoku a teploty teplotnosné látky.

Na grafu Graf 10-3 je pak znázorněna, o kolik K byla navýšena teplota vystupujícího vzduchu vzhledem k různým teplotnosným látkám a teplotním spádům. Z grafu je

patrné, že s vzrůstající teplotou vratné se snižovaly rozdíly účinnosti přenosu tepla mezi jednotlivými teplotnosnými látkami.

Pomocí grafu Graf 10-4 a Graf 10-5 jsem následně znázornil výpočet tepelných výkonů výměníku v návaznosti na druhu použité teplotnosné látky a tepelného spádu. V grafech jsou výkony vyjádřeny numericky a za pomoci % poměru. Kdy 100% výkon je udáván teplotnosnou látkou vodou při teplotním spádu 10K.

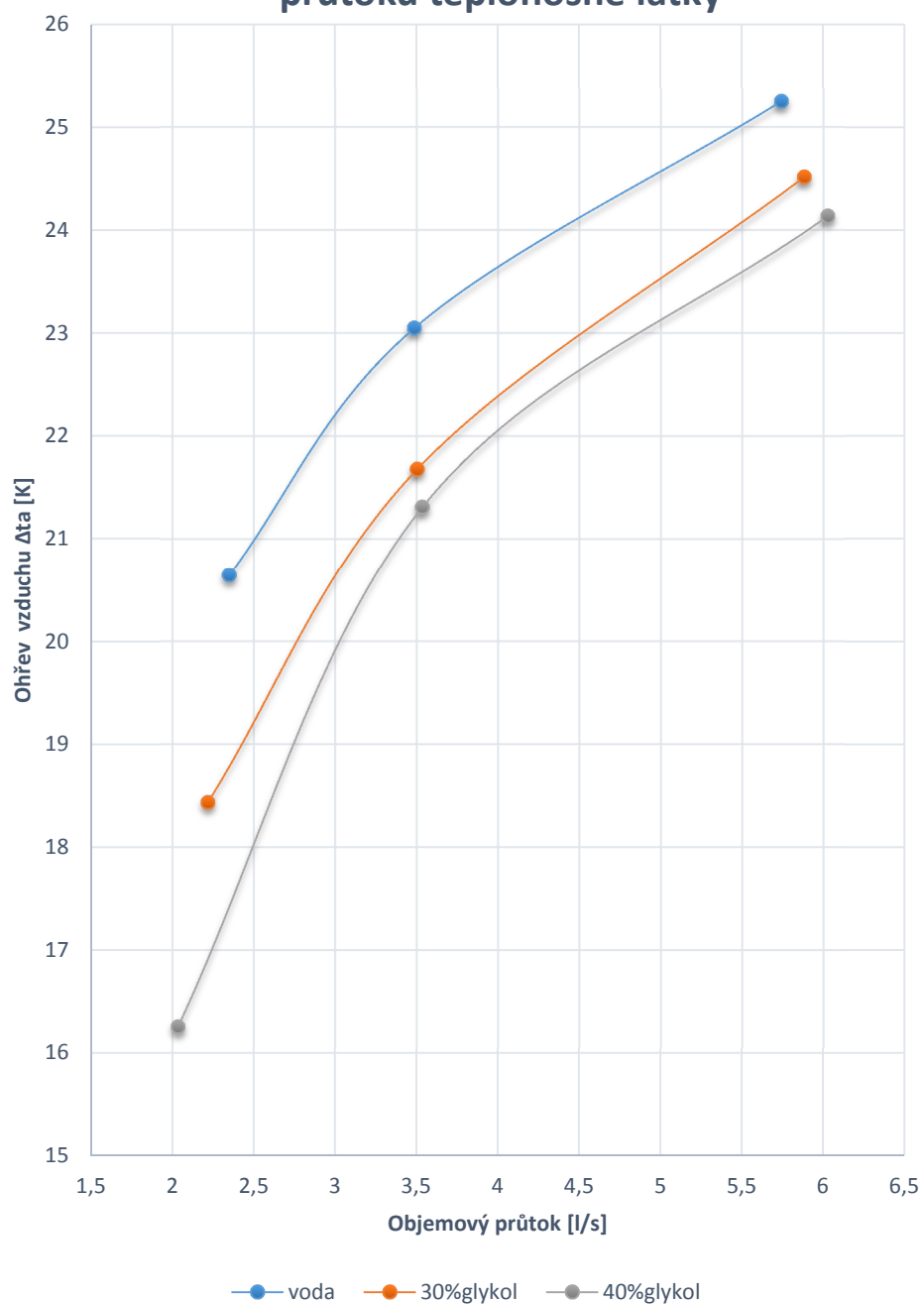


Graf 10-1



Graf 10-2

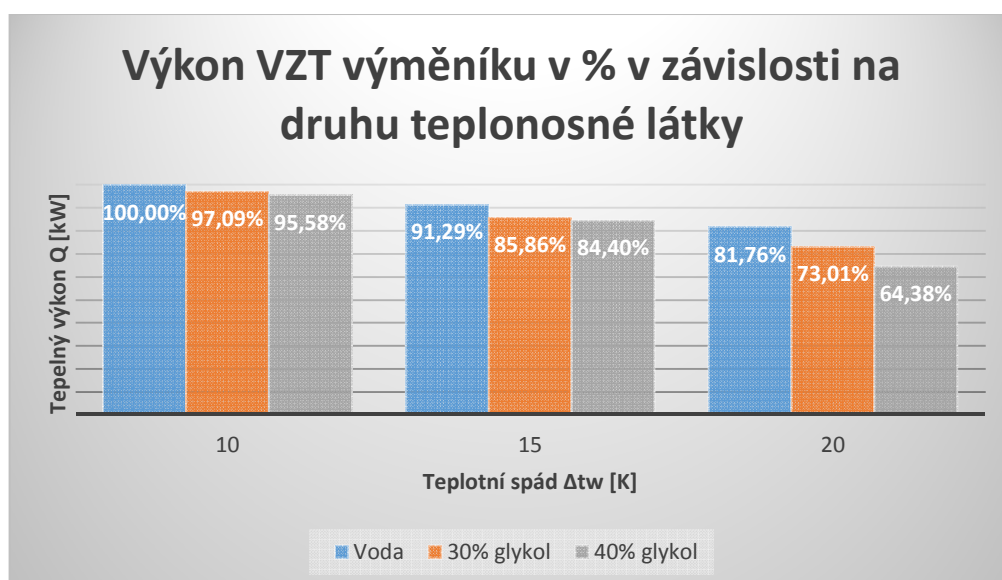
Ohřev vzduchu v závislosti na objemovém průtoku teplotnosné látky



Graf 10-3



Graf 10-4



Graf 10-5

11 Výsledky měření

Měřením se podařilo stanovit různé tepelné výkony vzduchotechnického výměníku. Dle grafu Graf 10-4 si můžeme povšimnout, že tepelné výkony se liší v závislosti na druhu použité teplotnosné látky. Procentuální vyjádření rozdílu tepelných výkonu je vyjádřen za pomoci tabulky Tab 9-1.

Výsledkem měření bylo, že zkoušený výměník nedokáže při teplotním spádu 55/45°C v žádném případě bezpečně předat tepelný výkon 250kW: I s ohledem na skutečnost, že stávající výměník pracoval s teplotním spádem 80/60°C a měl teoretický výkon 350kW, byly v návaznosti na tuto situaci navrženy dvě varianty řešení způsobů efektivního využívání odpadního tepla z technologie.

11.1 Varianta řešení 1

Vyprojektování nové otopné soustavy pro vytápění předmětného stavebního objektu i s efektivním využíváním odpadního tepla pro vytápění a ohřev teplé vody.

11.2 Varianta řešení 2

Investičně nejméně náročná varianta, kdy se upraví stávající vzduchotechnická jednotka. Odpadní teplo nebude začleněno do otopné soustavy předmětného stavebního objektu a bude využíváno pouze jako předeřev přívodního vzduchu ve vzduchotechnické jednotce.

C. VÝPOČTOVÁ ČÁST

1 Analýza objektu

Předmětem mé diplomové práce je vypracování dvou variant řešení pro efektivní využívání odpadního tepla s ohledem na investiční náklady. Odpadní teplo vzniká objektu ve výrobním areálu při tavení skla a jeho dodávka bude pravidelně přerušována v časech nutných servisních úkonů na technologii. V současné době se veškeré odpadní teplo maří za pomoci chladících věží. Z tohoto důvodu vznikl požadavek investora o využívání odpadního tepla ve vedlejším objektu za účelem vytápění objektu. Z tohoto důvodu bylo do výrobního objektu zbudován teplovod a v prostorách kotleny M107. byla vytvořena předávací stanice o výkonu 250kW při teplotním spádu na sekundární straně 55/45°C.

Řešeným objektem je výrobní hala členěná do třech částí a přilehlá administrativa s kanceláři a zázemím pro zaměstnance, což jsou šatny, sprchy a WC. Dále se v objektu vyskytují místnosti se zařízením, které produkuje vysoké teplotní zisky, jako je například Kompresorovna a Rozvodna MaR. Tyto místnosti nebyly zahrnuty do výpočtu tepelných ztrát. Objekt se nachází v lokalitě s venkovní výpočtovou teplotou $t_e = -12^\circ\text{C}$. Objekt je zateplen a po výměně oken.

Stávající vytápění prostorů výrobních hal a skladu je za pomoci teplovzdušného vytápění pomocí vzduchotechnickou jednotkou, která je osazena v místnosti strojovny klimatizace M213. Přírodní venkovní vzduch je ohříván na teplotu 26°C a dále se dopravuje do prostor výrobních hal a skladu. Vnitřní teplota vzduchu výroby a skladu je počítán na 20°C, přehřátý vzduch tak slouží ke krytí tepelných ztrát prostupem a infiltrací. Stávající výměník funguje na teplotním spádu 80/60°C o celkovém výkonu 350kW. Prostory administrativy ve 2.Np a prostory zázemí pro zaměstnance v 1.NP jsou vytápěna stávající otopnou soustavou z otopných těles, které fungují na teplotním spádu 75/65°C. Stávající zdroje tepla jsou umístěny v kotelně v místnosti M107. A jedná se o dva stacionární kotle o celkovém součtovém výkonu 490kW. Ohřev teplé vody probíhá v zásobníkovém ohříváči o objemu 1000l. potřeba tepla pro ohřev teplé vody je v současném řešení 56kW.

Projekt je vypracován ve dvou variantách řešení, kdy varianta 1. propojuje předávací stanici s otopnou soustavou pro vytápění řešeného objektu. Aby došlo k zapojení předávací stanice do otopné soustavy, musel se snížit teplotní spád z původních 80/60°C na 55/45°C. Dále vzhledem k nepravidelným dodávkám odpadního tepla a požadavkům na teplo přesahujících tepelný výkon 250kW, bylo v prostorách instalována kaskáda 4 nových kondenzačních kotlů Buderus GB162 (20), pracujících s otopným spádem 75/65°C. Vlivem této změny došlo k návrhu nových rozvodů a otopných těles pro vytápění administrativní části a zázemí pro zaměstnance. Dále z experimentálního měření bylo zjištěno, že stávající výměník ve vzduchotechnické jednotce dokáže při teplotním spádu 55/45°C a teplotní látce vodě předat jen 235kW. Vlivem poklesu tepelného výkonu výměníku, byl v jednotce upraven objemový průtok vzduchu z původních 28000m³/h na 19000m³/h. Při tepelném

výkonu 235kW se venkovní vzduch ohřeje na teplotu 22°C a jednotka nadále slouží již jen pro nucené větrání. Pro krytí tepelných ztrát výroby a skladu jsou navrženy teplovzdušné vytápěcí jednotky Sahary s teplotním spádem 75/65°C. ohřev teplé vody bude nadále probíhat v 1000l zásobníku, ale dojde k jeho výměně za zásobník s dvěma otopnými hady.

Ve druhé variantě se neuvažuje o začlenění předávací stanice do stávající otopné soustavy. Pouze dojde k upravení stávající vzduchotechnické jednotky, kde se vloží nová komora s novým výměníkem dimenzovaným na tepelný výkon 250kW při teplotním spádu 55/45°C a výměník bude fungovat jako předeřev přiváděného vzduchu. Vlivem nepravidelných dodávek odpadního tepla je jako teplotní látky volena směs voda + ethylenglykol 40% a to z důvodů, protože vzduchotechnický výměník přichází do styku se vzduchem o teplotě pod bodem mrazu a v čase přerušení dodávky odpadního tepla by hrozilo zamrznutí. Navržená směs je odolná proti zamrznutí až do teplot -20°C. Instalace nového výměníku nemá žádný výrazný vliv na současnou otopnou soustavu. Stávající výměník se pouze nastaví na dořev vzduchu na požadovanou teplotu. Což se projeví v menším požadavku na výrobu tepla. Stávající stacionární plynové kotle tedy upraví svůj výkon dle potřeby.

2 Návrh tepelného výkonu pro vytápění

Návrh byl proveden dle souladu platné normy ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách- Výpočet tepelného výkonu (12). Tepelné ztráty prostupem byly vypočteny pro každou místnost zvlášť ve výpočetním programu PROTECH. V případě prostor výrobních hal A a B a skladu nebylo uvažováno s přirozenou výměnou vzduchu a ve výpočtu je zahrnuta pouze ztráta prostupem a infiltrací obvodového pláště. Tepelný výkon pro nucené větrání se promítnul dle požadavků vzduchotechniky. V ostatních prostorách bylo počítáno se standardním přirozeným větráním a s násobnou výměnou vzduchu dle požadavků normy.

Při výpočtu tepelných ztrát prostupem jsem za pomoci programu Protech postupoval následovně. Stanovil jsem všechny konstrukce dělící od sebe prostory s rozdílem teplot. Program poté stanovil jednotlivé součinitele prostupu tepla U [W/m^2K] na základě platné normy ČSN EN 73 0540-2.

Poté jsem definoval rozměry a vnitřní objemy jednotlivých místností a přiřadil jim teploty vnitřního vzduchu. Dále jsem definoval konstrukce, které oddělovali prostory s rozdílnými teplotami, a určil teploty, které se za nimi vyskytovaly. Na základě těchto hodnot program stanovil tepelné ztráty prostupem a větráním, nebyla-li místnost větrána nuceně.

Tepelný výkon ČSN EN 12831

010615 - Ing.Leoš Pohanka - Nové Veselí

Zakázka: Diplomová práce

TV v.4.1.7 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 12.1.2016

Výpočet budovy - varianta 2

Stavba: Výrobní objekt + administrativa

Místo: Litomyšl

Zadavatel: Tomáš Zato

Zpracovatel:

Zakázka: Diplomová práce

Archiv:

Projektant: Josef beneš

Datum: 18.10.2015

E-mail:

Telefon:

Tento dokument obsahuje všechny zadané úseky

 $t_e = -12\text{ °C}$ $t_{ib} = 19,6\text{ °C}$ $n_{50} = 2,0$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	n_p	V_{np} $m^3.h^{-1}$	V_{n50} $m^3.h^{-1}$	V_{mech} $m^3.h^{-1}$	f_{RH}
ÚSEK 1									
1	106a	Chodba	1	15	0,5	101,6	16,3	0,0	0
1	106b	Chodba úklid	1	15	0,5	10,7	0,0	0,0	0
1	108	Šatny muži	1	22	1,0	87,2	10,5	0,0	0
1	109	Sprchy muži	1	24	1,0	58,3	7,0	0,0	0
1	109u	Denní místnost	1	20	0,5	50,9	12,2	0,0	0
1	110	Sprchy ženy	1	24	1,0	40,2	4,8	0,0	0
1	110u	Výdej nástrojů	1	20	0,5	24,2	3,9	0,0	0
1	111	šatny ženy	1	22	1,0	20,8	0,0	0,0	0
1	112	WC muži	1	18	1,0	34,7	4,2	0,0	0
1	113	WC muži předsíň	1	18	1,0	19,8	0,0	0,0	0
1	114	WC ženy	1	18	1,0	17,3	2,1	0,0	0
1	115	úklid	1	15	1,0	10,3	0,0	0,0	0
ÚSEK 2									
1	101	Vstupní hala	2	15	0,5	77,7	18,6	0,0	0
1	105a	Chodba	2	15	0,5	101,6	16,3	0,0	0
1	105b	Chodba úklid	2	15	0,5	10,7	0,0	0,0	0
1	119	Vrátnice/recepce	2	20	0,5	24,2	5,8	0,0	0
1	121	Výdej nástrojů B	2	20	0,5	24,8	4,0	0,0	0
1	122	Šatny muži	2	22	1,0	87,2	10,5	0,0	0
1	123	Sprchy muži	2	24	1,0	58,3	7,0	0,0	0
1	124	Sprchy ženy	2	24	1,0	40,2	4,8	0,0	0
1	125	šatny ženy	2	22	1,0	20,8	0,0	0,0	0
1	126	WC muži	2	18	1,0	34,7	4,2	0,0	0
1	127	WC muži předsíň	2	18	1,0	19,8	0,0	0,0	0
1	128	WC ženy	2	18	1,0	17,3	2,1	0,0	0
1	129	úklid	2	15	1,0	10,3	0,0	0,0	0
1	130	Schodiště	2	15	0,5	33,0	0,0	0,0	0
ÚSEK 3									
2	201	Schodiště	3	15	0,5	30,5	7,3	0,0	0
2	202	Chodba	3	15	0,5	21,1	5,1	0,0	0
2	203	Chodba	3	15	0,5	21,1	5,1	0,0	0
2	204	kancelář technický ú	3	20	0,5	64,3	15,4	0,0	0
2	205	WC Muži	3	18	1,0	34,6	4,2	0,0	0
2	206	WC ženy	3	18	1,0	11,5	0,0	0,0	0
2	207	Jednací místnost	3	20	0,5	46,2	11,1	0,0	0
2	208	Kancelář	3	20	0,5	23,8	3,8	0,0	0
2	209	Kancelář	3	20	0,5	23,8	3,8	0,0	0
2	210	Laboratoř	3	20	0,5	46,5	11,1	0,0	0

Tepelný výkon ČSN EN 12831

010615 - Ing.Leoš Pohanka - Nové Veselí

Zakázka: Diplomová práce

TV v.4.1.7 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 12.1.2016

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	n_p	V_{np} m ³ .h ⁻¹	V_{n50} m ³ .h ⁻¹	V_{mech} m ³ .h ⁻¹	f_{RH}
2	211	Kancelář	3	20	0,5	22,4	3,6	0,0	0
2	212	Velín	3	20	0,5	48,5	11,6	0,0	0
2	213	Strojovna vzduchotec	3	15	0,5	64,9	10,4	0,0	0
ÚSEK 4									
1	102	Výrobní hala A	4	20	0,0	0,0	309,1	0,0	0
1	103	Sklad	4	20	0,0	0,0	277,0	0,0	0
1	104	Výrobní hala B	4	20	0,0	0,0	309,1	0,0	0

č.m.	úsek	V_{ni} m ³	A_{pi} m ²	H_{Tm} W/K	H_{Vm} W/K	Φ_{Tm} W	Φ_{Vm} W	Φ_{RHm} W	Φ_{HLM} W	Q_{cm} W	Q_z W
ÚSEK 1											
106a	1	203,1	71,9	51	35	1 365	932	0	2 298	2 298	0
106b	1	21,3	7,5	7	4	184	98	0	282	282	0
108	1	87,2	30,9	22	30	756	1 008	0	1 764	1 764	0
109	1	58,3	20,6	17	20	609	713	0	1 322	1 322	0
109u	1	101,9	36,1	35	17	1 115	554	0	1 669	1 669	0
110	1	40,2	14,2	14	14	488	493	0	980	980	0
110u	1	48,5	17,2	9	8	291	264	0	555	555	0
111	1	20,8	7,4	5	7	185	240	0	425	425	0
112	1	34,7	12,3	4	12	110	354	0	464	464	0
113	1	19,8	7,0	2	7	47	201	0	249	249	0
114	1	17,3	6,1	10	6	311	177	0	488	488	0
115	1	10,3	3,7	2	4	50	95	0	145	145	0
Σ úsek 1 ÚSEK 1		663,5	234,9	177	162	5 512	5 130	0	10 642	10 642	0
ÚSEK 2											
101	2	155,4	55,0	-9	26	-245	713	0	468	468	0
105a	2	203,1	71,9	38	35	1 021	932	0	1 953	1 953	0
105b	2	21,3	7,5	4	4	120	98	0	218	218	0
119	2	48,5	17,2	15	8	464	264	0	728	728	0
121	2	49,7	17,6	6	8	208	270	0	478	478	0
122	2	87,2	30,9	19	30	632	1 008	0	1 640	1 640	0
123	2	58,3	20,6	15	20	550	713	0	1 263	1 263	0
124	2	40,2	14,2	13	14	470	493	0	963	963	0
125	2	20,8	7,4	5	7	167	240	0	407	407	0
126	2	34,7	12,3	1	12	25	354	0	379	379	0
127	2	19,8	7,0	1	7	24	201	0	225	225	0
128	2	17,3	6,1	9	6	271	177	0	448	448	0
129	2	10,3	3,7	0	4	12	95	0	107	107	0
130	2	66,0	23,4	7	11	202	303	0	505	505	0
Σ úsek 2 ÚSEK 2		832,7	294,8	125	191	3 920	5 862	0	9 782	9 782	0
ÚSEK 3											
201	3	61,0	23,4	0	10	6	280	0	286	286	0
202	3	42,2	16,2	-12	7	-328	193	0	0	0	0
203	3	42,2	16,2	-22	7	-601	193	0	0	0	0
204	3	128,7	49,3	41	22	1 313	700	0	2 013	2 013	0
205	3	34,6	13,3	1	12	31	353	0	384	384	0
206	3	11,5	4,4	1	4	20	118	0	137	137	0
207	3	92,5	35,4	16	16	498	503	0	1 001	1 001	0
208	3	47,7	18,3	7	8	233	259	0	493	493	0

Tepelný výkon ČSN EN 12831

010615 - Ing.Leoš Pohanka - Nové Veselí

Zakázka: Diplomová práce

TV v.4.1.7 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 12.1.2016

č.m.	úsek	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	H_{Tm} W/K	H_{Vm} W/K	Φ_{Tm} W	Φ_{Vm} W	Φ_{RHm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	Q_z W
209	3	47,7	18,3	8	8	269	259	0	528	528	0
210	3	92,9	35,6	16	16	525	505	0	1 030	1 030	0
211	3	44,8	17,2	8	8	259	244	0	503	503	0
212	3	97,0	37,2	27	16	854	528	0	1 381	1 381	0
213	3	129,8	49,7	18	22	490	596	0	1 086	1 086	0
Σ úsek 3 ÚSEK 3		872,5	334,3	109	156	3 568	4 732	0	8 843	8 843	0
ÚSEK 4											
102	4	2 575,5	387,9	581	105	18 600	3 363	0	21 963	21 963	0
103	4	2 308,3	347,6	427	94	13 660	3 014	0	16 674	16 674	0
104	4	2 575,5	387,9	490	105	15 666	3 363	0	19 029	19 029	0
Σ úsek 4 ÚSEK 4		7 459,3	1 123,4	1 498	304	47 927	9 739	0	57 666	57 666	0
Σ budovy		9 828,0	1 987,3	1 908	813	60 926	25 463	0	86 932	86 932	0

Legenda

 V_{np} - hygienická výměna vzduchu V_{n50} - výměna vzduchu pláštěm budovy f_{RH} - zátopový součinitel Φ_{Tm} - tepelná ztráta místnosti prostupem tepla Φ_{Vm} - tepelná ztráta místnosti větráním Φ_{RHm} - tepelný výkon místnosti pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti $Q_{cm} = \Phi_{HLm} + Q_z$

Tepelná ztráta objektu společně s prostupem a nuceným větráním činí tedy 322kW. Podrobnější výpočet tepelných ztrát je uveden jako příloha P1 .

3 Návrh otopných ploch

Pro vytápění prostor a administrativy a zázemí pro zaměstnance jsem volil otopnou soustavu z otopných těles. Přilehlá část k výrobnímu objektu je členěna do třech otopných větví, které jsou napojeny na kombinovaný rozdělovač- sběrač. Jako otopná tělesa jsem volil ocelová desková tělesa s vlastní ventilovou vložkou a se spodním pravým připojením Korado Radik VK. Všechna tělesa jsou navržena s výškou 500mm s ohledem na potrubní vedení, které bude realizováno po zdi pod nimi a s ohledem na výšku parapetu okna.

Připojovací armatury k otopným tělesům jsem použil Vekotec Eclipse (21) od fi IMI Hydronics. Armatury jsou v provedení jako připojovací H-šroubení přímá a všechny jsou dimenze DN15. Ventil má v sobě integrovaný omezovač průtoku, který automaticky eliminuje nadprůtoky. Požadovaný průtok se nastavuje přímo na ventilu a to v l/h. Regulační ventil pracuje v rozsahu 10 až 150l/h a jeho minimální tlaková ztráta je 10kPa, což znamená, že pro efektivní regulaci objemového průtoku musí být v daném úseku dispoziční tlak větší minimálně 10kPa, ale menší než 60kPa.

Návrh otopných těles probíhal v programu Protech v závislosti na předchozím výpočtu tepelných ztrát. Všechna otopná tělesa jsou navržena pro teplotní spád 55/45°C a teplotonosnou látku vodu.

Dimenzování těles

010615 - Ing.Leoš Pohanka - Nové Veselí

Dimenzování těles v.4.1.7 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 12.1.2016

Návrh těles

Stavba: Výrobní objekt + administrativa

Místo: Litomyšl

Zadavatel: Tomáš Zato

Zpracovatel:

Zakázka: Diplomová práce

Archiv:

Projektant: Josef beneš

Datum: 18.10.2015

E-mail:

Telefon:

Seznam tělesProvozní skupina číslo 1 $t_{w1} = 55,0\text{ °C}$ $\Delta t = 10,0\text{ K}$

Těleso	Typ	Specifikace	tw1/dt °C/K	Q _{Tn} W	Q _{Tr} W
106a-01	22 VK/500	22-050080-60	55/10	1 162	722
106a-02	22 VK/500	22-050080-60	55/10	1 162	722
106a-03	22 VK/500	22-050080-60	55/10	1 162	722
106a-04	22 VK/500	22-050080-60	55/10	1 162	722
109-01	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	882
109-02	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	882
110-01	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
111-01	22 VK/500	22-050180-60	55/10	2 614	1189
111-02	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	793
112-01	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	716
112-02	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	716
113-01	22 VK/500	22-050180-60	55/10	2 614	1075
114-01	22 VK/500	22-050070-60	55/10	1 016	462
116-01	22 VK/500	22-050100-60	55/10	1 452	801
117-01	22 VK/500	22-050070-60	55/10	1 016	560
Σ				23271	11578

Provozní skupina číslo 2 $t_{w1} = 55,0\text{ °C}$ $\Delta t = 10,0\text{ K}$

Těleso	Typ	Specifikace	tw1/dt °C/K	Q _{Tn} W	Q _{Tr} W
101-01	11 VK/500	11-050100-60	55/10	858	537
105a-01	22 VK/500	22-050060-60	55/10	871	541
105a-02	22 VK/500	22-050060-60	55/10	871	541
105a-03	22 VK/500	22-050060-60	55/10	871	541
105a-04	22 VK/500	22-050060-60	55/10	871	541
119-01	22 VK/500	22-050110-60	55/10	1 597	808
121-01	11 VK/500	11-050120-60	55/10	1 030	527
122-01	22 VK/500	22-050160-60	55/10	2 323	1057
122-02	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	793
123-01	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	716
123-02	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	716
124-01	22 VK/500	22-050180-60	55/10	2 614	1075
125-01	22 VK/500	22-050070-60	55/10	1 016	462
126-01	22 VK/500	22-050080-60	55/10	1 162	641
128-01	22 VK/500	22-050070-60	55/10	1 016	560
130-01	22 VK/500	22-050100-60	55/10	1 452	902
Σ				21778	10958

Provozní skupina číslo 3 $t_{w1} = 55,0\text{ °C}$ $\Delta t = 10,0\text{ K}$

Těleso	Typ	Specifikace	tw1/dt °C/K	Q _{Tn} W	Q _{Tr} W
204-01	22 VK/500	22-050140-60	55/10	2 033	1029

Těleso	Typ	Specifikace	tw1/dt °C/K	Q _{Tn} W	Q _{Tr} W
204-02	22 VK/500	22-050140-60	55/10	2 033	1029
205-01	22 VK/500	22-050060-60	55/10	871	480
206-01	10 VK/500	10-050060-60	55/10	308	172
207-01	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
207-02	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
208-01	11 VK/500	11-050120-60	55/10	1 030	527
209-01	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
210-01	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
210-02	11 VK/500	11-050140-60	55/10	1 201	614
211-01	11 VK/500	11-050120-60	55/10	1 030	527
212-01	11 VK/500	11-050160-60	55/10	1 373	702
212-02	11 VK/500	11-050160-60	55/10	1 373	702
213-01	22 VK/500	22-050120-60	55/10	1 742	1083
Σ				17798	9321

Kde:

Q_{Tn} je nominální výkon otopného tělesa

Q_{Tr} je reálný výkon při teplotním spádu 55/45°C

4 Návrh teplovzdušných vytápěcích jednotek – Sahar

Pro krytí tepelné ztráty prostupem a infiltrací výrobních hal společně se skladem, byly navrženy teplovodní vytápěcí Sahary fi. Denco Happel (22) přesněji typ MAXX HN12.UWARAW.AKD. Jedná se o Sahary v cirkulačním provedení s výměníkem tepla z materiálu mědi a hliníku. Sahary budou pracovat s teplotním spádem 75/65°C a budou regulovány za pomoci dvoucestných regulačních armatur fi. IMI Hydronics TBV-CM (23). Přesnější popis regulace je uveden v technické zprávě.

Výkon jedné Sahary je při teplotním spádu 75/65°C stanoven na 8,5kW při nasávání 20°C teplého cirkulačního vzduchu.

5 Vzduchotechnická jednotka

Při zpracování první varianty se při výpočtu vycházelo z hodnot, které byly zjištěny při experimentálním měření. Zejména tepelný výkon, který je výměník schopen předat při teplotním spádu 55/45°C a vodě jako teponosné látce a z naměřené tlakové ztráty výměníku.

Ve variantě dvě se uvažuje s návrhem nového výměníku. Požadavky na tepelný výkon 250kW a tlaková ztráta na straně teponosné látky 16,2kPa při teplotním spádu 55/45°C a směsi voda + ethylenglykol 40% jako teponosné látky byly udány projektantem vzduchotechniky.

V příloze P2 je uveden hx diagram se zaznamenanou úpravou vzduchu předeřevem pomocí nově instalovaného výměníkem a následným dohřevem na požadovanou teplotu přívodního vzduchu 26°C. Úprava vzduchu vychází z rovnice Rov 5-1.

$$Q = \frac{V}{3600} \times \rho \times c \times (t_{a2} - t_{a1}) [W]$$

Kde:

Q - tepelný výkon výměníku [W]

V – objemový průtok vzduchu $[m^3/h]$

P – hustota vzduchu $[\frac{kg}{m^3}]$

C – měrná tepelná kapacita vzduchu $[\frac{J}{kgK}]$

t_{a2} – teplota výstupního vzduchu

t_{a1} – teplota vstupního vzduchu

6 Ohřev teplé vody

Ve variantě 1 se uvažuje s úpravou stávajícího ohřevu teplé vody. Objem zásobníku zůstává stejný jako ve stávajícím provedení tedy 1000l, ale stávající zásobník se mění za nový typ. Nově navržený zásobník je v provedení s dvěma otopnými hady. Každý trubkový výměník má teplosměnnou plochu 2,5m². Spodní trubkový výměník bude napojen na rozdělovač-sběrač (dále jen rozdělovač) s otopným spádem 55/45°C. Tato větev je nadimenzována, aby přenášela tepelný výkon 56kW a slouží jako primární ohřev TV. Druhý výměník je napojen na kotlový rozdělovač se spádem 75/65°C. Tento výměník bude sloužit pro zvyšování teploty v zásobníku kvůli ochraně před bakterií Legionella. Předpokládaný denní odběr tepelné energie je 154,7 kWh pro tdvousměnný provoz.

7 Dimenzování, hydraulické posouzení potrubí a regulace

Celý systém v první variantě je rozdělen do 7 otopných větví, jedné kotlové otopné větve, jedné otopné větve předávacího výměníku a jedné nabíjecí větve, která přenáší tepelný výkon z kotlového rozdělovače do akumulární nádrže o objemu 2000l. Všechny zdroje tepla a rozdělovače jsou umístěny v prostorách kotelny místnosti M107.

Při návrhu dimenzí respektive určení tlakových ztrát třením na metr trubky vzhledem k objemovému průtoku jsem využíval internetových stránek TZB-info (24). K určení součinitele místních odporů jsem využil tabulky z internetu. (25)

Místní odpor			Součinitel místního odporu ξ ¹⁾
Ohyb trubky			0,2
Koleno		90°	1,5
		45°	1,0
Oblouk	Jednoduchý $r \geq 3d$		1,0
	Dvojitý	ostrý	2,0
		mírný	1,0
Tvarovka T	Odbočení (rozdělení)		1,5
	Odbočení (spojení)		1,5
	Průchod (rozdělení)		0,5
	Průchod (spojení)		3,0
	Protiproud		3,0
Kříž		rozdělení	2,0
		spojení	4,0
Redukce		na menší DN	0,5 ²⁾
		na větší DN	1,0
Nástěnka koncová i průtočná			3,0
Přechodka na jiný materiál			0,7
Hrdlo čerpadla			1,5
Vtok do nádrže			1,0
Výtok z nádrže			1,0
Zásobníkový ohříváč			3,0
Kompenzátor		osový	0,5
		vlnovcový	2,0
		trubkový	2,0

1) Přesnější hodnoty součinitelů místního odporu se zjistí z dokumentace výrobce tvarovek.

2) U redukce o 3 až 6 dimenzí je přibližně $\xi = 1,0$.

Tab 7-1 součinitel místního odporu (25)

Jako materiál potrubí jsem pro otopná tělesa volil měděné potrubí a pro ostatní rozvody ocelové bezešvé trouby.

Při dimenzování jsem postupoval následovně. Nejprve jsem určil hustoty teplotnosné látky dle předem daného spádu počítané větve. Následně jsem si určil nevzdálenější a nejvýkonnější prvek větve (otopné těleso, výměník tepla ve VZT jednotce,...). Určil jsem jednotlivé úseky v dané větvi a jejich hmotnostní průtoky. Poté jsem určil dimenze potrubí z čehož, vyplynula i tlaková ztráta na metr a rychlost proudění.

Dimenze jsem volil na základě zvyšující se rychlosti proudění směrem ke zdroji tepla. Rychlosti jsem také volil na základě doporučených ekonomických parametrů a tedy maximální rychlost proudění 0,6 m/s v případě u dimenzí do DN50. Místní odpory jsem volil dle výše uvedené tabulky Tab 7-1 a uvažoval jsem všude kolena vzhledem

k viditelným rozvodům. Nakonec jsem provedl hydraulické vyregulování (nastavení jednotlivých ventilů) jednotlivých otopných těles). To bylo provedeno ve výkrese v závislosti na přepočtu výkonu otopného tělesa na objemový průtok v l/h.

Pro zaregulování otopné větve pro Sahary jsem využil kombinovaný regulačních a vyvažovacích ventilů fi IMI Hydronics TBV-CM-NF (23). Pro zaregulování soustavy byla pro každý ventil určena jeho KV hodnota, na kterou bude nastaven. Na základě výsledného součtu tlakových ztrát dané otopné větve a požadovaných objemových průtoků jsem navrhl oběhové čerpadlo pro daný okruh.

Vzhledem k rozsáhlosti dimenzování jednotlivých větví, jsem umístil samotné výpočty společně s návrhem oběhových čerpadel do přílohy P3.

8 Návrh zdroje tepla

Pro variantu 1 jsem na základě potřeby tepla a s přihlédnutím k nepravidelným dodávkám odpadního tepla navrhl kaskádu 4 závěsných kotlů Buderus GB162 (20). Celkový výkon kotlů byl stanoven na základě požadavků jednotlivých větví na 391kW. Navržený instalovaný výkon kotlů bude 4x96kW tedy 384kW. Požadavky jednotlivých otopných větví na tepelný výkon zdroje tepla jsou maximálně možné, které v běžném provozu nikdy nenastanou, zejména pak při kombinaci potřeby tepla pro vzduchotechniku a Sahary. Proto je instalovaný tepelný výkon 384kW plně dostačující.

Návrh zdroje tepla

Okruh	Q [kW]
Okruh OT 1.NP zázemí Hala A	11,578
Okruh OT 1.NP zázemí Hala B	10,955
Okruh OT 2.NP zázemí Hala B	9,312
Okruh vzduchotechnika	235
Okruh Sahary	68
Okruh ohřev TV	56

Celkem Q= 390,845 kW

Kotle budou zapojeny formou kaskády přes hydraulický vyrovnávač dynamického tlaku na kotlový rozdělovač- sběrač (v technické zprávě uváděn jako rozdělovač – sběrač 75/65), kde jsou napojeny zbývající větve. Každý zdroj bude mít svůj pojistný ventil a vlastní expanzní nádobu. Pojistné ventily v kotlu budou nastaveny na otevírací přetlak 350kPa. Oběh teplonosné látky v okruhu budou zajišťovat oběhové čerpadla pro kotlový okruh. Čerpadla mají modulaci vlastní modulaci výkonu, která je regulována pomocí kotle.

Odkouření kotlů bude za pomoci sběrného potrubí odvedeno přes strop nad střechu. Dle podkladů výrobce byl průměr odkouření stanoven na d250mm. Omezení pro

maximální délku kouřovodu je 50m. Dimenze připojovacího kouřovodu od kotle je dle výrobce d80mm. Dle podkladů od výrobce postačí přivádět spalovací vzduch do prostorů kotelny přirozeně a to otvorem o rozměru 1000cm² volné plochy.

9 Návrh zabezpečovacího zařízení a zařízení pro vyrovnávání tlaku

Návrh zabezpečovacího zařízení jsem vypracoval v souladu s normou DIN EN 12828 (26), jenž je německou verzí naší normy ČSN EN 12828+A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav (27). Výpočet byl proveden pomocí návrhového programu firmy Reflex. Výstupy z návrhového programu pro jednotlivé varianty jsou obsaženy v příloze P4.

Na základě těchto výstupů byl stanoven objem expanzní nádoby a dimenze pojistného ventilu společně s otevíracím přetlakem. Pro variantu 1 se jednalo o objem expanzní nádoby 250l a u každého zdroje tepla instalace pojistného ventilu s dimenzí DN20/32 PN16 a otevíracím přetlakem 350kPa. Připojovacím rozměr expanzního potrubí je DN25.

Pro variantu 2 pak byla výpočtem stanoven objem expanzní nádoby 18l a s pojistným ventilem DN20/32 PN16 a otevíracím přetlakem 350kPa. Připojovací rozměr expanzního potrubí je DN20.

10 Roční potřeba tepla a paliva

Výpočet jsem provedl pomocí denostupňové metody (28), kdy jsem stanovil pro jednotlivé odvětví potřebu tepla za rok. Následně jsem započítal vliv využití odpadního tepla s předpokladem, že přerušení dodávky tepla bude činit odhadem 10% dní v roce. Poté jsem stanovil potřebu paliva za rok pro plynové kondenzační kotle. Jako palivo bude sloužit zemní plyn s výhřevností 33,48 MJ/m³. Celkový požadavek na teplo za rok jsem stanovil na 724,44 MWh a potřebu paliva pro plynové kotle za rok jsem stanovil na 8961m³. Ve výpočtu je uvedeno i porovnání oproti nevyužití odpadního tepla a vyčíslení úspory v Kč za rok, která činí 1 167 327Kč při ceně 16,96Kč za 1m³ zemního plynu. Samotný výpočet je uveden v příloze P5.

Závěr

Předmětem mé diplomové práce byla problematika nepřímotopného ohřevu vzduchu, což je v oblasti vytápění budov jedno z hlavních prvků pro vytváření vnitřního mikroklimatu. O nepřímotopném ohřevu vzduchu hovoříme tehdy, jedná-li se o předávání tepla do vzduchu z nějaké teplotonosné látky. Jde tedy o nejčastější druh způsobu vytápění budov.

Vzhledem k mé praktické části, kde jsem řešil využití odpadního tepla zejména ve vzduchotechnice, jsem se v teoretické části věnoval zejména problematice přestupu tepla ve vzduchotechnických výměnících. Po prostudování několika odborných textů a shrnutí poznatků, jsem v této oblasti došel k závěru, že celkový prostup tepla se ve výměníku tepla skládá z přestupu a vedení tepla. Avšak v některých případech je tloušťka teplosměnné plochy natolik malá, že celkový odpor materiálu oproti vedení tepla je natolik malý, že je v praxi pro výpočet zanedbatelný a obecně se s ním neuvažuje. Dominantní složkou je tedy součinitel přestupu tepla α .

V teoretické části jsem se také věnoval kvantitativní a kvalitativní regulaci. Oba druhy regulace jsem nakonec zakomponoval do své praktické části projektu. Kdy kvantitativní regulace byla použita pro regulování tepelného výkonu Sahar a kvalitativní byla využita pro regulaci výkonu vzduchotechnického výměníku a jednotlivých otopných větví.

Experimentální části měření jsem zjišťoval tepelný výkon stávajícího vzduchotechnického výměníku. Měřením byla prokázána závislost tlakové ztráty na objemovém průtoku primární teplotonosné látky a za pomoci měření se také podařilo stanovit výkonové limity předmětného výměníku tepla při použití odlišných teplotonosných látek a rozdílných teplotních spádů. Bohužel došlo k zjištění, že vzduchotechnická výměník není schopen přenést celý dispoziční topný výkon odpadního tepla 250kW.

Na základě těchto řešení došlo k vypracování dvou variant řešení projektu v praktické části. Zpracované varianty se diametrálně liší v efektivitě využití odpadního tepla a zejména v investičních nákladech. Kdy ve variantě 1 došlo na kompletní rekonstrukci vytápění předmětného objektu a začlenění využívání odpadního tepla do otopné soustavy a ve variantě 2 došlo pouze k drobné úpravě vzduchotechnické jednotky a napojení nového výměníku tepla na předávací stanici.

Bylo spočítáno, že vlivem využívání odpadního tepla pro vytápění předmětného objektu dojde u varianty 1 k finanční úspoře přibližně 1,167 milionu Kč ročně. U varianty 2 se dá předpokládat úspora menší vzhledem k tomu, že se odpadní teplo využívá pouze jako přehřev vzduchu. Obě dvě varianty jsou však pro investora ekonomicky výhodné a jedna z nich by se měla realizovat. Na základě mého odhadu a zkušeností z praxe se dá předpokládat návratnost investice již koncem 3. až začátkem 4. roku provozu nového otopného systému z první varianty řešení.

Seznam použitých zdrojů

1. **DencoHappel.** Sahara MAXXX HN. *DencoHappel*. [Online] DencoHappel. [Citace: 13. 1 2016.] <http://www.dencohappel.com/cs/products/air-treatment-systems/decentr%C3%A1ln%C3%AD-jednotky-industry/multimaxx>.
2. **Janka Engineering.** Tepelné výměníky do potrubí. *Janka Engineering*. [Online] Janka Engineering. [Citace: 13. 1 2016.] <http://old.janka.cz/prumyslove-chlazení/vymeniky-do-potrubí-parní-vymeniky.html>.
3. **Laboutka, Karel a Suchánek, Tomáš.** *Výpočtové tabulky pro vytápění 9*. 2001.
4. **Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.** Oběhová čerpadla a hydraulika solárních soustav (I). *Tzb-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 20. červen 2005. [Citace: 13. 1 2016.]
5. —. Oběhová čerpadla a hydraulika solárních soustav (I). *TZB-info*. [Online] 20.. Červen 2005. <http://www.tzb-info.cz/2563-obehova-cerpadla-a-hydraulika-solarnich-soustav-i>.
6. **Přestup Tepla.** *Wikipedia*. [Online] 27. Duben 2013. [Citace: 27. 12 2015.] https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99estup_tepela.
7. **Gebauer, Günter.** Přednáška 08. *CT07 Termomechanika*. Brno : FAST VUT Brno , 2015.
8. **D, Šnita.** Teorie podobnosti. [Online] 2006. [Citace: 28. 12 2015.] http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-589-7/pdf/043.pdf.
9. **Přenos tepla konvekci (prouděním).** *powerwiki*. [Online] [Citace: 28. 12 2015.] <https://www.powerwiki.cz/attach/A1M15EST/konvekce.ppt>.
10. **Pokorný, Ing. Marek.** Proudění - konvekce. [Online] 10.. Listopad 2006. [Citace: 29.. 12. 2015.] http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3_Proudění_tepela.pdf.
11. **Vedení tepla.** *Wikipedie*. [Online] 18.. Únor 2014. [Citace: 31.. 12. 2015.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD_tepela.
12. **ČSN EN 12831 Tepelné vlastnosti soustavy v budovách- Výpočet tepelného výkonu.** místo neznámé : © Český normalizační institut, 2005. 72496.
13. **Ing. Lubomír Čepěk.** Unikátní funkce Grundfos AUTOADAPT. *tzbinfo*. [Online] Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o., 18.. Únor 2009. [Citace: 3.. 1. 2016.] <http://www.tzb-info.cz/5418-unikatni-funkce-grundfos-autoadapt>.
14. **IMI Hydronic Engineering.** TBV-C-CS-low. *IMI Hydronic Engineering*. [Online] Říjen 2015. [Citace: 3.. 1. 2016.] <http://www.imi-hydronic.com/cs/produkty-a-eeeni/vyvaovani-a-regulace/regulani-ventily/vyvaovaci-a-regulani-ventil/tbv-c/>.
15. **=CRA=DELTA Research Thermohydraulic.** Regulaci umožnila až hodnota Kv ! *=CRA=DELTA Research Thermohydraulic*. [Online] =CRA=DELTA Research

- Thermohydraulic. [Citace: 13. 1 2016.] http://www.usporyteplaets.cz/new_page_10.htm.
16. Čepek, Ing. Lubomír. *TZB-info*. [Online] Topinfo s.r.o., 18. Únor 2009. [Citace: 13. 1 2016.] <http://www.tzb-info.cz/5418-unikatni-funkce-grundfos-autoadapt>.
17. GE Measurement & Control. TransPort PT878 Panametrics Portable Liquid Ultrasonic Flowmeter. *GE Measurement & Control*. [Online] 920-039E. [Citace: 4.. 1. 2016.] <http://www.ge-mcs.com/download/co2-flow/920-039E-LR.pdf>.
18. IMI Hydronics Engineering. TA-SCOPE. *IMI Hydronics Engineering*. [Online] IMI Hydronics Engineering. [Citace: 13. 1 2016.] <http://www.imi-hydronic.com/cs/produkty-a-eeni/vyvaovani-a-regulace/mici-nastroje/vyvaovaci-pistroje/ta-scope/>.
19. Multi-VAC spol. s r.o. Kanálové teplotní čidlo P12L1000 s odporovým výstupem. *Multi-VAC*. [Online] Multi-VAC spol. s r.o. [Citace: 13. 1 2016.] <http://www.multivac.cz/produkty/kanalove-teplotni-cidlo-p12l1000-s-odporovym-vystupem>.
20. Buderus. Logamax plus GB162. *Buderus*. [Online] © 2015 Buderus. [Citace: 12. 1 2016.] <http://www.buderus.cz/produkty/kotle/nastenne-kondenzacni-kotle/logamax-plus-gb162-t4.html>.
21. IMI Hydronics. Vekotec Eclipse. *IMI Hydronics Engineering*. [Online] IMI Hydronics Engineering. [Citace: 12.. 1. 2016.] <http://www.imi-hydronic.com/cs/produkty-a-eeni/termostaticka-regulace/termostaticke-ventily-a-roubeni/armatury-pro-otopna-tlesa-s-vestavnym-ventilem/Vekotec-Eclipse/>.
22. Denco Happel. Sahara Maxx. *Denco Happel*. [Online] [Citace: 12.. 1. 2016.] <http://www.dencohappel.com/cs/products/air-treatment-systems/decentr%C3%A1ln%C3%AD-jednotky-industry/multimaxx>.
23. IMI Hydronics Engineering. TBV-CM. *IMI Hydronics Engineering*. [Online] IMI Hydronics Engineering. [Citace: 12. 1 2016.] <http://www.imi-hydronic.com/cs/produkty-a-eeni/vyvaovani-a-regulace/regulani-ventily/vyvaovaci-a-regulani-ventil/tbv-cm/?q=tbv-CM>.
24. tzbinfo. Výpočet tlakové ztráty třením v potrubí. *tzbinfo*. [Online] tzbinfo. [Citace: 12. 1 2016.] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubu>.
25. Ing. Jakub Vrána, Ph.D. Vliv místních odporů na tlakové ztráty v potrubí. *Tzb info*. [Online] 23. 4 2012. [Citace: 12. 1 2016.] <http://www.tzb-info.cz/8514-vliv-mistnich-odporu-na-tlakove-ztraty-v-potrubu>.
26. Beuth Verlag GmbH. *Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen*. místo neznámé : Beuth Verlag GmbH, 2014. DIN EN 12828:2013-04.

27. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *ČSN EN 12828+A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav*. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 060205.

28. ing M. Počinková, Ph.D. Roční potřeba tepla a paliva. [Online] [Citace: 12. 1 2016.]

http://www.fce.vutbr.cz/TZB/pocinkova.m/vytapeni_soubory/BT01_P10.pdf.

29. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 060206.

Seznam použitých zkratk a symbolů

T_t	teoretická teplota
ρ	měrná hmotnost
ν	kinematická viskozita kapaliny
α	součinitel přestupu tepla
d	hydraulický průměr potrubí
λ	součinitel tepelné vodivosti
w	rychlost proudící kapaliny
a	teplotní vodivost při střední teplotě
D_i	vzdálenost i-té vrstvy od středu válce
s_0	tloušťka dané vrstvy teplosměnné plochy výměníku
q	objemový průtok danou armaturou
Δp	rozdíl tlaků
$D_p(t_1)$	tlaková ztráta při průtoku vody o teplotě t_1 .
λ	součinitel w je rychlost proudění vody (m/s) o teplotě
l	délka potrubí
d_v	vnitřní průměr potrubí
D_p	tlaková ztráta armatury
Q_t	pracovní průtok vody
K_v	průtokový součinitel
H	výhřevnost paliva
Q_{skut}	celkem potřeba tepla
e	korekce na dny kdy není větrání v provozu
V_v	objem větraného vzduchu
η_k	účinnost zdroje
η_r	účinnost rozvodů
η_o	účinnost obsluhy a regulace
Z	Počet dnů v roce, kdy je teplota venkovního vzduchu nižší než ve větraném prostoru
d	počet dnů otopné období
t_{svL}	teplota studené vody v létě
t_{svZ}	teplota studené vody v zimě
Q_{TVr}	roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody
Q_{TVd}	denní potřeba
Q_z	tepelná ztráta budovy

ε	součinitel vyjadřující nesoučasnost tepelných ztrát infiltrací během roku
e	opravný součinitel zahrnující vliv přerušovaného vytápění
d	počet dnů otopné sezóny
t_e	výpočtová venkovní teplota
t_{es}	průměrná venkovní teplota v otopném období
t_{is}	průměrná teplota v interiéru
U_{ni}	součinitel prostupu tepla
A_i	plocha konstrukce
b_i	redukční činitel
Q	potřebný tepelný výkon
V	objem vzduchu

Seznam příloh

Příloha P1: Výpočet tepelných ztrát objektu

Příloha P2: Úprava vzduchu předeřevem a dohřevem

Příloha P3: Dimenzování a hydraulické posouzení otopné soustavy

Příloha P4: Návrh zabezpečovacího zařízení

Příloha P5: Roční potřeba tepla a paliva

Příloha P6: Technická zpráva

Výkresová dokumentace

Výkres č.101 - Půdorys 1.NP varianta 1

Výkres č.102 - Půdorys 1.NP varianta 1

Výkres č.103 - Schéma zapojení zdroje tepla varianta 1

Výkres č.104 - Schéma zapojení Sahary varianta 1

Výkres č.105 - Schéma zapojení OT varianta 1

Výkres č.201 - Půdorys 1.NP varianta 2

Výkres č.202 - Půdorys 2.NP varianta2

Výkres č.203 - Schéma zapojení zdroje tepla varianta 2