



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

NÁHRADA PAROVODU HORKOVODEM V SYSTÉMU CENTRÁLNÍHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM TEPLÁRNY MARTINSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S

SUBSTITUTION OF STEAM BY HOT WATER IN HEAT DISTRIBUTION NET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN MUŽILA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Mužila

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

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

Náhrada parovodu horkovodem v systému centrálního zásobování teplem teplárny Martinská teplárenská, a.s

v anglickém jazyce:

Substitution of steam by hot water in heat distribution net

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je věnována problematice náhrady parní sítě pro distribuci tepelné energie horkovodem. Na konkrétní tepelné síti bude realizováno zhodnocení obou posuzovaných možností distribuce tepelné energie. Realizováno bude modelové hodnocení tepelných ztrát a parametrů páry/vody za různých provozních stavů. Pozornost bude věnována návrhu konkrétního výměníku pro výměňkovou stanici.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza současného stavu parovodu a stanovení skutečných tepelných ztrát.
2. Analýza plánovaného horkovodu, porovnání se současným stavem.
3. Provést návrh výměníku použitého ve výměňkové stanici (výpočtová i výkresová dokumentace).
4. Vytvořte jednoduchý matematický model pro hodnocení tepelných ztrát a provozních stavů v různých částech roku.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení náhrady parovodu teplovodem.

Seznam odborné literatury:

Kniha o Systému Centralizovaného Zásobování Teplem, Plzeňská teplárenská, a.s., 2000
Ročenka Energetika, Zdeněk Ibler, 1998

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakult

Abstrakt

Práca sa venuje problematike výmeny parného rozvodu za horúcovodný rozvod v mestskej distribučnej sieti teplárne Martin. Dôležitým porovnávacím faktorom hovoriacim pre, alebo proti danej výmene je určenie tepelných strát vznikajúcich na tepelnom rozvode za rôznych prevádzkových stavov. Dané tepelné straty sú v práci vypočítané a na ich základe vyvedené určité závery. Zároveň je navrhnutý nový výmenník tepla pre dané podmienky a vytvorený matematický model distribučnej siete, vhodný pre sledovanie prevádzkových stavov. Výsledkom práce je technicko-ekonomické zhodnotenie projektu.

Abstract

The work is focused on area of exchanging steam distribution net for hot water one, in central distribution net of Martin's heating plant. The main subject, which talks about pros and cons in this exchange process, is determination of heat losses which are created on heat distribution net during different operating status. These heat losses are calculated and on their basis some conclusions are concluded. Moreover, new heat exchanger is designed for certain conditions and also mathematical model of distribution net is created, which is suitable for checking different operating status. As a result of the work is technic's and economic's analysis of this project.

Kľúčové slová

parný rozvod, horúcovodný rozvod, tepelné straty, tepelný výmenník, matematický model

Key words

steam distribution net, hot water distribution net, heat losses, heat exchanger, mathematical model

Bibliografická citácia

MUŽILA, M. Náhrada parovodu horkovodem v systému centrálního zásobování teplem teplárny Martinská teplárenská, a.s. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 61 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Náhrada parovodu horkovodem v systéme centrálného zásobování teplem teplárny Martinská teplárenská a.s.“ vypracoval samostatne, s využitím odborných konzultácií, literatúry a zdrojov uvedených v priložených bibliografických odkazoch.

Meno a priezvisko: Bc. Martin Mužila

Podpis:

Dátum: 15. 5. 2014

Pod'akovanie

Touto cestou si dovoľujem poďakovať sa vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odborné vedenie tejto diplomovej práce a Ing. Miroslavovi Kadlecovi a Ing. Miroslavovi Vantarovi za veľa odborných a cenných rád.

OBSAH

1	Úvod.....	10
1.1	Teplárenstvo	11
1.2	Martinská teplárenská a.s.	13
1.2.1	Bližšia charakteristika používaných kotlov.....	14
1.2.2	Celkový inštalovaný výkon.....	15
2	Opis súčasného stavu parovodu	16
2.1	Charakteristika existujúceho parovodu	17
2.1.1	Dĺžková charakteristika parovodu.....	17
2.2	Základné vzťahy použité pre výpočet.....	18
2.3	Výpočet tepelných strát parovodu Martinská teplárenská a.s – kasárne Podháj	20
2.3.1	Tepelná strata celého parovodu (vrátane kondenzačného potrubia)	22
2.4	Výpočet tepelných strát parovodu Martinská teplárenská a.s – areál ZŤS	23
2.4.1	Tepelná strata celého parovodu (vrátane kondenzačného potrubia)	24
3	Charakteristika plánovaného horúcovodu	28
3.1	Výpočet tepelných strát prípojky horúcovodu objektu - Kasárne Podháj	29
3.1.1	Tepelná strata horúcovodu (vrátane vratného potrubia).....	30
3.2	Výpočet tepelných strát prípojky horúcovodu areálu - ZŤS	31
3.2.1	Tepelná strata horúcovodu (vrátane vratného potrubia).....	32
3.3	Celková tepelná strata nových prípojek horúcovodu (vrátane vratného potrubia)....	33
3.4	Porovnanie tepelnej straty existujúceho parovodu a plánovaného horúcovodu	33
4	Návrh výmenníka tepla	36
4.1	Návrh tepelného výmenníka pre objekt firmy Knecht	38
4.1.1	Výpočet	39
4.1.2	Popis schémy výmenníkovej stanice.....	46
5	Matematický model pre hodnotenie tepelných strát a prevádzkových stavov	47
5.1	Diagram trvania potrieb tepla	48
5.2	Priebehy základných teplárenských veličín v rôznych obdobiach roka	50
6	Technicko ekonomické zhodnotenie	53
6.1	Náhrada parovodného rozvodu za horúcovod	53
6.2	Výmena tepelného výmenníka para-voda za výmenník voda-voda	55
6.3	Záverečná cenová kalkulácia	57
7	Záver.....	58
8	Zoznam použitých zdrojov	59
9	Zoznam použitých skratiek a symbolov	60

1 Úvod

V dnešnej dobe je veľmi skloňovanou témou ekologizácia a šetrenie s primárnymi zdrojmi paliva. Teplárenské spoločnosti sú touto témou často zásadne ovplyvnené a sú tlačené do znižovania emisií. Efektívnou možnosťou ako šetriť primárne palivo je zmena diaľkového rozvodu tepla z parného na horúcovodný, čím je možnosť značného zníženia tepelných strát.

S rovnakým problémom sa zapodieva aj spoločnosť Martinská teplárenská a.s, ktorá momentálne prevádzkuje posledný parovod v meste Martin. Daný parovod je zastaralý, z čoho pramení problém nedostatočnej tepelnej izolácie a však väčším problémom je jeho predimenzovanosť, vzniknutá zrušením veľkého odberateľa.

V práci bude posúdený nový projekt zaoberajúci sa výmenou daného parovodu za nový horúcovodný rozvod. Určujúcim kritériom bude stanovenie tepelných strát vznikajúcich na existujúcom parovode a následné porovnanie s predpokladaným stavom dosiahnutým výmenou za horúcovod.

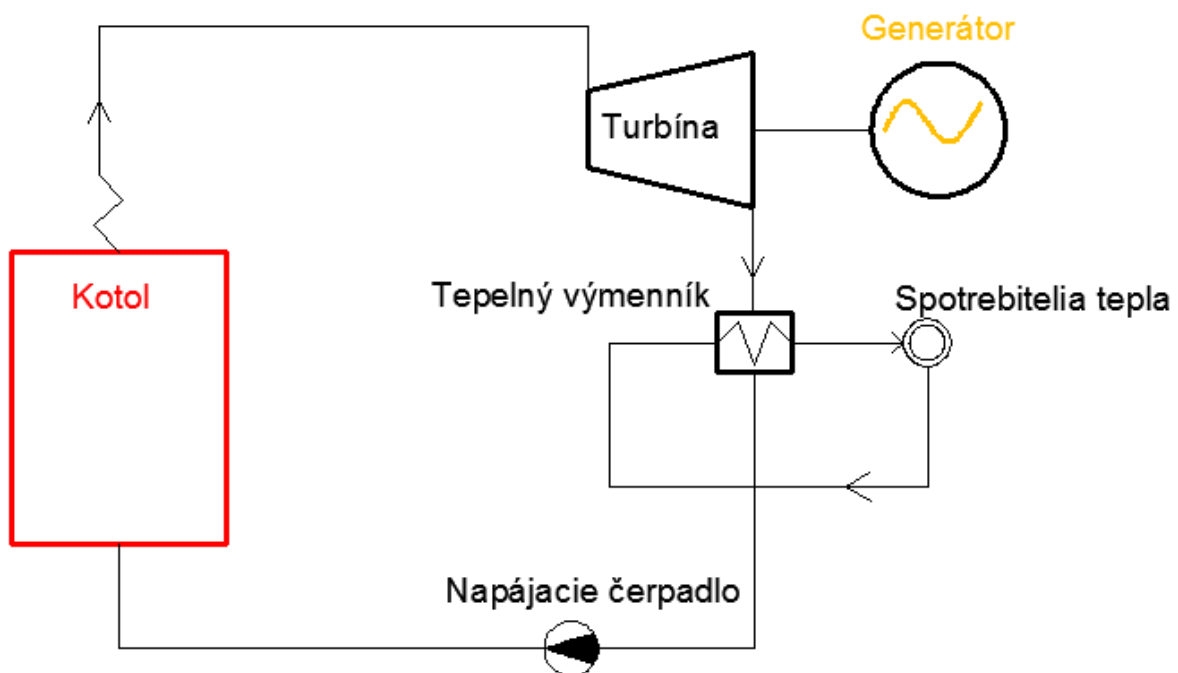
Dôležitou súčasťou práce je aj návrh výmenníka tepla. Pri prechode z parného na horúcovodné teplotné médium bude potrebné prispôbiť odovzdávacie výmenníkové stanice novému médiu. To ma za následok výmenu viacerých tepelných výmenníkov typu para-voda za nové typu voda-voda. Konkrétny návrh typu výmenníku bude následne porovnaný s ponúkaným produktom konkrétnej firmy.

Pre prevádzkovateľa distribučnej siete, ako Martinská teplárenská a.s, je dôležitým faktorom určenie a posúdenie prevádzkových stavov vznikajúcich počas roka v tepelnej sieti. Názornou ukážkou priebehu jednotlivých veličín v rôznom ročnom období pre paru a horúcu vodu, na základe dodaných nameraných údajov z teplárne, bude zhodnotený predpokladaný prínos tejto výmeny. Za týmto účelom bude vytvorený matematický model, pomocou ktorého bude možné určiť aktuálne tepelné straty na novom horúcovodnom rozvode.

V závere práce budú všetky faktory posúdené z hľadiska technického, ako aj ekonomického.

1.1 Teplárenstvo

Pod pojmom teplárenstvo, sa označuje spôsob výroby tepelnej energie v kombinácii s výrobou elektrickej energie, inak tiež nazývané kogenerácia (obr.1). Kogenerácia umožňuje efektívne využitie energie ukrytej v palive, spôsobom, že časť energie je využitá na výrobu elektrickej energie a následné zvyšné teplo sa využíva pre centrálné zásobovanie teplom. Výsledkom určitých štúdií sa preukázalo, že využitím tejto výrobnéj metódy sa šetrí primárne palivo v priemere o 30 % a tým pádom sa znižuje aj ekologický dopad na krajinu. [2]



Obrázok 1- Schéma kogenerácie

Princíp kogenerácie funguje na premene energie obsiahnutej v palive v kotli na tepelnú energiu. Táto energia sa v kotli využíva na výrobu vodnej pary z vody privádzanej do kotla. Proces prebieha v tepelných výmenníkoch v samotnom kotli (výparník, prehrievač...). Následne prehriata para vstupuje do turbíny, ktorá poháňa generátor a vyrába sa elektrická energia. Zbytková energia pary vystupujúca z turbíny sa využíva na ohrev vody vo výmenníku tepla, kde túto zostávajúcu energiu následne využívame na centrálné zásobovanie teplom.

Určitou nevýhodou je fakt, že pre centrálné zásobovanie teplom má zbytkové teplo za turbínou pri parnom obehú nízku teplotnú úroveň. Preto je nutné ukončiť expanziu pary skorej, ale tým sa znižuje výkon turbíny a aj množstvo vyrobenej elektriny. Bez ohľadu na tento fakt, teplárenský spôsob výroby tepelnej a elektrickej energie disponuje viacerými výhodami, ako vyššia energetická účinnosť, možnosť použiť aj menej kvalitné palivo a zároveň schopnosť zvládnuť lepšie prípadné zmeny používaného paliva a v neposlednom rade aj priaznivý vplyv na životné prostredie. [2]

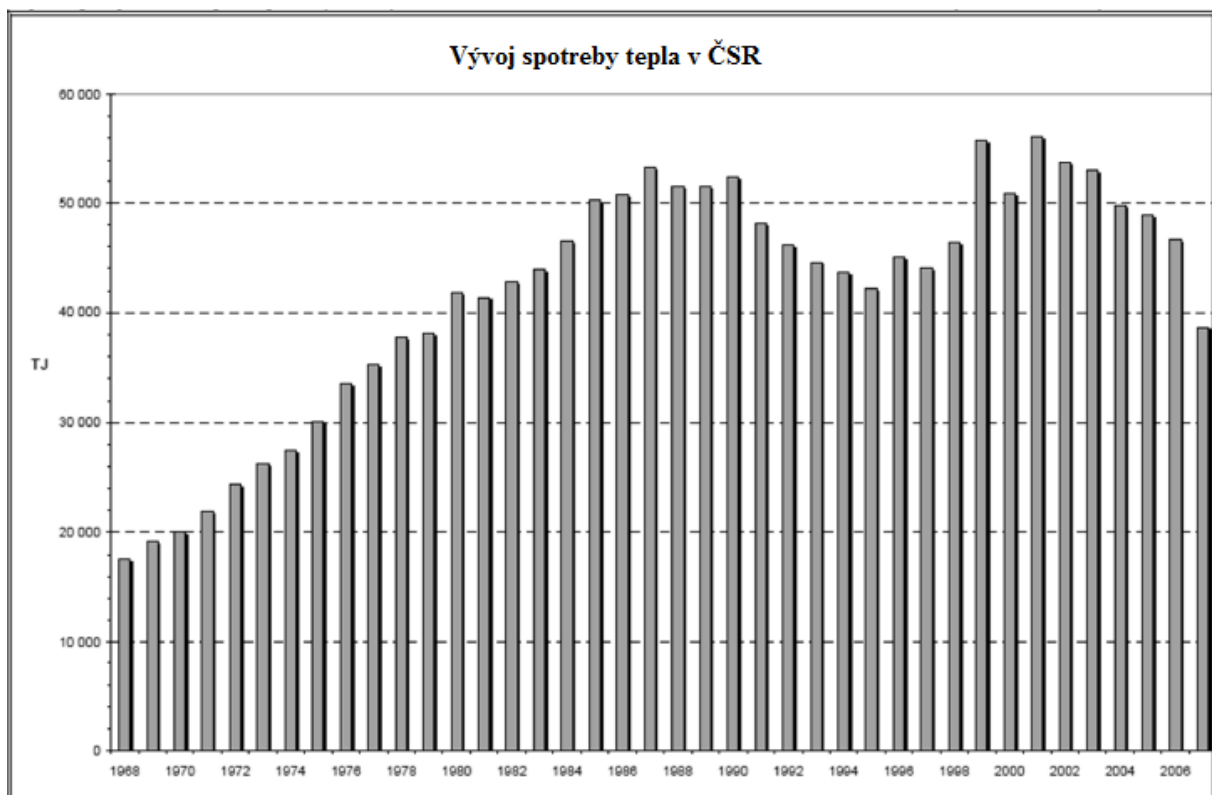
V teplárenskej praxi sa vyskytuje viacero variánt technologických obehov založených na rozličných pohonných jednotkách. Patria medzi ne paroplynové obehú, braytonov cyklus a

kogeneračné jednotky. Jednotlivé technológie sa od seba odlišujú účinnosťou a taktiež teplárenským modulom. Teplárenský modul predstavuje pomer dodávanej elektriny k dodávanému teplu do distribučnej siete. V nižšie uvedenej tabuľke (1) sú uvedené príslušné teplárenské moduly a dosahované účinnosti jednotlivých obehov. [3]

Tabuľka 1- Teplárenské moduly jednotlivých obehov [3]

Pohonná jednotka	Rozsah výkonu [MWe]	El. účinnosť [%]	Teplárenský modul
Parná turbína	0,05-200	15-35	0,1-0,4
Spalovacia turbína	0,2-250	17-43	0,4-1,2
Paroplynový cyklus	5-450	45-60	0,8-2,0
Kogeneračná jednotka	0,01-10	25-45	0,5-1,1

Určitým problémom pre centrálne zásobovanie teplom je globálny vývoj spotreby tepla. Teplárenské celky boli v minulosti budované hlavne v blízkosti veľkých výrobných závodov, ktorým kryli energetickú náročnosť a zvyšné teplo sa využilo pre zásobovanie okolitých obyvateľov. V súčasnosti vysoká finančná náročnosť na výstavbu má za dôsledok, že nové teplárne sa prakticky nebudujú a existujúce musia často bojovať s faktom, že veľké výrobné podniky prestali fungovať v miere akej fungovali a jednotliví odberatelia sa snažia znižovať spotrebu tepla rôznymi spôsobmi (zatepľovaním). Tieto trendy vývoja spotreby tepla názorne vidieť na priloženom grafe (obr.2). [3]



Obrázok 2- Trend vývoja spotreby tepla [3]

Z priloženého grafu sa dá usúdiť, že prvý viditeľný pokles spotreby tepla okolo roku 1995 bol spôsobený postupnou zmenou po rozdelení štátu a prechodom k súkromným spoločnostiam. Momentálny trend poklesu spotreby je predovšetkým daný znižovaním tepelných strát budov a tým potreby tepla odberateľov. Presne tieto okolnosti, začínajúc zrušením veľkého výrobného závodu a postupným znížením spotreby tepla u koncových odberateľov, sa týkajú aj spoločnosti Martinská teplárenská a.s..

1.2 Martinská teplárenská a.s.

História Martinskej teplárne (obr.3) siaha do roku 1949, kedy začala výstavba. Jednalo sa o prvú koncentrovanú formu výroby tepla, ktorá bola založená na produkcii pary v stredoslovenskom regióne. Tepláreň prevádzkovala tri roštové kotly a turbíny. Na prelome 50-tych a 60-tych rokov prebiehala druhá etapa výstavby. V teplárni sa dostavali dva granulačné kotly s dvojnásobným výkonom, turbogenerátor, výmenníková stanica pre horúcovodný privádzač a ďalšie prepravné kapacity (potrubia...). [1]



Obrázok 3- Martinská teplárenská a.s [7]

Ďalšie zvyšovanie výrobnéj kapacity si vyžiadalo zvyšovanie populácie mesta a zvyšovanie potrieb priemyslu. Medzi rokmi 1975 až 1991 sa vybudoval 165 metrový teplárenský komín a elektrostatický odľučovač, ktorý zachytával až 99,6 % popolčeka. Zvýšila sa tak isto aj výrobná kapacita tepla pomocou dvoch vysokovýkonných granulačných kotlov na pevné palivo s kombináciou mazutu a plynu. Dobudovala sa aj chemická úpravňa vody a zauhl'ovanie. Po novom sa začalo riešiť tiež odtrusovanie vrátane úložiska škváry.

V 90-tych rokoch prebehla modernizácia zastaralých kotlov K4 a K5, modernizácia sa zameriavala hlavne na plynofikáciu a denoxidáciu. V roku 2002 prebehla transformácia Martinskej teplárne na akciovú spoločnosť Martinská teplárenská a.s.. Od tohto roku zároveň začala rekonštrukcia kotla K4 na stacionárny kotol s bublinkujúcou fluidnou vrstvou na spaľovanie biomasy, ktorá má veľký prínos pre zníženie emisií oxidu uhličitého. [1]

1.2.1 Blížšia charakteristika používaných kotlov

Kotly K4 a K5

Kotly sú konštruované ako granulačné, sáľavé s prirodzenou cirkuláciou. Menovitý tepelný príkon v kotloch K4 a K5 je 66,9 a 68,1 megawattov na hnedé uhlie alebo 65,1 a 15 megawattov na zemný plyn. Účinnosť hnedého uhlia kotlov K4 a K5 je 88 % a 84 %, účinnosť pri využití zemného plynu pri kotloch K4 a K5 predstavuje 92 a 84 percent. Teplota pary dosahuje 450°C a pretlak pary je 5,70 MPa.

V súčasnosti sa používa ako palivo hnedé nízkosírne uhlie a zemný plyn. Uhlie je uložené v zásobníkoch surového paliva, odkiaľ ho reťazové podávače prepravujú do sušiacich šacht. V šachtách sa zomelie, dosuší a vynesie do ohybového triediča. Z výtlačného hrdla triediča je uhlie dopravované do hubíc práškových horákov umiestnených v rohoch spaľovacej komory.

Para po výstupe z kotlov K4 a K5 prechádza cez hlavný rozdeľovač a potrubný rozvod do parnej protitlakovej turbíny TG2 s výkonom 10 megawattov, kde je využívaná na výrobu elektrickej energie a zabezpečenie parných odberov. Kotly K4, K5 a TG2 sa prevádzkujú hlavne v letnom období. [1]

Kotly K6 a K7

Menovitý tepelný príkon kotlov K6 a K7 je 134,3 a 133,3 megawattov pričom projektovaná účinnosť predstavuje 84,7 a 84,7 percent. Teplota pary dosahuje 540°C a pretlak pary je 9,40 MPa. Parné kotly s ventilátorovými mlynmi na spaľovanie hnedého uhlia sú dvojťahové s vysunutým regeneratívnym ohrievačom vzduchu. Spaľovacia komora má štvorcový prierez, steny spaľovacej komory sú membránové a dno je ukončené výsypkou. Granulačné zvyšky odchádzajú cez vynášač a drtič škváry do splavovacieho kanála. Odparovací systém má prirodzenú cirkuláciu.

Spaliny sú odvedené cez dvojkomorový elektrofilter a dva dymové ventilátory do komína. Para po výstupe z kotla K6 a K7 prechádza cez hlavný rozdeľovač a potrubný rozvod do parnej protitlakovej turbíny TG3 s výkonom 32 megawattov a regulovaným odberom sa využíva na výrobu elektrickej energie a zabezpečenie parných odberov. Kotly K6, K7 a TG3 sa prevádzkujú hlavne v zimnom období. [1]

1.2.2 Celkový inštalovaný výkon

Tabuľka 2- Výkon jednotlivých kotlov

Kotol	Palivo	Výkon [MW _{th}]
K4	drevná štiepka alebo zemný plyn	59,9
K5	zemný plyn	15
K6	hnedé uhlie, pri stabilizácii zemný plyn do 30 %	96,5
K7	hnedé uhlie, pri stabilizácii zemný plyn do 30 %	96,5
Spolu		267,9

Tabuľka 3- Inštalovaný elektrický výkon

Turbína	Typ turbíny	Výkon [MW _e]
TG2	parná protitlaková turbína	10
TG3	parná protitlaková turbína	32
Spolu		42

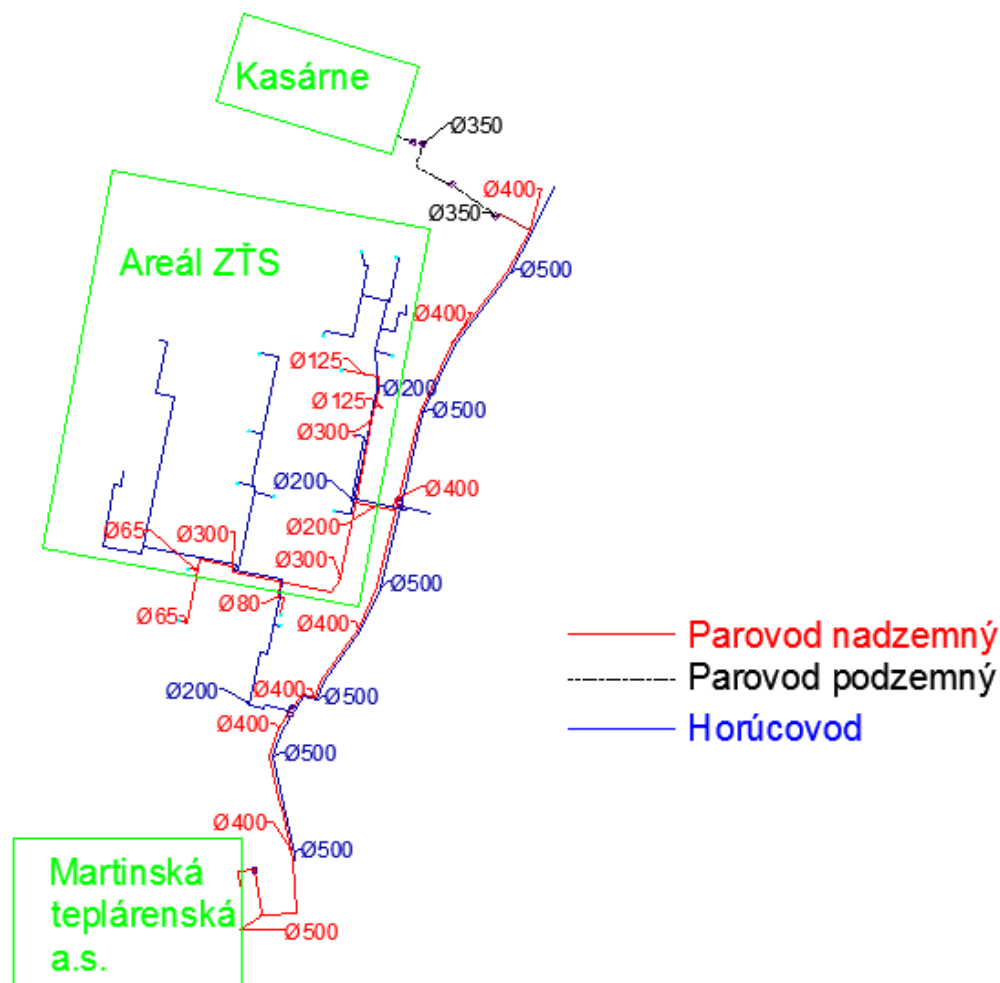
Martinská teplárenská a.s má výhradné postavenie v procese zásobovania teplom a TUV v meste Martin. Na tepelnú distribučnú sieť sú napojené prakticky všetky významné objekty v meste, ako aj sídliská. Prakticky celé mesto je zásobované teplom prostredníctvom horúcovodného teplonostného média, pričom posledný existujúci parovod zásobuje už len dva väčšie areály (ZŤS a kasárne Podháj). Z dôvodu zrušenia jedného, prakticky najväčšieho odberateľa, sa stal tento parovod značne predimenzovaný a neekonomický na prevádzku.

2 Opis súčasného stavu parovodu

Parovod na trase od Martinskej teplárenskej a.s. do ZŤS a kasární Podháj Martin, predstavuje posledný parovod v meste Martin. Schéma daného parovodu je znázornená aj vrátane použitých dimenzií na obrázku 4. Ostatné parovody boli v posledných rokoch prerobené na horúcovody za účelom zefektívnenia po stránke ekonomickej, ako aj ekologickej. Konkrétny posledný parovod, ktorý je predmetom tejto práce o dĺžke predstavujúcej 3081 m, prešiel rekonštrukciou v roku 1995.

Z hľadiska rokov ubehnutých od poslednej rekonštrukcie sa jedná o pomerne nový parovod, avšak odpadnutie veľkého odberateľa ZŤS Martin v 90. rokoch viedlo k veľkému poklesu dodávok pary. Parovod dimenzovaný na veľké odbery zostal predimenzovaný a to vedie k zvyšovaniu tepelných strát a k neekonomickej prevádzke konkrétneho parovodu.

K zvyšovaniu strát na parovode prispieva vo výraznej miere aj fakt, že minerálna vata použitá ako izolačný materiál okolo teplonosnej rúry po rokoch stráca z hrúbky pôvodne použitej okolo 5 % a zároveň dochádza pod vplyvom gravitačného pôsobenia k ukladaniu izolácie smerom k spodnej časti potrubia.



Obrázok 4- Distribučná sieť skúmanej časti [6]

2.1 Charakteristika existujúceho parovodu

Parovod, ktorý je predmetom výpočtu, je v základe možné rozdeliť na dve hlavné časti. Prvú časť tvorí hlavný parovod idúci až k areálu kasární Podháj, z ktorého zhruba v polovici vedie odbočka do závodu ZŤS. Tento parovod predstavuje posledný existujúci parovod v meste Martin. Začiatok parovodu, ako aj už existujúceho hlavného horúcovodného rozvodu je znázornený na obrázku 5 a predstavuje začiatok potrubného systému od prahu Martinskej teplárenskej a.s..



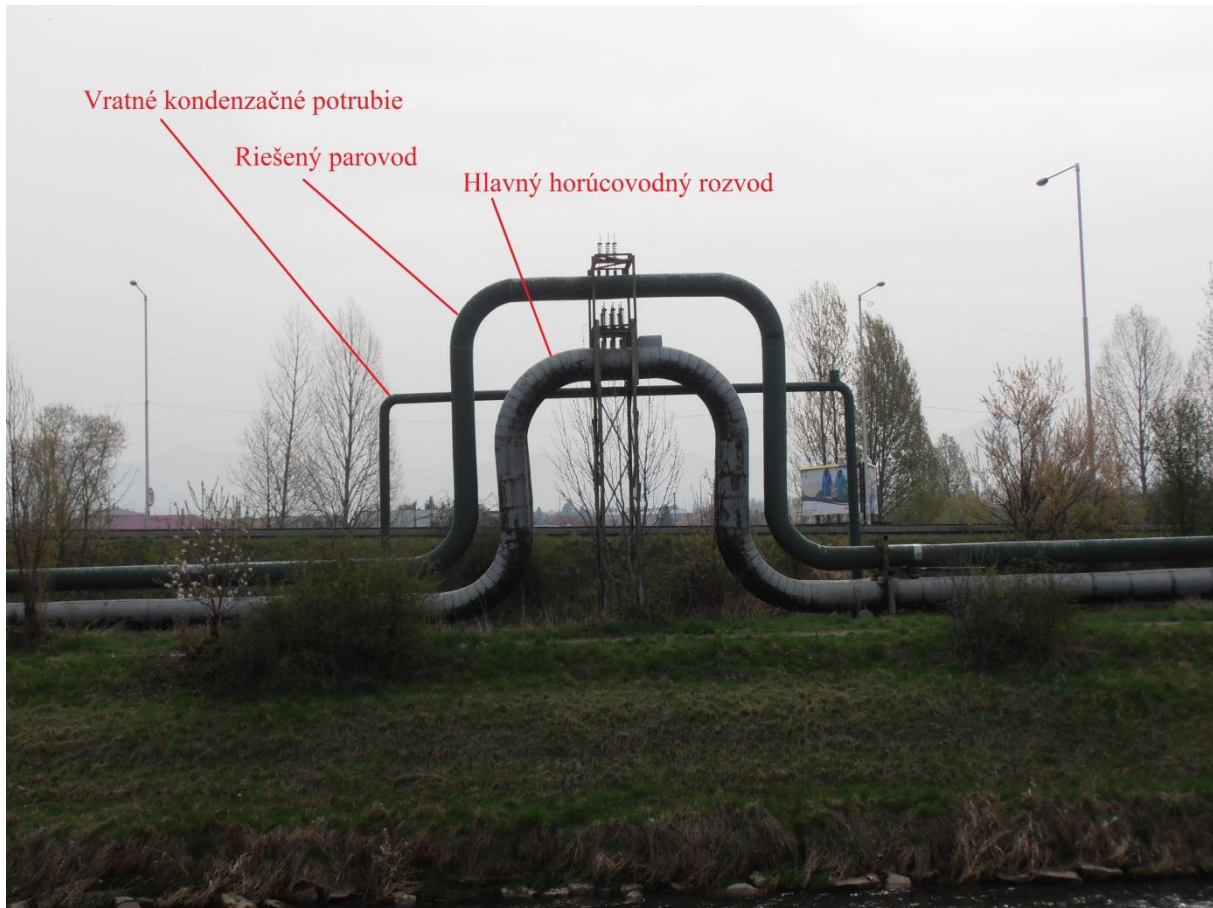
Obrázok 5- Začiatok potrubného distribučného systému

2.1.1 Dĺžková charakteristika parovodu

- 1) Parovod: Martinská teplárenská a.s. – kasárne Podháj
- dĺžka parovodu predstavuje 1970 m
- 2) Parovod: Martinská teplárenská a.s. – Areál ZTS
- dĺžka predstavuje 1111 m [6]

Hlavným cieľom Martinskej teplárenskej a.s. je celkové zrušenie daného parovodného rozvodu. Zrušenie a následné dobudovanie nových horúcovodných prípojek by malo byť

uľahčené faktom, že trasa parovodu kopíruje trasu už existujúceho hlavného horúcovodného rozvodu. Daný rozvod je situovaný na jednom brehu rieky Turiec, pretekajúcej mestom Martin a je názorne viditeľný na obrázku 6.



Obrázok 6- Parovodný a horúcovodný rozvod v skúmanej časti mesta

Najdôležitejšiou úlohou, ktorá určí, či je efektívne vymeniť existujúci parovod za nový horúcovod, je výpočet tepelných strát. Výpočet sa prevedie s ohľadom na charakteristiky prenosu tepla v potrubí. Využitím všeobecných vzorcov pre prenos tepla je možné pomerne presne určiť predpokladané vznikajúce tepelné straty. Všeobecne definované vzorce sú uvedené nižšie.

2.2 Základné vzťahy použité pre výpočet

1) Vzťah pre výpočet celkovej straty tepla potrubia

$$\Delta P_Q = \Delta P_{Q,iz} + \Delta P_{Q,x} = q * l_{iz} * \left(1 + \frac{z}{100}\right) \text{ [W]} \quad (1)$$

$\Delta P_{Q,iz}$ – tepelná strata rúrok (priamych aj zakrivených) tepelne izolovaných [W]

$\Delta P_{Q,X}$ – tepelná strata ostatných častí potrubia [W]

q – jednotková tepelná strata [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$]

l_{iz} – celková dĺžka izolovaných rúrok (priamych aj zakrivených) [m]

z – súhrnná prirážka [%]

Hodnoty, ktoré nadobúda veličina z sa delia podľa typu uloženia potrubia:

- potrubia uložené v bezkanálových konštrukciách (10-15)
- potrubia uložené v kanáloch (15-25)
- potrubia nadzemné (20-30)

2) Jednotkovú tepelnú stratu (q) určíme z nasledovného vzorca

$$q = \frac{(t_i - t_e)}{\frac{1}{\pi\alpha_i d} + \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{iz}} \ln \frac{D_{iz}}{D} + \frac{1}{\pi\alpha_e d}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}] \quad (2)$$

α_i – súčiniteľ prestupu tepla z teplosmennej látky do rúrky [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

α_e – súčiniteľ prestupu tepla z povrchu izolácie do okolia [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

λ_r – súčiniteľ tepelnej vodivosti rúrky [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

λ_{iz} – súčiniteľ tepelnej vodivosti izolácie [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

t_i – teplota teplonosnej látky v potrubí [$^{\circ}\text{C}$]

t_e – teplota okolitého prostredia [$^{\circ}\text{C}$]

Pri prietoku kvapalín a kondenzujúcich pár je tepelný odpor prestupom tepla z prúdu na vnútornú stenu rúrky ($1/\alpha_i$) taký malý, že sa bežne zanedbáva. Súčiniteľ prestupu tepla z povrchu izolácie do okolia zahrňuje vplyv konvekcie aj sálania. Vo voľnom prostredí prevažuje zložka konvekčná a v kanálovom uložení zložka sálavá. Rozdiely medzi povrchom izolácie a okolitým vzduchom sú zväčša malé, tak sa súčiniteľ uvažuje v rozhraní ($\alpha_e = 4$ až 23 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]).

Následne sa môže využiť empirický vzťah:

$$\alpha_e = 1,19 * \sqrt{\frac{\Delta t_e}{D_{iz}}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad \text{– pri prirodzenom prúdení} \quad (3)$$

$$\alpha_e = 4,65 * \frac{W_v^{0,7}}{D_{iz}^{0,3}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad \text{– pri nútenom prúdení} \quad (4)$$

Δt_e – rozdiel teplôt medzi povrchom izolácie a vzduchom [K]

D_{iz} – priemer povrchu izolácie [m]

W_v – rýchlosť prúdenia vzduchu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Zloženie parovodu:

- 1) teplonosná rúrka – oceľová rúrka ($\lambda_r = 50$ až 58 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$])
- 2) tepelná izolácia – minerálna vata ($\lambda_{iz} = 0,04$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$])

3) ochranný plech – ocel' ($\lambda = 50$ až $58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) [4]

Pri výpočte prestupu tepla tvorí výraznú zložku teplotná diferenciacia. Teplota pary v parovode je určená ako aritmetický priemer hodnôt pary na prahu teplárne, ktoré sú priebežne každodenne monitorované.

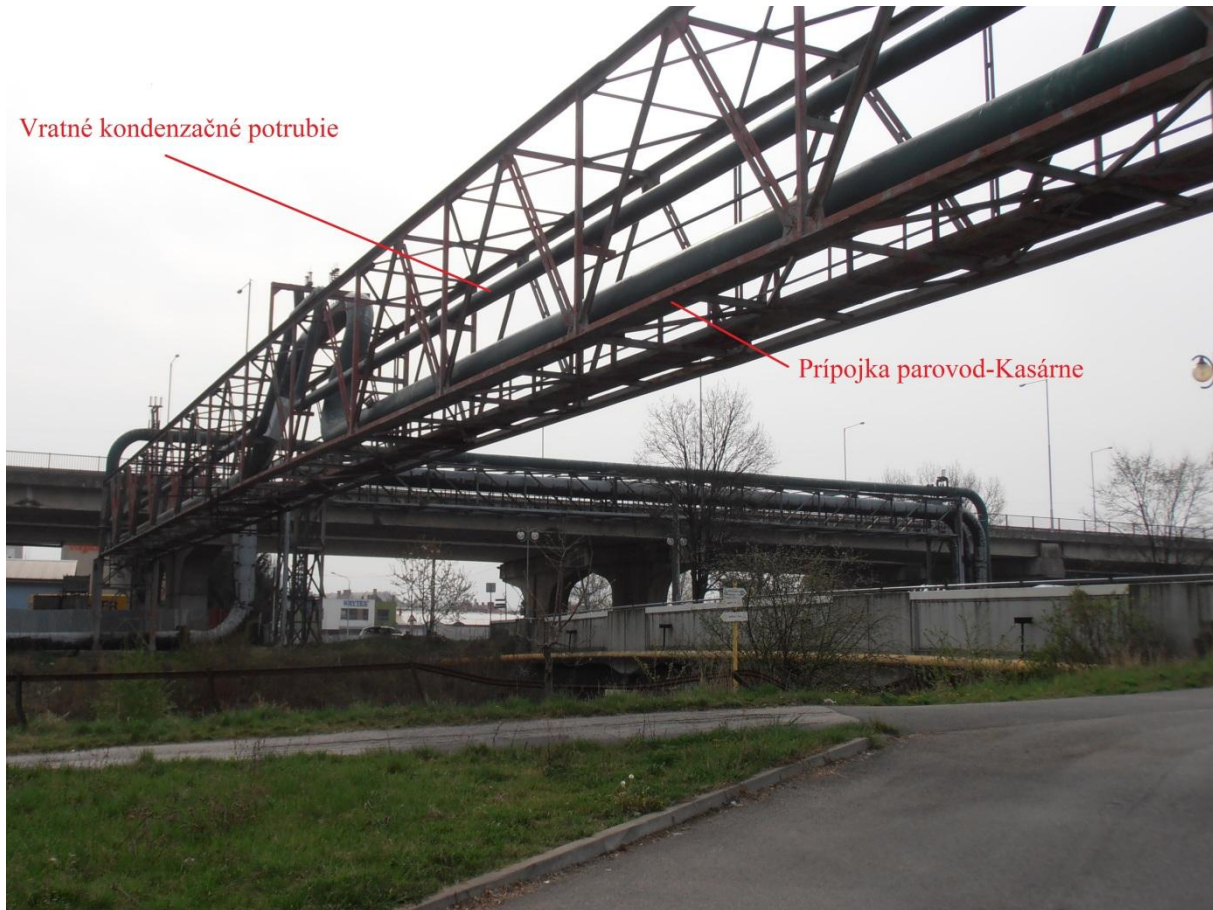
Teplota v okolí parovodu, bola určená na základe priemerných ročných teplôt podľa SHMU pre oblasť mesta Martin. Väčšina parovodu je v nadzemnom prevedení, avšak zaverečná časť pripojenia na objekt kasární Podháj je uložená podzemne. Pre tento účel bola zistená priemerná ročná teplota zeminy v oblasti mesta Martin v hĺbke 1,5 metra pod povrchom, takisto s použitím meraní SHMU. Výsledné hodnoty sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4- Priemerné teploty

Priemerné teploty [°C]			
Mesiac	Para	Okolie parovodu	Pôdy
Január	251,6	-1,52	5
Február	249,5	-5,12	3,8
Marec	242	4,76	3,7
Apríl	232,6	10,22	5,6
Máj	203,6	16,28	8,9
Jún	203,4	19,17	12,3
Júl	191,4	21,3	14,7
August	199,4	19,82	15,9
September	197,8	15,34	15,6
Október	219	8,89	13,7
November	245,8	6,66	10,5
December	259,9	-2,02	7,4

2.3 Výpočet tepelných strát parovodu Martinská teplárenská a.s – kasárne Podháj

Parovod ústiaci do objektu kasární Podháj slúži na pokrytie potrieb tepla a TUV v danom objekte. V projekte sa uvažuje o výmene existujúcej prípojky (obr.7) parovodu po hranicu areálu, pričom samotnú výmenu parných rozvodov vo vnútri areálu rieši armáda Slovenskej republiky.

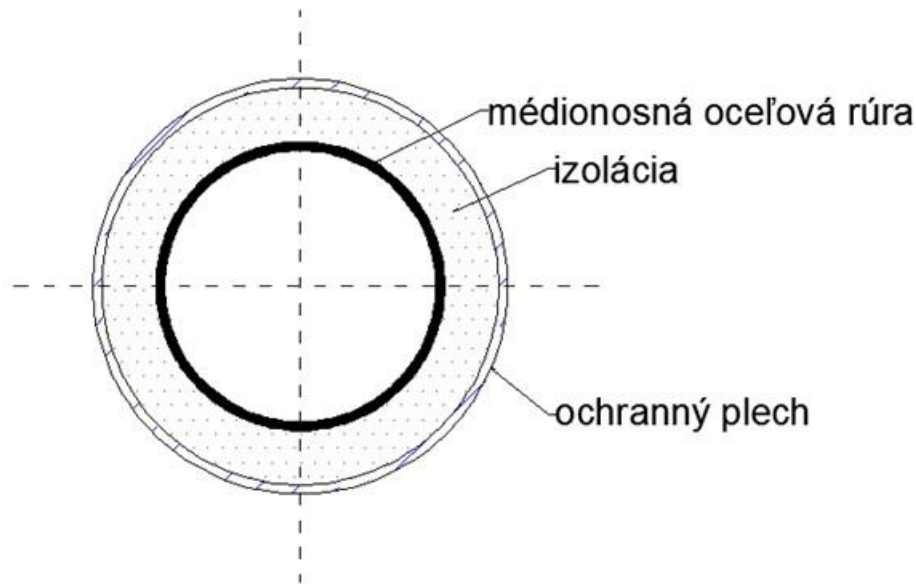


Obrázok 7- Napojenie objektu areálu kasární Podháj

Dízkové charakteristiky parovodu:

- celková dĺžka : 1972 m
 - z toho tvorí: 1694 m, parovod o priemere DN400, nadzemné uloženie
 - 272 m, parovod o priemere DN350, podzemné uloženie
 - 6 m, parovod o priemere DN600, nadzemné uloženie

- vlastnosti použitého materiálu na potrubí (obr.8):
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 54$ [W/mK]
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,07$ [W/mK], pri hrúbke izolácie 160 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 54$ [W/mK]
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: 2 [m/s] [6]



Obrázok 8- Schématický rez potrubím parovodu [2]

Charakteristika vratného potrubia kondenzátu:

- teplota vratného kondenzátu: 75 °C
- celková dĺžka potrubia: 1972 m, priemer potrubia DN160, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 54$ [W/mK]
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,09$ [W/mK], pri hrúbke izolácie 80 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 54$ [W/mK]
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: 2 [m/s] [6]

2.3.1 Tepelná strata celého parovodu (vrátane kondenzačného potrubia)

Po určení jednotkových tepelných strát na jednotlivých priemeroch parovodu, ako aj kondenzačného potrubia, podľa vyššie uvedených výpočtových vzťahov dostávame celkovú jednotkovú stratu potrubia. Následným vynásobením dĺžkovými vlastnosťami potrubia dostávame celkovú stratu tepla parovodu vrátane kondenzačného potrubia na trase Martinská teplárenská a.s – kasárne Podháj. Jednotlivé tepelné straty v závislosti od mesiacov v roku su uvedené v tabuľke 5.

Tabuľka 5-Tepelné straty parovodu Martinská teplárenská a.s - kasárne Podháj

Strata v ročnom období	Celková jednotková tepelná strata parovodu a kondenzačného potrubia [W.m ⁻¹]	Celková strata tepla ΔPq [W]	Celková strata tepla [GJ/mesiac]
Január	668,64	594202,76	1591,51
Február	673,51	603128,63	1537,25
Marec	630,36	555709,50	1488,41
Apríl	592,48	519699,61	1357,59
Máj	504,73	446343,65	1195,49
Jún	494,62	435280,15	1137,32
Júl	458,57	406001,23	1087,43
August	480,86	425114,62	1138,63
September	488,57	437769,28	1144,40
Október	557,50	498246,15	1334,50
November	630,13	554451,80	1448,25
December	688,36	610210,51	1634,39

2.4 Výpočet tepelných strát parovodu Martinská teplárenská a.s – areál ZŤS

Existujúca parovodná prípojka vedúca do areálu ZŤS vedie pozdĺž už vybudovaného nadzemného horúcovodného rozvodu. Niektoré objekty v areály sú už napojené na horúcovodný rozvod a zostávajúce budú prerobené z parného na horúcovodný. Napojenie areálu je riešené pomocou nadzemného mosta (obr.9).

Dĺžkové charakteristiky parovodu:

- celková dĺžka : 1111 m
 - z toho tvorí: 691 m, parovod o priemere DN300, nadzemné uloženie
 - 103 m, parovod o priemere DN200, nadzemné uloženie
 - 96 m, parovod o priemere DN125, nadzemné uloženie
 - 77 m, parovod o priemere DN80, nadzemné uloženie
 - 144 m, parovod o priemere DN65, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 54$ [W/mK]
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,07$ [W/mK], pri hrúbke izolácie 160 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 54$ [W/mK]
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: 2 [m/s] [6]



Obrázok 9- Prípojka parného rozvodu do areálu ZĽS

Charakteristika vratného potrubia kondenzátu:

- teplota vratného kondenzátu: 75 °C
- celková dĺžka potrubia: 1111 m, priemer potrubia DN160, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 54$ [W/mK]
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,09$ [W/mK], pri hrúbke izolácie 80 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 54$ [W/mK]
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: 2 [m/s] [6]

2.4.1 Tepelná strata celého parovodu (vrátane kondenzačného potrubia)

Výsledná tepelná strata parovodu, vrátane vratného kondenzačného potrubia na trase Martinská teplárenská – areál ZĽS, je uvedená v tabuľke 6. Výpočty boli prevedené na základe hore popísaných vzťahov.

Tabuľka 6-Tepelné straty parovodu Martinská teplárenská a.s - areál ZŤS

Strata v ročnom období	Celková jednotková tepelná strata parovodu a kondenzačného potrubia [W.m ⁻¹]	Celková strata tepla ΔPq [W]	Celková strata tepla [GJ/mesiac]
Január	554,93	260506,36	697,74
Február	560,72	265528,67	680,61
Marec	518,93	242527,51	649,59
Apríl	485,59	226164,06	592,40
Máj	412,34	195098,76	522,55
Jún	404,00	189756,35	497,18
Júl	374,73	177581,58	475,63
August	394,41	185806,13	497,66
September	403,60	192760,35	505,33
Október	462,70	219107,02	586,86
November	521,13	241747,50	633,14
December	572,50	267174,92	715,60

Na základe prevedených výpočtov možno určiť tepelnú stratu na celom existujúcom parovode, zahŕňajúcom pripojenie kasární Podháj a areálu ZŤS. Výsledná tepelná strata je určená súčtom tepelnej straty na oboch počítaných častiach parovodu. Následne je táto hodnota porovnaná s celkovou dodávkou tepla na prahu teplárne a určená výsledná hodnota straty v percentách. Vypočítané hodnoty su uvedené v tabuľke 7.

Tabuľka 7- Výsledná tepelná strata parovodu

Mesiac	Dodávka na prahu teplárne [GJ]	Tepelná strata parovodu+kondenzát [GJ]	Strata [%]
Január	11411,31	2289,25	20,06
Február	13071,75	2217,87	16,97
Marec	8692,50	2138,00	24,60
Apríl	5546,19	1950,00	35,16
Máj	2429,06	1718,04	70,73
Jún	2285,09	1634,50	71,53
Júl	2656,53	1563,07	58,84
August	2587,72	1636,29	63,23
September	2290,25	1649,73	72,03
Október	5421,06	1921,36	35,44
November	7040,06	2081,39	29,56
December	11559,88	2349,99	20,33
Celý rok	74991,41	23149,49	30,87
Priemerná strata leto [%]	67,27		
Priemerná strata zima [%]	26,02		

Pri teoretickom výpočte tepelných strát sa využívajú isté zjednodušujúce predpoklady (neuvažuje sa kondenzácia pary v potrubí, prúdenie sa berie ako ustálené...). S ohľadom na tieto okolnosti sa javí ako najvýhodnejšia alternatíva porovnať tieto výsledky s reálnymi (fakturačnými) stratami, ktoré vznikajú Martinskej teplárenskej na základe rozdielu medzi teplom dodaným na prahu teplárne a teplom odobratým jednotlivými odberateľmi. Na základe poskytnutých fakturačných údajov z Martinskej teplárenskej a.s sa uskutočnil výpočet na percentuálne straty v jednotlivých mesiacoch roka (tab.8).

Tabuľka 8- Fakturačné straty na danom parovode

Mesiac	Dodávka na prahu teplárne [GJ]	Množstvo tepla odobratého odberateľmi [GJ]	Strata [GJ]	Strata [%]
Január	11411,31	8254,31	3157,00	27,67
Február	13071,75	9532,93	3538,82	27,07
Marec	8692,50	5937,71	2754,79	31,69
Apríl	5546,19	4138,63	1407,56	25,38
Máj	2429,06	2270,69	158,37	6,52
Jún	2285,09	1750,07	535,02	23,41
Júl	2656,53	1781,40	875,13	32,94
August	2587,72	1619,38	968,34	37,42
September	2290,25	1749,19	541,06	23,62
Október	5421,06	3801,64	1619,42	29,87
November	7040,06	5216,80	1823,27	25,90
December	11559,88	7376,37	4183,50	36,19
Celý rok	74991,41	53429,12	21562,29	28,75
Priemerná strata leto [%]	24,78			
Priemerná strata zima [%]	29,11			

Z uvedených tabuliek vyplýva určitý rozdiel medzi vypočítanými hodnotami a hodnotami, ktoré reálne faktúruje spoločnosť Martinská teplárenská. Rozdiely medzi priemernými tepelnými stratami za zimné obdobie vychádzajú zanedbateľné. Tým pádom sa dá usudzovať, že súčiniteľ teplotnej vodivosti izolácie, ktorého určenie hodnoty tvorilo najväčší problém počas výpočtu je zvolený správne. Zistenie presnej hodnoty bolo nemožné z hľadiska neúplnej dokumentácie a nemožnosti zistenia reálneho stavu izolácie, ktorej stav určite po rokoch degradoval, ako názorne vidieť na priloženom obrázku 10. Na základe týchto zistení sa dá predpokladať, že výpočet je prevedený správne a vzniknutý veľký rozdiel v letnom období, presahujúci 40 %, je len výsledkom faktu, že spoločnosť Martinská teplárenská nemôže účtovať odberateľom reálne straty, ktoré jej vznikajú a teda ako prevádzkovateľ parovodu musí znášať finančné straty, ktoré najmä v letnom období pri malom odbere a predimenzovanosti parovodného systému sú ozaj vysoké.



Obrázok 10- Stav izolácie v priereze parovodu

3 Charakteristika plánovaného horúcovodu

Horúcovod, ako prostriedok na distribúciu tepelnej energie, sa javí z mnohých hľadísk ako výrazne efektívnejšia voľba oproti parovodu. Plánovaná náhrada nemá za účel nahradiť celý existujúci parovod novým horúcovodom. Hlavným zámerom je napojiť objekty zásobené parovodom na už existujúci horúcovod na tejto trase. Výsledkom bude zrušenie celého parovodu a vytvorenie nových horúcovodných prípojek pre jednotlivých odberateľov.

Medzi hlavné výhody horúcovodu patrí:

- voda (nestlačiteľné médium), čerpacia práca kryje len tepelné straty
- jednoduchšia regulácia teploty a prietoku
- malé poklesy teplôt pri veľkých vzdialenostiach
- možnosť akumulácie siete a následné využitie pri odberateľskej špičke

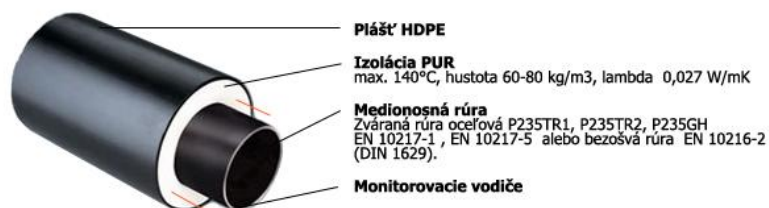
Nevýhody horúcovodného systému:

- nutnosť použitia obehových čerpadiel
 - udržiavanie siete pod vyšším tlakom
 - zložitejšie pripojovanie nových sietí (menia sa hydraulické pomery a vyregulovanie)
- [8]

Pre problém vysokých tepelných strát na existujúcom parovode v Martine sa javí náhrada horúcovodom ako najlepšia možná voľba na ich redukciu. Na vyhotovenie horúcovodu sa využívajú predizolované potrubné systémy. Ich značnou výhodou je nízka tepelná strata (5 %), životnosť až 30 rokov a výrazne nižšie náklady na výstavbu, ako aj kvalita vyhotovenia, keďže sa dodávajú hotové celky nového potrubia priamo z továrne.

Charakteristika predizolovaného potrubia

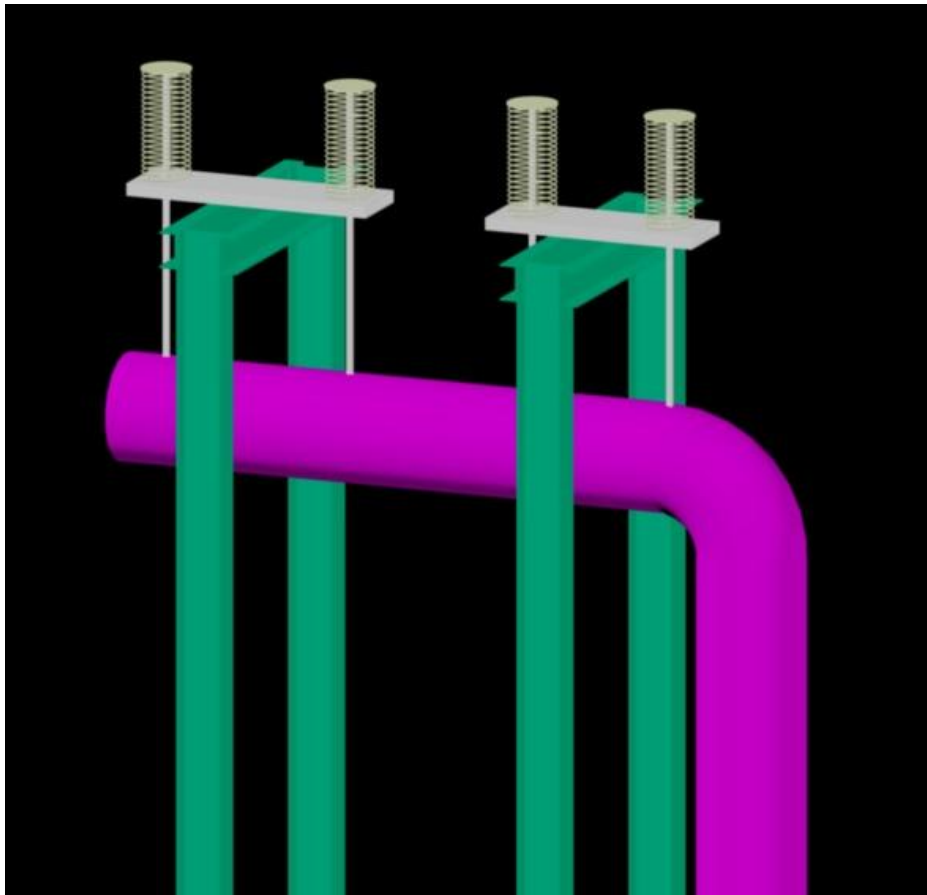
Vyrába sa ako združený systém, pre ktorý je charakteristické, že teplonostná rúra, izolácia a plášťová rúra tvoria jeden jednotný celok. Izolačná PUR pena prenáša zaťažujúce sily a potrubie môže byť uložené v zemi aj bezkanálovo. Schématické znázornenie predizolovaného potrubia je uvedené na obrázku 11. Výrazná výhoda daného systému tkvie v tom, že sú v ňom zabudované monitorovacie vodiče, vďaka ktorým dokážeme presne určiť miesto poruchy na presnosť 0,5 m. [8]



Obrázok 11- Predizolované potrubie [8]

3.1 Výpočet tepelných strát přípojky horúcovodu objektu - Kasárne Podháj

Predpokladaná prípojka horúcovodu bude kopírovať existujúci parovod, pričom sa zachová aj rozdiel v uložení, kde časť potrubia bude uložená pod zemou a časť nad zemou. Nadzemné uloženie je riešené premostením ponad rieku Turiec, pričom príklad zavesenia nadzemného potrubia je znázornený na obrázku 12.



Obrázok 12- Nadzemné uchytenie horúcovodného potrubia

Dízkové charakteristiky horúcovodu:

- celková dĺžka : 360 m
 - z toho tvorí: 270 m, horúcovod o priemere DN200, podzemné uloženie
 - 90 m, horúcovod o priemere DN200, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 50 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,027 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, pri hrúbke izolácie 160 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 0,43 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: $2 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ [6]

Charakteristika vratného potrubia horúcovodu:

- celková dĺžka : 360 m
 - z toho tvorí: 270 m, horúcovod o priemere DN200, podzemné uloženie
 - 90 m, horúcovod o priemere DN200, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 50 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,027 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, pri hrúbke izolácie 160 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 0,43 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: $2 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ [6]

3.1.1 Tepelná strata horúcovodu (vrátane vratného potrubia)

Pri výpočte tepelných strát prípojky horúcovodu uvažujeme s teplotnou diferenciou medzi prepravovaným médiom a okolitým prostredím. Z dôvodu podzemného ako aj nadzemného uloženia horúcovodu treba brať do úvahy priemernú teplotu okolitého vzduchu a pôdy v hĺbke 1,5 m. Dané priemerné hodnoty pre jednotlivé mesiace v roku sú uvedené v predchádzajúcej časti v tabuľke 3.

Priemerná teplota prepravovanej horúcej vody je stanovená z každodenných meraní na prahu teplárne a následne je stanovený mesačný priemer teploty. To isté platí aj pre vratnú vodu a jednotlivé hodnoty pre výpočet su uvedené v tabuľke 9.

Tabuľka 9- Priemerná teplota v horúcovode

Priemerné teploty [°C]		
Mesiac	Horúcovod-prívod	Horúcovod-vratné
Január	110,2	64,5
Február	113,9	66,3
Marec	105,6	65
Apríl	104,6	68,1
Máj	99,8	73,6
Jún	96,8	73
Júl	89,8	68,4
August	96,2	73,8
September	95	71,7
Október	102,7	66,3
November	102,2	61,8
December	111,6	63,5

Na základe rovnakého postupu výpočtu ako pri predchádzajúcich stanoveniach tepelnej straty, dochádzame k výslednej tepelnej strate horúcovodnej prípojky vrátane vratného potrubia, pre objekt kasární Podháj. Výsledky výpočtu su uvedené v tabuľke 10.

Tabuľka 10- Tepelná strata horúcovodnej prípojky kasárne Podháj

Strata v ročnom období	Celková jednotková tepelná strata horúcovodu a vratného potrubia [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$]	Celková strata tepla ΔPq [W]	Celková strata tepla [GJ/mesiac]
Január	62,26	13187,50	35,32
Február	66,00	13902,07	34,83
Marec	58,95	12771,89	34,21
Apríl	57,04	12498,54	32,40
Máj	53,89	11926,89	31,94
Jún	50,30	11130,38	28,85
Júl	44,43	9853,35	26,39
August	48,82	10696,71	28,65
September	49,36	10648,97	27,60
Október	53,24	11306,64	30,28
November	53,39	11378,42	29,49
December	61,71	12955,98	34,70

3.2 Výpočet tepelných strát prípojky horúcovodu areálu - ZŽS

Pri výpočte sa uvažuje s novými horúcovodnými prípojkami kopírujúcimi existujúce parovodné prípojky.

Dĺžkové charakteristiky horúcovodu:

- celková dĺžka : 695 m
 - z toho tvorí: 155 m, horúcovod o priemere DN65, nadzemné uloženie
 - 150 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
 - 50 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
 - 240 m, horúcovod o priemere DN40, nadzemné uloženie
 - 100 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 50 [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,027 [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$, pri hrúbke izolácie 120 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 0,43 [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: $2 [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ [6]

Charakteristika vratného potrubia horúcovodu:

- celková dĺžka : 695 m
 - z toho tvorí: 155 m, horúcovod o priemere DN65, nadzemné uloženie
 - 150 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
 - 50 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
 - 240 m, horúcovod o priemere DN40, nadzemné uloženie
 - 100 m, horúcovod o priemere DN50, nadzemné uloženie
- vlastnosti použitého materiálu na potrubí:
 - materiál potrubia: $\lambda_R = 50 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - materiál izolácie: $\lambda_{IZ} = 0,027 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, pri hrúbke izolácie 120 mm
 - materiál ochranného plechu: $\lambda_P = 0,43 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
 - rýchlosť prúdenia okolitého vzduchu: $2 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ [6]

3.2.1 Tepelná strata horúcovodu (vrátane vratného potrubia)

Výsledná tepelná strata prípojek horúcovodu, zahŕňajúca aj vratné potrubie, je uvedená v tabuľke 11. Výpočet bol prevedený rovnakým spôsobom a sú v ňom zahrnuté všetky pripájajúce sa objekty v areály ZŤS.

Tabuľka 11- Tepelná strata horúcovodných prípojek v areály ZŤS

Strata v ročnom období	Celková jednotková tepelná strata horúcovodu a vratného potrubia $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$	Celková strata tepla ΔPq [W]	Celková strata tepla [GJ/mesiac]
Január	92,98	15324,80	41,05
Február	98,20	16157,99	40,49
Marec	86,75	14345,08	38,42
Apríl	84,30	13981,70	36,24
Máj	80,72	13437,78	35,99
Jún	76,96	12839,21	33,28
Júl	69,50	11626,66	31,14
August	76,64	12791,64	34,26
September	77,83	12953,84	33,58
Október	83,23	13795,31	36,95
November	82,06	13586,57	35,22
December	93,51	15409,14	41,27

3.3 Celková tepelná strata nových přípojek horúcovodu (vrátane vratného potrubia)

Celkovú tepelnú stratu horúcovodného potrubia uvažujeme vzťahnutú na novo vybudované prípojky jednotlivých objektov, zahŕňajúce rovnako aj vratné potrubia. Táto tepelná strata slúži ako referenčná hodnota pre posúdenie zlepšenia účinnosti prenosu tepla, v porovnaní s existujúcim parovodom. Výsledná tepelná strata plánovaných prípojek horúcovodu je určená súčtom tepelných strát vznikajúcich na jednotlivých individuálnych pripojeniach. V tabuľke (12) sú znázornené jednotlivé mesačné tepelné straty, ako aj celková odhadovaná ročná tepelná strata. Výsledná tepelná strata horúcovodu tvorí približne len 1 % z tepla dodaného na prahu teplárne.

Tabuľka 12- Celková strata na novovybudovaných horúcovodných prípojkách

Mesiac	Tep.strata horúcovodu (prívod+vratné) [GJ]
Január	76,37
Február	75,32
Marec	72,63
Apríl	68,64
Máj	67,94
Jún	62,13
Júl	57,53
August	62,91
September	61,18
Október	67,23
November	64,71
December	75,97
Celý rok	812,56

3.4 Porovnanie tepelnej straty existujúceho parovodu a plánovaného horúcovodu

Plánovaná prestavba parovodu na horúcovod má za hlavný účel odstrániť predimenzovaný parovod spájajúci Martinskú teplárenskú a.s a objekty kasární Podháj a areálu ZŤS. Existujúci parovod dosahuje výrazné tepelné straty, ktoré negatívne ovplyvňujú dodávateľa tepla. Plánovaná prestavba na horúcovod by mala zabezpečiť požadované zníženie tepelných strát a tým pádom celkové zefektívnenie dodávky tepla.

Porovnaním vypočítaných hodnôt tepelných strát je názorne vidieť veľkú možnosť úspory tepla. V tabuľke (13) je uvedené porovnanie tepelných strát na parovode v porovnaní s tepelnými stratami na plánovanom horúcovode.

Tabuľka 13- Porovnanie tepelných strát na parovode a horúcovode

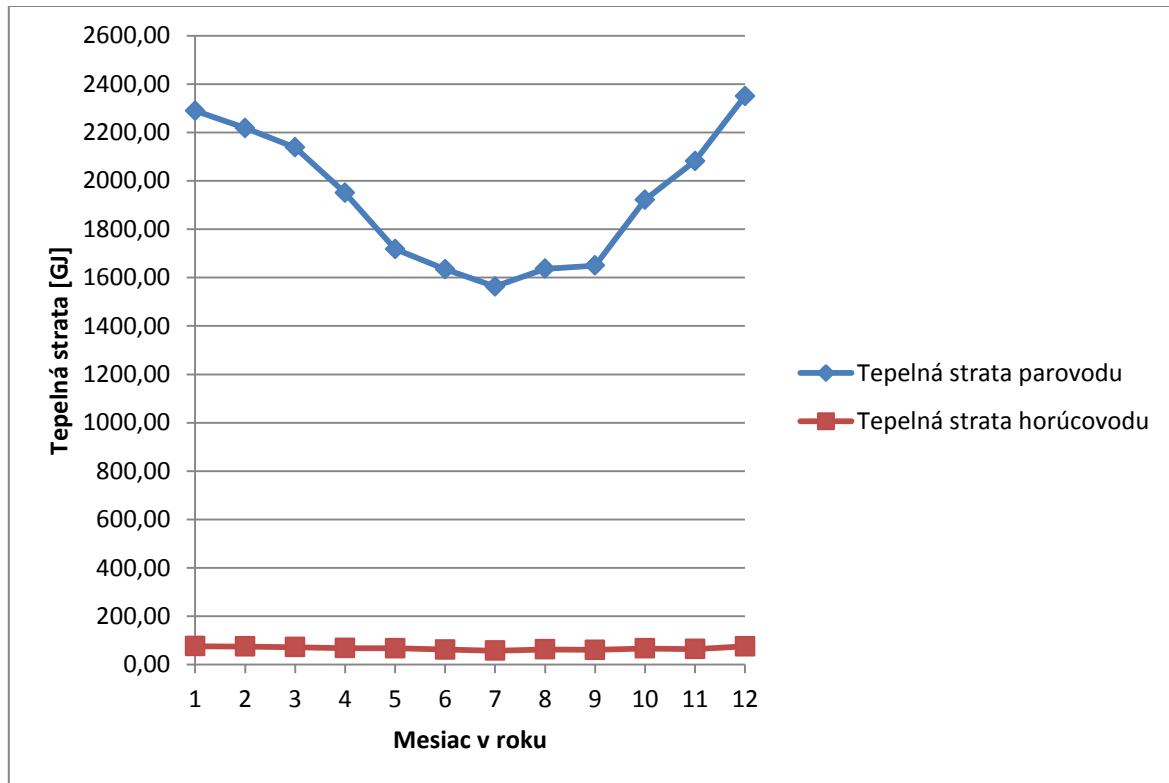
Mesiac	Tepelná strata parovodu [GJ]	Tepelná strata horúcovodu [GJ]	Úspora [GJ]
Január	2289,25	76,37	2212,89
Február	2217,87	75,32	2142,55
Marec	2138,00	72,63	2065,37
Apríl	1950,00	68,64	1881,36
Máj	1718,04	67,94	1650,10
Jún	1634,50	62,13	1572,38
Júl	1563,07	57,53	1505,54
August	1636,29	62,91	1573,38
September	1649,73	61,18	1588,55
Október	1921,36	67,23	1854,13
November	2081,39	64,71	2016,68
December	2349,99	75,97	2274,02
Celý rok	23149,49	812,56	22336,93
Tepelná strata leto [GJ]	8201,63	311,69	7889,95
Priemerná strata zima [GJ]	14947,85	500,87	14446,98

Uvedené hodnoty sú na prvý pohľad výrazne odlišné. Tepelná strata horúcovodu je vo výsledku 28-násobne menšia ako strata parovodu. Je to výsledkom plánovaného zámeru zrušenia komplet celého existujúceho parovodu o dĺžke 3081 m. Pri uvažovaní tohto faktu dostávame hodnotu tepelnej straty momentálne existujúcej na parovode ako ušetrené množstvo tepla. Plánovaným dobudovaním nových horúcovodných prípojek k existujúcemu horúcovodnému rozvodu navýšime tepelnú stratu tohto potrubia len zanedbateľne. Celkové tepelné straty nových horúcovodných prípojek sú oproti parovodu značne nižšie, čo len potvrdzuje výhodnosť kompletného zrušenia parovodu. Veľkú úsporu, ktorú prezentuje toto riešenie, je názorne veľmi dobre vidieť na priloženom grafe (obr.13).

Celková ročná úspora týkajúca sa tepla predstavuje pri zrušení existujúceho parovodu 22336,93 GJ/rok. Dodávateľovi tepla, ako je Martinská teplárenská a.s je prioritná hodnota úspory použitého paliva potrebného na výrobu tepla. Pri určení finančnej úspory treba zobrať do úvahy fakt, že dodávateľ musí na jeden stratený GJ tepla vyrobiť 1,2778 GJ tepla. Táto hodnota je určená priamo Martinskou teplárenskou a.s a vychádza z ich nameraných údajov.

Pri uvážení danej konštanty získavame novú hodnotu celkovej tepelnej straty, ktorú je možné ušetriť za rok týmto riešením. Vynásobením týchto hodnôt vychádza ušetrené ročné množstvo tepla v hodnote 28542,1292 GJ.

Keďže tepláreň používa na výrobu tepla kombináciu uhlia a drevnej štiepky, náklady na výrobu jedného GJ tepla sú samotnou teplárnou odhadované na 5,6 €/GJ. Následne možno určiť, že samotným zrušením existujúceho parovodu a jeho nahradením novými horúcovodnými prípojkami, je možnosť ušetriť ročne na nákladoch za palivo až 159835,92 €.



Obrázok 13- Porovnanie tepelných strát na parovode a horúcovode

Výmena média v diaľkovom rozvode tepla so sebou obnáša upravenie niektorých častí potrubnej siete. Medzi hlavné veci dotknuté takouto výmenou patria výmenníkové stanice. Zariadenie, ako tepelný výmenník, je vždy konštruované na určité špecifické požiadavky. Preto pre dosiahnutie výmeny pary za horúcu vodu treba takisto upraviť aj výmenníky tepla z typu para-voda na typ voda-voda a zároveň určiť konkrétny typ výmenníka, ktorý bude pre danú aplikáciu najvhodnejší.

4 Návrh výměníka tepla

Výmenníky tepla se ve všeobecnosti používají na odovzdávání tepla v případech, kdy k nemu nemůže dojít přímo. Typickým příkladem jsou odlišné teplotnětlakové látky (para a voda) nebo různé tlakové poměry v primární a sekundární soustavě.

Dělení výměníků

V praxi se výměníky dělí podle viacerých kritérií.

1) Smer vzájomného prúdenia primárneho a sekundárneho média:

- súprúdy výmenník
- protiprúdy výmenník
- krížové prúdenie vo výmenníku

2) Podľa pracovného pochodu:

- rekuperačné, prúdy sú oddelené tepelne vodivou stenou a nedochádza k zmiešavaniu prúdov
- regeneračné, prúdy striedavo obtekajú teplovýmennú plochu, ktorá akumuluje teplo
- zmiešavacie, dochádza k premiešaniu primárneho a sekundárneho prúdu a tak k prenosu tepla

3) Podľa konštrukcie:

- doskový výmenník
- trubicový výmenník
- špirálový výmenník

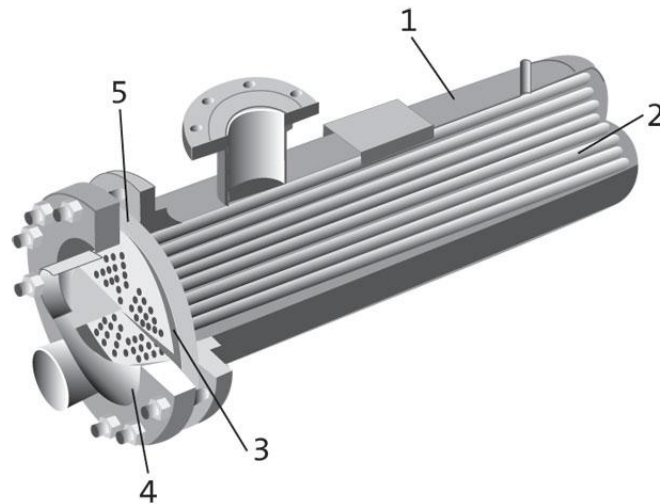
4) Podľa použitých médií:

- voda-voda
- voda-plyn
- plyn-plyn [5]

V teplotní soustavě tvoří výměníky jednu z nezákladnějších složek technologického procesu. Z konstrukčního hlediska se nejvíce v těchto podmínkách využívají trubkové nebo deskové výměníky.

Trubkové výměníky

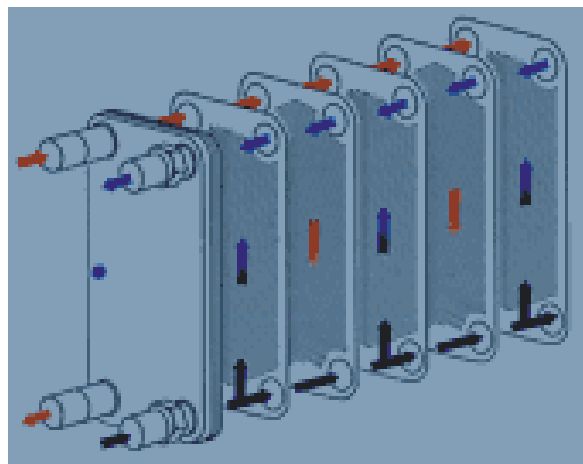
V minulosti se prakticky využívali ve většině aplikací. Jejich výhodou je vysoká teplotní a tlaková odolnost, nenáročná technologie výroby a dobré ochlazení kondenzátu. Z nevýhod, které se při daném typu vyskytují, se při teplotní soustavě používání mají nejhorší požadavky na vysoké prostorové možnosti. To zejména při objektových výměnících, které mají na starost zásobování teplem a teplou užitkovou vodou. Typický trubkový výměník je znázorněn na obrázku 14. [5]



Obrázok 14- Trubkový výmenník tepla [9]

Doskové výmenníky

Doskový výmenník tepla pozostáva zo súboru dosiek lisovaných z rôznych materiálov v závislosti na požiadavkách aplikácie. Medzi doskami výmenníka tepla vďaka ich profilovanému povrchu, vznikajú oddelené kanály, ktorými preteká ohrievané i chladené médium. Každá doska výmenníka tepla je obtekaná primárnym médiom z jednej strany a sekundárnym médiom z druhej strany. Medzi jednotlivými médiami dochádza cez stenu dosky k prestupu tepla. K hlavným výhodám tejto konštrukcie patria nízke rozmery a hmotnosť, intenzívny prestup tepla a vysoká účinnosť. Nevýhodou tejto koncepcie je vyššia požiadavka na dobré vysušenie pary pred vstupom (inak vyššie riziko korózie) a náročnejšia technológia výroby. Vnútorý rez výmenníkom je znázornený na obrázku (č.15). [5]



Obrázok 15- Doskový výmenník tepla [9]

V projekte prestavby existujúceho parovodu na horúcovod sa počíta so zmenou typu tepelných výmenníkov v napojených objektoch. Vhodným typom výmenníku sa pre daný účel javí použitie doskového výmenníka typu voda-voda, vzhľadom na menšie priestory a taktiež jednoduchšiu možnosť inštalácie.

4.1 Návrh tepelného výmenníka pre objekt firmy Knecht

Firma Knecht, je súčasťou viacerých firiem v areáli ZŽS (obr.16) a je napojená na existujúci parovod. Pri prechode na horúcovod sa nahradí súčasťný výmenník tepla typu parovoda za nový doskový výmenník typu voda-voda. Požadovaný tepelný výkon odberateľa je 300 kW.



Obrázok 16- areál ZŽS [10]

Pre základný výpočet výmenníka tepla sú potrebné viaceré dané veličiny týkajúce sa primárneho a sekundárneho média. Veličiny sú dané parametrami horúcej vody v horúcovode, ktorý tvorí primárnu stranu tepelného výmenníka a konkrétnymi požiadavkami odberateľa, ako sekundárnej strany výmenníka.

Výpočet výmenníka sa opiera o metódu LMTD (log mean temperature difference). [5]

Postup výpočtu:

- 1) určenie vstupnej a výstupnej teploty oboch médií
- 2) vypočítanie logaritmickeho teplotného spádu
- 3) určenie Reynoldsovoho čísla
- 4) vypočítanie súčiniteľov prestupu tepla na oboch stranách
- 5) určenie celkového tepelného odporu sústavy

- 6) vypočítanie celkového súčiniteľa prestupu tepla
- 7) stanovenie veľkosti potrebnej plochy
- 8) výsledný počet plátov doskového výmenníka

4.1.1 Výpočet

1) primárna strana - dané veličiny:

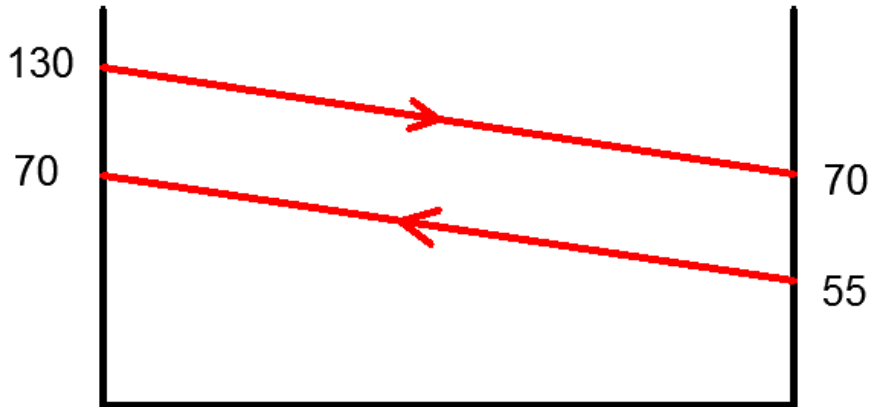
- teplotný spád – 130/70 °C , stredná teplota $t_{STR} = 100$ °C
 - tlak $p_1 = 25$ bar
 - uvažovaná tlaková strata pri výmenníku tepla $\Delta p = 20$ kPa (bežná hodnota)
 - priemer pripojenia $d = 42$ mm
 - fyzikálne hodnoty primáru určené na základe strednej teploty (určené podľa programu xSteam 2.6):
 - hustota $\rho = 959,47$ kg.m⁻³
 - merná tepelná kapacita $c_p = 4,216$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹
 - dynamická viskozita $\eta = 0,0002824$ Pa.s⁻¹
 - prandtlovo číslo $Pr = 1,7511$
 - tepelná vodivosť $\lambda = 0,67909$ W.m⁻¹.K⁻¹
 - rýchlosť vody v potrubí sa predpokladá v rozmedzí 0,7-2 m.s⁻¹ a v tomto prípade $v = 0,73$ m.s⁻¹
- [6]

2) sekundárna strana – dané veličiny:

- teplotný spád – 70/55 °C , stredná teplota $t_{STR} = 62,5$ °C
 - tlak $p_2 = 6$ bar
 - uvažovaná tlaková strata pri výmenníku tepla $\Delta p = 20$ kPa (bežná hodnota)
 - priemer pripojenia $d = 42$ mm
 - fyzikálne hodnoty primáru určené na základe strednej teploty (určené podľa programu xSteam 2.6):
 - hustota $\rho = 982,12$ kg.m⁻³
 - merná tepelná kapacita $c_p = 4,1827$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹
 - dynamická viskozita $\eta = 0,0004494$ Pa.s⁻¹
 - prandtlovo číslo $Pr = 2,877$
 - tepelná vodivosť $\lambda = 0,6534$ W.m⁻¹.K⁻¹
 - rýchlosť vody v potrubí sa predpokladá $v = 3,51$ m.s⁻¹, vzhľadom na druh aplikácie
- [6]

3) určenie logaritmického teplotného spádu

$$t_{LN} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(130-70) - (70-15)}{\ln \frac{(130-70)}{(70-15)}} = 32,46 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$



Obrázok 17- Schématické znázornenie protiprúdeho výmenníku

4) určenie Reynoldsovho čísla

$$Re_1 = \frac{v \cdot S \cdot \rho \cdot x \cdot D_h}{\eta} = \frac{0,73 \cdot \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} \cdot 959,47 \cdot 34 \cdot 0,006}{0,0002824} = 701,9 \quad (6)$$

$$Re_2 = \frac{v \cdot S \cdot \rho \cdot x \cdot D_h}{\eta} = \frac{3,51 \cdot \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} \cdot 982,12 \cdot 35 \cdot 0,006}{0,0004494} = 2231,75 \quad (7)$$

v - rýchlosť média v potrubí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

S - prierez pripájacieho potrubia [m^2]

ρ - hustota média [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

x - počet kanálov (určené na základe existujúceho výmenníka o výkone 300 kW)

D_h - hydraulický rozmerový parameter, určený na základe uvažovanej medzery medzi plátmi o veľkosti 3mm, $D_h = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm}$

η - dynamická viskozita [$\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$]

5) určenie súčiniteľov prestupu tepla

- vychádza sa z určenia Nusseltovho čísla, pre doskové výmenníky sa uvažuje rovnica prestupu tepla podľa Dittus-Boelter

$$Nu = A \cdot (Re)^n \cdot (Pr)^m \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w} \right)^x \quad (8)$$

$A = (0,15 - 0,4)$ - pre doskový výmenník sa volí hodnota 0,374

$n = 0,668$

$m = (0,3 - 0,45)$ - pre doskový výmenník sa volí hodnota 0,33

$x = (0,05 - 0,2)$ - pre doskový výmenník sa volí hodnota 0,15

η_w - dynamická viskozita pri stene [$\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$]

$$Nu_1 = 0,374 * (701,9)^{0,668} * (1,7511)^{0,33} * \left(\frac{0,0002824}{0,0002723}\right)^{0,15} = 37,28 \quad (9)$$

$$Nu_2 = 0,374 * (2231,75)^{0,668} * (0,6534)^{0,33} * \left(\frac{0,0004494}{0,000402}\right)^{0,15} = 93,01 \quad (10)$$

- vzťah medzi Nusseltovým číslom a súčiniteľom prestupu tepla

$$\alpha = \frac{Nu * \lambda}{D_h} \quad (11)$$

α - súčiniteľ prestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

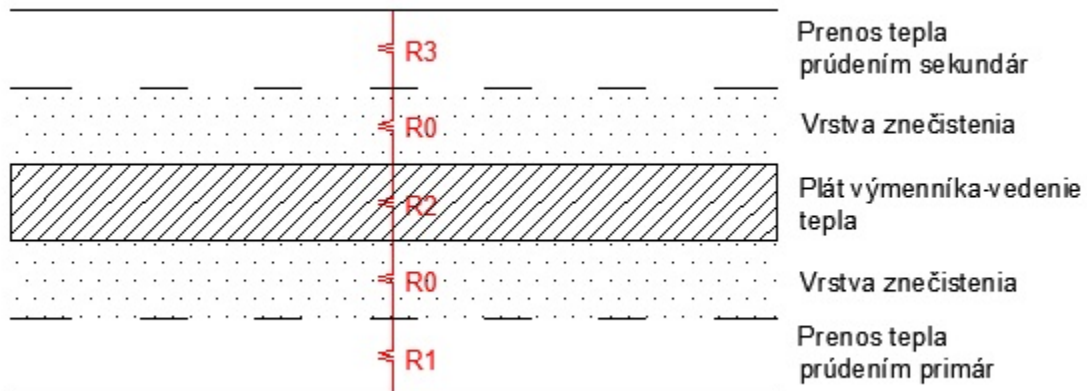
λ - tepelná vodivosť [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

D_h - hydraulický parameter [m]

$$\alpha_1 = \frac{37,28 * 0,67909}{0,006} = 4219 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (12)$$

$$\alpha_2 = \frac{93,01 * 0,6534}{0,006} = 10129,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (13)$$

6) určenie celkového tepelného odporu



Obrázok 18- Znáročenie jednotlivých tepelných odporov okolo jedného plátu výmenníka

$$R = R1 + 2 * R0 + R2 + R3 = \frac{1}{\alpha_1} + 2 * R0 + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{4219} + 2 * 0,00005 + \frac{0,003}{50} + \frac{1}{10129,6} = 0,000495 \text{ m}^2 \text{K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (14)$$

$R0$ - určený podľa dostupnej literatúry

λ - súčiniteľ tepelenej vodivosti ocelového plátu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

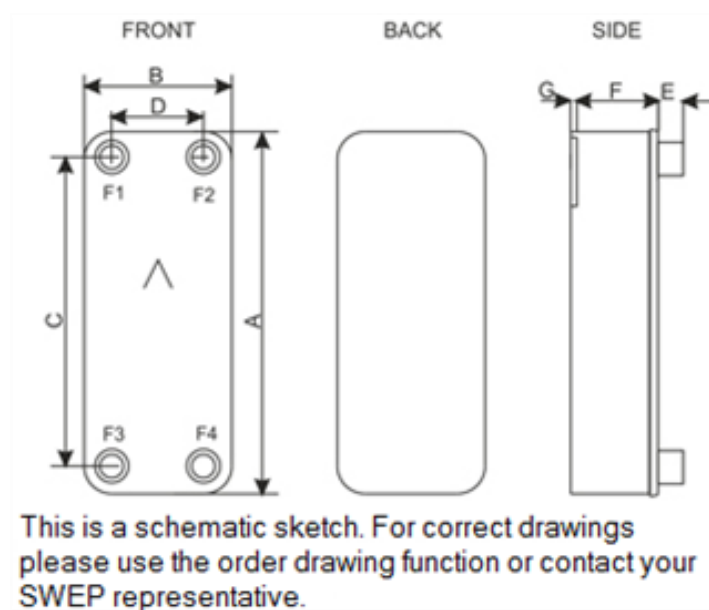
7) celkový súčiniteľ prestupu tepla

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,000495} = 2020,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (15)$$

8) určenie potrebnej teplosmennej plochy na prenos požadovaného výkonu 300 kW

$$A = \frac{Q}{U \cdot t_{LN}} = \frac{300000}{2020,2 \cdot 32,46} = 4,58 \text{ m}^2 \quad (16)$$

9) určenie počtu plátov v doskovom výmenníku



Obrázok 19- Charakteristické rozmery doskového výmenníka [11]

Charakteristické rozmery:

- A- 393 +/-2 mm
- B- 243 +/-1 mm
- C- 324 +/-1 mm
- D- 174 +/-1 mm
- E- 27,10 (opt. 54,20) +/-1 mm
- F- 171,80 +0,5%/-1,5% mm
- G- 3 +/-1 mm

Plocha jedného plátu výmenníka:

- treba uvažovať dva vstupné a výstupné otvory o priemere 42 mm

$$A_p = 0,393 \cdot 0,243 - \left(4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4}\right) = 0,089 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Celkový počet plátov:

$$N = \frac{A}{A_p} = \frac{4,58}{0,089} = 52 \quad (18)$$

Na základe výpočtu vychádza, že tepelný doskový výmenník by mal pozostávať z 52 plátov o charakteristických rozmeroch určených podľa dostupnej literatúry. Výsledná teplozmenná plocha by mala byť schopná preniesť požadovaný tepelný výkon 300 kW pre objekt firmy Knecht. [5]

V praxi sa však tento výpočet rieši pomocou výpočtových programov a na ich základe sa podáva informácia do výroby. Pre porovnanie, je v dole uvedených tabuľkách (14-17) riešený výpočet výmenníka na požadované parametre pomocou výpočtového programu.

Výmenník tepla IC35x70

Tabuľka 14- Zadané parametre [11]

TECHNICKÉ ZADANIE		STRANA 1	STRANA 2
Vstupná teplota	[°C]	130	55
Výstupná teplota	[°C]	57	70
Prietokové množstvo	[kg/s]	0,976	4,777
Maximálna tlaková strata	[kPa]	20	20
Termická dĺžka		4,28	0,88

Tabuľka 15- Výsledky výpočtu [11]

VÝSLEDKY VÝPOČTU		STRANA 1		STRANA 2
Teplozmenná plocha	[m ²]		6,39	
Tepelný tok	[kW/m ²]		46,9	
Stredný teplotný rozdiel	[K]		17,05	
Koeficient prestupu tepla (dostupný/požadovaný)	[W/m ² K]		3080/2750	
Tlaková strata - celková	[kPa]	0,888		17,8
v pripojení	[kPa]	0,25		5,91
Priemer pripojenia	[mm]	42		42
Počet kanálov		34		35
Počet dosiek			70	
Plošná rezerva	[%]		12	
Faktor znečistenia	[m ² ,°C/kW]		0,038	
Reynoldsovo číslo		797		2550
Rychlosť v pripojení	[m/s]	0,731		3,51

Tabuľka 16- Odvodené fyzikálne vlastnosti [11]

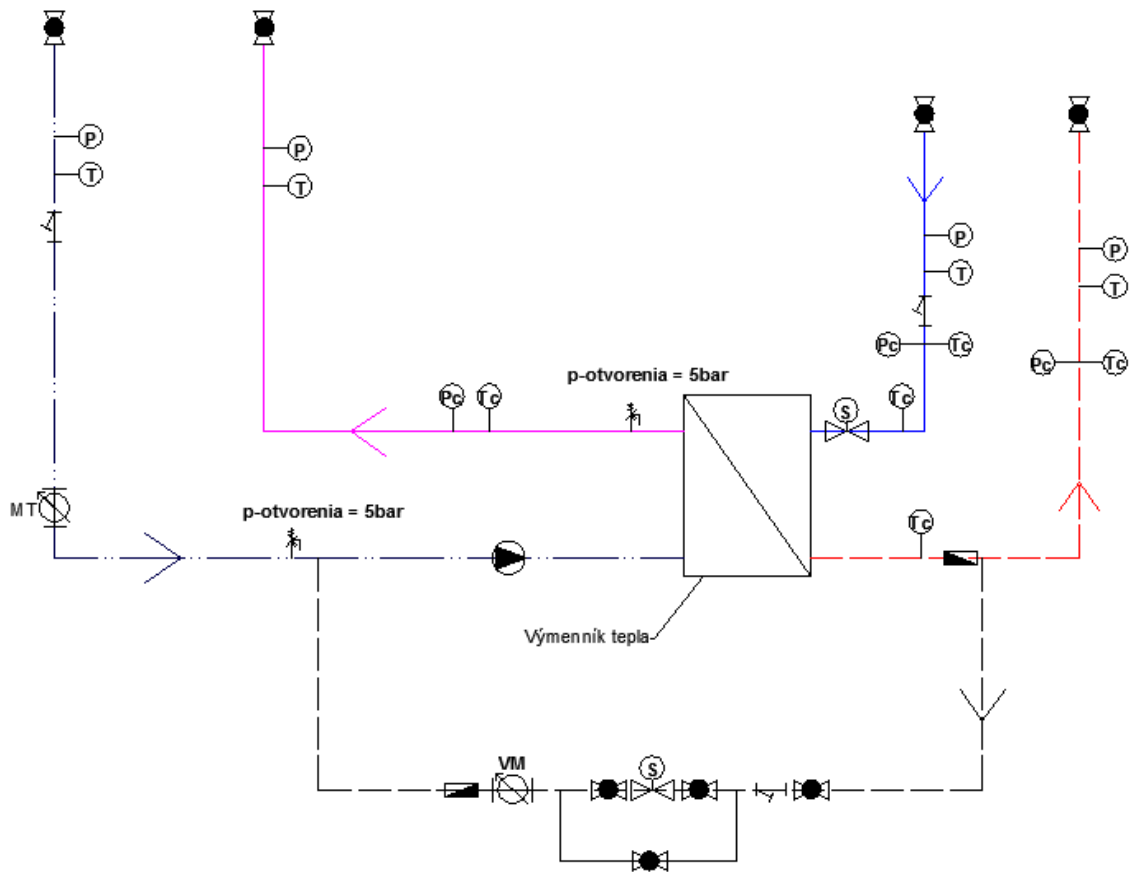
FYZIKÁLNE VLASTNOSTI		STRANA 1	STRANA 2
Referenčná teplota	[°C]	93,5	62,5
Dynamická viskozita	[cP]	0,302	0,45
Dynamická viskozita – u steny	[cP]	0,392	0,402
Hustota	[kg/m ³]	963	981,9
Merná tepelná kapacita	[kJ/kg, °C]	4,211	4,187
Tepelná vodivosť	[W/mK]	0,6767	0,6567
Min. teplota média na stene	[°C]	55,65	
Max. teplota média na stene	[°C]		84,97
Koeficient prestupu tepla	[W/m ² K]	4560	12300
Stredná teplota steny	[°C]	72,33	70,34
Rýchlosť v kanáloch	[m/s]	0,0626	0,292
Šmykové napätie v medznej vrstve	[Pa]	1,97	36,6

Tabuľka 17- Rozmerové parametre pripojenia [11]

TOTALS		
Total weight	[kg]	30,8
Hold-up volume, inner circuit	[dm ³]	6,09
Hold-up volume, outer circuit	[dm ³]	6,26
PortSize F1/P1	[mm]	42
PortSize F2/P2	[mm]	42
PortSize F3/P3	[mm]	42
PortSize F4/P4	[mm]	42
NND F1/P1	[mm]	42
NND F2/P2	[mm]	42
NND F3/P3	[mm]	42
NND F4/P4	[mm]	42

Z porovnania manuálneho výpočtu a výpočtu podľa počítačového programu vyplýva najväčší rozdiel v počte plátov výmenníka a tým aj v celkovej veľkosti celého výmenníka. Jednotlivé medzivýpočty (Re , Nu , α) sa líšia v pomerne malom ráde a vzniknutá odchylka je výsledkom určitej nepresnosti výpočtovej metódy LMTD (odhadovanie určitých veličín) v porovnaní s výpočtovým programom.

Navrhnutý doskový výmenník IC35x70, typu voda-voda, pre výkon 300 kW bude ideálne spĺňať požiadavky firmy Knecht na zásobovanie teplom a zároveň bude rozmerovo dobre zabudovateľný do existujúcej výmenníkovej stanice (obr.20) ako náhrada za predchádzajúci výmenník typu para-voda.



Obrázok 20- Schéma zapojenia výmenníkovej stanice [6]

- Primár vstup 130 °C/ 25 bar
- Primár vratné 70 °C/ 25 bar
- - - Doplňovanie
- Výstupná voda regulovaná 70 °C/ 6 bar
- - - Vratná voda regulovaná 55 °C/ 6 bar

- ⊠ Guľový ventil
- ⊖ Merač tlaku
- ⊖ Merač teploty
- ⊖ Snímač tlaku
- ⊖ Snímač teploty
- ⊖ Regulačný ventil so servopohonom
- ▮ Spätná klapka
- ⊥ Filter
- ⊥ Poistný ventil závitový
- ⊖ Čerpadlo
- ⊖ Vodomer na studenú vodu
- ⊖ Merač tepla

4.1.2 Popis schémy výmenníkovej stanice

Cez uzatvárajúcu armatúru vstupuje primárne médium do predávacej stanice. Médium prechádza filtrom, ktorý zabraňuje vniknutiu nečistôt do tepelného výmenníka. Jednotlivé parametre vstupujúceho média je možné merať nainštalovaným teplomerom a tlakomerom. Tak isto vratné potrubie primáru je ošetrené jednotlivými meračmi a je možné určovať tlakovú a teplotnú diferenciu. Spiatočka je vybavená spätnou klapkou, ktorá slúži na havarijné uzatvorenie spiatočky a tým pádom k ochrane tepelného výmenníka. Celý primárny okruh je uzavretý uzatváracou armatúrou. [6]

Sekundárny okruh je vybavený rovnako meračmi teploty a tlaku na oboch vetvách a zároveň aj teplotnými a tlakovými snímačmi, ktoré majú za účel zistiť včasne prípadné poruchy a komplikácie. Nútený obeh vody v systéme je zabezpečený cirkulačným čerpadlom.

Okruh pre dopĺňovanie zabezpečuje automatické udržiavanie tlaku v systéme na požadovanej úrovni. Pre zaistenie spoľahlivosti ventilov je inštalovaný filter na zachytenie nečistôt a zároveň pri poruche je možnosť napúšťať systém pomocou ručného ventilu. Množstvo dopĺňovanej vody je merané vodomerom a spätná klapka zabraňuje vypúšťaniu regulovaného okruhu pri nízkom tlaku v primári. [2]

Pre správne fungovanie celej distribučnej siete je pre tepláreň dôležité vedieť rozoznávať určité prevádzkové stavy odohrávajúce sa v distribučnej sieti. Výmenou teplotného média z pary na horúcu vodu sa dá dosiahnuť lepšie rozloženie denného diagramu potreby tepla v teplárni, z hľadiska lepších akumulčných schopností vody. Výhodnou alternatívou pre tepláreň sa javí aj možnosť priebežného určenia dosahujúcich tepelných strát na určitom distribučnom rozvoze. Preto pri návrhu nových horúcovodných prípojek k odberateľským miestam je vhodné vytvorenie matematického modelu pre priebežné určovanie tepelných strát vznikajúcich na týchto prípojkách.

5 Matematický model pre hodnotenie tepelných strát a prevádzkových stavov

Pre dodávateľa a výrobcu tepla, ako je spoločnosť Martinská teplárenská a.s., je veľmi dôležité vedieť odhadnúť, akú tepelnú stratu dosahujú ich distribučné rozvody tepelného média. K dosiahnutiu dodávky požadovaného tepla odberateľovi treba uvažovať s veľkosťou tepelných strát a k tomu prispôbiť množstvo dodávaného tepla.

Tepelné straty na dopravnom potrubí v prevažnej miere závisia na teplotnej diferencii medzi dopravovaným médiom a okolitým prostredím, ktorým sa toto médium dopravuje. Rôznou hrúbkou a kvalitou použitej tepelnej izolácie na potrubí môžeme tieto tepelné straty výrazne znižovať. Celková informovanosť o ich výške je veľmi dôležitým faktorom pre výrobcu tepla a tým pádom aj hlavnou myšlienkou pre vytvorenie určitého matematického modelu.

Matematický model tepelnej siete na úseku Martinská teplárenská a.s.- kasárne Podháj-areál ZŤS vychádza z plánovaných dĺžkových a priemerových parametrov nového horúcovodného potrubia. Horúcovodné prípojky pre jednotlivé firmy v areáli ZŤS sa uvažujú v tomto modeli ako jednotný celok a tým pádom výsledkom je tepelná strata celého areálu ZŤS.

Oproti tomu, pri objekte kasární sa uvažuje s prípojkou len po bránu areálu a tým pádom jednotlivé rozvetvenie tepelnej siete priamo v areáli sa neberie do úvahy. Výpočtový model tepelných strát vychádza zo základných výpočtových vzťahov uvedených v tejto práci. Premenné veličiny, ktoré treba zadať a následne na ich základe sa prevedie výpočet tepelnej straty, sú v modeli zvýraznené žltou farbou. (obr.21)

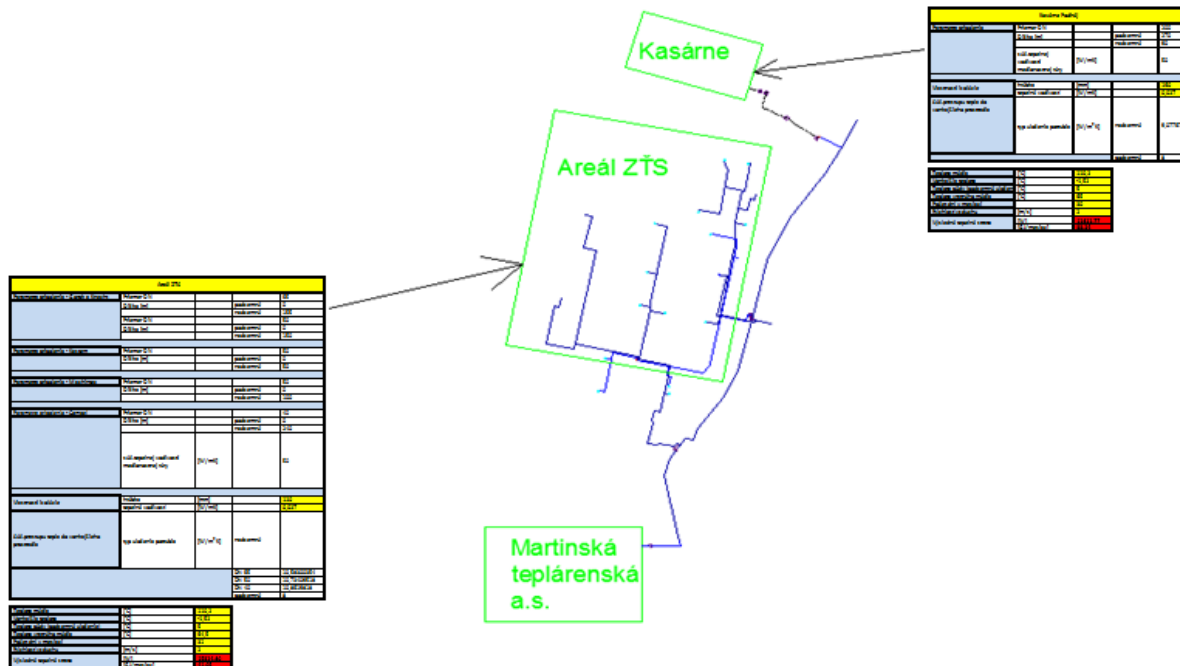
Kasárne Podháj				
Parametre pripojenia	Priemer DN			200
	Dĺžka [m]		podzemné	270
			nadzemné	90
	súč.tepelnej vodivosti medionosnej rúry	[W/mK]		50
Vlastnosti izolácie	hrúbka	[mm]		160
	tepelná vodivosť	[W/mK]		0,027
Súč.prestupu tepla do vonkajšieho prostredia	typ uloženia potrubia	[W/m ² K]	nadzemné	9,07767
			podzemné	8

Teplota média	[°C]	110,2
Vonkajšia teplota	[°C]	-1,52
Teplota pôdy (podzemné uloženie)	[°C]	5
Teplota vratného média	[°C]	65
Počet dní v mesiaci		30
Rýchlosť vzduchu	[m/s]	2
Výsledná tepelná strata	[W]	12822,77
	[GJ/mesiac]	33,24

Obrázok 21- Ukážka časti matematického modelu

Pre každý objekt sú zadané predpokladané parametre plánovanej horúcovodnej prípojky, typ uloženia, ako aj veličiny charakterizujúce použité materiály. Po zadaní požadovaných hodnôt od prevádzkovateľa sa určí výsledná tepelná strata na horúcovodnej prípojke k danému objektu.

Priemerná teplota pôdy v hĺbke podzemného uloženia je k dispozícii v tabuľke na základe meraní Slovenského hydrometeorologického ústavu pre danú lokalitu. Výsledná tepelná strata je uvedená v jednotkách Watt ako aj GJ/mesiac, pretože táto veličina má pre dodávateľa tepla väčšiu vypovedaciu hodnotu. Celkový náhľad matematického modelu tepelných strát pre danú distribučnú sieť je uvedený obrázku 22.

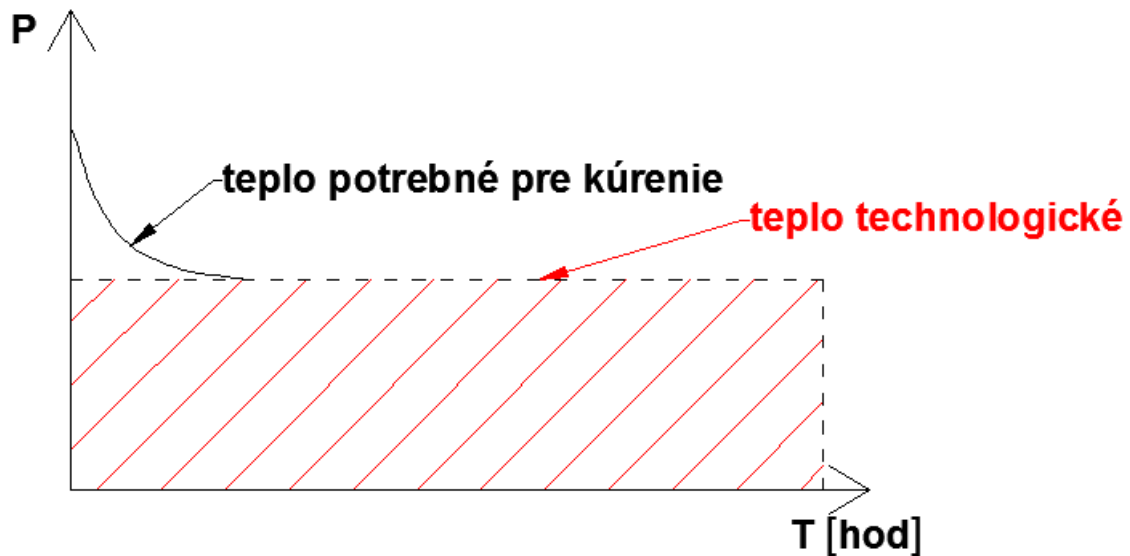


Obrázok 22- Náhľad matematického modelu

5.1 Diagram trvania potrieb tepla

Množstvo tepla, ktoré odberajú jednotliví spotrebitelia, sa počas ročného obdobia značne mení. Teplárenský celok sa s týmito zmenami musí byť schopný vysporiadať. A následne, na základe jednotlivých ročných potrieb tepla nasadzovať jednotlivé zdroje a upravovať ich výkon. Za týmto účelom sa konštruujú ročné diagramy potreby tepla.

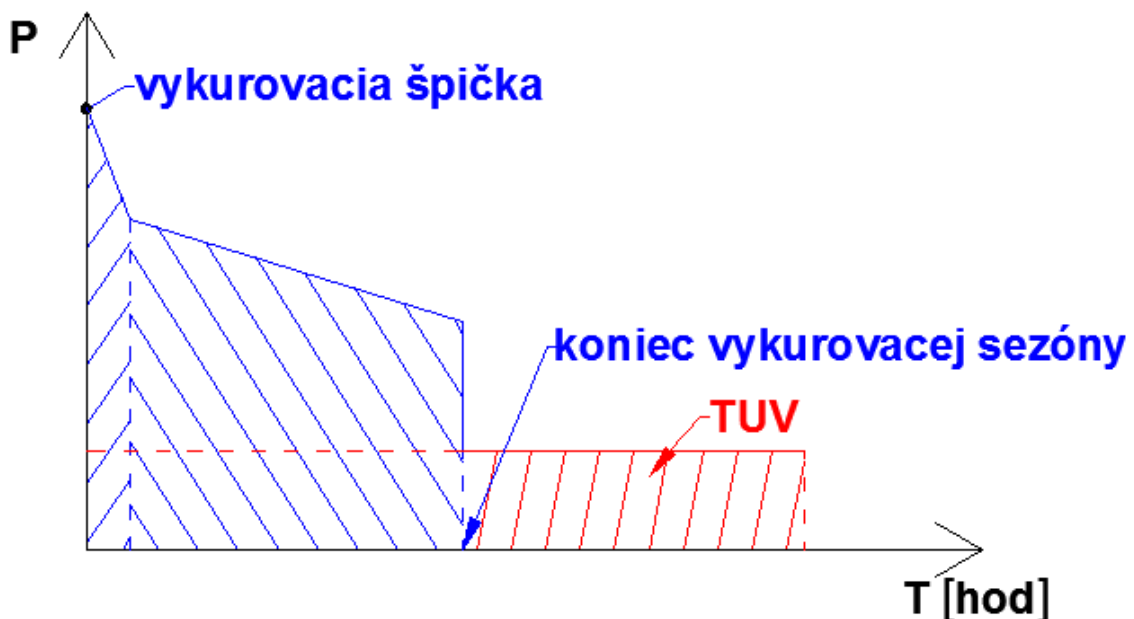
Na obrázku (23) je uvedený graf ročnej potreby tepla v závislosti na požadovanom tepelnom výkone. Daný graf predstavuje ideálny scenár pre každú tepláreň, keďže prakticky počas celého roka je požadovaný tepelný výkon konštantný a tým pádom nie sú veľké nároky na zdroje a ich výkonovú variabilitu. Počas najchladnejších dní, ktoré sa vyskytnú len niekoľko krát za rok, stúpa spotreba tepla a je požadované zvýšenie jeho dodávky. Tento priebeh sa v praxi vyskytuje u výrobných závodov kde je veľká spotreba technologického tepla (cukrovary, chemičky...). [4]



Obrázok 23- Ideálny diagram potreby tepla [4]

Bežné teplárne sa však s takýmto priebehom prakticky nestretajú. Musia vyrovnávať rôzne požiadavky a z toho dôvodu disponovať viacerými zdrojmi tepla, ktoré sa napríklad v priebehu roka využijú len na niekoľko hodín (špičkové), ale aj napriek tomu ich musia udržiavať stále prevádzky schopné.

Ako vidieť z priebehu ročnej spotreby tepla pre tepláreň zásobujúcu teplom mesto (obrázok 24), daný priebeh je značne nerovnomerný. Pri konci vykurovacej sezóny nastáva veľký pokles požadovaného výkonu. Prevádzkovať kotol, ktorý by pracoval v takom veľkom výkone rozsahu je prakticky nemožné a treba preto plánovať nasadenie jednotlivých zdrojov podľa aktuálnych požiadaviek.



Obrázok 24- Reálny diagram potreby tepla v teplárni [4]

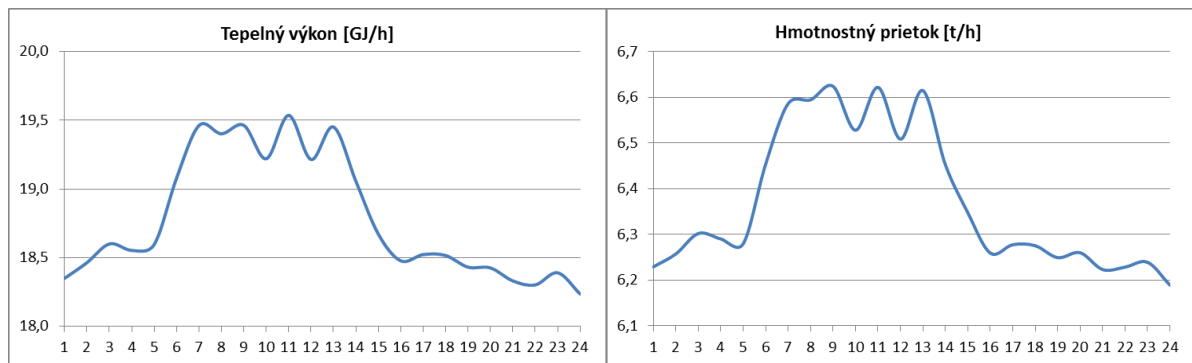
5.2 Priebehy základných teplárenských veličín v rôznych obdobiach roka

V priebehu roka sa v prevádzke teplárne zásadne mení hmotnostný tok idúci potrubím, ako aj celkový tepelný výkon dodávaný do potrubia. Tieto veličiny sú značne rozličné v zimnom a letnom ročnom období, kde rozdiel môže byť až 5-násobný, ako aj v priebehu dňa, kde sa vyskytujú odberové špičky a obdobia s relatívne rovnomernými požiadavkami na dodané teplo.

Jednotlivý priebeh je rozdielny aj v závislosti od použitého teplotného média. Martinská teplárenská využíva paru v parovode, ktorý je predmetom tejto práce ako aj horúcu vodu. Na základe poskytnutých nameraných údajov na prahu teplárne je možné zostaviť grafy priebehu jednotlivých veličín v závislosti na čase.

Z nameraných mesačných hodnôt bol určený aritmetický priemer pre jednotlivú dennú hodinu. Ako ukázkové mesiace ročného obdobia boli vybraté mesiace február pre zimu a august pre letné obdobie.

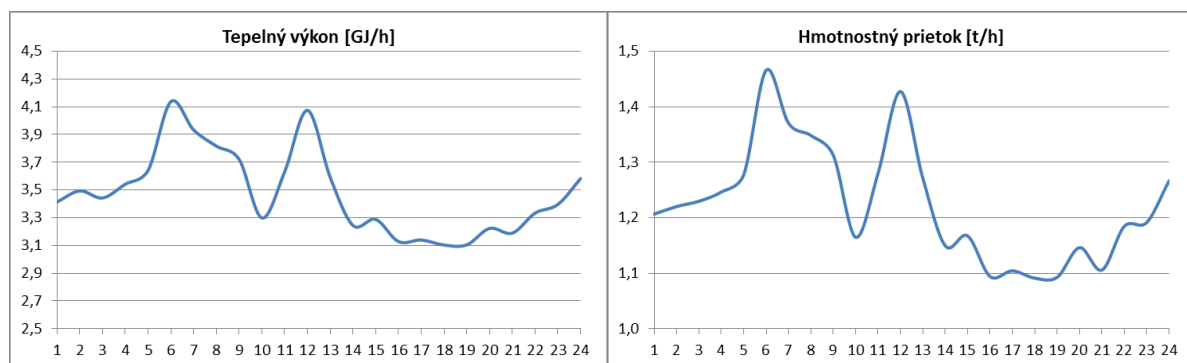
Pri uvažovaní pary, ako teplotného média, je priemerný denný priebeh v zimnom mesiaci február znázornený na priložených grafoch (obr.25).



Obrázok 25- Diagram priebehu v parovode v zimnom období [6]

Z uvedeného priebehu grafu názorne vidieť, že počas zimného obdobia nastáva odberová špička tepla o 6 hodine ráno. Je to spôsobené vstávaním ľudí do práce a otváraním firiem. Približne konštantný odber pokračuje do 14 hodiny, pričom následne nasleduje pokles požadovaného tepla, spôsobený opačným scenárom, ako v raňajších hodinách.

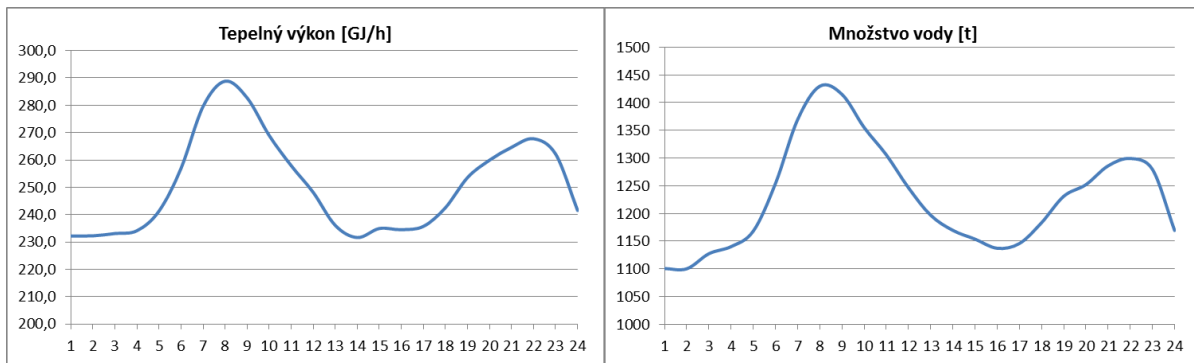
Priebeh požadovaného tepla dopravovaného parou v letnom mesiaci predstavujúcom august je o poznanie odlišný. Na grafoch (obr.26) sú znázornené príslušné priebehy daných veličín.



Obrázok 26- Diagram priebehu v parovode v letnom období [6]

Z priebehu grafu v letnom mesiaci august je zrejmé, že vznikajú dve odberové špičky korešpondujúce so 6 a 12 hodinou, kde ľudská aktivita a tým pádom aj spotreba TUV výrazne rastie.

Oproti tomu pri využití vody, ako teplonosného média sa javí celkový priebeh výrazne vyrovnanejší a hladší. Dá sa to pripísať faktu, že voda má lepšiu schopnosť regulácie a lepšie sa dá prispôbiť príbežným zmenám v odbere. Na obrázku (27) sú znázornené grafy zobrazujúce priebeh dodávaného tepla formou horúcej vody.

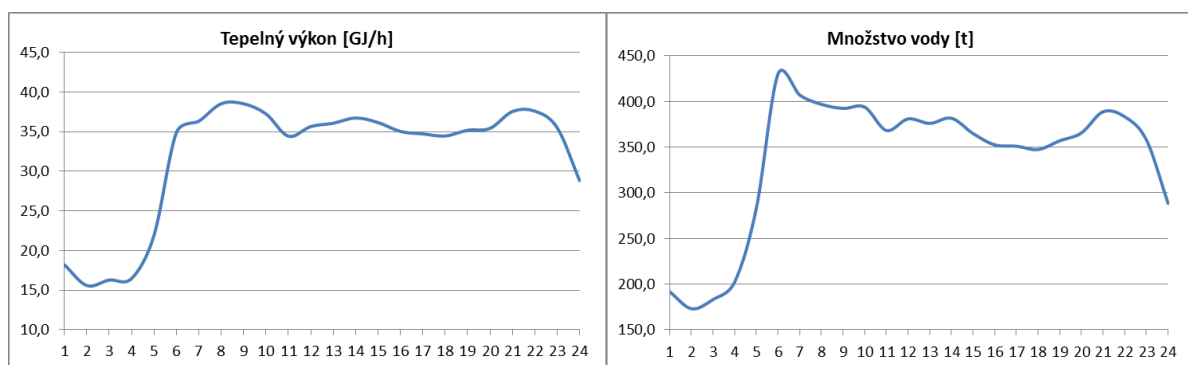


Obrázok 27- Diagram priebehu v horúcovode v zimnom období [6]

Z priebehu vidieť, že počas dňa sa vyskytujú relatívne dve špičky. Prvá predstavuje zvýšenie spotreby tepla v ranných hodinách, spôsobených zvyšujúcou sa ľudskou aktivitou.

Druhá predstavuje výraznú výhodu týkajúcu sa použitia vody ako teplonosného média. Horúcovodný systém nám dáva možnosť akumulácie tepla, v nočných hodinách pri nízkom odbere teplárne účelovo dodáva viac tepla do siete a tvorí si rezervu pre odberovú špičku. Týmto spôsobom je možné zabezpečiť plynulejší chod. Ďalším vysvetlením špičky je funkcia teplárne ako podporného zdroja v prenosovej elektrickej sústave.

V prípade letnej prevádzky je situácia viditeľne lepšia v porovnaní s využitím pary ako teplonosného média. Grafy uvedené na obrázku (28) vystihujú tento priebeh v mesiaci august.



Obrázok 28- Diagram priebehu v horúcovode v letnom období [6]

Z charakteristického priebehu je zrejmé, že počas leta sa nevyskytujú výrazné odberové špičky, keďže prakticky celý tepelný výkon sa využíva na zásobovanie TUV. V priebehu dňa, začínajúc 6 hodinou stúpne množstvo odberaného tepla a počas zvyšného dňa sa odber tepelnej energie udržiava prakticky na konštantnej úrovni. Nočný pokles je zrejmy

z důvodu nevyužívání TUV. V porovnání s parou se javí dodávka tepla výrazně vyrovnanější, čo je velkým pozitivom pre teplárenskou společnost'.

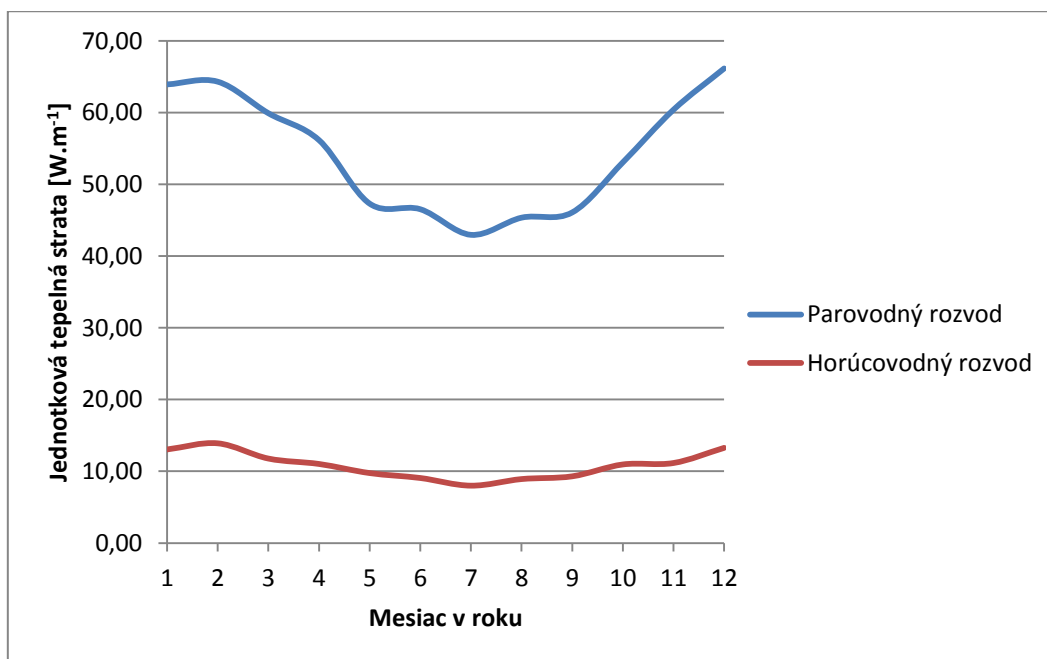
Na základě uvedených grafů, zaoberajúcich sa jednotlivými priebehmi tepelného výkonu a hmotnostného prietoku v potrubí sa preukázalo, že uvažujúca výmena parovodu za horúcovod sa javí v celku výhodná. Avšak, dôležitým faktorom pre společnost' Martinskú teplárenskou a.s je aj ekonomická stránka daného projektu.

6 Technicko ekonomické zhodnotenie

6.1 Náhrada parovodného rozvodu za horúcovod

Existujúci parovodný diaľkový rozvod tepla je po technickej stránke značne nevyhovujúci. Pomerne vysoké tepelné straty vznikajúce na danom rozvode sú základnom myšlienkou na výmenu. Prechodom na horúcovodný systém je možné dosiahnuť výrazné zníženie tepelných strát, čo bolo preukázané aj výpočtom.

Viditeľná možnosť zníženia tepelných strát je dobre znázornená na grafe (obr.29). Graf zobrazuje parovodný a horúcovodný rozvod o rovnakom priemere DN65 a dĺžke 150 m, čo predstavuje jednu konkrétnu prípojku v areály ZŤS.



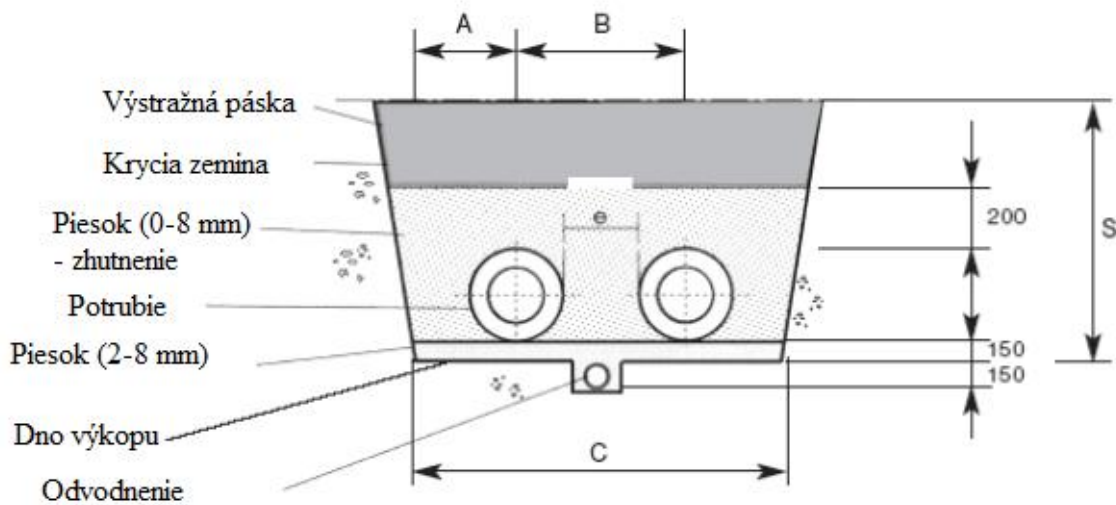
Obrázok 29- Porovnanie parovodnej a horúcovodnej prípojky z hľadiska tepelných strát

Uvažovaním kompletného zrušenia existujúceho parovodu, s jeho následným nahradením horúcovodnými prípojkami, napojenými priamo na už existujúci horúcovodný rozvod je predpoklad veľkého zníženia tepelných strát vznikajúcich na teraz pripojených objektoch kasární a areálu ZŤS.

Z hore uvedeného grafu názorne vidieť, že úspora týkajúca sa tepelných strát na potrubí je oproti parovodu 6-násobne väčšia. Tento fakt je zásadný pre firmu Martinská teplárenská a.s a bude ešte umocnený kompletným odstránením parovodu o dĺžke 3081 m. Náhrada bude prevedená horúcovodnými prípojkami o celkovej dĺžke 1055 m, riešená formou predizolovaného potrubia.

Pomocou predizolovaného potrubia je možné dosiahnuť takéto značné zníženie tepelných strát. Tento systém má množstvo výhod, začínajúc dlhou životnosťou a jednoduchšou a rýchlejšou montážou, končiac diaľkovou možnosťou detekcie chýb. Potrubia a spojovacie prvky systému sú vyrábané s vodičmi pre detekciu netesností. Umožňuje to elektronické monitorovanie prieniku vlhkosti z netesností medionosnej trubky

alebo z plášt'a. Každá časť sústavy je vybavená aspoň dvoma vodičmi, ktoré sa v miestach spojov prepojujú do súvislých úsekov. Týmto sa dosiahne kontrola celého systému. Schematický obrázok uloženia predizolovaného potrubia je uvedený na obrázku 30. [2]



Obrázok 30- Schéma uloženia predizolovaného potrubia [2]

Jednotlivé rozmery sú závislé na dimenziách potrubia a jednotlivej charakteristiky potrubnej trasy. Horúcovodné prípojky vedené do objektu kasární Podháj ako aj areálu ZŤS, budú kopírovať existujúci parovodný rozvod. Dimenzie nových prípojek sú určené na základe požadovaných tepelných potrieb jednotlivých odberateľov.

Horúcovodná prípojka do areálu ZŤS bude využívať už existujúce premostenie ponad rieku Turiec a následne bude vedená formou nadzemného uloženia po areály k jednotlivým odberateľom. V areály ZŤS sa uvažuje s vykonaním kompenzácií na rozvode vo forme U-kompenzátora alebo prirodzenou zmenou smeru trasy rozvodov.

Prípojka do objektu kasární Podháj bude vychádzať z hlavného horúcovodného rozvodu a následne využívať existujúce premostenie ponad rieku. Po danom nadzemnom uložení bude potrubie vchádzať do kanálového uloženia a kopírovať trasu bývalého parovodného rozvodu.

Konštrukčné parametre plánovaného horúcovodu sú nastavené na menovitý pretlak 2,5 MPa a teplotu 200 °C. Dosahované prevádzkové parametre v teplárenskom systéme predstavujú menovitý pretlak o hodnote 1,4 – 1,6 MPa a teplotu 130 – 140 °C. Materiálom horúcovodného potrubia sa uvažuje oceľ 11353.

Na dokončenom horúcovodnom potrubí bude nutné vykonať hydrostatickú tlakovú skúšku, ako aj dilatačnú skúšku po napustení horúcovodu horúcou vodou. Následne ešte prebehne stavebná skúška, kde sa skontroluje správne umiestnenie, dokončenie zväračských prác, úplnosť dokumentácie...

Pri predbežnej cenovej kalkulácii nových horúcovodných prípojek sa z hľadiska zjednodušenia a nemožnosti zistiť kompletný zoznam potrebných potrubných armatúr uvažuje čisto s cenou, odvíjajúcou sa od metra predizolovaného potrubia o danom priemere. Následne sa zanedbáva finančná náročnosť na odstránenie existujúceho parovodu, ako aj zemné a montážne práce späť s novým horúcovodom.

Na základe zisteného cenníka (firma Pipeco Slovakia) predizolovaných potrubí je zostavená následná tabuľka 18, v ktorej je znázornená cenová kalkulácia za plánovaný horúcovod.

Tabuľka 18- Cenová kalkulácia predizolovaného potrubia [8]

Typ potrubia	Cena za meter [€]	Potrebná dĺžka [m]	Cena [€]
DN 200	76,92	720	55382,4
DN 65	20,33	310	6302,3
DN 50	18,59	600	11154
DN 40	13,86	480	6652,8
Výsledná cena [€]	79491,5		

6.2 Výmena tepelného výmenníka para-voda za výmenník voda-voda

V jednotlivých zásobovaných objektoch, ktoré sú predmetom tejto práce, sú doteraz využívané výmenníky para-voda vo výmenníkových staniciach. Pri prechode na rozvody s horúcou vodou treba všetky tieto výmenníky nahradiť novými, aby boli splnené požadované hodnoty.

Ako najvýhodnejší typ výmenníku v danom použití sa javí doskový výmenník (obr.31), jeho najväčšou výhodou v danom teplárenskom použití je kompaktnosť a jednoduché umiestnenie do výmenníkovej stanice.



Obrázok 31- Kompaktný doskový výmenník [11]

Daná výmena predstavuje v primárnej časti zmenu, jednak typu výmenníka, ako aj inštaláciu nových horúcovodných regulačných armatúr na prívodnom aj vratnom potrubí a doplnenie systému o prepúšťacie zariadenie na doplňovanie vody z vratného potrubia horúcovodu. V sekundárnej strane sa ráta len s úpravou pripojenia na nový doskový výmenník.

Existujúca bloková schéma s novým výmenníkom bude na primárnej strane napojená na novú horúcovodnú prípojku. Rozvod vykurovacej vody v sekundárnej časti bude zabezpečený súčasným obehovým čerpadlom.

Celkové zabezpečenie systému sa uvažuje s použitím existujúcich solenoidových ventilov a poistných ventilov. Následne to je doplnené tlakovou expanznou nádobou s membránou. Doskový výmenník bude na sekundárnej strane vybavený poistným ventilom.

Primárny, ako aj sekundárny rozvod, je dimenzovaný na konštrukčné parametre o menovitom tlaku 2,5 MPa, pričom maximálny prevádzkový tlak v rozvode je 1,6 MPa. V prípade sekundárneho rozvodu sa prevádzkový tlak v praxi prakticky nemení a jeho hodnota predstavuje 600 kPa.

Na reguláciu sa využije pôvodný systém pracujúci s výmenníkom para-voda, pričom sa upraví časti na primárnej strane a doplňovanie. Regulácia výkonu výmenníka sa bude vykonávať regulačnou armatúrou inštalovanou v prívodnom potrubí k doskovému výmenníku podľa najvyššej požadovanej teploty na sekundárnej strane.

Z hľadiska bezpečnosti pri montáži výmenníkov do jednotlivých výmenníkových staníc musí byť podľa zákona vykonaná hydrostatická tlaková skúška zariadenia. Kontroluje sa tesnosť potrubia, armatúr a ich správna funkcia, ďalej rovnomerné ohrievanie vykurovacích telies, rozdiel teplôt a tlakov. Na zariadeniach musia byť vykonané komplexné skúšky všetkých prevádzkových stavov a hraničných hodnôt.

Na základe cenovej ponuky vypracovanej firmou Termel SK sa dá uvažovať, že kW výkonu tepelného doskového výmenníka vychádza na 3,38 €. Celková predpokladaná cena za tepelné výmenníky v jednotlivých objektoch je uvedená v tabuľke 19.

Tabuľka 19- Cena kompaktných doskových tepelných výmenníkov [11]

Odberateľ tepla	Požadovaný výkon [kW]	Cena za kW [€]	Cena výmenníka [€]
Kasárne Podháj	13500	3,38	45630
Knecht-ZŤS	300		1014
Gorok-ZŤS	280		946,4
Kastem-ZŤS	240		811,2
Compel-ZŤS	200		676
Machintec-ZŤS	450		1521
Cena celkom [€]			50598,6

Pri určitom finančnom zhodnotení a uvažovaní, že vypočítaná cena predstavuje hrubý odhad nákladov na jednotlivé doskové výmenníky, ktoré bude treba inštalovať, sa dostávame k celkovej sume 50598,6 €. Táto suma nezahŕňa rôzne požadované úpravy primárnej strany,

ako aj náklady na montáž a demontáž vo výmenníkových staniách. Bez daného zjednodušenia by bolo obtiažne určiť celkové reálne náklady z dôvodu nemožnosti cenového zistenia na základe vstupných údajov ešte nevzniknutej projektovej dokumentácie.

6.3 Závěrečná cenová kalkulácia

Pri vyššie uvedených zjednodušeníach vedúcich k určení hrubého odhadu finančnej náročnosti daného projektu výmeny existujúceho parovodu za nový horúcovod sa dospelo k výslednej sume 130090,1 €.

Táto suma zahŕňa hrubý odhad nákladov potrebných na nové horúcovodné prípojky riešené formou predizolovaného potrubia, ako aj na nové doskové výmenníky typu voda-voda inštalované u jednotlivých odberateľov tepla.

Porovnaním s vypočítanou sumou, pripadajúcou na úsporu teplárne vzhľadom na ušetrené palivo uvedenou v práci v časti zaoberajúcou sa výpočtami tepelných strát, ktorá predstavuje 159835,92 €, sa dá dôjsť k určitému záveru ohľadom návratnosti investície.

Z rozdielu týchto dvoch súm je zrejmé, že suma 29745,82 € nebude stačiť na pokrytie nákladov spojených s demontážou existujúceho parovodu a montážou nových horúcovodných rozvodov, ktoré vo finančných výpočtoch boli zanedbávané. Avšak z hľadiska perspektívy a finančnej návratnosti danej investície je tento hrubý odhad značne pozitívny a jednoznačne hovorí pre danú výmenu parovodu za horúcovod.

7 Záver

Cieľom práce bolo zhodnotenie plánovaného projektu firmy Martinská teplárenská a.s na výmenu parovodu za nový horúcovodný rozvod. Existujúci parovod zásobuje teplom a TUV dva veľké areály a jedná sa o posledný parovod v meste Martin.

Určujúcim faktorom pre výmenu bolo zhodnotenie tepelných strát vyskytujúcich sa na parovode a plánovanom horúcovode. Výpočtom bol preukázaný existujúci veľký rozdiel medzi predpokladanou ročnou tepelnou stratou na parovode, ktorá činila 23149,49 GJ a horúcovode s hodnotou dosahujúcou len úroveň 812,56 GJ. Takýto obrovský rozdiel by sa z reálneho hľadiska čistej výmeny za horúcovod nedal dosiahnuť. Daný značný rozdiel je však výsledkom plánovaného zámeru zrušenia celého parovodu a nahradením len novými prípojkami od hlavného už existujúceho horúcovodného rozvodu k jednotlivým odberateľom.

Správnosť plánovanej výmeny bola následne potvrdená aj z modelovania jednotlivých teplárenských veličín (tepelného výkonu, hmotnostného prietoku), ktorých priebeh pri použití horúcej vody ako teplostného média v jednotlivých častiach roku vychádzal viditeľne vyrovnanejšie.

Pre komplexnosť riešenia výmeny parovodu za horúcovod bol navrhnutý nový tepelný výmenník vo výmenníkovej stanici. Výmenník bol zvolený ako doskový, pre lepšiu možnosť využitia v danom teplárenskom použití, ako aj s ohľadom na väčšiu kompaktnosť. Nový výmenník bol navrhnutý s ohľadom na predpokladané a požadované parametre dosahované v novom horúcovodnom pripojení. Následne bol výmenník ešte porovnaný s ponúkaným výmenníkom navrhnutým firmou Thermel SK, pričom tento návrh bol uskutočnený pomocou výpočtového programu a na jeho základe sa dala porovnať správnosť navrhnutého výmenníka manuálnym výpočtom.

Z dôvodu výhodnosti určenia aktuálnych tepelných strát vznikajúcich v distribučnej sieti pre tepláreň, bol navrhnutý matematický model. Tento model sa zaoberal čisto len novými plánovanými horúcovodnými prípojkami do objektu kasárni Podháj a areálu ZŤS. Umožňuje dosadzovanie premenných hodnôt ovplyvňujúcich veľkosť tepelných strát a následne určí výslednú tepelnú stratu vznikajúcu na danom pripojení.

Na základe technicko-ekonomickej analýzy vyšlo, že ročná úspora na palive, ktorá predstavuje možnosť úspory pre Martinskú teplárenskú a.s, vychádza 159835,92 €. Pričom hrubý odhad nákladov na nové horúcovodné prípojky je 130090,1 €. Tieto náklady zahŕňajú nové prípojky a výmenníky tepla. Nie je uvažovaných viacero dôležitých faktorov, ako položenie potrubia, odstránenie existujúceho atď.. Tieto údaje boli zanedbané z nemožnosti určenia presnejšieho odhadu. Avšak z porovnania týchto súm vychádza jednoznačná výhodnosť výmeny parovodu za nový horúcovod pre firmu Martinská teplárenská a.s..

8 Zoznam použitých zdrojov

- [1] BEŇOVSKÝ, J. Päťdesiat rokov teplárstva v Martine, Martin 2004. 48 s. ISBN 80-969223-3-5
- [2] PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ a.s. Kniha o systéme centralizovaného zásobování teplem, Plzeň 2000. 36 s.
- [3] HOLOUBEK, D. Kombinovaná výroba elektriny a tepla, trigenerácia a tepelná sieť, Košice 2007. 159 s. ISBN 978-80-8073-977-5
- [4] PAVELEC, M. Teplárstvo a potrubné siete, Bratislava 1999. 369 s. ISBN 8022700657
- [5] KUPPAN, T. Heat exchanger design handbook, New York 2000. 1119 s. ISBN 0-8247-9787-6
- [6] Firemné podklady spoločnosti Martinská teplárenská a.s.
- [7] <http://www.energia.sk/fotogaleria/zemny-plyn-a-teplo/martinska-teplarenska/2457/>
- [8] www.pipeco.sk
- [9] http://cbs.grundfos.com/Slovakia/lexica/AC_Shell_and_tube_exchanger.html#-
- [10] <https://www.google.sk/maps/preview>
- [11] www.termel.sk

9 Zoznam použitých skratiek a symbolov

A	[m ²]	Veľkosť potrebnej teplosmennej plochy
A _p	[m ²]	Plocha jedného plátu výmenníka
c _p	[kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Merná tepelná kapacita
D _h	[m]	Hydraulický rozmerový parameter
D _{iz}	[m]	Priemer povrchu izolácie
l _{iz}	[m]	Celková dĺžka izolovaných rúrok (priamych aj zakrivených)
N	[-]	Počet plátov
Nu	[-]	Nusseltovo číslo
p	[Mpa]	Tlak
p	[bar]	Tlak
Δp	[kPa]	Uvažovaná tlaková strata pri výmenníku tepla
ΔP _{Q,iz}	[W]	Tepelná strata rúrok (priamych aj zakrivených) tepelne izolovaných
ΔP _{Q,x}	[W]	Tepelná strata ostatných častí potrubia
Pr	[-]	Prandtlovo číslo
q	[W]	Jednotková tepelná strata
R	[m ² .K.W ⁻¹]	Tepelný odpor
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
S	[m ²]	Prierez pripájacieho potrubia
ΔT1	[°C]	Rozdiel teplôt medzi vstupom primáru a výstupom sekundáru
ΔT2	[°C]	Rozdiel teplôt medzi výstupom primáru a vstupom sekundáru
t _e	[°C]	Teplota okolitého prostredia
Δt _e	[°C]	Rozdiel teplôt medzi povrchom izolácie a vzduchom
t _i	[°C]	Teplota teplotonosnej látky v potrubí
t _{LN}	[°C]	Logaritmický teplotný spád
t _{STR}	[°C]	Stredná teplota
U	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	Celkový súčiniteľ prestupu tepla
v	[m.s ⁻¹]	Rýchlosť média v potrubí
W _v	[m.s ⁻¹]	Rýchlosť prúdenia vzduchu
x	[-]	Počet kanálov vo výmenníku
z	[%]	Súhrnná prirážka
α	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	Súčiniteľ prestupu tepla
α _i	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	Súčiniteľ prestupu tepla z teplosmennej látky do rúrky
α _e	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	Súčiniteľ prestupu tepla z povrchu izolácie do okolia
η	[Pa.s ⁻¹]	Dynamická viskozita
η _w	[Pa.s ⁻¹]	Dynamická viskozita pri stene
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelná vodivosť
λ _{iz}	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti izolácie
λ _r	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti rúrky

λ_p	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti ochranného plechu
ρ	[kg.m ⁻³]	Merná hustota média
DN		Vnútoraná dimenzia potrubia
LMTD		Metóda logaritmického teplotného spádu
SHMU		Slovenský hydrometeorologický ústav
TUV		Teplá úžitková voda
ZŤS		Závody ťažkého strojárstva