



**České Vysoké Učení Technické v Praze
Fakulta Strojní**

Ústav řízení a ekonomiky podniku

**Ekologické a ekonomické dopady čištění výměníků v
teplárenství**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství
Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství
Vedoucí práce: Ing. Libor Rejř, CSc.

Dominik Adářek

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Adášek** Jméno: **Dominik** Osobní číslo: **424633**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ekologické a ekonomické dopady čištění výměníků v teplárenství

Název bakalářské práce anglicky:

Environmental and economic impacts the cleaning of heat exchangers in heating industry

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod - zdůvodnění zadání
2. Teoretická část - teorie ekologie, teorie výroby tepla, teorie chemického čištění
3. Analytická část - analýza metod čištění výměníků tepla - ekologické dopady čištění výměníků tepla
4. Návrhová část - návržení metody čištění výměníků - praktické testování navržené metody a zjištění ekologických dopadů
5. Závěr - celkové zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Hemerka, Jiří, Vybíral, Pavel: Základy ochrany ovzduší. Vydání 1., Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 117 s. ISBN 978-80-01-03922-9.
Karafiát, Josef: Studie současného stavu a návrh opatření vedoucích ke stabilizaci a dalšímu rozvoji teplárenství v ČR: Manažerský souhrn. 2010.
Kubín, Miroslav: Teplo a elektřina pro Prahu: proměny pražské energetiky v kontextu ev-ropského vývoje. Praha. Pražská teplárenská, 1997, 528 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Libor Rejf CSc., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

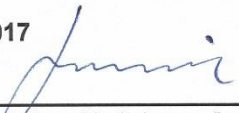
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich CSc., ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **06.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **28.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **25.08.2017**

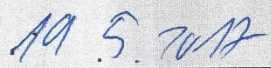

Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.


Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Ekologické a ekonomické dopady čištění výměníků v teplárenství“ vypracoval samostatně a použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce – viz seznam použité literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorských zákonů).

V Praze, dne 15.7.2017

Poděkování

Za cenné rady, náměty a inspiraci bych rád poděkoval mému vedoucímu práce panu Ing. Liboru Rejfovi CSc. a konzultantovi panu doc. Ing. Viktorovi Kreibichovi CSc..

Dále bych rád poděkoval celému pracovnímu kolektivu v Pražské teplárenské a.s. a panu Ing. Jiřímu Kuchařovi z Ústavu strojírenské technologie za trpělivost, vstřícnost a za předání spousty užitečných zkušeností.

Anotační list

Jméno autora: **ADÁŠEK Dominik**

Název BP: Ekologické a ekonomické dopady čištění výměníků v teplárenství

Anglický název : Environmental and economic impacts of cleaning the heat exchangers in heating industry

Rok: 2017

Program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Obor studia: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Ústav: Ústav řízení a ekonomiky podniku

Vedoucí BP: Ing. Libor Rejř CSc.

Bibliografické údaje: počet stran: 134
počet obrázků: 42
počet tabulek: 9
počet grafů: 8

Klíčová slova: chemické čištění, usazeniny, zanášení, výměník tepla, ekologické dopady, optimalizace

Key words: chemical cleaning, deposits, fouling, heat exchanger, environmental impact, optimization

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá technologiemi čištění výměníků tepla, konkrétně chemickým čištěním. Cílem této práce je zhodnotit účinnost chemického čištění v teplárenství a stanovit, jaké má dopady na ekologii či ekonomiku v podniku. Součástí bakalářské práce je analýza dané problematiky v konkrétním podniku a návrh pro zlepšení v oblasti čištění výměníků.

Annotation:

The bachelor thesis focuses on the technology of cleaning of the heat exchangers, specifically chemical cleaning. The main goal of the thesis is to evaluate the efficiency of chemical cleaning in heat industry and determine the impact of chemical cleaning on environment and economy. The thesis contains the analysis of chemical cleaning problems in specific company and proposal to improve chemical cleaning of the heat exchangers.

Obsah

Úvod.....	11
1 Obecné informace o soustavě zásobování teplem	13
1.1 Výroba tepelné a el. energie – kogenerace.....	13
1.2 Zdroje tepla	14
1.3 Druhy tepelných sítí	14
1.4 Předávací stanice	15
2 Výměníky tepla.....	17
2.1 Deskové výměníky.....	19
3 Výpočty výměníku tepla	22
3.1 Tepelný výpočet výměníku	23
3.2 Prostup tepla.....	24
3.3 Střední logaritmický teplotní spád – LMTD	25
3.4 Metoda ϵ -NTU	25
3.5 Přestup tepla při nuceném proudění tekutiny.....	27
3.6 Teplosměnné elementy.....	27
3.6.1 Deskové elementy.....	27
3.7 Hydraulický výpočet výměníku	28
3.8 Tlaková ztráta - vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny	28
3.8.1 Laminární proudění.....	29
3.8.2 Proudění turbulentní	30
3.9 Tlaková ztráta deskových výměníků tepla.....	31
4 Způsoby ochrany proti poruchám technologických komponentů.....	32
4.1 Znečištění kapaliny	33
4.2 Zanášení výměníků	34
4.2.1 Analýza zanášení	34
4.2.2 Usazovací rychlost nečistot	36
4.3 Odstraňování usazenin	36
4.4 Odpor usazeniny.....	37
4.5 Koroze	37
4.5.1 Korozní děj	38
4.5.2 Korozí faktory.....	39
4.5.3 Druhy a tvary korozního napadení.....	41
4.6 Úprava vody	42
4.6.1 Odplynění napájecí vody	42
4.6.2 Alkalizace	43

5	Analýza metod čištění deskových výměníků.....	45
5.1	Metody čištění on-line.....	46
5.1.1	Zvukové čištění.....	46
5.1.2	Chemické čištění.....	46
5.2	Metody čištění off-line.....	47
5.2.1	Manuální mechanické čištění.....	47
5.2.2	Čištění pískem.....	47
5.2.3	Čištění vodou.....	47
5.3	Nové metody čištění.....	48
5.4	Kontrola zanášení deskových výměníků.....	48
5.4.1	Monitorování zanášení in situ.....	48
5.4.2	Kontrola odstaveného výměníku z provozu.....	48
6	Chemické čištění.....	50
6.1	Proč je potřeba chemicky čistit.....	50
6.2	Zásady pro chemické čištění.....	51
6.3	Technologie pro chemické čištění.....	51
6.3.1	Metody chemického čištění.....	52
6.3.2	Čištění výměníků tepla.....	52
7	Ekologie v teplárenství.....	54
7.1	Používání a bezpečnost chemických výrobků z hlediska zdraví a životního prostředí.....	55
7.1.1	Základní požadavky na zajištění bezpečnosti technologií.....	56
7.1.2	Kyseliny.....	57
7.1.3	Žíravé látky jako zdroj rizika úrazu.....	58
7.2	Likvidace chemické látky po čištění.....	58
7.3	Čištění průmyslové odpadní vody.....	59
7.4	Environmentální aspekty zanášení výměníků.....	59
7.4.1	Vztah CZT a jiných průmyslových odvětví k životnímu prostředí.....	62
7.5	Tepelné znečištění vody.....	62
8	Ekonomické aspekty údržby deskových výměníků a čištění.....	65
8.1	Optimalizace životního cyklu deskových výměníků tepla.....	66
8.1.1	Optimalizace výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím prediktivní údržby.....	67
8.1.2	Optimalizace výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím konstrukčního řešení.....	69
8.2	Náklady způsobené zanášením výměníků.....	70
9	Analytická část dané problematiky v Pražské teplárenské, a.s.....	73
9.1	Představení společnosti PRAŽSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S.....	73

9.1.1	Základní údaje o společnosti.....	73
9.1.2	Historie společnosti.....	74
9.1.3	Zdroje a tepelné sítě.....	75
9.2	Předávací stanice a používané výměníky tepla.....	76
9.2.1	Nová realizace či rekonstrukce stávajícího zařízení – výměníků v PT	78
9.3	Závady v předávací stanici.....	79
9.3.1	Prevence závad.....	80
9.4	Hierarchická struktura výrobního úseku PT.....	80
9.5	Ochrana technologických komponentů v PS.....	81
9.5.1	Úprava teplotnosné vody v PT.....	81
9.5.2	Filtry v předávacích stanicích.....	84
9.5.3	Úpravny teplé vody.....	85
9.6	Závady výměníku.....	85
9.6.1	Netěsnost deskového výměníku.....	86
9.7	Čištění deskových výměníků v PT.....	88
9.7.1	Doporučený postup čištění dle dodavatele výměníků.....	88
9.7.2	Interní chemické čištění.....	89
9.8	Ekologické aspekty způsobené čištěním výměníku v PT.....	91
9.9	Ušlé výnosy za tepelnou energii při odstavení výměníku.....	92
9.9.1	Stanovení ceny tepla.....	94
10	Návrhová část pro zlepšení dané problematiky v PT.....	95
10.1	Kontrola účinnosti výměníku tepla.....	96
10.1.1	Systém AlfaCheck.....	97
10.1.2	Vlastní návrh kontroly zanesení deskových výměníků.....	98
10.1.3	Nejlepší doba pro čištění výměníku tepla pro ohřev ÚT.....	99
10.1.4	Optimální doba pro čištění výměníku tepla ohřevu TV a ToV.....	101
10.2	Ceny chemického čištění externích firem.....	101
10.3	Obecné úskalí při externím čištění energetického zařízení.....	103
10.4	Navržená metoda čištění výměníků tepla a její náklady.....	104
10.4.1	Postup metody čištění.....	105
10.4.2	Náklady na Z-Fázi.....	105
10.4.3	Srovnání cen s ostatními chemickými přípravky.....	106
10.4.4	Zavedení přípravku Z-Fáze do PT.....	106
11	Praktická část vyčištění výměníku.....	108
11.1	Chemická látka.....	108
11.1.1	Testování čistící směsi.....	109
11.2	Výměníky před vyčištěním.....	110

11.3	Přístroj k vyčištění deskového výměníku.....	113
11.4	Experiment vyčištění deskového výměníku.....	114
11.4.1	Zkouška průtoku a změn teplot na vstupech a výstupech.....	114
11.4.2	Čištění po provedené zkoušce.....	116
11.4.3	Zkouška průtoku a ohřevu sekundární strany po prvním vyčištění	119
11.4.4	Druhé čištění primárního okruhu.....	120
11.4.5	Zkouška průtoku a ohřevu po druhém čištění.....	121
11.5	Likvidace daného roztoku po vyčištění	122
11.5.1	Obecné podmínky pro likvidaci Z-Fáze	122
11.6	Výměník po vyčištění a vyhodnocení efektivnosti	123
12	Shrnutí návrhů pro zlepšení dané problematiky	126
	Závěr	127
	Použitá literatura	128

Úvod

V dnešní době neustálé ekonomické optimalizace v podnicích se stále více klade důraz i na ekologické aspekty. Tato práce se snaží všechny tyto aspekty vzhledem k dané problematice zanášení výměníků a následného čištění analyzovat. Práce je pro svou náročnost a obsáhlost na informace zkonkrétněna na problematiku převážně deskových pájených výměníků. Důvodem je, že tato práce poskytuje i analytický pohled dané problematiky ve společnosti Pražská teplárenská a.s. a tato společnost, která má na starosti okolo 1800 předávacích stanic, provozuje 65 % pájených deskových výměníků. Jeden ze způsobů, jak zabránit či zmírnit zanášení výměníku tepla, je chemické čištění, které je stěžejní pro tuto práci.

Bakalářská práce nejprve přibližuje teplárenství a jeho nejdůležitější pojmy a následně přibližuje zařízení, které má na starosti přenos tepla mezi dvěma teplonosnými médii v teplárenství – výměník tepla. V této kapitole se práce zaměřuje především na deskový typ výměníku tepla, který je dále více zkoumán z pohledu zanášení a jaký má toto dopad na jiné entity – zejména ekologii a ekonomiku podniku. I díky tomu je kapitola 7 zaměřena na přiblížení ekologie a jakým způsobem zanášení výměníků tepla a následné vyčištění může ovlivnit životní prostředí.

V kapitole 5 a 6 je rozebrána analýza metod čištění a více přiblížena konkrétní již zmíněná metoda – chemické čištění. Analýza metod čištění je sice spjata opět s deskovými výměníky, nicméně tato analýza může sloužit i na jiné typy výměníků.

V analytické části je bakalářská práce zaměřena na teplárenskou společnost Pražská teplárenská a.s. a její přístup k tomuto problému. Na trhu čištění otopných těles je hned několik možností a několik produktů, které dokáží výměník vyčistit, jedním z nich se nyní ukazuje i metoda chemického čištění za použití chemického roztoku, která v ČR nemá zastoupení. Ve spolupráci s Ústavem strojírenské technologie má tato práce za cíl vyčistit daným roztokem deskový výměník a stanovit, jak je tento roztok efektivní v čištění.

V návrhové části se práce zabývá možnostmi, které jsou pro společnost Pražská teplárenská a.s. nejlepší v problematice zanášení deskových výměníků. Stanovení metodiky včasného upozornění, kdy je výměník zanesen a určení vhodné doby pro vyčištění. Práce zároveň popisuje a zkoumá, zda odzkoušený vzorek chemického roztoku by byl z provozní a technologické stránky prospěšný pro společnost Pražská teplárenská a.s.

Po zkušenostech ze zaměstnání vím, že lidé z teplárenství jsou k chemickému čištění skeptičtí. Důvod je především ten, že chemická látka, která se k čištění dřívě mohla používat, způsobila více škody než užitku.

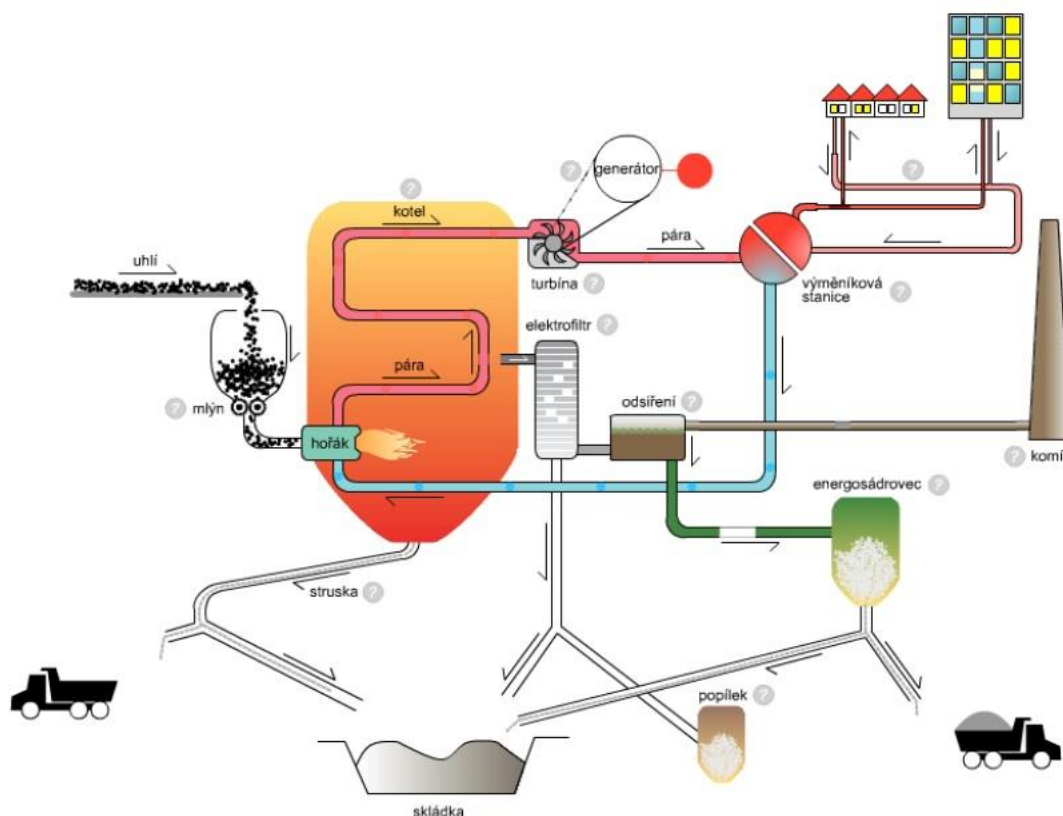
Jelikož tato bakalářská práce vznikala hned na dvou pracovištích a to na ústavu řízení a ekonomiky podniku a ústavu strojírenské technologie, kde se navrhovali čisticí metody a následné provedení samotného čištění, které bylo ještě doplněné o ekonomické aspekty, nemůže si tato práce vystačit pouze s rozsahem 60 stran obvyklé bakalářské práce. Navýšení stránek této práce je jen čistě z důvodu rozsáhlého tématu, které musí komplexně pokrýt celou nastíněnou problematiku, která zahrnuje ekologické, technologické a také ekonomické hledisko.

1 Obecné informace o soustavě zásobováním teplem

1.1 Výroba tepelné a el. energie – kogenerace

Výrobní technologie, zvaná též kogenerace, umožňuje nejefektivnější využití energie v palivu tak, že část energie z páry je nejprve využita pro výrobu elektřiny a poté i pro dodávku tepla do sítí centralizovaného zásobování teplem. Prokazatelné ekonomické i ekologické výhody námi využívané výrobní technologie jsou zcela zásadní povahy, a protože jsou založeny na fyzikálních principech, mají trvalou platnost. Tato kapitola pojednává pouze o kogeneraci spalující fosilní palivo, jakým je např. uhlí (obr.1).

Při klasickém způsobu samostatné výroby elektřiny se větší část tepla předává bez užitku do chladicí vody a z ní do okolí. Toto odpadní teplo ekologicky zatěžuje krajinu, zvyšuje množství primárního paliva, což se projevuje i větším únikem škodlivin do ovzduší. Použití kogeneračního způsobu výroby znamená až 32% úsporu vkládaného paliva a stejnou měrou se podílí i na snížení ekologické zátěže krajiny. [1]



Obrázek 1 – Schéma kogenerace [1]

1.2 Zdroje tepla

Tepelné zdroje mohou být řešeny v mnoha variantách podle konkrétních podmínek. V současné době to jsou hlavně:

- Výtopna - průmyslový závod, který se zabývá pouze výrobou a dodávkou samotného tepla. Teplo dodávají do celé obytné soustavy. V případě menších výkonů nazýváme „kotelna“. Podle druhů kotlů rozlišujeme výtopny parní, teplovodní a horkovodní.
- Teplárna - objekt určený k ohřevu a následnému zásobení odběratelů teplem a zároveň vyrábí elektřinu. Teplárny mohou být na uhlí, plyn případně také na naftu apod.
- Elektrárny - primárně určené k výrobě elektrické energie, nicméně disponují velkým množstvím zbytkového tepla, které lze využít k ohřevu vody v systému SZT. K tomuto účelu jsou vhodné tepelné, jaderné a geotermální elektrárny.
- Spalovna - objekt určený ke spalování odpadu. energii uvolněnou spalováním lze využívat k ohřevu vody, případně k výrobě elektřiny.
- Zvláštní zdroje tepla – geotermální a sluneční energie, popř. i další

Zdroje tepla mají využití jako zdroje základní, špičkové a zálohové.

Základními zdroji jsou zdroje, které dodávají teplo ke krytí základní části diagramu ročního průběhu potřeby tepla a tudíž pracují s poměrně vysokým ročním využitím instalovaného výkonu.

Špičkové zdroje jsou v provozu v době, kdy je vysoký odběr tepla, který není možné pokrýt základními zdroji, což je v zimním období. [2]

1.3 Druhy tepelných sítí

V systému CZT se může vyskytovat několik druhů tepelných sítí. Ty se liší především teplonosným médiem a provozními teplotami a tlaky.

- Parovody- rozvádějí vodní páru, která je mírně přehřátá a má přetlak značně vyšší než 0,049MPa.

- Horkovody- rozvádějí upravenou vodu o teplotě od 110°C do 150°C (ojediněle vyšší).
- Teplovody- rozvádějí upravenou vodu o teplotě do 110°C.

U horkovodů a teplovodů musí být dodrženy tlakové podmínky tak, aby v žádném případě nedošlo k poklesu tlaku na hodnoty nižší než mez sytosti.

1.4 Předávací stanice

Teplu z centrálních zdrojů (tepláren, výtopen) je distribuováno směrem k odběrným místům většinou prostřednictvím média s vyšší teplotou (vyšším tepelným spádem) a také tlakem, nejčastěji horkovodu, případně páry. Pro transformaci těchto „vyšších“ parametrů topného média v místech poblíž vlastní spotřeby na nižší, se používají výměňkové nebo také předávací stanice (každý zdroj uvádí jinak). Předávací stanice (dále jen PS) můžeme proto dělit podle vstupního média na horkovodní a parní. Dále se dělí na PS určené pro centrální ohřev otopné vody pro ÚT (ústřední topení) a ohřev teplé vody (např. pro přilehlé sídliště) rozváděné dále přímo do objektů čtyřtrubním rozvodem a také PS s ohřevem topné vody dále rozváděné dvoutrubním rozvodem k objektovým předávacím stanicím.

Technologie předávacích stanic

PS slouží jako zdroj tepelné energie pro sekundární rozvody systémů CZT. Tlakové nezávislé PS jsou zejména určeny pro systémy dálkového vytápění jako prvek tlakového oddělení primární sítě CZT a sekundární sítě. Variantně se v PS řeší ekvitermní regulace ÚT a centrální ohřev teplé vody (dále jen TV). V rámci PS je řešena mj. cirkulace otopné vody soustavou pomocí oběhových čerpadel s řízením diferenčního tlaku a také doplňování upravené vody a udržování statického tlaku v sekundárních rozvodech. Pro měření spotřeby tepla jsou osazeny měřiče na vstupu PS, případně okruhu přípravy TV. [3]

Centrální předávací stanice se čtyřtrubním rozvodem

V centrální předávací stanici, která je zpravidla umístěna v samostatně stojícím objektu, přes výměník tepla (tlakově nezávisle) dochází k ohřevu sekundární otopné vody dle ekvitermní křivky (teplota otopné vody je závislá na venkovní teplotě). To

znamená, že teplota otopné vody za předávací stanici má takovou teplotu, která je potřebná k zabezpečení tepelné pohody uživatelů objektů bez nutnosti další regulace. Takto upravená otopná voda je čerpadly rozváděna sekundárními teplovodními rozvody do jednotlivých objektů. V okrsku jedné předávací stanice jsou zpravidla dva až několik desítek objektů.

V tomto typu předávací stanici je též centrálně připravována také teplá voda, která je rozváděna přírodním potrubím do jednotlivých objektů. Aby v každém okamžiku byla zabezpečena potřebná teplota teplé užitkové vody na jednotlivých výtocích, je rozvod teplé užitkové vody doplněn též o cirkulační potrubí. Teplá voda tak neustále cirkuluje mezi objekty a předávací stanicí, kde je teplá voda neustále dohřívána.

Centrální předávací stanice s dvojtrubím rozvodem

V centrální předávací stanici, která je opět zpravidla umístěna v samostatně stojícím objektu, dochází přes výměník tepla k regulaci teploty sekundární topné vody, avšak ekvitermní regulace je prováděna jen od teploty cca 70°C. Topná voda o této teplotě je do jednotlivých objektů dodávána celoročně, tedy i přes léto, dvoutrubními sekundárními teplovodními rozvody (bez rozvodu teplé užitkové vody). V každém z objektů, napojených na takovouto předávací stanici, je umístěna objektová směšovací stanice. V této stanici je tlakově závisle (tj. přímým směšováním přírodní a vratné topné vody) upravována teplota topné vody dle ekvitermní křivky a současně je přes malý výměník připravována teplá voda. Ta však cirkuluje pouze ve vnitřním rozvodu zásobovaného objektu. Pro pokrytí odběrových špiček může být v některých případech instalován zásobník teplé užitkové vody.

Objektové předávací stanice

Do objektové předávací stanice (tlakově nezávislé), která slouží vždy jen pro jeden objekt, je přivedeno přímo horkovodní potrubí (z primární sítě). V objektové předávací stanici je přes výměník tepla upravena teplota topné vody dle ekvitermní křivky a současně je přes další výměník tepla ohřívána studená voda na teplou užitkovou vodu. Ta je rozváděna po objektu a současně přes cirkulační potrubí přiváděna zpět do předávací stanice k dohřívání. Zařízení může být doplněno pro pokrytí odběrových špiček o zásobník teplé užitkové vody. [4]

2 Výměníky tepla

Zařízení sloužící ke zprostředkování přenosu tepla mezi dvěma látkami nazýváme výměníky tepla. Jsou základními jednotkami rozmanitých variant teplosměnných systémů, široce využívaných ve výrobní a nevýrobní sféře. Jejich úkolem je zabezpečit realizaci technologických procesů a operací vyžadující ohřev nebo chlazení tekutin, popř. tuhých látek různé modifikace.

Přenos tepla ve výměnících bývá kombinovaný proces, na kterém se podílejí všechny druhy mechanismu přenosu tepla, tj. přirozená a vynucená konvekce, tepelné záření a vedení tepla, a který ve speciálních případech probíhá při fázových přeměnách. Nejčastější jsou výměníky s převládající konvekční složkou přenosu tepla. Návrh a tepelný výpočet vychází proto z obecných zákonitostí termokinetiky i mechaniky tekutin. Významným činitelem jsou tlakové ztráty Δp_a , Δp_i u obou teplotnosných látek. Při konstrukci se berou v úvahu též otázky pevnostní včetně důsledků teplotních dilatací, koroze, zanášení teplosměnných ploch, tedy vše, co může mít vliv na provozní spolehlivost a životnost výměníků tepla. [5]

Příkladem malého tepelného výměníku je například radiátor ústředního či etážového topení, který předává teplo z teplovodního nízkotlakého okruhu do prostředí bytu obsahujícího jiné médium, vzduch.

Podle pracovního média se dají výměníky dělit do dvou základních skupin: beze změny fáze (např. výměník vzduch-vzduch, spaliny-voda, olej-voda) nebo se změnou fáze (v nich dochází ke změně skupenství, tj. kondenzaci nebo odpaření, jedné látky, např. kondenzátor páry chlazený vodou). Podle konstrukce teplosměnné plochy jsou nejčastěji používány výměníky deskové nebo trubkové. [6]

Typy výměníků (podle konstrukce):

- a) rekuperační výměník - obě média, ohřívající i ohřivané, jsou oddělena nepropustnou stěnou o určité tloušťce a o teplosměnných plochách S_1 a S_2 na stranách obou médií;
- b) regenerační výměník - ohřivané médium vtéká opakovaně s určitým časovým zpožděním za médiem ohřívajícím do přesně vymezeného prostoru, vyplněného pevným teplo zprostředkujícím elementem a přijímá z něho teplo, dříve přivedené ohřívajícím médiem;

- c) směšovací výměník - ohřívané a ochlazované médium se v tomto výměníku směšují tak, že vytvoří směs.

Mezi rekuperační výměníky patří:

- a) plášťové výměníky,
- b) článkové trubkové výměníky,
- c) výměníky se šroubovitě vyvinutými trubkami,
- d) trubkové výměníky se žebrováním,
- e) deskové výměníky. [2]

Dělení výměníků je i podle vzájemného směru a smyslu proudění obou teplotných médií. Nejčastější zapojení je protiproudé. S tímto zapojením jsou i uvažovány všechny další problematiky v této práci

Trubkové výměníky (JAD)

JAD trubkové výměníky se skládají z pláště a trubkového svazku, který je tvořen soustavou trubek uspořádaných do několika vrstev protisměrně vinutých šroubovic. Kompaktní konstrukce, vysoká účinnost ve srovnání se standardními řešeními, snadná instalace a spolehlivost jsou hlavními výhodami typu JAD. Jsou vyrobeny z nerezové oceli a v mnoha velikostních variantách. Typ JAD K disponuje vrubovanými trubkami, které výrazně zvyšují



Obrázek 2 – trubkový výměník JAD [7]

- prostupu tepla teplosměnnou plochou. Hlavní výhody:
- Pevná a lehká konstrukce: nízká hmotnost vzhledem k dosahovaným výkonům.
 - Úspora místa: vertikální instalace výměníků snižuje prostorové nároky na minimum.
 - Vysoká efektivita: vysoký koeficient prostupu tepla charakteristický pro konstrukci teplosměnné plochy.
 - Nízké provozní náklady: nízká náchylnost k tvorbě úsad, jednoduché čištění.
 - Flexibilita instalací: široké spektrum aplikací a pracovních látek.
 - Snadný výběr: několik typových řad, návrhový program. [7]

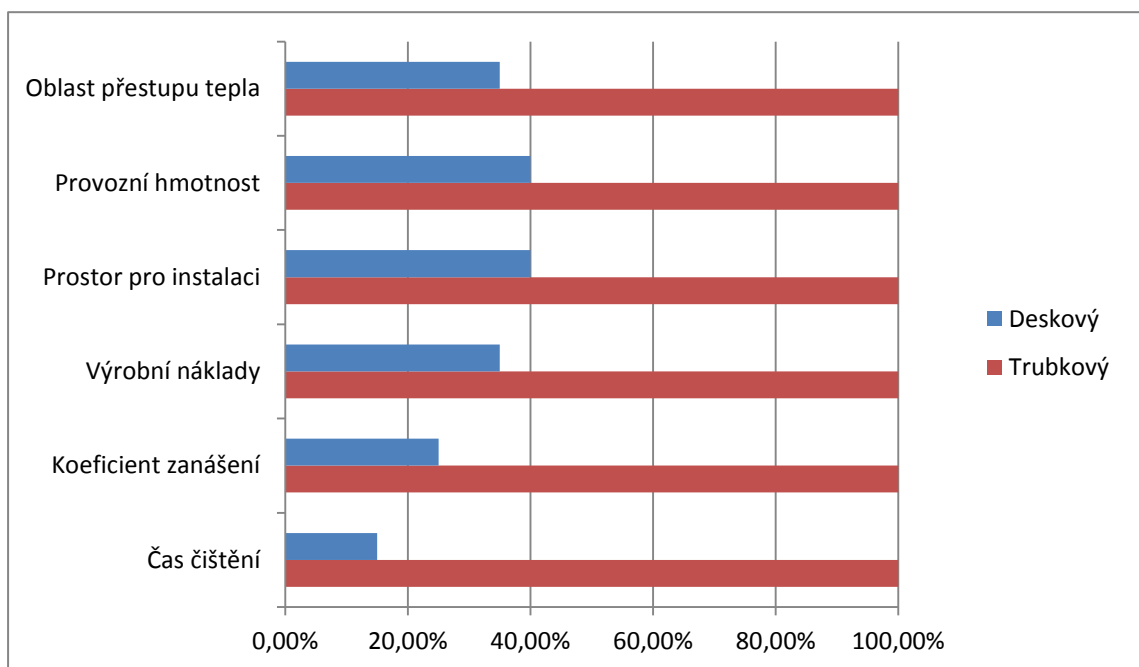
2.1 Deskové výměníky

Díky své kompaktní velikosti se v průmyslových procesech široce používají deskové výměníky tepla. Mají vyšší výkon přestupu tepla, nižší teplotní gradient, vyšší turbulence a snadnější údržbu ve srovnání s trubkovými výměníky tepla. Pro minimalizaci spotřeby materiálů a požadavků na prostor byly v posledních letech vyvinuty kompaktní modely. Použitím tenkých desek, díky kterým mezi nimi vznikají malé mezery, zvyšují tyto kompaktní modely větší koeficienty přestupu tepla a tím i menší požadovanou plochu přestupu tepla.

Výhody kompaktních výměníků tepla oproti trubkovým výměníkům:

- větší koeficient přestupu tepla,
- menší požadovaná plocha přenosu tepla,
- nižší zanášení díky vysokým turbulencím kapalin (samočistící účinek),
- podstatně menší požadovaný prostor pro instalaci a údržbu,
- lehčí váha,
- zjednodušená čistitelnost,
- nižší investiční náklady,
- čistý protiproudý provoz.

Na grafu 1 jsou deskové výměníky tepla srovnávány s trubkovými výměníky tepla, co se týče efektivity, prostoru, hmotnosti a doby čištění. [8]



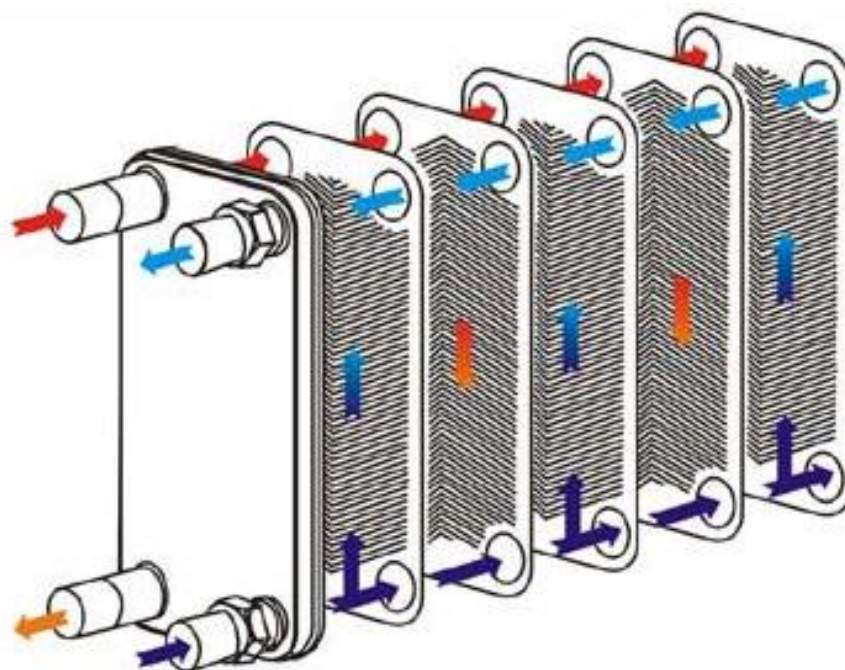
Graf 1- srovnání deskových výměníků s trubkovými výměníky tepla [8]

Jak uvádí předchozí zahraniční publikace, potvrzuje i česká literatura [9], že v současné době velký nárůst instalací zaznamenávají rekuperační deskové výměníky. Teplosměnná plocha je vytvořena z tenkých kovových desek, které jsou na sobě pevně přitisknuty. Desky mají ve svém profilu vylisovány kanálky. Jedno médium proudí jednou skupinou těchto kanálků, druhé jinými bezprostředně přilehlými kanálky. Příklad proudění látek a uspořádání desek je v obr. 4 a provedení kanálků zvlněním a žlábkováním desek v obr.

Z obr. 3 je patrné, že pracovní látky v deskovém výměníku proudí v sousedních deskách čistě protiproudě, což je výhodné z hlediska přestupu tepla i dosažení co nejmenší plochy. Jednotlivé desky jsou buď, k sobě pájené nebo jsou staženy šroubovými svorníky. Tato druhá konstrukce vyžaduje těsnění mezi jednotlivými deskami.

Desky jsou lisovány z plechů tloušťky 0,4 – 1 mm z různých materiálů od uhlíkových ocelí až po nerezové oceli, titan, nikl aj. Těsnění jsou vyrobena ze speciálních pryží, silikonu, nitrilu, případně azbestových vláken. Maximální mezera mezi deskami bývá 3–5 mm a rychlosti pracovních médií 0,2 – 1 m/s. Díky velmi malé tloušťce desek mají malý tepelný odpor.

Největší použití mají deskové výměníky pro ohřev kapalin při provozních tlacích do 3,5 MPa a při teplotách do 150 °C, avšak některé typy mohou pracovat s teplotami do 270 °C při tlacích do 6 MPa.



Obrázek 3- Proudění teplotných látek deskovým výměníkem [70]

Orientační hodnoty součinitele přestupu tepla v systémech kapalina – kapalina jsou $500 - 2000 \text{ W/m}^2\text{K}$. Poměr teplosměnné výhřevné plochy k zastavěnému objemu je cca $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Výhodou deskových výměníků oproti trubkovým je:

- 1) Kompaktnost řešení.
- 2) Čistý protiproud a velká turbulence proudů pracovních látek spolu s malou tloušťkou stěny vedou k malým rozměrům a malé hmotě.
- 3) U výměníků lze velmi jednoduše zvětšovat výkon přiřazováním dalších unifikovaných desek.

Nevýhodou deskových výměníků jsou problémy s dosažením těsnosti při větších tlacích. [9]

Pokud je v předávacích stanicích použita technologie deskových výměníků tepla, dochází k výrazné miniaturizaci rozměrů výměníků. Zmenšení rozměrů výměníku má za následek především několikanásobné zvýšení prostupných součinitelů tepla, které se v běžné technické praxi pohybují podle publikace [10] od $400 - 4000 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dá se říci, že z hlediska energetických ztrát jsou deskové výměníky podstatně provozně úspornější a to především s ohledem na malý povrch výměníků v relaci na přenášený tepelný výkon. Tepelné ztráty sáláním a vedením do okolí jsou proto minimální a celková účinnost deskových výměníků je nejméně o 3 % vyšší než u výměníků klasických trubkových.

Relativní nevýhodou deskových výměníků jsou zpravidla hydraulické ztráty při průtoku topných médií a možnosti častého zanášení předávacích ploch vnitřními inkrustacemi a problémy s čištěním těchto ploch.

Hydraulické ztráty se dají částečně kompenzovat vhodným tvarem desek výměníků, ale zůstává zde určitý tlakový rozdíl, který se musí řešit zvýšeným výkonem oběhových čerpadel nebo vyšším tlakem vstupní páry či jiného proudícího média. To určitým způsobem devastuje ostatní provozní výhody deskových výměníků.

Čištění teplosměnných ploch se zpravidla provádí chemicky, přírodními látkami s minimálními dopady na ekologickou zátěž. [10]

3 Výpočty výměníku tepla

Podle využití existují v zásadě dva typy výpočtu tepelných výměníků, a to výpočet konstrukční a výpočet kontrolní:

a) Konstrukční výpočet

Při navrhování nového výměníku tepla se určují především jeho typ, velikost a řešení výhřevné plochy, dále se stanovují hydraulické resp. aerodynamické tlakové ztráty, výměník se navrhne pevnostně a nakonec z možných variant řešení se hledá ekonomicky nejvýhodnější varianta, která zaručuje při předepsané době životnosti a využití minimum součtu investičních a provozních nákladů na jednotku předaného tepla. Každý soubor výpočtu obsahuje proto tyto části:

- 1) tepelný výpočet,
- 2) výpočet hydraulický a aerodynamický,
- 3) výpočet pevnostní,
- 4) výpočet ekonomický,
- 5) optimalizační výpočet.

b) Kontrolní výpočet

Provádí se u stávajících tepelných výměníků tak, že se při dané výhřevné ploše a průtočných průřezech zjišťuje v tepelné části výpočtu některý z těchto požadavků:

- 1) Pro požadovaný tepelný tok \dot{Q} a zadání vstupní teploty $t_{1,1}$ a $t_{2,1}$ určitých teplotnosných médií 1 a 2 se určují vstupní teploty $t_{1,2}$ a $t_{2,2}$ a průtoky M_1 a M_2 .
- 2) Pro dané vstupní $t_{1,1}$.
- 3) Kontrolují se hodnoty tepelných a teplotních veličin při změnách průtočných, teplotních nebo výkonových podmínkách.
- 4) Provádí se přepočty pro případ použití jiného druhu teplotnosného média.[11]

Pro tuto práci je převážně stěžejní stanovit výkon výměníku, tudíž se blíže budeme zabývat tepelným výpočtem viz kapitola 3.1. , respektive i výpočtem tlakových ztrát.

3.1 Tepelný výpočet výměníku

Podle [11] se při tepelném výpočtu každého typu výměníku vychází z 2 základních vztahů:

- 1) Z tepelné bilance výměníku.
- 2) Z rovnice pro určení tepelného toku prostupem přes stěnu tvořící výhřevnou plochu mezi oběma teplonosnými médii.

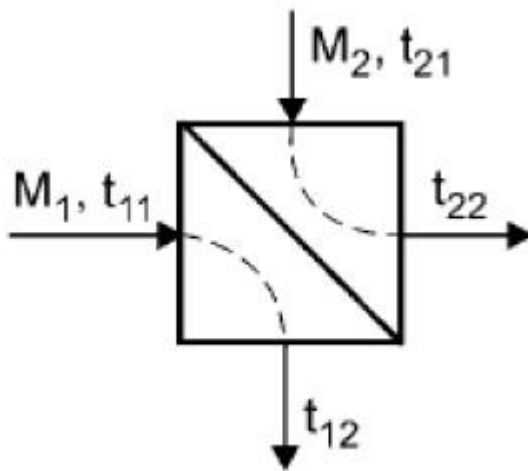
A podle [9] pro tepelný výpočet platí dvě rovnice, a to rovnice tepelné bilance a rovnice prostupu tepla. Porovnáním těchto dvou rovnic při projektovém výpočtu je hledanou veličinou velikost výhřevné plochy a při kontrolním výpočtu parametry pracovních látek. Oba dva postupy tepelného výpočtu výměníku obsahují následující rovnice.

Rovnice tepelné bilance:

$$\dot{Q}_b = M_1 \cdot c_1 \cdot (t_{11} - t_{12}) \cdot \eta = M_2 \cdot c_2 \cdot (t_{22} - t_{21}) \cdot \eta = k \cdot \Delta t \cdot S \text{ [kW]} \quad (3-1)$$

A pro výhřevnou plochu:

$$S = \frac{\dot{Q}_b}{k \cdot \Delta t} \text{ [m}^2\text{]} \quad (3-2)$$



Obrázek 4 – schéma výměníku tepla [9]

Na obr. 4 je schématické znázornění výměníku tepla, kde první index označuje charakter pracovní látky (1-ohřívací látka, 2-ohřívaná látka) a druhý index označuje hodnoty na koncích (1-vstupní, 2-výstupní).

Takže: t_{11}, t_{12} – teplota ohřívací látky na vstupu a výstupu [°C],

t_{21}, t_{22} – teplota ohřívané látky na vstupu a výstupu [°C],

M_1, M_2 – hmotový ohřívací a ohřívané látky [kg/s],

c_1, c_2 – střední měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku odpovídajících látek [kJ/kgK],

η – tepelná účinnost výměníku, přiřazuje se v bilanční rovnici na straně ohřívací,
 $\eta = 0,98 - 0,999$,

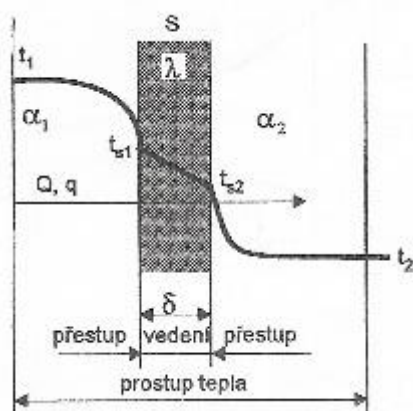
k – součinitel přestupu tepla [kW/m²K]

Δt – střední teplotní spád

S – velikost teplosměnné výhřevné plochy [m²] – jeho výpočet pro výměníky je v kapitole 3.2.1

V praktických výpočtech se většinou účinnost výměníků neuvažuje. Matematické vyjádření rovnice tepelné bilance souvisí s druhem použitých teplotnosných látek, ale jejich uvedení v této práci není nutné.

3.2 Prostup tepla



Obrázek 5 – Průběh teploty, tepelného toku a hustoty tepelného toku při prostupu tepla u rovinné stěny bez nánosů [9]

Prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou se skládá z přestupu tepla na levé straně stěny, z vedení tepla stěnou a z přestupu tepla na pravé straně stěny.

Platí vztahy

$$\dot{Q} = \alpha_1 \cdot (t_1 - t_{s1}) \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3-3)$$

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{s1} - t_{s2}) \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3-4)$$

$$\dot{Q} = \alpha_2 \cdot (t_{s2} - t_2) \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3-5)$$

Prostup tepla je dán rovnicí prostupu tepla (3-1)

$$Q = k \cdot \Delta t \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3-6)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (3-7)$$

Kde k je součinitel prostupu tepla v daném případě pro rovinnou stěnu jednovrstvou bez nánosů. Veličiny ve jmenovateli vzorce představují termické odpory při průchodu tepla ohřívající látkou $\frac{1}{\alpha_1}$, stěnou $\frac{\delta}{\lambda}$ a ohřívající látkou $\frac{1}{\alpha_2}$, kde je

α_1 – součinitel přestupu tepla z ohřívající látky do stěny [W/m²K],

α_2 – součinitel přestupu tepla ze stěny do ohřívající látky [W/m²K],

λ – součinitel tepelné vodivosti materiálu ze stěny do ohřivané látky [W/mK],

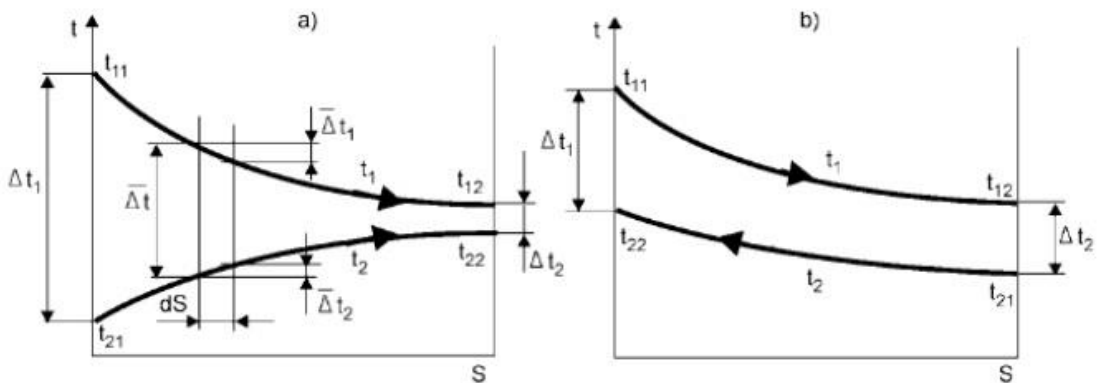
δ – tloušťka stěny [m]

Pro rovinnou stěnu složenou z několika vrstev (platí i pro nánosy na obou stranách stěny) o různé tloušťce a různé tepelné vodivosti je

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (3-8)$$

3.3 Střední logaritmický teplotní spád – LMTD

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad [\text{K}] \quad (3-9)$$



Obrázek 6- Průběhy teplot v souproudém (a) a protiproudém (b) výměníku. [2]

Vzorec (3-9) platí pro výpočet středního logaritmického teplotního spádu pro čistý souproud a protiproud.

3.4 Metoda ϵ -NTU

Samostatný technický návrh z pohledu výpočtu tepelného výkonu není obtížný. V této kapitole je shrnutá metodika ϵ -NTU používaná pro návrh tepelných výměníků, kterou lze nalézt v mnoha publikacích – Shah [13] a ČSN EN 305 [14], aj. Základní výhodou této metody je jednoduchý technický přístup k výpočtu účinnosti výměníku v závislosti na základních parametrech výměníku a médií proudících přes výměník.

Postup vychází z veličiny NTU popisující výkon výměníku tepla jako bezrozměrové číslo závislé na parametrech výměníku i provozních podmínkách. Tudíž s měnícími se podmínkami provozu se rovněž mění. Parametr NTU vychází ze základních technických parametrů, jakými jsou součinitel prostupu tepla a velikost teplosměnné plochy. Rovnice pro výpočet NTU je:

$$NTU = \frac{k \cdot S}{C_{min}} \quad [-] \quad (3-10)$$

kde:

k – součinitel prostupu tepla teplosměnné plochy výměníku [W/m^2K]

S – celková plocha teplosměnné plochy výměníku [m^2]

C_{min} – menší z průtokových kapacit ochlazovaného C_1 a ohřivaného C_2 média [W/K]

C_{max} – větší z průtokových kapacit ochlazovaného C_1 a ohřivaného C_2 média [W/K]

$$C_1 = m_{\tau 1} \cdot c_{p1} \quad [W/K]$$

$$C_2 = m_{\tau 2} \cdot c_{p2} \quad [W/K]$$

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad [W/K]$$

m_{τ} – hmotnostní průtok [kg/s]

c_p – měrná tepelná kapacita za stálého tlaku [J/kgK]

Parametr NTU je nejčastěji využíván pro výpočet účinnosti přenosu tepla, z čehož lze dále dopočítat přenesené teplo mezi medii ve výměníku, a výstupní teploty jednotlivých médií. Případně je možné postupovat obráceně a z požadovaného výkonu, teplotních spádů ochlazovaného a ohřivaného média dopočítat parametr NTU a potom velikost teplosměnné plochy.

Stanovení účinnosti ε je závislé na uspořádání proudů ve výměníku. Následovně jsou uvedeny rovnice pro výpočet účinnosti protiproudý výměník, na který je tato práce zaměřena, za předpokladu neměnného skupenství během průtoku výměníkem.

Protiproudý výměník:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}}{1 - C_r \cdot e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}} \quad (3-11)$$

Na základě definice účinnosti výměníku tepla ε a předpokladu zamezení ztrát tepla do okolí výměníku lze jednoduše definovat přenesený tepelný tok Q_{τ} a výstupní teploty pro zmiňované uspořádání výměníků.

$$Q_{\tau} = \varepsilon \cdot Q_{max} = \varepsilon \cdot Q_{min} \cdot (t_{i1} - t_{e1}) \quad [W] \quad (3-12)$$

$$t_{A2} = t_{A1} - \varepsilon \cdot \frac{C_{min}}{C_1} (t_{A1} - t_{B1}) \quad [^{\circ}C] \quad (3-13)$$

$$t_{B2} = t_{B1} - \varepsilon \cdot \frac{C_{min}}{C_2} (t_{A1} - t_{B1}) \quad [^{\circ}C] \quad (3-14)$$

kde: t_{A2}, t_{A2} – vstupní a výstupní teplota ochlazovaného média [$^{\circ}C$]

t_{A2}, t_{A2} – vstupní a výstupní teplota ohřivaného média [$^{\circ}C$]

Uvedené rovnice platí obecně pro jakákoliv média. [2]

3.5 Přestup tepla při nuceném proudění tekutiny

Transport tepla v proudících tekutinách řešíme v technické praxi experimentálně a naměřené hodnoty vyjadřujeme bezdimenzionální závislostí ve tvaru kritériální rovnice. Číselné hodnoty termokinetických veličin podobnostních kritérií a Prandtlova čísla, jež jsou závislé na teplotě tekutiny, přečteme z fyzikálních tabulek pro určující teplotu, charakteristickou pro daný případ přestupu tepla. Určující rozměr podobnostních kritérií je rozměr, jehož změna nejvíce ovlivňuje hodnotu součinitele přestupu tepla.

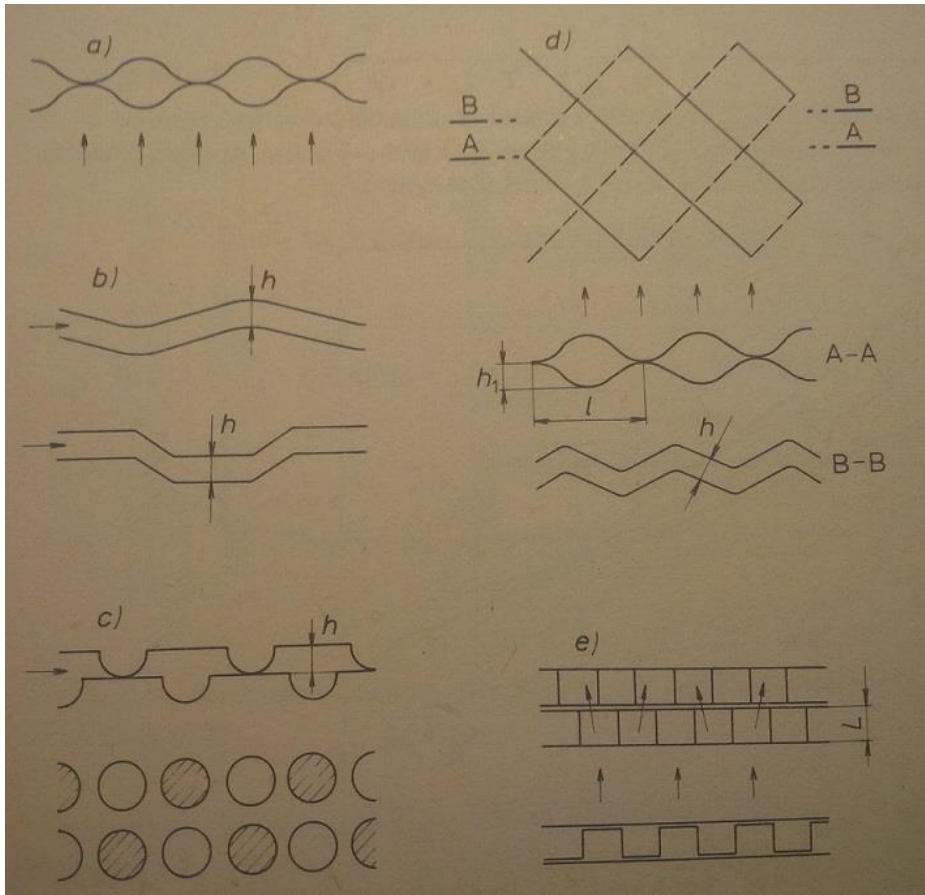
3.6 Teplosměnné elementy

Aktivní teplosměnná plocha výměníků tepla se vytváří spojením obvykle velkého počtu tzv. teplosměnných elementů. Mezi dříve nejužívanější patří hladké trubky kruhového průřezu, ale v dnešní době to jsou více převážně deskový typy.

Snaha o vyšší intenzifikaci přenosu tepla na obou stranách je zdůrazněna u deskových teplosměnných elementů; vhodným tvarováním desek nebo vnitřních profilových vložek se dosahuje toho, že tekutiny proudí v relativně krátkých kanálech o malém hydraulickém průměru, často s proměnným průtočným průřezem ve směru proudu.

3.6.1 Deskové elementy

Na obr. 7 jsou znázorněny typické geometrické tvary kanálků v člancích současných deskových výměníků. Každá varianta deskového článku se vyznačuje specifickou závislostí pro přestup tepla. Bližší výpočty všech typů kanálků, které lze vidět na obr. 7 jsou například v publikaci [5].



Obrázek 7 – Tvary průtočných průřezů u deskových výměníků tepla [5]

3.7 Hydraulický výpočet výměníku

Tento výpočet se provádí za účelem určení průtočných tlakových ztrát teplotnosných tekutin 1 a 2 ve výměníku a slouží pro:

- Posuzování nákladů za energii ke krytí ztrát tlaku při proudění médií.
- Dimenzování zařízení zajišťující proudění teplotnosných médií.

Celková tlaková ztráta u každého z obou teplotnosných médií sestává z jednotlivých ztrát vzniklým třením u všech úseků a z jednotlivých místních odporů. Detailně výpočet je rozebrán např. v [11].

3.8 Tlaková ztráta - vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny

Při proudění skutečných tekutin vzniká tření o povrch průtočného kanálu a obtékaných těles i tření uvnitř tekutiny (tzv. vnitřní tření). Třením tekutina ztrácí kinetickou energii, a aby protekla kanálem požadovanou rychlostí (průtokem) musí získat kinetickou energii poklesem celkového tlaku na druhé straně kanálu, vzniká tlaková ztráta Δp_z . V ideálním případě se třecí teplo vrací zpět do tekutiny a celková

entalpie tekutiny se nemění (v případě plynu dochází k izoentalpické expanzi), jedná se tedy o proces, který lze přirovnat z pohledu vlivu na tlak ke škrcení proudu.

Δp_z způsobuje pokles celkové měrné energie tekutiny, což je patrné z rozboru Bernoulliho rovnice. Tato vnitřní ztráta systému energie musí být opět přiváděna do tekutiny pomocí čerpadla, ventilátoru či dmyhadla jinak by docházelo ke zpomalování proudění. Pokles měrné celkové energie tekutiny způsobený tlakovou ztrátou se dá zapsat rovnicí:

$$z = \frac{\Delta p_z}{\rho} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3-15)$$

kde z [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] = měrné vnitřní ztráty potrubního systému (pokles měrné celkové energie kapaliny/plynu způsobené tlakovou ztrátou);
 Δp_z [Pa] = tlaková ztráta na vyšetřované délce kanálu;
 ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] = hustota proudící tekutiny.

Vznik tlakové ztráty je způsoben brzděním částic tekutiny při proudění, přičemž lze rozlišit dva základní druhy proudění podle pohybu částic - a to laminární a turbulentní. Pro výpočet tlakové ztráty je velmi důležité umět tyto dva druhy proudění rozlišit, protože podle toho se vybírá nejvhodnější vztah pro výpočet. [12]

Přirozeného proudění je nejprve jednoznačně laminární. S rostoucí výškou topné plochy však dochází k tomu, že proudění začíná být čím dál víc vírové, až nakonec přejde v proudění turbulentní (případně se také může oddělit od stěny). K turbulentnímu proudění také dochází při větších teplotních rozdílech mezi deskou a tekutinou (pro $dt > 15^\circ\text{C}$). Z tohoto důvodu není v těchto případech součinitel α přestupu tepla konstantní.

3.8.1 Laminární proudění

Při laminárním proudění vytváří tekutina rovnoběžná proudová vlákna, přičemž tyto vlákna po sobě klouzají. Tekutina ze sousedních proudových vláken se nepromíchává. V důsledku tření tekutiny o stěny kanálu je rychlost tekutiny v proudových vláknech přiléhající ke stěně nulová a v následujících proudových vláknech se zvyšuje tím rychleji čím menší je dynamická viskozita pracovní tekutiny. Oblast

"deformovaného" rychlostního profilu proudění u obtékané stěny se nazývá mezní vrstva.

3.8.2 Proudění turbulentní

Při laminárním proudění reálné tekutiny jednotlivé částice nekonají pouze posuvný pohyb v proudových vláknech, ale vlivem tření o pomalejší sousední proudnici dochází k víření. Tyto víry při malých rychlostech nejsou významné a proudění se považuje i tehdy za laminární do jisté kritické střední rychlosti proudění. Při této rychlosti setrvačné síly částic převažují nad třecí silou a proudová vlákna se začnou proplétat, vzniká turbulentní proudění. Při turbulentním proudění nemají částice ve všech místech stálou rychlost, ale průměrně lze definovat jak střední rychlost proudění tekutiny tak, střední rychlost v jednotlivých řezech kanálu (rychlostní profil). Turbulentní proudění má vyšší tlakovou ztrátu při stejné střední rychlosti než proudění laminární. Charakter proudění se mění tak významně, že ovlivňuje vzorec pro výpočet tlakové ztráty. Přechod z laminárního proudění do turbulentního je pozvolný a rozhodující pro určení o jaké proudění se jedná je velikost Reynoldsova čísla vyšetřovaného proudění.

Reynoldsovo číslo

Je bezrozměrná intuitivně definovaná veličina. Z charakteru proudění reálné tekutiny je zřejmé, že vznikající víry budou narušovat proudová vlákna tím více, čím vyšší bude poměr dynamického tlaku proudící tekutiny (setrvačná síla) ku tečnému napětí (třecí síla) v tekutině.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (3-15)$$

kde d = průměr [m]
 w = rychlost proudící kapaliny [m/s]
 ν = kinematická viskozita [m^2/s]

Při opakovaných experimentech bylo zjištěno, že do $Re = 2320$ se jedná vždy o laminární proudění (kritické Reynoldsovo číslo Re_K , kritická střední rychlost proudění). V rozmezí $Re=2320$ do $Re=5000$ až 6000 je tzv. přechodová oblast (rychlostní profil je nestabilní). Od $Re=6000$ (tzv. horní kritické Reynoldsovo číslo) se jedná o proudění turbulentní.[12]

3.9 Tlaková ztráta deskových výměníků tepla

Tlaková ztráta v deskovém výměníku tepla se skládá ze tří příspěvků:

- 1) Tlaková ztráta spojená se vstupními a výstupními připojeními a distribučními kanály.
- 2) Tlaková ztráta uvnitř výměníku (v deskových kanálech).
- 3) Tlaková ztráta vlivem změny výšky pro vertikální průtok výměníku.

Tlaková ztráta v připojeních a distribučních kanálech by měla být udržována na co nejnížší možné úrovni (obecně <10%, ale v některých provedeních může být až 25 až 30% nebo vyšší). Empiricky se vypočte jako přibližně 1,5 násobek vstupní rychlosti na průchod. Vzhledem k tomu, že vstupní a výstupní ztráty v deskových kanálech nelze experimentálně stanovit, jsou zahrnuty do faktoru tření pro danou geometrii desek. Ačkoli vliv hybnosti je pro kapaliny zanedbatelně malá, je také zahrnut do následující tlakový ztráty (Δp) výrazu. Souhrnem všech příspěvků je tlaková ztráta na straně tekutiny v deskovém výměníku tepla uvedena rovnicí (3-16).

$$\Delta p = \frac{1,5G_p^2 n_p}{2g_c \rho_i} + \frac{4fLG^2}{2g_c D_e} \left(\frac{1}{\rho}\right)_m + \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_i}\right) \frac{G^2}{g_c} \pm \frac{\rho_m g L}{g_c} \quad (\text{Pa}) \quad (3-16)$$

kde $G_p = \dot{m}/(\pi/4)D_p^2$; rychlost proudění kapaliny kanálu [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]

n_p = počet průchodů na dané straně kapaliny

D_e =ekvivalentní průměr průtokových průchodů (zpravidla se D_e rovná dvojnásobku mezery mezi deskami)

ρ_i a ρ_0 = hmotnostní hustoty kapalin určené při místní objemové teplotě a průměrných tlaků na výstupu a vstupu; index m značí průměr

g_c = úměrná konstanta; $g_c = 1$

L = délka toku tekutiny na jedné straně výměníku [m]

f = třecí faktor [-] [13]

4 Způsoby ochrany proti poruchám technologických komponentů

Velké množství různých materiálů, jejich rozdílné vlastnosti a chování v různých prostředích a za různých podmínek znemožňuje stanovení jednotného postupu nebo návodu pro ochranu proti znehodnocení technologických komponentů. Při navrhování vhodné ochrany je nutno proto řešit každý případ samostatně v jeho specifických podmínkách. Jedním z hlavních inhibitorů napadající materiál je koroze, není však jediným inhibitorem. Další rozrušování materiálů fyzikálními vlivy nazýváme erozí, abrazí, opotřebením. [15]

Při provozování výměníku tepla mohou nastat určité problémy, s kterými je nutno se vyrovnat. Základním problémem jsou netěsnosti mezi pracovními látkami u rekuperačních výměníků. Jejich příčinami jsou:

- zanášení výhřevných ploch,
- koroze výhřevných ploch,
- abraze výhřevných ploch,

Zanášení je usazování různých materiálů – solí, korozních produktů a pevných látek z teplotnosných látek na výhřevnou plochu výměníku. Protože tepelná vodivost nánosů bývá podle druhu nánosů v rozmezí $0,5 - 2 \text{ W/m}^2\text{K}$ zhoršuje se silně prostup tepla a tepelný výkon. Nánosy mohou být na obou stranách pracovních látek. Zanášení lze ovlivnit např. vhodnou úpravou teplotnosné látky. [9]

U koroze je zejména důležitá přípustná míra korozního napadení, cena a množství spotřebovaného materiálu, případně deficitnost materiálu a možnost jeho náhrady materiálem jiným nebo jinou ochranou.

Konstruktér by měl mít na zřeteli nejen technickou dokonalost, ale i proveditelnost navržené ochrany, její technologii a ekonomické důsledky. Poznatky o mechanismu a kinetice korozních dějů dovolují dnes korozi zabránit nebo ji alespoň zpomalit.

Ztráty způsobené korozi lze rozdělit na:

- a) přímé korozní ztráty,
- b) nepřímé korozní ztráty.

Do přímých korozních ztrát se zahrnují náklady na obnovu, výměnu a opravy výrobků znehodnocených korozi, náklady na obnovu nebo opravy protikorozních ochranných těchto výrobků a náklady na provoz protikorozních ochranných. V teplotárenství se dá

do této kategorie zahrnout především náklady na opravy horkovodů, výměníků a náklady spojené s úpravou teplotnosné látky.

Do nepřímých korozních ztrát se zahrnují hlavně ztráty ve výrobě při jejich přerušení z důvodu korozního poškození výrobního zařízení, ztráty energií únikem z potrubí, přerušení dodávek elektrické energie poruchou zdroje, přerušení dopravy, ztráty na zdraví a životech v důsledku havárií a též znehodnocení vyráběných produktů korozními odpady.

Pokud jde o způsoby ochrany proti korozi, lze je rozdělit a provádět takto:

- Volit vhodný konstrukční materiál, popř. upravit jeho složení tak, aby daným podmínkám vyhovoval.
- Změnit vlastnosti korozního prostředí anebo ovlivnit ostatní technologické podmínky.
- Upravit konstrukci zařízení tak, aby koroze byla snížena na přípustnou míru.
- Ve vhodných případech využít způsobu elektrochemické ochrany.
- Volit optimální ochranný povlak dostatečné korozní odolnosti i tloušťky, který by zaručoval požadovanou životnost, funkci i vzhled součásti nebo zařízení.[15]

4.1 Znečištění kapaliny

Voda nebo upravená voda jako teplotnosné médium v otopných či chladicích systémech, která protéká výměníky, obsahuje vždy určité množství znečištění příměsí. Při chodu otopné soustavy se z ohřívání kapaliny vylučují na stěnách zařízení minerály a anorganické látky, které tím snižují jeho účinnost a správnou funkci. Negativně může chod otopné soustavy ovlivnit i změna pH kapaliny. Kyslík obsažený v kapalině napomáhá k degradaci materiálu a částice rzi zůstávají uvnitř otopné soustavy. Probíhající koroze se projevuje zavzdušňováním systému. Při velkém a dlouhodobém zatížení koroze může dojít až k narušení stability materiálu, jenž udržuje médium v soustavě. Tyto látky nejen narušují bezpečnost chodu otopné soustavy, ale též její účinnost a původní parametry. Jakým způsobem je vhodné upravit vodu jako teplotnosnou látku v otopných soustavách se popisuje blíže podkapitola 4.7. [16]

4.2 Zanášení výměníků

Zanášení výměníků tepla může být definováno jako hromadění nežádoucích usazenin na povrchu vnitřních stěn výměníků. Zanesená vrstva přináší dodatečný odpor vůči přestupu tepla a zúžení průtokové vrstvy. Důsledek přítomnosti usazeniny vede ke zvýšení rychlosti daného objemového průtoku. Kromě toho, usazeniny zhoršují hydrodynamiku, takže existuje zvýšená odolnost proti proudění tekutiny přes povrch usazeniny. Proto důsledky zanášení jsou obecně snížení účinnosti výměníku a další související provozní problémy včetně nadměrné tlakové ztráty ve výměníku.

U některých výměníků tepla dochází k zanášení rychleji, jiné energetické zařízení může naopak pracovat delší periodu, možná i několik let než se problém objeví. Velmi to závisí na konkrétní kapalině a podmínkách, za kterých výměník pracuje. Charakter usazenin je velmi variabilní. V některých případech jsou usazeniny tvrdé, houževnaté a obtížně odstranitelné. Jiné nahromaděné usazeniny mohou být měkké a drolivé, které se dají odstranit.

Usazeniny jsou tvořeny různými prvky. Usazeniny spojené s chladicí vodou mohou například zahrnovat produkty koroze, částice, krystaly a živý biologický materiál.

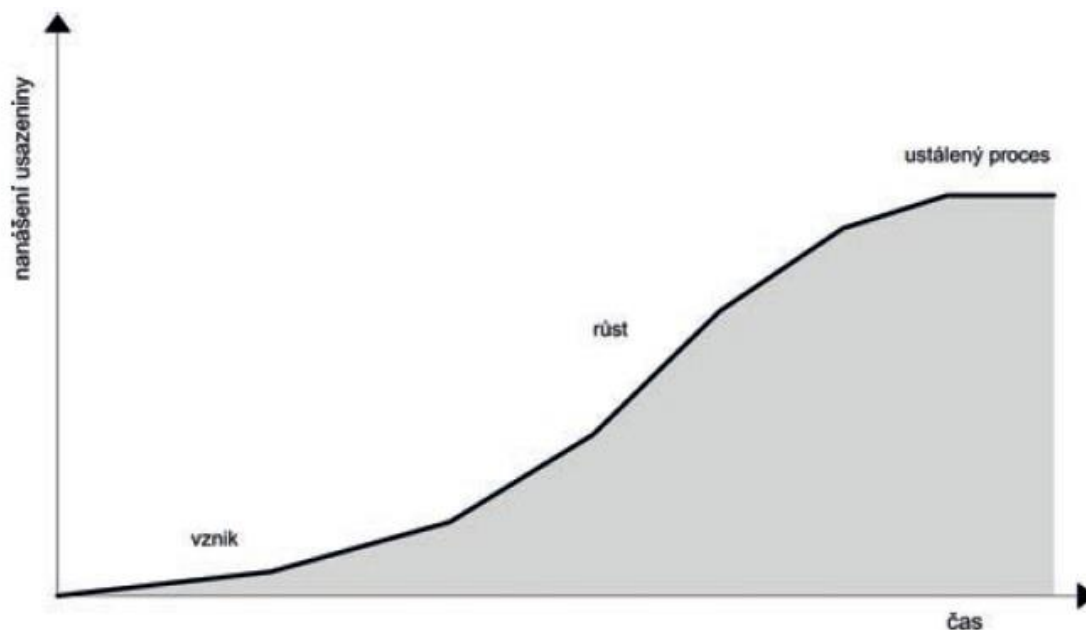
Rozsah jednotlivých složek v usazeninách závisí na mnoha faktorech včetně původu vody, její úpravy a podmínek její zpracování. Je možné, že jedna složka usazeniny může být dominantní, např. vodní kámen nebo koroze. Vzhledem k této extrémně proměnné kvalitě usazenin se stalo běžnou praxí, že při vývoji metod pro zmírnění tohoto problému je třeba zvážit různé znečišťující mechanismy.

4.2.1 Analýza zanášení

Pro porozumění procesu zanášení je nutné se seznámit se základními mechanismy zanášení a parametry, které výrazně zanášení ovlivňují. Tyto parametry jsou především:

- geometrie plochy pro přenos tepla,
- povrch materiálu přenosové plochy,
- teplota povrchu teplosměnné plochy pro přenos tepla,
- rychlost proudění pracovní tekutiny,
- vlastnosti pracovní tekutiny (viskozita, hustota, atd.).

Časový průběh zanášení je znázorněn na obr. 8. Je zřejmé, že při dosažení ustáleného stavu již k dalšímu usazování nedochází, nicméně provoz zařízení je v tomto stavu velmi neefektivní a je nutné teplosměnné plochy vyčistit.



Obrázek 8 – Průběh zanášení v čase [18]

Nečistoty unášené proudící kapalinou se mohou usazovat na teplosměnných plochách různým způsobem. Nejčastěji proces usazování nečistot v deskových výměnících probíhá následujícími způsoby:

- sedimentace,
- kontinuální usazování,
- zanášení v důsledku chemické reakce,
- zanášení krystalizační a precipitační,
- zanášení v důsledku mrazu,
- korozní zanášení,
- biologické zanášení,
- kombinované zanášení.[18]

Přítomnost usazenin na povrchu výměníku tepla způsobuje dva hlavní problémy:

1. problém

Účinnost výměníku tepla je snížena, pokud jde o přenos tepla v důsledku tepelného odporu usazenin. Obecně platí, že tepelná vodivost usazenin je mnohem nižší než u kovů, takže i tenká vrstva může způsobit značný tepelný odpor. Skutečnost, že povrch vrstvy usazenin je drsný ve srovnání s původním kovovým povrchem, obecně zvýší přenos tepla v důsledku zvýšení turbulence generované těmito drsnými prvky. Do jisté míry toto vyrovnává účinky zvýšeného tepelného odporu ve výměníku tepla. Avšak výhody, které jsou způsobeny přítomností vrstvy usazenin, jsou obvykle

relativně malé ve srovnání s omezením toku tepla způsobeného izolačními vlastnostmi usazenin.

Celkový vliv na přenos tepla lze shrnout následovně:

Změna celkového součinitele přestupu tepla může být funkcí

- Změny v důsledku tepelného odporu vrstvy usazenin.
- Změny kvůli drsnosti povrchu usazeniny.
- Změny způsobené zvýšenou rychlostí pro daný objemový průtok, vyplývající z omezení v průtokové ploše vyvolané přítomností usazenin.

Přestože byla uváděna vztahová souvislost na výměník tepla jako celek, je také použitelná pro místní podmínky. Výskyt a kvalita usazenin se pravděpodobně liší podle lokality ve výměníku.

2. problém

Kvůli drsnosti usazeniny a omezení průtokové oblasti, které jsou zodpovědné za zvýšení turbulence a přestupu tepla ve srovnání se stavem pro stejný průtok, tlaková ztráta také narůstá. Vrstvy mohou relativně na vnitřní straně trubky například způsobit značné zvýšení tlakové ztráty.[17]

4.2.2 Usazovací rychlost nečistot

Pro odhad usazovací rychlosti nečistot u_D jsou využívány poznatky o pohybu jednotlivé částice v tekutině. Východiskem jsou znalosti o energii disipované při pohybu částice. S ní souvisí síla F , která se musí vynaložit na udržení částice v pohybu. Obráceně pak lze k působící síle přičíst rychlost částice. Další a bližší poznatky o usazovací rychlosti nečistot a matematickým modelů simulace zanášení jsou uvedeny v publikaci [18]. Pro tuto práci, není příliš důležité se detailně zabývat touto problematikou.

4.3 Odstraňování usazenin

Odstraňování usazenin z výměníků není jednoduchou a ani levnou záležitostí. Volba určité metody pro optimální odstraňování usazenin při vynaložení minimálních finančních nákladů bez jakéhokoliv ohrožení nebo dokonce zastavení probíhajícího technologického procesu závisí na mnoha parametrech. Tyto parametry jsou zejména

- vlastností pracovních tekutin,
- teplota povrchu desek,
- drsnost povrchu profilovaných desek,
- rychlost proudění pracovních tekutin,
- materiál výměníku,

- typ a druh výměníku,
- ostatní vlivy.

Podle způsobu zanášení nečistotami se usazeniny odstraňují obecně různými způsoby. Zdroj [18] uvádí bližší informace k odstranění jednotlivých usazenin. Pro tuto práci je důležité vědět, že usazeniny způsobené sedimentací, naplavováním či kontinuálním usazováním lze zachytávat pomocí filtrů. Pokud usazeniny jsou ve výměníku a nelze se k nim dostat, lze dočasně zvýšit rychlost proudění kapaliny.

Krystalizačnímu a precipitačnímu zanášení lze předejít přidáváním chemických látek do tekutiny. Přídavné chemické látky zabraňují vylučování částic z pracovní tekutiny a k jejich následnému usazování na deskách výměníků. Usazeniny vzniklé krystalizací nebo precipitací jsou velmi pevné a tvrdé a následné čištění lze provádět chemicky.

Koroznímu zanášení lze předejít vhodnou volbou materiálu desek výměníku s ohledem na pracovní tekutiny. Je nutné brát ohled i na další chemické sloučeniny, které by se během provozu výměníku mohly v pracovních tekutinách vyskytovat. Vlastní proces koroze lze ovlivnit změnou pracovní tekutiny nebo přidáním inhibitorů, které zpomalují proces koroze. Inhibitory mohou ale snižovat přenosové schopnosti výměníku.[18]

4.4 Odpor usazeniny

Nejčastěji je pod termínem odpor usazeniny uvažován tepelný odpor neboli tepelný izolant usazeniny. Tak tomu ale není. Odpor usazeniny má také podstatný vliv na hydraulické poměry celé soustavy, nejen na výměník.

Mnoho firem uvádí tabulkové údaje hodnot zanášení u řady aplikací deskových výměníků tepla. Na základě experimentálního ověřování v publikaci [19] bylo zjištěno, že zanášení má různou intenzitu na různých deskách výměníku, přičemž turbulentnější typ desky dává menší odpor zanášením.[18]

4.5 Koroze

Vlastní korozní děj je definován jako znehodnocení materiálu chemickým, fyzikálně chemickým nebo biologickým působením prostředí. Ve většině případů jde o elektrochemický děj, při kterém se korodující látka chemicky mění za současného průběhu elektrického děje. Podstatným znakem tohoto pochodu je přítomnost elektrického proudu, který není přiváděn z vnějšího zdroje, ale vzniká při vlastním korozním pochodu. Každá korozní reakce se skládá ze dvou reakcí dílčích, anodické

a katodické, protože jde o reakci oxidačně redukční. Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu, a tedy vlastní korozi. Katodická reakce odpovídá současně redukci některé složky obsažené v roztoku. Obě reakce jsou na sebe vázány a nemohou probíhat samostatně, neboť katodická reakce spotřebovává právě to množství elektronů, jichž je anodická reakce zdrojem. Příkladem elektrochemické koroze kovů jsou četné, v praxi důležité koroze oceli, hliníku, zinku a jiných kovů, ve vrstvě vlhkosti, v půdě nebo v jiných elektrolytech, obvykle ve vodě rozpuštěných solí kyselého, neutrálního nebo zásaditého charakteru.[20]

Z hlediska energetických zařízení jsou nejvýznamnější systémy kov – korozní prostředí, jejichž rozbor zahrnuje:

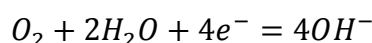
- a) vlastnosti kovových materiálů (složení, čistotu, strukturu, vnitřní pnutí, stav povrchu),
- b) vlastnosti korozního prostředí (složení, chemickou povahu jednotlivých součástí),
- c) ostatní faktory (teplotu, tlak, relativní pohyb, abrazivní vlivy, mechanické namáhání statické nebo dynamické, působení jiných forem energie jako je záření, ultrazvuk).[21]

Koroze ve výměnících tepla je rovněž prvotně způsobena kvalitou teplosměnných látek. Špatný pH faktor a špatně odplyněná voda jsou nejčastějšími příčinami koroze ze strany vody. Koroze zeslabuje trubku a ve spojení s nánosy způsobuje zvýšenou poruchovost. Postup koroze je zvláště rychlý při odstávkách výměníků tepla, kdy se doporučuje odstavený výměník zakonzervovat. [2]

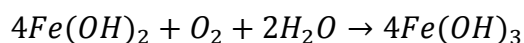
Přítomnost vody nebo vodných roztoků je pro vznik elektrochemické koroze bezpodmínečně nutná. Stačí však mikroskopická vrstvička vlhkosti na povrchu kovu, např. zkondenzovaná vodní pára na nechráněném povrchu kovu, aby nastala koroze značné intenzity, zejména tehdy, obsahuje-li okolní vzduch agresivní exhalace.

4.5.1 Korozní děj

Jestliže roztok obsahuje kyslík, a to je téměř ve všech případech, může také tento plyn odnímat v katodické části článku elektrony:



Tvoří se těžko rozpustný hydroxid železnatý, který je nazelenalý. Ten v roztoku s přítomným kyslíkem oxiduje dále:



Výsledný produkt tvoří černohnědou vrstvu v blízkosti koroze napadených míst. Tento produkt korozního děje je již obecně znám pod názvem rez.

Kyslík sám má korozní účinek stimulační a inhibiční. Stimulátorem je potud, pokud se projevuje jako depolarizátor (odnímá katodě elektrony). Protože však ke vzniku ochranné vrstvy je přítomnost kyslíku nezbytná, uplatňuje se při oxidaci kyslík zároveň jako inhibitor koroze.

Rychlost koroze snižují v určité míře korozní produkty (např. rez u oceli). Tyto produkty anodické oxidace však mají zpomalující účinek na korozi jen tehdy, tvoří-li rovnoměrnou a nepropustnou vrstvu, která chrání kov před vlivem vnějšího prostředí.

Potrubí na horkou vodu a páru rovněž dosahují očekávané životnosti zejména díky tvorbě kompaktní vrstvičky Fe_3O_4 na jejich vnitřním povrchu. V mnoha případech má takto vzniklá vrstva na některých kovech a v určitých prostředích takové vlastnosti, že se rychlost anodické reakce značně sníží a kov dosáhne pasivního stavu. Přechod z aktivního do pasivního stavu je charakterizován dvěma veličinami, které jsou měřitelné: kritickou pasivační proudovou hustotou a pasivačním potenciálem. Kritická pasivační proudová hustota představuje maximální rychlost koroze kovu v aktivním stavu a zároveň je mírou obtížnosti, s kterou může kov do pasivního stavu přecházet. Závisí především na rozpustnosti reakčního produktu anodické oxidace v prostředí. Pasivační potenciál je hodnota, kterou počínaje (směrem ke kladnějším hodnotám) existuje trvale ochranná pasivní vrstva korozních zplodin na povrchu kovu. Jeho hodnota závisí na pH a pohybu roztoku, obsahu legur v kovu a dalších faktorech. [21]

4.5.2 Koroze faktory

Můžeme je rozdělit do dvou skupin, na faktory vnější a faktory vnitřní. Vnějšími faktory jsou povaha prostředí, jeho chemické složení a fyzikální struktura, přítomnost rozpuštěných korozně známých látek, proudění, teplota, tlak, vliv světla apod. K vnitřním faktorům řadíme chemické složení a strukturu vlastního kovu, dále jeho vnitřní napětí, deformace, stav povrchu, občas nečistot a celkovou homogenitu.

Korozní prostředí definujeme z korozního hlediska koncentrací vodíkových iontů, neutrálních solí a koncentrací eventuálně přítomných stimulačních nebo naopak inhibičních látek.

Závislost rychlosti koroze na koncentraci vodíkových iontů (pH) je dána rozpustností oxidačních zplodin, tj. hydroxidů nebo oxidů daného kovu v daném prostředí. Kovy, např. železo, nikl, hořčík, korodují především v kyselé oblasti, kdežto

v alkalické vytvářejí těžko rozpustné vrstvy, značně odolně proti rozrušení. Je však třeba mít na paměti stimulující vlivy některých dalších faktorů, které uvedené vlastnosti kovů nedovolují zobecnit.

Stimulátory koroze jsou všechny faktory, které zvyšují korozní rychlost. Jsou to např. železité soli, obsažené v roztoku, v němž železo koroduje. Není-li však v roztoku přítomen kyslík, tyto komplexní sloučeniny se nevytvoří a urychlení korozního pochodu nenastane

Inhibitorů zmírňujících korozní proces známe řadu. Nejznámější jsou primární uhličitán sodný a sekundární fosforečnan sodný. Tyto látky snižují pravděpodobnost koroze, ale v nedostatečné koncentraci zvyšují korozní rychlost v tom místě, kde koroze již začala, tj. v ohnisku koroze. Jestliže však zvýšíme koncentraci těchto inhibitorů na žádoucí hranici, můžeme rychlost i pravděpodobnost koroze snížit na nulu.

Fyzikální struktura prostředí má podstatný korozní význam všude tam, kde kov přichází do kontraktu s navlhavým materiálem (stavebním, tepelnou izolací, vodotěsnou izolací apod.)

Vliv proudění roztoku není obvykle na korozi kovů přímkově závislý. Mírně zrychlený průtok nebo obtok zvyšuje korozi větším množstvím přiváděného kyslíku, a tím vyšší depolarizací. Dalším zvýšením průtoků korozní rychlost klesá, protože už je dostatečné množství k rychlému vytvoření pasivní vrstvy. Převažuje inhibiční funkce kyslíku nad jeho funkcí stimulační. Zvláštní úkaz je kavitace, tj. koroze vznikem vzduchových bublinek nebo vzduchoprázdných míst uvnitř prudce tekoucí kapaliny, což vede k nárazové korozi. Kavitace je ovšem koroze ovlivněná čistě mechanickými faktory, přičemž elektrochemický faktor je téměř bez významu.

Vliv teploty na korozi je, jak můžeme usuzovat ze základů chemické kinetiky, značný. Graficky vyjádřen má vzrůst obvykle podobu exponenciální křivky, jde-li např. o korozi železa v kyselině. Jiná je závislost např. u železa ve vodě nebo v mírně alkalickém prostředí, kde korozní děj probíhá s kyslíkovou depolarizací. V tomto případě vzrůstá korozí rychlost v uzavřeném systému téměř lineárně s teplotou, avšak v otevřeném systému tvoří křivka závislosti koroze na teplotě maximum v oblasti teplot 70 až 80°C. Při 100 °C je již kyslík varem vypuzen a korozní rychlost je zanedbatelná.

Vliv tlaku je závislý na mechanismu korozního děje. Zvýšený tlak se projeví zvýšením korozní rychlosti tam, kde hlavními agresivními činiteli jsou těkavé nebo plynné látky

Nerovnost povrchu (např. hrubé obrobení kovu) vede rovněž k zvýšené korozi. U méně odolných kovů se však tento faktor téměř neuvažuje, protože může působit jen v počátku průběhu koroze. Větší význam má u korozně ušlechtlejších materiálů jako nerezavějící ocel apod.

4.5.3 Druhy a tvary korozního napadení

Koroze se může projevovat jednak zcela zjevnou tvorbou korozních produktů, jednak změnami, které nejsou na první pohled patrné, jako je korozní praskání, provázené ztrátou pevnosti a tažnosti materiálů, přičemž většina korozních dějů se řídí elektrochemickým mechanismem.

Rovnoměrné napadení

Při dostatečné reaktivitě materiálů a korozního prostředí a většinou při vzniku rozpustných korozních produktů je povrch materiálů rovnoměrně napadán. Příkladem je moření kovů, ale též rezavění oceli a vysokoteplotní oxidace kovů. Rychlost koroze se vyjadřuje v gm^{-2} za den nebo v mm za rok. Přepoččet vyžaduje znalost hustoty materiálů. Počáteční korozní rychlost je obvykle větší než konečná, a proto představují údaje korozní rychlosti časový průměr.

Důlkové a bodové napadení

Při tomto druhu napadení jde o místní zvýšení aktivity kovového povrchu. Konečným výsledkem tohoto napadení je proděravění kovového materiálu. Hloubka důlkového napadení je obvykle menší než největší průměr důlku, zatímco bodové napadení je podstatně hlubší než jeho průměr. Důlkové napadení vzniká především v elektrolytech působením iontů snadno pronikajících pasívní vrstvou, jako je např. ion chloridový, který zvláště nebezpečný pro korozivzdorné oceli, hliník a jeho slitiny. Hloubka důlkové koroze se někdy vyjadřuje faktorem, který je dán poměrem největší hloubky průniku do kovu k tloušťce průměrného úbytku kovu vypočítané z hmotnostních rozdílů.

Některé kovy podléhají korozi při velkých rychlostech proudění kapalin. Tato koroze se nazývá erozní koroze a vyskytuje se např. u měděných nebo nerezových kondenzátorových trubek.[20]

4.6 Úprava vody

Koroze se zpomaluje s klesající koncentrací kyslíku a rostoucím pH. Proto se napájecí vody alkalizují. Obsah kyslíku má být takový, aby byla potlačena katodická depolarizační reakce kyslíku. Potřebné snížení kyslíku závisí na chemickém režimu okruhu. Bližší analýza pro úpravu vody je zaměřena na konkrétní příklad v kapitole 9. [22]

4.6.1 Odplynění napájecí vody

Jedno z nejdůležitějších protikoročních opatření k ochraně energetických zařízení. V teplovodních a horkovodních okruzích se obvykle používá pro odstranění kyslíku siřičitan sodný. Obsah kyslíku v přídavné vodě je vysoký, až do 10mg l^{-1} , takže dávky siřičitanu jsou vysoké. Účelem odplynění je odstranění kyslíku a CO_2 , což jsou plyny, které působí korozivně. Přítomnost dusíku je neškodná. Rozpustnost plynu ve vodě závisí na teplotě (se zvyšující se teplotou klesá) a na parciálním tlaku plynu. Protože ani při relativně vysoké teplotě není rozpustnost nulová, je řešením snížení jeho parciálního tlaku na nulu.

Termické odplynění

Termické odplynění je v energetice všeobecně rozšířené. Aby se při odplynění udržela atmosféra čisté páry a parciální tlak odstraňovaného plynu se snížil na nulu, je odplyňovaná voda přivedena ohřáta na teplotu blízkou teplotě varu při daném tlaku. Samotným ohřátím na teplotu varu dojde k uvolnění 90-95 % plynu. Zbytek plynu zůstává v kapkách a dostává se do páry difusí. Difuse je pomalý jev, zrychlením napomáhá zmenšení poloměru kapek. Rychlost difuse tedy závisí na konstrukčním řešení odplyňovače.

Nejrozšířenějším typem odplyňovače je kaskádový odplyňovač. Dalším typem termického odplynění jsou tryskové odplyňovače, které mají v horní části umístěnou trysku, která rozprašuje, odplyňovanou vodu na kapky s vysokým povrchem. Zde dochází k intenzivnímu dohřátí a odplynění. Jejich výhodou jsou menší rozměry a větší schopnost dohřátí. Konstrukčně je obtížné zabezpečit optimální rozptýlení v širším rozsahu výkonů.

Chemické odplynění

V některých systémech je z hlediska koroze účelné dosáhnout oxidačně redukční potenciál záporný (až -300 mV). Je pak nezbytné odstranit poslední zbytky kyslíku chemicky. Nejprve je nezbytné snížit obsah kyslíku termicky pod $20\mu\text{g l}^{-1}$. Tato požadovaná nízká koncentrace je předpokladem toho, aby po přidání dezoxidačního činidla (siřičitan, hydrazin) byl obsah kyslíku minimální a redox potenciál dostatečně záporný. Pro horkovody se převážně používá chemické odplynění.

4.6.2 Alkalizace

Tuhé alkalizační prostředky (fosfát, NaOH) se používají zejména k alkalizaci oběhové vody teplovodních a horkovodních kotlů. Fosfát je schopen tvořit splývavé ochranné povlaky. Při eventuálním průniku tvrdosti, např. z kondenzátu, vzniká kal fosforečnanů železa, vápníku a hořčíku, který lze snadno odkalit. Proto je v normě předepsán obsah fosfátu v kotelní vodě pro odstranění zbytkové tvrdosti a vytvoření kvalitní ochranné vrstvy na stěně várníc.

Fosfát se obvykle dává do bubnu kotle, aby nedošlo k vylučování případných sraženin v ekonomizéru, příp. v ohřívácích. Pak ovšem není chráněna trasa napájecí vody. U kotlů nižších parametrů se fosfát, příp. NaOH dávkuje do napájecí nádrže. Při dávkování před termickým odplyněním dochází k nežádoucímu převedení volného CO_2 na HCO_3^- , který není v odplynění rozložen a rozkládá se až v kotli.

Při použití fosfátu jako alkalizačního prostředku je možný vznik nízkého pH pod nánosem přítomnosti primárních nebo sekundárních fosforečnanů. Při poklesu pH na hodnotu, kdy se mohou vyskytovat sekundární fosforečnany, vzniká tzv. fosfátová koroze, kdy dojde místně k porušení ochranné magnetitové vrstvy, tvorbě fosforečnanů železa a značnému rozpouštění materiálu trubkové stěny.[22]

Fosforečnan sodný

Fosforečnan sodný dávkuje do napájecí vody z důvodů odstranění zbytkové tvrdosti, udržování optimálního pH a tvorby ochranné vrstvy v tlakových systémech kotlů a topného systému ze strany vody.

Optimální koncentrace fosforečnanu sodného v kotelní vodě je 10 – 30 mg/l.

- *Nízký obsah fosforečnanu sodného (pod 5 mg/l)* – nedochází ke vzniku výše popsaných jevů, což má za následek tvorbu kotelního kamene, vznik korozivního prostředí a absenci ochranné vrstvy ze strany vody. Obsah fosforečnanu sodného zvýšíme jednak zvětšením výkonu dávkovacího čerpadla nebo zvýšením koncentrace zásobního roztoku.
- *Vysoký obsah fosforečnanu sodného* – je-li obsah fosforečnanu sodného v kotelní vodě vyšší než 30 mg/l je voda zbytečně zasolena a takovéto dávkování je neekonomické, nehledě ke vzniku většího množství sraženin. Obsah fosforečnanu sodného klesne snížením výkonu dávkovacího čerpadla nebo snížením koncentrace zásobního roztoku, popřípadě pravidelným odkalováním kotelního systému bahníkem.[23]

5 Analýza metod čištění deskových výměníků

Metody čištění deskových výměníků záleží především na tom, zda je deskový výměník rozebíratelný nebo kompaktní.

Deskové výměníky tepla mědí pájené se díky své kompaktnosti nemohou čistit mechanicky a proto je nutné chemické čištění, a to periodické při poklesu výkonu nebo při zvýšení tlakových ztrát. Pokud by totiž ve výměníku vlivem zanášení došlo k úplnému ucpání jednotlivých kanálků nebo dokonce celého výměníku, je takový výměník nevyčistitelný.

Podle publikace [18] existuje rozdělení čištění deskových výměníků na:

- a) metody čištění on-line,
- b) metody čištění off-line.

Čištění vnitřních povrchů lze rozdělit podle druhu technologie, kterou se čištění provádí, na mechanické a chemické. I když se tato práce zabývá chemickým čištěním, je dobré si porovnat obě technologie. Mechanické čištění k odstranění nečistot využívá kinetickou energii abrazivních prostředků a nástrojů, ale i podchlazených médií (dusíku), vysokotlakého paprsku či proplachu.

Z mechanických technologií čištění je to především tryskání lehkými prostředky (např. soda, suchý led, korund), vysokotlaké čištění vodou či speciálními nástroji (kartáči) prostřelováním za působení směsi vody a vzduchu či speciálními způsoby (dusíkem).

Výhody mechanického čištění:

- zařízení k čištění je přenosné;
- nízké zatížení životního prostředí;
- rychlost a nízké náklady.

Nevýhody mechanického čištění:

- při těchto metodách čištění je nutné soustavu alespoň částečně rozebrat;
- vždy zbývá zbytková vrstva nečistot na čištěném povrchu, nelze dosáhnout dokonale čistého povrchu;
- nelze použít pro systémy s tenkou stěnou potrubí

5.1 Metody čištění on-line

5.1.1 Zvukové čištění

Metoda zvukového čištění využívá zvukové vlny k vytvoření turbulencí v proudícím médiu. Tyto turbulence způsobují uvolnění nanesených vrstev, případně zabraňují usazování. Používají se slyšitelné (frekvence cca 75 Hz) nebo infrazvukové (cca 10 až 35 Hz) vlny. Infrazvukové vlny vyvolávají vyšší turbulenci, což vede k vyšším čisticím účinkům, ale zvyšuje se riziko konstrukčních poškození výměníku. Zvukové čištění je přímá metoda s optimálním rozmezím několika minut mezi čisticími cykly. Uplatnění této metody je spíše v prevenci zanášení než v odstraňování již nanesených vrstev, nejlepší je kombinace s jinou metodou čištění. Hlavní výhodou jsou nízké provozní i udržovací náklady. Nevýhodou je velký hluk a nemožnost čistit špatně přístupné plochy

5.1.2 Chemické čištění

Při přípravě teplé vody dochází k tvorbě vápenných a vápeno-hořečnatých inkrustů. Jejich likvidace je poměrně snadná i za nízkých teplot za pomoci široké řady vhodných kyselin. V otopných soustavách s upravenou topnou vodou se nachází nízká zbytková vápenná tvrdost a vytvářejí se zde ve větší míře železité úsady, zejména oxidy, které jsou často kombinovány s vápennými složkami ve formě uhličitanů železa. Odstraňování těchto usazenin je již složitější podle toho, jaký je v nich podíl železa. Nejčastěji se používají agresivnější směsi kyselin. Biologické usazeniny (tuk, oleje, ropné látky, barvy atd.) se likvidují pomocí silných louhů s alkalitou okolo 10 až 11 pH.

Při chemickém čištění je nutné se vyvarovat použití čisticích přípravků, které by mohly narušit samotný výměník a je nezbytné dbát doporučení výrobců. Pro čištění nerezových deskových teplosměnných ploch výměníků nelze použít přípravky způsobující korozi nerezové oceli, a to zejména kyselinu dusičnou nebo kyselinu solnou v jakékoliv koncentraci.

Periodické chemické čištění se provádí u deskových pájených výměníků, jinak by mohlo vlivem zanášení dojít k úplnému ucpání jednotlivých kanálků nebo dokonce celého výměníku a tento výměník by musel být nahrazen novým. U těchto výměníků nelze použít čisticí přípravky napadající měď, zejména kyselinu sírovou. Pokud je takový výměník zanesen tak, že čisticí přípravek nemůže protékat výměníkem, je toto čištění bezvýsledné.

U rozebíratelných deskových výměníků (svařované, stahované) je chemické čištění limitované zejména odolností použitého mezideskového těsnění. Poněvadž

materiálů používaných pro výrobu mezideskového těsnění rozebíratelných deskových výměníků je značné množství se zcela odlišnými vlastnostmi, nelze obecně určit, které čisticí přípravky jsou vhodné a které nikoliv. Pro používaná pryžová těsnění lze použít většinu běžných čisticích přípravků, ale i mezi nimi jsou podstatné rozdíly v závislosti na koncentraci a teplotě použitého roztoku. Zejména se nedoporučuje používání různých louhů, které způsobují nabobtnání pryžového těsnění.

5.2 *Metody čištění off-line*

Nelze-li z různých důvodů použít některou z on-line metod čištění, je nutné zařízení odstavit a zanesené plochy desek vyčistit off-line metodami čištění.

Některé firmy nabízejí i svá servisní centra, ve kterých jsou umístěna čisticí zařízení jak stacionární tak mobilní. Na stacionárním zařízení trvá čištění výměníku podle stupně znečištění a vytíženosti cca 2 až 5 dnů. Pomocí mobilních zařízení CIP (Cleaning In Place) je možné čistit výměníky přímo v místě instalace. Pro čištění výměníků se používají specializované čisticí roztoky včetně roztoků neutralizačních, které se dodávají v tekutém nebo práškovém stavu pro usnadnění manipulace a likvidace obalu.

5.2.1 Manuální mechanické čištění

Usazeniny jsou odstraňovány pomocí kartáčů, škrabek, mechanických kladiv či vibrátorů. Manuální mechanické čištění je časově náročné a většinou nebývá dosaženo požadované čistoty ploch desek. Proto často následuje některá z dalších důkladnějších metod.

5.2.2 Čištění pískem

Plochy desek určené k čištění jsou vystaveny působení vysokotlakého proudu speciálního písku. Směs písku a odstraněného nánosu je speciální odpad, který vyžaduje zvláštní zacházení. Nevýhodou této metody je nebezpečí erozivního poškození materiálu desek.

5.2.3 Čištění vodou

Manuální čištění pomocí vodních trysek nebo vysokotlakým proudem vody může být využito k odstranění usazenin na deskách v rozsahu celého deskového výměníku.

5.3 *Nové metody čištění*

Před několika roky se v zahraničí objevila nová metoda [25] pro detekování kritického množství usazenin na určité desce výměníku, pro určení místa se zvýšeným výskytem koroze nebo přímo již vzniklého otvoru v desce způsobeného korozí. Metodou lze přímo pomocí směsi plynu vhněného do výměníku lokalizovat dané místo a následně ho podrobit po rozebrání opravě, výměně poškozené desky nebo přímému vyčištění určité desky. Metoda je použitelná pouze pro rozebíratelné deskové výměníky.

5.4 *Kontrola zanášení deskových výměníků*

Pro kontrolu zanášení deskových výměníků během jejich provozu se mohou použít následující způsoby.

5.4.1 *Monitorování zanášení in situ*

Monitorování deskového výměníku během provozu dokáže poskytnout poměrně přesné údaje o jeho zanášení, neboť zanášení je vždy doprovázeno snížením tepelného výkonu nebo nárůstem tlakové ztráty.

5.4.2 *Kontrola odstaveného výměníku z provozu*

Pokud začne deskový výměník během provozu vykazovat značný pokles tepelného výkonu nebo nárůst tlakové ztráty v důsledku možného zanášení, je nutné jej odstavit z provozu a provést přímý rozbor zanášení. K určení příčiny zanášení je možné z výměníku odebrat vzorky usazenin a provést jejich chemický rozbor. Po vyhodnocení všech zjištěných údajů jsou navržena opatření zamezující jeho další zanášení. Deskový rozebíratelný výměník je zvoleným způsobem vyčištěn, smontován a opět uveden do provozu.

V případě deskových nerozebíratelných výměníků je situace složitější. Po odstavení výměníku z provozu a jeho demontování z technologické linky, sestavy vytápění nebo přípravy teplé vody, je výměník podroben zvolené metodě čištění podle zjištěného druhu či typu usazeniny. Ve většině případů po vyčištění těchto výměníků dochází k trvalému snížení přenosu tepelného výkonu a ke zvýšení tlakových ztrát vlivem nemožnosti provedení dokonalého odstranění usazenin. Pokud je již při návrhu výměníku s touto situací uvažováno, výměník je možné opět zařadit do technologické sestavy. V opačném případě nezbyvá nic jiného než tento výměník vyřadit z provozu

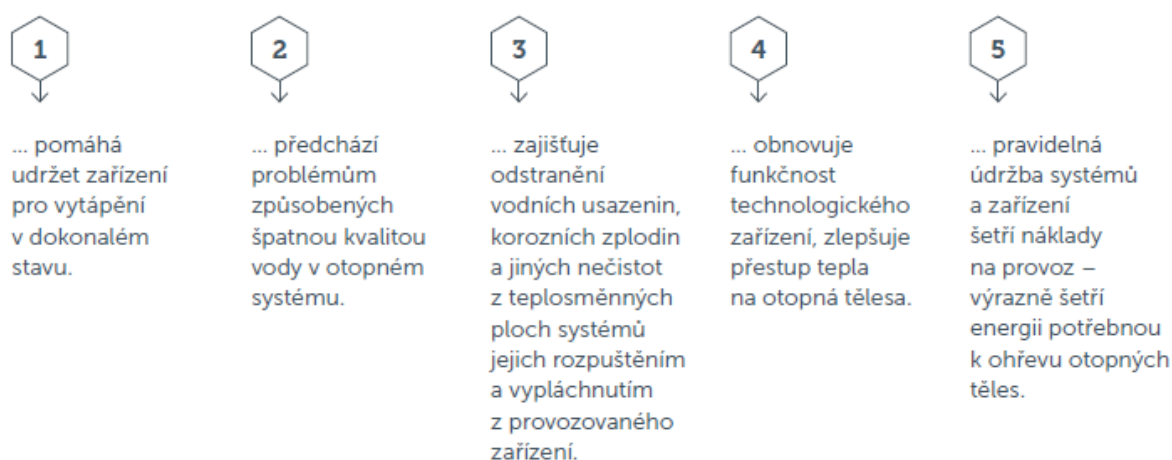
a nahradit ho výměníkem jiným, splňujícím požadavky z hlediska přenosových schopností a hydraulických poměrů. V každém případě se ale doporučuje výměníky během jejich provozu dále monitorovat.[18]

6 Chemické čištění

6.1 Proč je potřeba chemicky čistit

Chemické čištění představuje nejdostupnější způsob pro získání optimálně fungující topné soustavy. Díky komplexně řešené technologii je chemické čištění šetrné k životnímu prostředí a dá se říct, že je dnes nejefektivnější metodou pro pravidelné čištění zařízení od pevných usazenin.

5 důvodů proč chemicky čistit (obr. 9), podle firmy Finex technology:



Obrázek 9 – znázornění faktorů, které jsou důležité pro chemické čištění [26]

Při provozu teplovodních topných systémů dochází k postupnému vylučování minerálních a organických látek. V topných systémech tak nacházíme vodu silně znečištěnou kalem, vodním kamenem, produkty korozních procesů a někdy i nánosy tvořené koloniemi bakterií i řas. Na teplosměnných plochách se usazují minerály obsažené ve vstupní vodě a vytvářejí pevnou usazeninu – inkrust.

Tato skutečnost je příčinou zvýšení hydraulického odporu systému rozvodu, zvýšení tepelného odporu při prostupu tepla stěnami trubek, dochází také ke zvýšení spotřeby elektrické energie čerpadel a snížení dodávky tepla spotřebitelům. Inkrust působí jako izolant s malou tepelnou vodivostí a způsobuje nedostatečný přenos tepla.

Tvorba usazenin omezuje průtok topné vody trubkovými systémy i tepelnými výměníky, má za následek nedostatečné ochlazení topné vody ve zpáteční větvi, snížení účinnosti těchto tepelných zařízení a výrazné tepelné ztráty. Nedostatečné množství protékající topné vody v důsledku zúžení potrubí vede k nutnosti zvýšit teplotu topné vody k dosažení tepelné pohody.

Každé zvýšení teploty topné vody představuje zvýšení tepelných ztrát v rozvodech. Pevné usazeniny v rozvodech teplé užitkové vody, chladicích i topných systémech způsobují kromě možné poruchovosti zařízení i velké energetické ztráty, snižují funkční účinnost zařízení a při současných cenách energií i velké ztráty finanční.

Dle [60] 0,1 mm vodního kamene nebo rzi snižuje účinnost výměníků až o 30 %. Procentuální vyjádření snížení účinnosti otopné soustavy v závislosti na tloušťce usazenin dle firmy Finech technology [26]:

- 1 mm o 7,4–14,8 %
- 3 mm o 18,9–37,8 %
- 6 mm o 31,6–63,2 %

6.2 Zásady pro chemické čištění

Nejdůležitější při chemickém čištění je vyvarovat se použití činidel, narušující samostatný výměník a v každém případě dbát na doporučení výrobce. Další důležitou věcí je postupovat v souladu s hygienickými a bezpečnostními předpisy.

Obvyklým materiálem deskových výměníků je nerezová ocel AISI 316. Na čištění tohoto materiálu nelze použít činidla způsobující korozi této oceli, zejména kyselinu dusičnou a solnou v žádné koncentraci.

U pájených výměníků je další omezení v použité pájce, což je obvykle měď. Zásadně proto nelze použít činidlo, napadající měď, zejména kyselinu sírovou. U těchto nerozebíratelných výměníků nesmí dojít k úplnému zanesení, nemůže-li činidlo protékat výměníkem, je čištění bezvýsledné.[27]

6.3 Technologie pro chemické čištění

Základem chemického čištění jsou speciální průmyslové chemikálie na bázi vhodných vodných roztoků alkálií nebo kyselin určených k čištění těchto zařízení. Čištění a odstranění vodního kamene, kalu, sedimentů, korozních produktů a dalších nečistot z otopných a chladicích systémů.

Kovové oxidy jsou odstraňovány obecně technologií moření, při níž se korozní produkty rozpouštějí ve směsích kyselin. Nejčastěji je používáno moření v kyselině chlorovodíkové nebo sírové. Neželezné kovy lze mořit v alkalických roztocích (NaOH). Po procesu moření následuje pasivace povrchu.

Pokud nebyly k dispozici vhodné a bezpečné prostředky s vhodnými inhibitory, používaly se tyto chemikálie i k čištění vnitřních povrchů energetických systémů. Od těchto metod se z důvodů nebezpečí pro užívané materiály (korozivzdorná ocel, měď, mosaz) ustoupilo a není doporučováno jejich použití. Nahrazovány jsou progresivními prostředky s účinnými univerzálními inhibitory a urychlovači čisticích reakcí (například na bázi glyoxalu). Vhodné chemické čisticí prostředky navíc pasivují a konzervují vyčištěný povrch.

Výhody chemického čištění:

- Odstranění vodního kamene, kalu, sedimentů, korozních produktů a jiných nečistot z vnitřních ploch otopného systému je velmi rychlé (v hodinách) a levné;
- Zařízení k čištění jsou mobilní.
- Tento způsob čištění při použití vhodných čisticích prostředků je zcela bezpečný pro čištěná zařízení apod.[28]

6.3.1 Metody chemického čištění

- Intenzivní cirkulace nuceným oběhem (čerpadlo)
- Pozvolné čištění za provozu (postupné dávkování topného systému, odběry vzorků, delší doba)
- Intenzivní čištění bez cirkulace (zařízení je napuštěno silnější koncentrací a ponecháno v klidu).[29]

6.3.2 Čištění výměníků tepla

Zařízení sloužící pro přenos prostupu tepla mezi dvěma případně látkami. Nejrozšířenější druhy výměníků jsou deskové, trubkové.

Konstrukce výměníků musí vyhovovat provozním požadavkům. Mezi hlavní požadavky patří velký součinitel prostupu tepla, malý průtokový odpor, dobrá možnost čištění vyhřívací plochy, odolnost vůči korozi a hospodárné využití materiálu.

Teplovodní výměník je velmi kompaktní a účinný. Jeho nevýhodou je, že vyžaduje relativně velkou kapacitu výhřevnosti a má relativně velké tlakové ztráty. Kromě toho je deskový výměník velmi citlivý na usazování vodního kamene. Proto je nutné usazeniny vodního kamene pravidelně odstraňovat.

Namísto pracovního média protéká výměníkem tepla protiproudý čistící chemie, která rozpouštěním odstraňuje vodní kámen a usazeniny. Tento proces je podporován mechanickým turbulentním prouděním. Množství čistící chemie je přímo úměrné objemu zařízení. Musí být zajištěno dostatečné omývání znečištěných ploch výměníků. Výběr čistící chemie závisí na druhu znečištění výměníku – kalcifikace a druhu výměníku.

Pro deskové výměníky se doporučují roztoky obsahující určité množství kyseliny fosforečné, kyseliny oxálové, BCG – HR, R13; kyseliny citrónové a kyseliny fosforbutantricarbové.[29]

7 Ekologie v teplárenství

Ekologie je velice obsáhlé téma, na které by zcela jistě nestačil ani text jedné závěrečné práce. Po stručném celkovém zhodnocení ekologických dopadů teplárenství se v této kapitole budeme zaměřovat převážně na ty ekologické aspekty, které nejvíce souvisejí s nakládáním chemického roztoku pro zlepšení přestupu tepla v deskových výměnících, a tudíž i k úspoře přivedeného tepla.

Oblastí emisí síry, dusíku, oxidu uhličitého a prachu, které tvoří velmi diskutované odvětví teplárenství, se tato kapitola nebude příliš detailně zabývat.

Kapitola se bude zabývat přímými a nepřímými aspekty, které se dotýkají ekologie a chemického čištění, případně jaký vliv to má v důsledku, zlepšení environmentálních podmínek v teplárenství.

Tato kapitola je rozdělena do několika částí. První podkapitola se zabývá ochranou zdraví v důsledku možného styku s nebezpečnou látkou. Následující podkapitoly jsou zaměřeny na likvidaci odpadní vody po chemickém čištění. V hlavní podkapitole je vysvětleno, jaké environmentální vlivy může způsobit zanášení výměníků. Poslední podkapitola se zabývá environmentálními dopady čištění nánosů usazenin ve výměníku v teplárenství.

S rozvojem průmyslu a urbanizací se podstatně mění životní prostředí člověka. Na jedné straně se spotřebovávají suroviny, jejichž zásoby nejsou nevyčerpatelné, na druhé straně se do koloběhu látek dostávají škodlivé látky. Člověk vyrobil již 4 milióny druhů chemických látek. Jedná se převážně o plasty, umělá vlákna, barviva, léčiva, prací prostředky, průmyslová hnojiva, pesticidy. Jejich výroba je často spojena se znečišťováním vod a ovzduší. Některé tyto látky nebo jejich zbytky se dostávají do potravních řetězců a ohrožují organismy. Jiné se v přírodě hromadí, protože nedochází k jejich rozkladu. V současnosti je známo 20 000 látek, které jsou nebezpečné člověku. Jsou příčinou alergií a nádorových onemocnění, tzn. civilizačních chorob. Z anorganických látek je to hlavně kadmium (je mimo jiné součástí akumulátorových článků NiCd), z organických látek zbytky PCB (polychlorovaný bifenyl). Další rozvoj chemie směřuje převážně k používání látek, které se v přírodě mohou snadno rozložit a které neohrožují život.

Lidé svou činností vytvářejí odpad, který je vážným problémem naší civilizace. Některé odpady znečišťují vodu, vzduch a půdu, jiné se hromadí a zabírají příliš mnoho

místa. Nekontrolované hromadění odpadků (divoké skládky) nejenom poškozují vzhled krajiny, ale také znečišťují vodní zdroje. Řízené skládky je nutné provozovat podle přísných pravidel, zvláště skládky nebezpečného odpadu. Má-li být zajištěn trvale udržitelný rozvoj naší civilizace, je zapotřebí odpad recyklovat. To znamená přeměnit jej na druhotné suroviny k opětovnému použití. Aby komunální odpad nemusel končit na skládkách, je potřeba jej třídít. Pak je možné jej znovu zpracovat.

K velkým výdajům každé domácnosti v našich zeměpisných šířkách patří spotřeba tepla. Způsobů vytápění bytů, rodinných domů nebo výrobních prostor je několik. Při dálkovém vytápění se spaluje uhlí v teplárně, ohřívá vodu a mění ji v médium přiváděné k odběratelům. Tento komfortní způsob vytápění se používá hlavně ve velkých městech. K těm levnějším patří vytápění uhlím, je ale pracné (čištění kotle, vynášení popele) a nelze jej automatizovat. Jeho zplodiny zatěžují životní prostředí (zvláště je-li inverze), ve městech značně zatěžuje životní prostředí.[30]

Velké teplárenské společnosti dokončily v loňském roce většinu projektů zaměřených na ochranu ovzduší. Zásadního snížení emisí a zkvalitnění ovzduší se tak již dočkali obyvatelé ve většině krajských měst s uhelnými teplárnami. V porovnání s rokem 1990 dnes při výrobě 1 GJ tepla vypustí komíny tepláren do ovzduší méně než desetinu původního množství emisí síry, dusíku, oxidu uhličitého a prachu. Za uplynulé čtvrtstoletí tak klesla ekologická emisní zátěž dálkového zásobování teplem při vytápění domácností z tepláren i díky výrazným úsporám tepla při vytápění a ohřevu vody v domácnostech dokonce skoro dvacetkrát.[31]

V oblasti dálkového zásobování teplem vzniká každým rokem řada zajímavých novinek, které přispívají ke zlepšení životního prostředí a přinášejí ekonomické úspory zákazníkům. Teplárenské sdružení České republiky proto vyhláší soutěž s názvem „Projekty roku v systémech dálkového vytápění a chlazení“ již od roku 2002 a chce na tyto pozitivní příklady upozornit laickou i odbornou veřejnost[32]

7.1 Používání a bezpečnost chemických výrobků z hlediska zdraví a životního prostředí

Při chemickém čištění jsou používány různé nebezpečné chemické látky a směsi, přičemž práce s nimi představuje specifický zdroj ohrožení zdraví, případně i života. Je v zájmu každého, kdo s těmito látkami pracuje, ochránit se před škodlivými účinky všech používaných látek.

Základní povinností zaměstnavatelů je tedy vytvořit podmínky pro to, aby jejich zaměstnanci nebyli prací s chemickými látkami a směsí ohrožováni.

V současné době je základní právní normou zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích, ve znění pozdějších předpisů, a jeho prováděcí předpisy.

Předmětem zákon je stanovení práv a povinností podnikajících právnických i fyzických osob při zjišťování vlastností chemických látek a chemických směsí a při jejich klasifikace podle těchto vlastností, při jejich registraci, evidenci, oznamování, při jejich uvádění na trh a do oběhu a při nakládání s nimi a vymezení působnosti správních úřadů při zajištění ochrany zdraví člověka a životního prostředí před škodlivými úniky těchto látek a směsí a stanovení působnosti státních organizací pověřených kontrolou nebo dozorem nad dodržování tohoto zákona.[33]

Nakládání s látkou nebo přípravkem je výroba, dovoz, vývoz, distribuce, používání, skladování, balení, označování a vnitropodniková přeprava i jiné činnosti, jejímž předmětem je látka nebo přípravek. Uvedení na trh je zpřístupnění látky nebo přípravku jiné právnické osobě (organizaci) nebo fyzické osobě.[34]

Nebezpečné látky a směsi jsou takové látky a směsi, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností, a pro tyto své vlastnosti jsou klasifikovány za podmínek stanoveným zákonem č. 350/2011 Sb. jako výbušné, oxidující, extrémně hořlavé, vysoce hořlavé, hořlavé, vysoce toxické, toxické, zdraví škodlivé, žíraví, dráždivé, senzibilizující, karcinogenní, mutagenní, toxické pro reprodukci, nebezpečné pro životní prostředí.[33]

7.1.1 Základní požadavky na zajištění bezpečnosti technologií

S ohledem na používání chemických směsí obsahující hořlavé složky, těžké kovy a další toxické látky, a vzhledem k používání chemických látek typu louhů a kyselin, je nezbytečně nutné dodržovat technologické postupy pro obsluhu zařízení a pracovní postupy pro používání chemických látek a přípravků.

Zaměstnavatel je povinen vypracovat pro každou používanou technologii místní provozní a bezpečnostní předpis, který musí obsahovat např.:

- Stručnou charakteristiku používaných látek a směsí, jakož i míst se zvýšeným nebezpečím požáru či výbuchu.

- Pokyny pro obsluhu zařízení, nastavení a zkoušení měřících a regulačních, zabezpečovacích a signalizačních zařízení.
- Lhůty a rozsah prohlídek, kontrol, revizí a zkoušek.
- Instrukce k používání osobních ochranných pracovních prostředků.

Zaměstnavatel je rovněž povinen seznámit všechny pracovníky pověřené činnostmi na zařízení chemického čištění a s tímto předpisem, s požárním předpisem, se zásadami bezpečného zacházení s nebezpečnými látkami a směsi a musí je zaškolit v obsluze zařízení. Před pověřením samotnou obsluhou zařízení musí být pracovníci přezkoušeni z teoretických i praktických znalostí obsluhy zařízení.[33]

Čistící roztoky používané pro chemické čištění výměníků bývají silně kyselé a zásadité kapaliny. Mohou způsobit vážná poranění kůže nebo očí, proto je nutné nosit ochranné pomůcky při práci s čistícím zařízením. Obsluha zařízení by měla zabránit vytečení nebo rozlití kapaliny.

Alkalita nebo kyselost čistícího roztoku se během čistícího procesu snižuje, ale i tak jsou roztoky stále silnými zásadami nebo kyselinami. Pokud průmyslový závod nemá vlastní zařízení pro čištění odpadních vod, musí se čistící roztoky zneutralizovat na pH 6-8 ještě před vypuštěním z okruhu čistícího zařízení. Po neutralizaci je možno většinu čistících roztoků vypustit do veřejných kanalizačních sítí za předpokladu, že usazeniny neobsahují těžké kovy nebo jiné toxické sloučeniny. V každém případě, je dobré zanalyzovat chemikálie po neutralizaci, zda neobsahují nějaké nebezpečné sloučeniny, odstraněné ze systému a případně projednat tuto záležitost s místními vodohospodářskými orgány, příslušnými pro likvidaci odpadních vod.[35]

7.1.2 Kyseliny

Silné minerální kyseliny, jako kyselina sírová, chlorovodíková, fluorovodíková mají silný leptavý účinek na kůži a sliznice. Nejzávažnější poleptání způsobuje kyselina fluorovodíková, která prakticky okamžitě proniká kůží a způsobuje hluboké, špatně se hojící rány. Naproti tomu ostatní minerální kyseliny působí pomaleji, takže včasné důkladné omytí postiženého místa velkým množstvím vody může zcela zamezit poleptání. Leptavé a dráždivé účinky mají i slabší kyseliny, např. kyselina octová, šťavelová, či citrónová (koncentrované roztoky).[36]

7.1.3 Žíravé látky jako zdroj rizika úrazu

Žíravé látky jsou látky, které působí při potřísnění poškození pokožky a sliznic. Popálení žíravými látkami je běžným případem úrazu v chemické laboratoři. Důsledkem jsou poškození pokožky, puchýře, přechodné skvrny či trvalé jizvy. Pokožka na ruce je vůči působení odolnější, pokožka na obličeji citlivější. Příkladem žíravých látek jsou: kyselina sírová, kyselina dusičná, kyselina chlorovodíková, koncentrovaný peroxid vodíku, roztok hydroxidu sodného, roztok hydroxidu draselného, koncentrovaný roztok amoniaku, brom.[36]

7.2 Likvidace chemické látky po čištění

Po procesu chemického čištění je vždy vyžadována správná likvidace chemicky znečištěné vody. Likvidace musí být vždy v souladu s legislativami dané země. Pro likvidaci znečištěných vod je zapotřebí řízené skládky, které z důvodu velké finanční zátěže si nemůže dovolit vlastnit každá společnost. Z hlediska odpadních vod je nutné se řídit nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Skladování pevného odpadu je řízeno zákonem č. 185/2011 Sb. Z tohoto zákona vyplývá, že kaly po chemickém čištění obsahují nebezpečné látky. Vyhláška č. 294/2005 Sb. určuje podmínky ukládání odpadu. Složení odpadu a jeho vyluhovatelnost jsou kritériální podmínky pro přijetí odpadu na skládku. V následující tabulce jsou uvedeny maximální přípustné hodnoty prvků, které mohou být v odpadních vodách po chemickém čištění. Jelikož se jedná o nebezpečné látky, platí třída vyluhovatelnosti III.[37][38][39]

Výluhová třída je množina nejvýše přípustných hodnot koncentrací ukazatelů vybraných škodlivin v prvním vodném výluhu odpadu připraveném podle ČSN EN 12457-4.[40]

Tabulka 1 – Nejvyšší přípustná hodnota škodlivin v odpadních vodách dle vyhlášky č. 294/2005 SB [37]

Ukazatel	Třída vyluhovatelnosti III (mg.l^{-2})
Chloridy	2500
Fluoridy	50
Sírany	5000
Chrom	7
Měď	10
Zinek	4
Rozpouštěné látky	10000

7.3 Čištění průmyslové odpadní vody

Odpadní voda je voda, která může ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Čistí se buď v přímo v podniku, nebo v městských čistírnách odpadních vod. Kyselina, která je obsažena v roztoku, se kterým se čistí energetické zařízení je rozpuštěná organicky biologicky rozložitelná.[41]

Podle [39] se technologie na úpravu vody může rozdělit do tří obecných skupin. Fyzikální metoda, chemická metoda a energeticky intenzivní metoda. Fyzikální metoda bývá kombinována s metodou chemickou.

Fyzikální metoda čištění odpadních vod bývá použita při separaci pevných látek z kapaliny. Nejrozšířenější technologie spočívá ve filtraci.

Chemická metoda čištění odpadních vod je založena na základě chemických reakcí s kontaminanty, které chceme z vod odstranit. Aplikované chemické látky oddělují nečistoty z vody nebo neutralizují škodliviny obsažené ve vodě.

Energeticky intenzivní metoda, jež je založena na termálním upravení vody, má dvojí úlohu při úpravě vody. Slouží ke sterilizaci vody, tedy k zajištění kvality pitné vody nebo tato metoda může být použita ke zpracování pevných odpadů nebo kalů.

7.4 Environmentální aspekty zanášení výměníků

Problému zanášení výměníku tepla, který má rozsáhlé environmentální dopady, není věnováno příliš pozornosti. Důsledky mohou být někdy velmi zjevné, ale většina dopadů je méně zřejmá a je skrytá ve všeobecné průmyslové činnosti.

Hlavním účelem výměníku tepla, jak to naznačuje název, je přenášet teplo co nejúčinněji. Obecně platí, že teplo použité v průmyslových procesech pochází z primárního zdroje paliva, např. fosilních paliv, biomasy nebo spalování odpadu. Teplo může být získáno přímo pro použití ve výrobě, např. v potrubí ještě na ropné rafinérii. Je snad více obvyklé pro spalování tepla používané k získávání páry jako přímé použití topného média nebo ve spojení s turbínou k výrobě elektřiny. Neefektivity, které jsou způsobené především zanesením povrchu přestupu tepla, které se vyskytují ve výměnících, vedou ke spotřebě dodatečného paliva tak, aby se vyrovnal deficit mezi tím, co je teoreticky určeno a tím, jaká je následná dosažená skutečnost v praxi.

S cílem snížit náklady na energii, zejména ve velkých zpracovatelských operacích, jako je chemický komplex nebo ropná rafinérie, je nezbytné obnovit

co nejvíce tepla. V rozsáhlých provozech existuje pravděpodobně komplexní uspořádání tepelných výměníků, které mohou být optimalizovány aplikací konceptu integračního procesu nebo tzv. „pinch technologií“. Účinnost celého procesu rekuperace tepla však závisí na součtu účinnosti každého jednotlivého výměníku tepla v síti.

V obecných podmínkách by mělo být možné opětovně použít množství tepla, které se podílí na zpracování s výjimkou, kdy se teplo používá při endotermických reakcích nebo kdy se teplo degraduje na relativně nízkou teplotu. Možnost využití nízko potenciálního tepla je ovlivněna celkovou tepelnou účinností. Součet těchto jednotlivých neefektivit opět vzrůstá a ovlivňuje pokles rekuperace tepla, který musí být nahrazen na zdroji energie, tudíž zapříčiňuje spalování primárního paliva. Účinnost jednotlivých výměníků tepla je pro daný soubor provozních podmínek, čili teploty a průtoku, je do značné míry regulována rozsahem znečištění, které se vyskytuje na obou stranách výměníku. Kromě odolnosti přestupu tepla přítomnost usazenin omezuje průtok a pro daný výkon se zvýší tlaková ztráta ve výměníku. K udržení průtoku pro dodržení daných podmínek v procesu to bude znamenat zvýšení čerpací práce. V mnoha průmyslových soustavách se používají elektricky poháněné čerpadla, tudíž zvýšený požadavek na energii se výrazně projeví při zvýšeném spalování paliva.

Stručně řečeno, neefektivita při rekuperaci tepla a související zvýšení čerpací práce v důsledku zanesení výměníku tepla, bude mít vliv na životní prostředí, a to díky zvýšenému spalování paliva a s tím souvisejícím zvýšením emisí, tj. částic pevných látek a skleníkových plynů.

Mnoho průmyslových provozů, např. elektrárny vyžadují použití velkého množství chladicí vody. Často je účinnost chlazení narušena přítomností usazenin na povrchu přenosové části tepla. V závislosti na zdroji vody mohou být nánosy biologické, částicové nebo anorganické. Neefektivita chlazení v elektrárně může snížit přeměnu energie obsažené v primárním palivu na elektrickou energii. Výsledkem je, že pro daný elektrický výkon je třeba spálit více paliva a s tím i souvisí produkce dalších emisí. Mimo jiné, stejně jako při rekuperaci tepla přítomnost usazenin na povrchu teplosměnné plochy u výměníku tepla zvyšuje tlakovou ztrátu v chladicím systému a následně zvyšuje energii potřebnou pro daný výkon a další příspěvek k emisím díky spalování.

Mnoho chladicích systémů používá vodu z přírodních zdrojů, např. řeky, jezera nebo kanálu. Po použití se voda často vrací do zdroje, z kterého přišla. Kvůli kontrole tvorby usazenin v chladicích systémech a vzhledem k tomu, že mají často biologický

charakter, je obvyklé použití biocidů. Vypouštění vody do původního zdroje ohrožuje životní prostředí nejen z důvodu tepelného znečištění (kap. 7.5.), ale také znečištění zbytkem biocidů. Chlór je již mnoho let preferovaným biocidem, ale tento prvek přetrvává v životním prostředí a některé chlór-organické sloučeniny jsou toxické a karcinogenní. Proto jsou vytvářeny tzv. ekologicky šetrné biocidy, které nemají vliv při jejich použití na životní prostředí, ale mohou tak učinit v procesu, při kterém jsou vyráběny.

Přítomnost znečišťujících usazenin ve výměnících tepla způsobuje další náklady. Vedle snížené rekuperace tepla a zvýšené tlakové ztráty je dalším nákladem následovné vyčištění výměníku tepla. Čištění často zahrnuje použití velkého množství vysokotlakové vody (u trubkových či rozebíratelných výměníků). Výsledný výtok může představovat riziko pro životní prostředí, pokud není odpadní voda ošetřena před vypuštěním. Není-li možné použití vysokotlakové vody, může být použito chemické čištění, které zahrnuje více než jednu chemikálii. Podle samotné povahy procesu chemického čištění, chemické látky mají agresivní charakter. Jako takové již představují riziko pro životní prostředí. Zpracování chemikálií bude s největší pravděpodobností vyžadováno před likvidací vyčerpané čisticí kapaliny a tato povinnost je spojena i s dodatečnými náklady.

Přítomnost usazenin na povrchu části přestupu tepla a zmírnění zanášení výměníků tepla představují vážné nebezpečí pro životní prostředí. V první řadě přispívá k většímu využívání energie pocházející ze spalování primárních paliv a následně k problému emisí, zejména k vypuštění skleníkových plynů. Je pravděpodobné, že podstatné snížení zanášení výměníku tepla v celém světovém průmyslu by mělo značný vliv na splnění cílů ohledně snižování celosvětových emisí CO_2 .

Navíc použití fyzikálních technik, jako jsou elektrická pole, vložky a ultrazvuk, na rozdíl od chemických látek proti znečištění, ve vodních systémech, snižují ekologické dopady vypouštění do životního prostředí.

Koncept nulového vypouštění je v některých průmyslových odvětvích aktivně prováděn. Jak název naznačuje, voda je po vhodném zpracování opět použita. Přestože to může snížit dopad na životní prostředí, náklady mohou být vysoké.

Je tedy značná potřeba pro výzkum životaschopných technologií, které by zmírnily znečištění ve výměnících tepla a současně snížili dopad na životní prostředí.[42]

7.4.1 Vztah CZT a jiných průmyslových odvětví k životnímu prostředí

Každá průmyslová činnost, a tedy i CZT působí na své okolí. Toto působení může být kladné (utváření vhodného pracovního prostředí v zimním období apod.) nebo negativní (vypouštění škodlivých emisí, hluk apod.) Při porovnání CZT s jinými způsoby zásobování teplem je nutno porovnávat také jejich vliv na životní prostředí.

Protože kombinovaná výroba elektřiny a tepla v teplárenském cyklu snižuje spotřebu tepla, a tedy i paliva až asi o 40 %, zhruba v průměru asi o třetinu proti rozdělené výrobě, je většina negativních vlivů, zejména znečišťováním ovzduší emisemi, menší. I přes všechny tyto výhody CZT k ekologii, je nutné říci, že právě díky zanášení nečistot v energetických zařízeních dochází k zvyšování spotřeby paliva a tudíž i větším emisím.

Ve většině průmyslových odvětví mohou být významné hospodářské ztráty způsobeny znečištěním. Celkové náklady spojené se znečišťováním pro velké průmyslové země se odhadují na více než 4,4 miliardy dolarů ročně. Jedním z odhadů jsou ztráty způsobené znečištěním výměníků tepla v průmyslových zemích přibližně od 0,25% do 30% jejich HDP.[43][44]

Tato publikace nepojednává o CZT nicméně se na to váže spojitost. Znečištění je zodpovědné za emise mnoha milionů tun oxidu uhličitého, stejně jako použití a likvidace nebezpečných čistících chemikálií. Údaje z ropných rafinérií naznačují, že znečištění ropy tvoří asi 10% celkových emisí CO_2 těchto zařízení. Odpady vznikající při čištění výměníků tepla mohou obsahovat nebezpečné odpady, jako je olovo a chrom, i když některé rafinérie, které nevyrábějí olovnatý benzin a které používají inhibitory nekorodující koroze, obvykle nevytvářejí kal, který tyto složky obsahuje. V průběhu čištění výměníku tepla se vytváří také olejová odpadní voda. [46]

Tvorba usazenin nastává ve většině procesů rafinace, chemie, odsolování a vytváření energie. Tento rozšířený jev je spojen s významným dopadem na životní prostředí. Další spotřeba energie vede k 1-2,5% celosvětových emisí CO_2 . [47]

7.5 Tepelné znečištění vody

Specifickou formou znečištění vody je znečištění tepelné. Dochází k němu v případech, kdy vratná voda má vyšší teplotu než voda v přírodním prostředí. Jedním z hlavních zdrojů tepelného znečištění recipientů jsou tepelné elektrárny a velké průmyslové podniky, kde se do vodních toků odvádí extrémně vysoké množství vody

ohřáté o víc jak 10 °C. Zdrojem tepleného znečištění mohou být i některé průmyslové provozy, které odvádějí svou odpadní vodu přímo do řečiště. Toto znečištění bývá zvláště intenzivní na malých tocích, kam vtékají různé průmyslové odpadní vody, vypouštěné do toku většinou nárazově, v dost vysokém množství a koncentraci. Při vypouštění oteplených vod do řek dochází ke smíšení vod. Průběh promíchávání (oteplování) závisí na:

- rychlosti proudění vody v řece,
- množství protékající vody,
- výměně (konvekci) tepla mezi oteplenou a říční vodou,
- objektech na vodním toku.

Při vypouštění oteplené vody do jezer a nádrží dochází k rozprostření oteplené vody horizontálně v hloubce s ohledem na hustotu vody. Ochlazování vody v nádržích nastává:

- zvýšeným výparem,
- vyzařováním,
- výměnou tepla mezi vodní plochou a vzduchem.

Zvýšení teploty vody ovlivňuje bilanci rozpuštěného kyslíku ve vodě a to ve dvou směrech:

- zvýšená teplota zrychluje metabolismus organismů, což je provázenou zvýšenou spotřebou kyslíku,
- vlivem vyšší teploty se urychluje oxidace odpadních organických látek a množství kyslíku klesá (protože limitní množství rozpuštěného kyslíku ve vodě klesá se zvyšující se teplotou).

Zvýšením teploty vody může vést u některých druhů ryb k zlepšení životních podmínek. Pstruh a losos ale zvýšení teploty vody nesnášejí.

Současně s popsáním jevem se uplatňují i druhotné vlivy. Např. oteplením vody může dojít k toxickým projevům některých látek, které jsou za normálních podmínek ve vodě nejedovaté. Také rozpustnost některých zdravotně závadných sloučenin (polycyklických aromatických uhlovodíků) se zvyšuje. Teplota vody ovlivňuje celou řadu fyzikálních chemických a biologických procesů. Maximální povolená teplota vody u vodárenských toků je 20 °C, u ostatních toků 26 °C.[45]

Právě u elektráren, které využívají chlazení vodou z řek, jako je tomu i např. u elektrárny Mělník I. která zároveň dodává tepelnou energii do soustavy Pražské

teplárenské je důležité, aby se nezanášely výměníky, které předávají teplo, a následně docházelo k vracení vody do řek v přirozeném stavu. Jedním z řešení je vyčištění výměníků.

8 Ekonomické aspekty údržby deskových výměníků a čištění

Menší účinnost výměníků má vliv na vyšší spotřebu energie, zhoršenou kvalitu produktů a bezpečnost provozu. Případná odstávka výroby z důvodu poruchy výměníku může vést k velkým ztrátám. Význam údržby je v tomto případě zřejmý.

Údržba deskových výměníků může vypadat jako velmi snadná záležitost a volba nekvalifikovaného dodavatele čištění jako cesta k úspoře času a nákladů. Je však třeba si uvědomit, že taková rozhodnutí mohou mít velice negativní dopady.

Při neodborné údržbě mohou být desky poškozeny mechanicky i chemicky. I malé defekty mohou být časem příčinou velkých problémů. Použití nevhodných nástrojů může významně zkrátit životnost zařízení nebo dokonce výměník úplně zničit. Riskuje se nejen nižší produktivita, ale také výrobní ztráty v důsledku havarijních odstávek.

Pořízení kvalitního deskového výměníku tepla představuje nemalou investici. Je dobré si jeho životnost pojistit buď kvalifikovaným servisem nabízeným například výrobcem deskových výměníků, jak je tomu u firmy Alfa Laval v ČR anebo si zajistit údržbu svépomocí, kde následné čištění a další údržbové práce na výměníku se dají dělat na místě. Servisní centrum však disponuje speciálním vybavením a odborníky a je tedy zárukou kvalitního a rychlého servisu. Navíc se postará o likvidaci odpadu a manipulaci s chemikáliemi.

Jak uvádí již zmiňovaná firma Alfa Laval, mít výměník odborně servisovaný není pouze praktické, ale má to také zřejmý ekonomický dopad. Obnovením maximální účinnosti přenosu tepla a tlakové ztráty dává jistotu, že se nebude plýtvat energie a bude zajištěna kvalita výroby a stejná produktivita. Pokud nedochází k únikům, nejsou chráněni jen zaměstnanci a vybavení, ale také životní prostředí.[48]

Společnosti nejenom v teplárenství, které mají v provozu deskové výměníky se mohou, pokud chtějí dosahovat maximálních zisků a omezit své ztráty z důsledku odstavení výměníku, zabývat otázkou, jak se dá zajistit maximální přínos jejich výměníků tepla. Porucha či ztráta výkonu ve výměníku tepla může zapříčinit významné výrobní nebo energetické ztráty. Pokud neustále udržujeme deskové výměníky tepla ve špičkové kondici spolu s jejich optimálním konstrukčním řešením, snižujeme významným způsobem celkové náklady. Analýzou výkonu výměníku tepla na základě aktuálního provozního stavu je možno provést optimalizaci konstrukčního návrhu

a výkonu výměníku tepla. Tato kapitola se podrobně zabývá optimalizací životního cyklu deskových výměníků tepla a nákladů, které zapříčiňuje problém zanášení výměníků. Dále také analyzuje možnosti, jak se dá monitorovat výměník tepla, aby se včas předešlo úplnému zanesení výměníku.

Najít správnou metodu čištění, díky které je dosaženo předpokládaného výkonu výměníku je důležitá část, která pozitivně ovlivní ekonomické ztráty. Pro každý materiál a konstrukci výměníku, či těsnění může být účinnější jiná metoda čištění. Pokud se bude jednat o chemické čištění, které je jediné vhodné pro pájené deskové výměníky, záleží účinnost čištění na čisticí látce. Jednak jak je vysvětleno v kapitole 7, nesmí škodit životnímu prostředí a také by měla být dostatečně účinná, tak aby odstranili nežádoucí nánosy.

8.1 *Optimalizace životního cyklu deskových výměníků tepla*

Deskové výměníky tepla hrají důležitou roli ve většině průmyslových provozech, zvláště pak u těch, které vyžadují nepřetržitý provoz. Porucha či ztráta výkonu výměníku tepla tedy způsobuje významné ztráty z hlediska produktivity podniku nebo elektrické energie. Abychom vytěžili maximum ze svých deskových výměníků tepla a tím vylepšili ekonomiku podniku, musíme v první řadě zaměřit svou pozornost na dvě hlavní oblasti:

- na optimalizaci výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím prediktivní údržby,
- na optimalizaci výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím přepracovaného konstrukčního návrhu.

Analýza aktuálního výkonu deskového výměníku tepla je prvním krokem pro optimalizaci výkonu. Pochopení toho, jakým způsobem funguje deskový výměník tepla v aktuálních provozních podmínkách, poskytuje klíčová data pro stanovení požadavků na údržbu a plánování údržby, což pomáhá zabezpečit dodávku správných náhradních dílů a servis v požadovaném časovém rámci. Optimalizací konstrukčního návrhu deskového výměníku tepla v každém stupni jeho životnosti podle aktuálních provozních podmínek je možné zabránit zbytečným ztrátám energií nebo ztrátě jakosti výrobku. Pro určení správného času na optimalizaci výměníku tepla by se mělo obecně zvážit vždy po několika letech provozování anebo kdykoli se vyskytnou následující činnosti:

- plánování navýšení kapacity výroby,

- potřeba snížit náklady na energii,
- výměníky tepla vyžadují častější čištění,
- změna procesního média nebo zpozorování, že se změnila kvalita provozního média.

8.1.1 Optimalizace výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím prediktivní údržby

Pro optimalizaci výkonu je důležité vědět, kdy a jak čistit deskový výměník tepla. Znečištěný a zanesený výměník tepla vyžaduje dodávání stále většího množství energie, aby dosahoval požadované teploty, a tudíž není správně používán. Pokud provádíme čištění jen zřídka, dochází k tomu, že výměník tepla je provozován za podmínek velkého znečištění a po zbytečně dlouhou dobu. Na druhou stranu příliš časté čištění znamená, že se údržba provádí zbytečně a náklady na čištění jsou příliš vysoké. Optimalizace intervalů čištění vnáší stabilitu do podnikových operací a přispívá k co nejvýhodnější rekuperaci a užití energie; umožňuje rovněž jednodušší a daleko méně nákladnější metody čištění. Nejčastěji se intervaly čištění zakládají na jedné z této trojice metod:

- monitorování výstupních teplot: čištění se zahajuje tehdy, když se výstupní teploty začínají lišit od požadovaných hodnot,
- monitorování poklesu tlaku: čištění se zahajuje tehdy, když dojde k poklesu tlaku pod předem stanovenou hodnotu,
- aplikace zkušeností z minulosti: čištění je prováděno v pravidelných intervalech, a to na základě ověřených dat a zkušeností z minulosti.

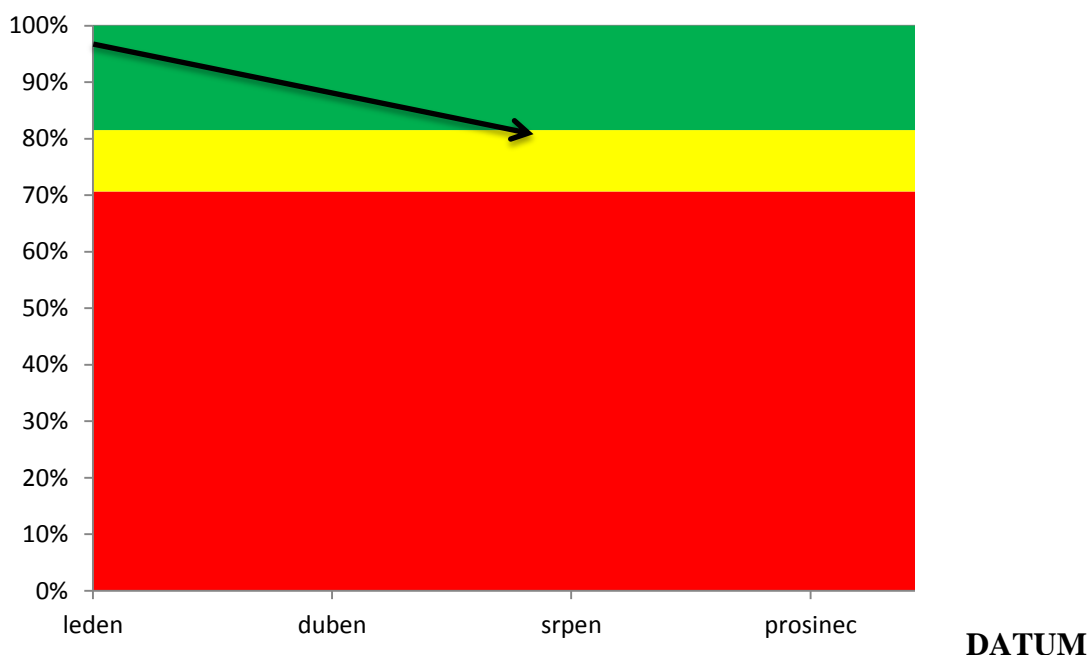
Všechny tyto metody se mohou jevit jako dostatečné, ale nejsou nikterak optimální. Monitorování teplotních odchylek či poklesu tlaku představuje reaktivní způsob údržby a vyžaduje provedení nápravného opatření poté, co poklesne výkon výměníku tepla. Často ovšem dochází k tomu, že nápravné opatření nelze provést kvůli aktuálním provozním činnostem podniku, avšak je bezodkladně vyžadováno pro minimalizaci prostojů u daného procesu nebo podniku. Čištění založené na zkušenostech a údajích z minulosti je účinné pouze tehdy, pokud jsou provozní podmínky stabilní.

Avšak zvážíme-li všechny faktory, jako je např. složení procesních médií, teplota chladicích nebo ohřívacích médií a případný růst biologických systémů uvnitř

výměníku tepla, nakonec se často ukáže, že provozní podmínky nejsou zase až tak stálé a neměnné.

Pokud je plánování čištění deskového výměníku tepla založeno pouze na těchto metodách, může snadno dojít k neplánovanému zastavení provozu. Metodu stanovení skutečného výkonu přibližuje blíže specializovaný článek od Alfa Lavalu[49]. Vyhodnocení této metody se dá dále zobrazit graficky (obr. 10), kde lze detailně poznat, kdy dojde k dalšímu čištění.

ÚROVEŇ VÝKONOSTI



Obrázek 10 – Výkonový graf zobrazující měření provedená na začátku roku, která signalizují pokles úrovně výkonu deskového výměníku tepla a zároveň předpověď, že následné čištění by mělo nastat v srpnu.[49]

Systém monitorování stavu nejenže poskytuje informace, zda čištění je už vyžadováno, ale rovněž naznačuje odpovídající způsob čištění. Například výměník tepla, který vykazuje známky nadměrného znečištění, se musí otevřít a nemůže být vyčištěn v souladu s konvenčním systémem místního čištění, při němž jsou používány chemické čisticí prostředky. Dvě nebo více měření nám pomocí interpolace pomůže předpovědět, kdy bude vyžadováno následné čištění. Další výhodou sestrojeného výkonového grafu je, že čisticí účinek může být kvantifikován, když provedeme měření jak před, tak i po čištění.[49]

8.1.2 Optimalizace výkonu deskového výměníku tepla prostřednictvím konstrukčního řešení

Změna konstrukčního řešení je reálnou metodou optimalizace výkonu deskového výměníku tepla. Když je do podniku dodán deskový výměník tepla, je optimálně určen pro specifické účely, které byly definovány v kupní smlouvě. Jinými slovy je navržen pro provozní podmínky v době nákupu. Nicméně po letech provozování má většina podniků naprosto odlišné provozní podmínky, jež se liší od těch, které byly původně specifikovány. Mohlo dojít ke změně objemu výroby, např. díky zateplení budov nebo odpojení zákazníků. Konstrukční řešení deskových výměníků tepla musí držet krok s těmito změnami procesu tak, aby byly zajištěny požadované teploty na výstupní straně a poklesy tlaku.

Nicméně změny teplot na výstupní straně a pokles tlaku jsou docela běžnými jevy kvůli změnám procesu. Jakékoli změny vstupní strany daného procesu mají přirozeně za následek změny na výstupní straně procesu, pokud ovšem nedojde ke změně konstrukčního řešení deskového výměníku tepla založené na novém vstupu. Změna konstrukčního řešení výměníku obvykle zahrnuje zvýšení počtu desek, aby odpovídal vyšším rychlostem průtoku. Nicméně někdy je nezbytné změnit typ desek a jejich profil za účelem dosažení nového teplotního programu anebo poklesu tlaku. Ve většině případů však rám a potrubí zůstávají nedotčené. Zda podnik uvažuje o změně konstrukčního řešení deskového výměníku tepla, tak to může být např. kvůli tomu, že výměníky tepla vyžadují stále častější čištění.

Jestliže si podnik všimne, že deskový výměník je zapotřebí čistit stále častěji, situaci je možné vylepšit změnou konstrukčního řešení deskového výměníku tepla tak, aby jeho stěny odolávaly většímu smykovému namáhání. Smykové namáhání je síla, kterou tekutina vyvíjí na desku stěny. Zvýšené smykové namáhání znamená, že kapalina působí větší smykovou silou na stěnu desky a tím sdírá nečistotu z povrchu desek. Toho je dosaženo zvýšením rychlosti proudění v kanálcích deskového výměníku tepla, a to buď odstraněním desek, anebo změnou vzorku desky, aby se zvýšila turbulence proudění.

Optimalizace životního cyklu zahrnuje mj. zajištění toho, aby byl daný deskový výměník tepla vhodný pro aktuální provozní zatížení, a rovněž snižování vedlejších nákladů na jeho provoz. Pokud se budou udržovat deskové výměníky tepla ve špičkovém stavu, včetně optimálního konstrukčního řešení, je větší jistota, že se tím

skutečně snižují celkové náklady. Plánovaná údržba deskových výměníků tepla nejenže chrání výrobu před nenadálými poruchovými stavy, ale rovněž minimalizuje používání náhradních dílů a nutnost servisních zásahů. Optimalizace konstrukčního provedení souboru desek zabraňuje ztrátě výkonu a zajišťuje jakost výrobku. Tímto se předchází zbytečným ztrátám a vylepšuje ekonomiku podniku.[49]

8.2 *Náklady způsobené zanášením výměníků*

Snížení přenosu tepla a zvýšená tlaková ztráta při znečištěných podmínkách může mít významný dopad na využití energie procesního zařízení. Oba efekty mají důsledky na provozní náklady. Ekonomické dopady zanášení výměníků tepla jsou především finanční zátěží v podniku a přitom tyto dopady nemusí být předpokládány již ve fázi návrhu výměníku tepla či během provozu.

Během počátečních fází vývoje výměníku tepla, když byly zvažovány základní koncepty konstrukce, byl problém zanášení hlavním znepokojením. Je běžné zahrnovat do návrhu přidaný dodatečný tepelný odpor. Výsledkem je zvýšení plochy přestupu tepla pro danou tepelnou zátěž a požadavku na změny teploty. Zvýšení oblasti přestupu tepla představuje zvýšení nákladů. Volba očekávaného zvýšeného odporu přestupu tepla způsobeného zanášením je zásadní pro konečné náklady na výměník tepla.

Pokud se předpokládá nadměrné znečištění a určitý výměník je nezbytný pro daný proces, může být obezřetným řešením dublovat výměník tepla, po následné akumulaci usazenin v základním provedení, tak může být výroba zachována bez nutného odstavení procesu.

Duplikace či předimenzování výměníku představují podstatné další investiční náklady, pokud se počítá se zanášením. Pokud jsou vyžadovány speciální konstrukční materiály, vzhledem k charakteristikám kapalin, které protékají výměníkem tepla, mohou být přidané náklady značné.

Pokud, není problém zanášení zajištěn ve fázi návrhu a odpovídající kroky nejsou zajištěny, může se vyskytnout problém, který povede k vážným potížím při provozu a údržbě, které zvyšují výrobní náklady. Nouzové odstavení výměníku může být nezbytné, protože výměník tepla rychle ztrácí účinnost přestupu tepla nebo může být pravděpodobnější, že nebude moci být zachován stejný průtok díky vysoký tlakový ztrátě způsobenou přítomností usazenin. Dalším následkem potřeby vysokých tlaků pro chod kapaliny výměníkem může být narušení spojů a těsnění či zvýšené opotřebení

příslušných čerpadel. Kromě toho může přítomnost usazenin podporovat korozí základního kovu a to zapříčiňuje dřívější výměnu výměníku.

Všechny faktory přímo způsobené zanášením představují zvýšené náklady na údržbu, které mohou být značné v některých případech. Tam, kde dochází k zanášení, dříve či později bude nutné vyčistit výměník tepla. Nejen, že proces čištění bude zahrnovat náklady na práci, ale může vyžadovat také zvláštní vybavení, zejména pokud jde o chemické čištění. Chemické čištění vyžaduje další oběh kapaliny, kde musí být čerpadlo, nádrže, potrubí, ventily a zakoupené chemikálie a následný proces čištění může produkovat odpadní vody, které vyžadují zpracování před vypuštěním.

V některých případech, kdy jsou usazeniny obtížně odstranitelné, mohou být škody fatální.

Dodatečná údržba a čištění znamená, že proces bude nutné odstavit, aby byl umožněn přístup, pokud by nebyla poskytnuta záložní zařízení. V důsledku toho dochází ke ztrátě produkce, která představuje ztrátu návratnosti kapitálových investic do technologického zařízení jako celku a snížení ziskovosti. Ztracená výroba v důsledku neplánovaného odstavení z jakéhokoliv důvodu, včetně zanesení, může mít podstatný efekt, pokud existuje silná konkurence.

Rovněž je třeba si uvědomit, že neustálé potíže s provozem technologického zařízení, zejména výměníku tepla, které jsou vystaveny nadměrnému zanášení, ovlivní morálku pracovní síly. Zvláště se může jednat o výrobní bonusy či odměny. Výsledkem těchto obav může být obecné snížení smyslu pro odpovědnost a špatného hospodaření. Tyto náklady jsou obtížně vyčísleny, ale s těmito personálními problémy jsou spojené sankce zahrnuté v nákladech.

Problém čištění vedl k nápravným technologiím, který například zahrnují on-line čištění nebo použití přísad. Účelem je zabránit vzniku znečištění nebo snížit účinky znečištění na výkon výměníku tepla. Zmírnění jakýmkoli prostředky bude zahrnovat dodatečné náklady buď z hlediska kapitálu pro související zařízení, nebo nákup daných chemikálií.

Náklady na znečištění výměníku tepla mohou být značné, i když hodně závisí na charakteru kapalin, konstrukci výměníku tepla a na podmínkách, za kterých je provozován.

Výše popsané ekonomické sankce lze shrnout do těchto bodů:

1. Zvýšené investiční náklady, tj. přídatná oblast přestupu tepla, zařízení pro čištění a zmírnění zanášení.

2. Dodatečná energetická náročnost povolující snížení obnovu energií.
3. Náklady na práci spojené s údržbou, zmírněním a čištěním.
4. Náklady na chemikálie proti zanášení.
5. Ušlé příjmy vyplývající ze ztracené produkce.
6. Náklady na výměnu zařízení.
7. Dodatečné náklady spojené s nízkou pracovní morálkou.[51]

9 Analytická část dané problematiky v Pražské teplárenské, a.s.

9.1 Představení společnosti PRAŽSKÁ TEPLÁRENSKÁ, A.S.

Pražská teplárenská a.s. (dále jen PT) navazuje svými aktivitami historicky na éru Elektrických podniků královského hlavního města Prahy (založeny v roce 1897).

Hlavním předmětem podnikání společnosti je výroba, přenos a odbyt tepla a elektrické energie. Předmětem podnikání je dále především údržba, opravy, rekonstrukce a modernizace energetických, elektrických, tlakových zařízení, rozvodných a teplovodních sítí a měřidel, projektová činnost a další.

PT je z hlediska počtu provozovaných zařízení jednou z největších teplárenských společností v Česku. Aktivity společnosti jsou soustředěny na oblast hlavního města a přilehlých oblastí.

V Praze společnost pokrývá téměř čtvrtinu trhu s tepelnou energií a dodává teplo pro více než 224.000 domácností, administrativních budov, průmyslových podniků, školských a zdravotnických zařízení a dalších subjektů. Hlavním akcionářem PT je společnost NPTH, která patří do Energetického a průmyslového holdingu (EPH), jehož majoritním akcionářem je JUDr. Daniel Křetínský. NPTH vlastní 50,58 procenta akcií PT. Další podíl EPH ve firmě vlastní díky svému podílu ve společnosti Pražská teplárenská holding, která je druhým největším akcionářem v PT a ve kterém má majoritu Praha.

Snahou PT je i nadále upřednostňovat teplo z velkých kogeneračních zdrojů, tj. z elektrárny Mělník I a ze ZEVO Malešice, což přináší vedle ekonomických výhod také efekt snižování negativních vlivů energetiky na životní prostředí v Praze. Důležitým krokem pro podporu ekologického řízení společnosti bylo získání mezinárodního certifikátu pro systém ekologického řízení společnosti dle ČSN ISO 14001 společně se systémem řízení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci dle ČSN OHSAS 18 0001, které PT nadále udržuje a rozvíjí. [58][60][61]

9.1.1 Základní údaje o společnosti

PT byla založena jednorázově Fondem národního majetku České republiky jako jediným zakladatelem 27. dubna 1992, vyčleněním ze státního podniku České energetické závody Praha a byla zapsána do obchodního rejstříku vedeného u Obvodního soudu pro Prahu 1 ke dni 1. 5. 1992. Základem byl k. p. ČEZ –

Teplárenské závody Praha, od kterého byly odděleny a samostatně zprivatizovány Elektrárna Kolín a Spalovna Vysočany.

Název společnosti: Pražská teplárenská a.s.

Sídlo: Partyzánská 1\7, 170 00 Praha 7

Právní forma: akciová společnost založená na dobu neurčitou

IČ: 45273600

DIČ: CZ4527600

Základní kapitál: 4 139 958 000 Kč

Počet zaměstnanců: 490[61]

9.1.2 Historie společnosti

Historie společnosti navazuje na bohatou a rozsáhlou historii éry Elektrických podniků královského hlavního města Prahy, které byly založeny v roce 1987.

Významným mezníkem v dalším rozvoji zásobování Prahy teplem byl vznik a. s. Pražská teplárenská 1. května 1992. S ní je spojena realizace projektu Zásobování hlavního města Prahy teplem z Elektrárny Mělník (ZTMP), který spojil Elektrárnu Mělník I se stávajícími zdroji Pražské teplárenské – Teplárnou Malešice, Výtopnou Třeboradice, Teplárnou Michle a několika menšími výtopnami na pravém břehu Vltavy. Základ této teplárenské soustavy vznikl v říjnu 1995.

V roce 1998 byla zahájena výstavba další fáze tepelného napáječe – prodloužení do Jižního Města, následovaly městské části Krč, Novodvorská, Lhotka, Libuš a Modřany. Na přelomu roku 2002/2003 byl připojen i první mimopražský odběratel - město Neratovice. V roce 2003 byly připojeny na pravopobřežní teplárenskou soustavu Invalidovna a Libeň, o dvě léta později Horní Počernice. V letech 2002 až 2007 byly postupně připojovány Technologický park Praha-Jižní Město a objekty Věžeňské služby ČR na Pankráci. Důležitým mezníkem v dalším rozvoji pražské teplárenské soustavy se stal přechod tepelného napáječe na levý břeh Vltavy do dolních Holešovic štolou vyhloubenou více než 25 metrů pod úroveň dna Vltavy v roce 2012.

V červnu 2016 PT prodala 100 % akcií dceřiné společnosti Pražská teplárenská LPZ, a.s. a novým vlastníkem se stala společnost Veolia Energie ČR, a.s. Především tento příjem z prodeje přispěl ke konečnému výsledku hospodaření za rok 2016, který dosáhl výše 2 742 mil. Kč. PT díky tomuto prodeji lokálních plynových zařízení přispěla do své vize se soustředit na rozvoj a modernizaci Pražské teplárenské soustavy (dále jen PTS), která má větší potenciál pro nová připojení a další optimalizaci

v provozní oblasti. Dále v roce 2016 proběhla realizace nového horkovodního zdroje THOL4 v areálu teplárny Holešovice. Tento zdroj bude plnit roli špičkového a záložního zdroje v PTS a díky vlastní chemické úpravě vody bude připraven i pro případ ostrovního provozu. Tento nový zdroj splňuje všechny zpřísněné emisní limity a je nejúčinnějším spalovacím zařízením PT.

PT udělala ve své historii několik různých ekologických opatření, kam patří využívání tepelné energie ze spalovny v Malešicích, napojení pravobřežní části Prahy na teplený napaječ z Elektrárny Mělník a přenos tepla z kogenerační výroby tepla a elektrické energie v elektrárně Mělník I., odstavení teplárny Malešice a teplárny Michle, dále bylo díky dálkovému teplu zrušeno 40 blokových kotelen a napojení více než 250 kotelen na tuhá paliva na soustavu PT. [58]

9.1.3 Zdroje a tepelné sítě

V roce 2016 provozovala Pražská teplárenská 3 teplárenské výroby a 4 výtopny, tedy celkem 7 tepelných zdrojů. Základním zdrojem výroby tepla pro PTS byla Elektrárna Mělník I (EMĚ I) – provozovaná společností Energotrans, a.s., která je dceřinou společností ČEZ, a.s. Zdroje PT - teplárna Malešice, teplárna Michle a výtopna Krč byly provozovány v soustavě PTS jako zdroje špičkové. Dále bylo odebíráno teplo ze Zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO Malešice, původní název Spalovna Malešice), které zajišťovalo také dodávku páry pro parní odběry PT. Rozhodujícím dodavatelem tepla pro PT je společnost Energotrans, a.s., jejíž dodávky převážně z kogenerační výroby v EMĚ I tvoří 90,4 % z dodávky tepelné energie do PTS. Celkový podíl kogenerační výroby tepla na dodávce tepla do Pražské teplárenské z Energotransu činil 86,9 %. K 31. 12. 2016 byl instalovaný tepelný výkon zdrojů Pražské teplárenské 998,8 MWt. Pražská teplárenská provozovala celkem 549 km tepelných sítí, z toho 389,5 km primárních tepelných sítí a 159,5 km sekundárních tepelných sítí (údaje dle platných licencí 2016).

Dodávky tepla byly kryty na vstupu do tepelných soustav v Pražské teplárenské z 86,9 % dodávkou tepla z EMĚ I (v r. 2015 – 86,7 %), což je uhelná kogenerační výroba, ze 7,6 % nákupem tepla z kogenerační výroby v ZEVO Malešice (v r. 2015 – 8 %) a z 5,5 % z plynného paliva (v r. 2015 – 5,4 %).

PT disponuje 3 teplárenskými soustavami – Pražskou teplárenskou soustavou (dále jen PTS), soustavou vytápěnou z plynového zdroje Holešovice (parní soustava se

bude rušit a bude napojena na PTS) a soustavou vytápěnou z blokové kotelny Lhotka – Libuš. [61]

9.2 Předávací stanice a používané výměníky tepla

Dálkové teplo se ke koncovým odběratelům dostává od zdroje tzv. primárním vedením, ve kterém proudí teplotně médium o vyšší teplotě a tlaku, což umožňuje dopravit tepelnou energii na místo spotřeby. K samostatnému vytápění objektů v radiátorech jsou potřeba parametry nižší. Pro dodávku teplé vody musí být navíc voda pitná, tedy s plně jinými vlastnostmi, než je vlastní teplotně médium. K redukci parametrů na požadované hodnoty pro koncové zákazníky slouží v teplotně soustavách předávací stanice.

Druhy předávacích stanic:

a) Tlakové nezávislé předávací stanice

- Předávací stanice s jedním modulem.

Jedná se o předávací stanici, která má pouze jeden z níže uvedených modulů:

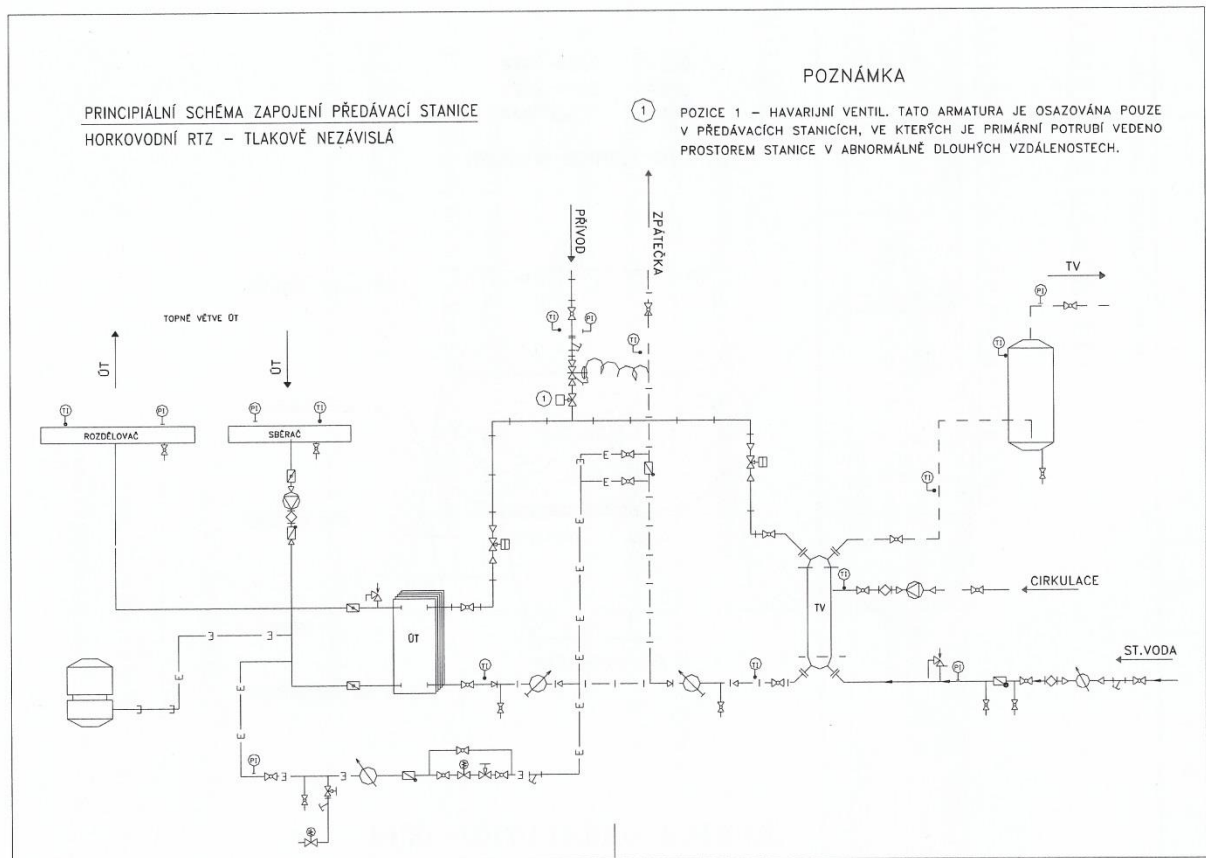
- Pro přípravu ekvitermně regulované vody (ÚT)
- Pro přípravu topné vody o konstantní teplotě (ToV)
- Pro přípravu teplé vody (TV)
- Předávací stanice se dvěma moduly.
- Předávací stanice se třemi moduly.

Na obr. 11 je vidět PS s jedním modulem pro přípravu ekvitermně regulované vody (ÚT).



Obrázek 11 – Předávací stanice s jedním modulem -ÚT

Na obr. 12 je zobrazeno principiální schéma zapojení předávací stanice se dvěma moduly, ze kterého odvozují další kombinace zapojení tlakově nezávislých předávacích stanic.



Obrázek 12 - Schéma tlakově nezávislé PS [64]

b) Tlakově závislé předávací stanice

- Předávací stanice s jedním nebo dvěma moduly

Jedná se o předávací stanici, která má jeden nebo oba z níže uvedených modulů:

- Pro přípravu ekvitermně regulované vody (ÚT)
- Pro přípravu teplé vody (TV)

Společnost PT provozuje okolo 1800 předávacích stanic, jejichž prostřednictvím se dostává tepelná energie k zákazníkům. PT provozuje 1150 předávacích stanic napojených na primární okruh. Dle standardu [62] jsou předávací stanice v horkovodních a parních soustavách zásadně v tlakově nezávislém provedení. V případě teplovodních soustav lze volit i tlakově závislé provedení. Předávací stanice jsou v provedení s bezobslužným režimem provozu, tj. v autonomním provozu

s občasným dohledem a s rozhraním pro možnost obousměrné komunikace. Tlakové poměry v otopném systému tlakového nezávislého provedení u vodních soustav jsou regulovány dopouštěním ze zpátečky primárního média (napojeno vždy za měřením tepla) solenoidovým ventilem a odpouštěním rovněž solenoidovým ventilem.

Přenos tepelné energie odebrané z distribuční (primární) soustavy se předává s pozměněnými parametry do soustavy sekundární, sloužící k vytápění či ohřevu teplé vody prostřednictvím výměníku tepla. Až do začátku 90. let minulého století se pro účely vytápění používaly v PT převážně výměníky trubkové a pro ohřev vody tzv. bojler, tedy objemné nádrže, které současně s funkcí výměníku sloužily i jako akumulací zásoba vody.

Zhruba od poloviny 90. let se u nás začaly ve větší míře jak pro vytápění, tak i pro ohřev vody, používat výměníky deskové nebo spirálové. Tyto výměníky lze využít k okamžitému ohřevu vody. K vyrovnání odběrových špiček jsou zapojeny za výměníky akumulací nádrže, které slouží k pokrytí výkyvům v odběru teplé vody. Deskové výměníky teplou vodu na požadovanou teplotu ohřívají v podstatě průběžně podle toho, kolik se jí zrovna spotřebovává. V současné době PT provozuje 65 % deskových výměníků, 30 % spirálových výměníků a zbytek tvoří staré trubkové výměníky.

V roce 2017 se na základě výběrového řízení vybral z ekonomického hlediska nový dodavatel výměníků pro PT. Společnost Secespol nahradila společnost Alfa Laval, která v minulých letech dodávala výměníky tepla PT. Společnost Secespol uzavřela s PT smlouvu na 5 let. V této situaci PT provozuje na svých PS výměníky převážně od společnosti Alfa Laval a Secespol.

9.2.1 Nová realizace či rekonstrukce stávajícího zařízení – výměníků v PT

Komponenty v předávacích stanicích, díky kterým se dostává tepelná energie ve stanovených parametrech až k zákazníkovi, také postihuje amortizace a po určité době musejí být vyřazeny a nahrazeny novými komponenty. To je jeden z případů, kdy se musí zvážit patřičná náhrada a zajistit patřičná investice do nového zařízení. Druhým případem je budoucí připojení nového zákazníka. Pokud se zaměříme jen na výměníky, je nutné zvážit vždy několik aspektů při návrhu na investici nového výměníku.

Návrh tepelného zařízení (výměníku) v PT se musí řídit závaznými standardy [64], které specifikují technické podmínky pro připojení a provoz, popř. rekonstrukci

teplených zařízení, která budou nebo již jsou napojena na vodní nebo parní primární či sekundární tepelné sítě soustav CZT provozovaných PT. Při navrhování nových předávacích stanic se investor nové stavby musí řídit danými standardy a příslušnými normami. Nové připojení zákazníků je řešeno prostřednictvím dceřiné společnosti Termonty Praha a.s. (dále jen Termona). Samotná výstavba předávací stanice, tj. montáž všech komponent energetických zařízení zajišťuje také dceřiná společnost Termonta. Místo a způsob připojení určí s ohledem na technické možnosti a ekonomii dodávek tepla obchodní úsek PT ve spolupráci s odbornými útvary. Zpracovatel projektové dokumentace pro provádění stavby musí odsouhlasit Technologické standardy RTZ [64] se Správcem dané příslušné oblasti.

Rekonstrukce předávací stanice či výměna jednotlivých technologických komponent (např. výměníku) má dle zadání od Správce dané oblasti sítě PTS zpracovat a zajistit dceřiná společnost Termonta.

Jak pro novou akvizici předávací stanice, tak rekonstrukci je nutné respektovat stanovené potřeby tepelné energie na vytápění dle ČSN EN 12 831 a ČSN 73 0540. Otopné zařízení je nutné dimenzovat na celodenní nepřerušovaný provoz. Odběratel tepelné energie dokládá podle technické dokumentace potřebný tepelný příkon PT, který je podložen výpočtem potřeby tepelné energie a výpočtem hodnot součinitelů prostupu tepla „U“. Hodnoty „U“ musí odpovídat skutečnému provedení vytápěného objektu. Další přírážky, které nejsou uvedeny v normě nebo neodpovídají danému způsobu vytápění, jsou nepřijatelné.

Potřeba tepelné energie pro přípravu TV se stanoví dle ČSN 06 0320. Variantně lze pro PS pouze s bytovým charakterem odběru s čistě průtočným ohřevem stanovit maximální příkon pro ohřev TV podle vztahu:

$$Q_{max} = 29,78 * \sqrt{N}$$

kde N=počet bytů. [64]

9.3 Závady v předávací stanici

Za závadu je považována situace, kdy zařízení nereaguje na provozní požadavky otopného systému, anebo okruhy přípravy teplé vody. Tato situace může být vyvolána závadou některého technologického komponentu nebo závadou v potrubí jak sekundární, tak primární strany (netěsnost). Dle zjištění závady a nalezení příčiny je možné předávací stanici provozovat v havarijním režimu dle místních provozních předpisů stanovené PT.

9.3.1 Prevence závad

Podmínky pro provoz jednotlivých klíčových součástí předávací stanice jsou vždy důkladně popsány v jejich technických manuálech, se kterými musí být obsluha stanice seznámena. V této podkapitole jsou zdůrazněny pouze ty okolnosti, které jsou nejčastější příčinou poruch technologických komponentů, jenž může následně vést k rozsáhlým škodám na zařízení i jeho okolí.

Automatický a bezproblémový chod stanice je zajištěn tehdy, pokud je zajištěno v podstatě několik základních podmínek, jako jsou:

- funkčnost oběhových čerpadel,
- dostatečná průchodnost pracovních médií v PS,
- funkčnost výměníků,
- funkčnost regulačních prvků,
- funkčnost dalších pomocných prvků.

Prevence je pravidelné provádění takových úkonů, které pomůžou zajistit tyto základní podmínky automatického provozu. [72]

9.4 Hierarchická struktura výrobního úseku PT

Provoz PS v PT má na starosti výrobní úsek. PT má tři teplotní soustavy, v roce 2018 bude však soustava vytápěná z plynového zdroje Holešovice připojena na PTS. Z tohoto důvodu je v této práci uvažováno jen hlavní rozdělení PTS.

Za celý výrobní úsek zodpovídá výrobní ředitel. PTS je z pohledu provozu rozdělena na oblast Sever a oblast Jih. Každá z těchto dvou oblastí má stejnou hierarchickou strukturu a celkově spadají pod kompetence manažera provozu rozvodných tepelných zařízení. Manažer oblasti JIH a manažer oblasti SEVER zodpovídá za celou svou oblast. Oblast je rozdělena na několik specifitějších podoblastí, které spadají pod kompetenci jednotlivých správců oblastí. Obsluha PS přímo konzultuje problémy v PS s dotyčným správcem oblasti. V této struktuře rozhoduje o provedení vyčištění výměníku správce oblasti. Obsluha PS během měsíčních kontrol, které provádí dle místních provozních předpisů [85], kontroluje stavy technologických komponentů v PS.

Montáže a práce na rozvodných tepelných zařízeních (dále jen RTZ) provádí dceřiná společnost Termonta. Po zjištění poruchy či havárie na RTZ obsluha PS nahlásí závadu příslušnému správci oblasti. Po schválení posouzeného problému je vydán

správcem oblasti pracovní příkaz k vykonání patřičného úkonu Termontě, která závadu řeší.

9.5 Ochrana technologických komponentů v PS

Jedním z hlavních faktorů proti znehodnocení používané technologie, je ochrana proti korozi. Jelikož PT má rozsáhlou potrubní síť a nespočet předávacích stanic, je nutné, aby byla zajištěna ochrana proti korozi. Prvním důležitým aspektem je úprava teplotosné vody, která obíhá v primárním potrubí a také v sekundárním potrubí pro ÚT a ToV.

9.5.1 Úprava teplotosné vody v PT

Koroze se zpomaluje s klesající koncentrací kyslíku a rostoucím pH. Proto se napájecí vody alkalizují. Obsah kyslíku má být takový, aby byla potlačena katodická depolarizační reakce kyslíku. Potřebné snížení kyslíku závisí na chemickém režimu okruhu. [22]

PT upravuje teplotosnou látku (primární okruh), protože především její složení ovlivňuje vnitřní prostředí daných technologií.

Doplňovací voda pro tepelné sítě musí splňovat tyto základní požadavky: nesmí tvořit kotelní kámen a usazování kalu v ohřívácích, potrubních, předávacích stanicích a event. i ve vnitřním zařízení odběratele; nesmí korozivně napadat kov.

Potlačení agresivity vody je zásadním protikoročním opatřením. Zásadní rozdíly v úpravě vody malých a velkých soustav nejsou. U horkovodních kotlů musí jakost doplňovací vody odpovídat požadavkům ČSN 07 7401 „Voda a pára pro teplotná energetická zařízení“.

Musí tedy pro ochranu zařízení v teplárně, v tepelných sítích i v odběratelském zařízení před kotelním kamenem a korozi být voda předem příslušným způsobem upravena. Pod úpravou doplňovací vody se rozumí odplynění, tj. odstranění rozpuštěných plynů, hlavně kyslíku a kyseliny uhličitě (základních koročních činidel) a vytvoření takových podmínek, při nichž by se soli tzv. přechodné tvrdosti, jsou-li ve vodě, nerozpadaly v soustavě a nevedly k tvoření kotelního kamene a kalu.

K doplňování tepelných sítí se musí používat odplyněná voda (přírodní nebo změkčená sodo-vápenným, katexovým nebo jiným způsobem) nebo voda s ustálenou tvrdostí.

Úprava vody v teplovodních a horkovodních soustavách

Cirkulující voda má mít pH 9 až 10,5. Ke změkčení, alkalizaci i inhibici koroze se dávkuje 300 mg/kg trinatriumfosfátu do vody. Při tvrdosti vody vyšší než 8° se zvyšuje dávka fosfátu o 40 mg/kg na každý stupeň tvrdosti. K vázání kyslíku se navíc dávkuje 200 mg/kg siřičitanu nebo 200 mg/kg hydroazinhdrátu (24%). Chromany se používají k potlačení koroze především v menších okruzích, přičemž je účelné začít s úpravou ihned po zahájení provozu. Koncentrace chromanu sodného má být v rozmezí 500 až 800 mg/kg i výše, v závislosti na složení vody. Koncentrace nesmí klesnout pod minimum, protože se tím zvyšuje nebezpečí důlkové koroze.

U velkých soustav s velkým obsahem vody jak je tomu v PT, popř. s částečným odběrem vody, je nutná úprava přídavné vody mimo soustavu, jinak by vznikající kaly způsobovaly provozní potíže, zvláště při změkčování. Voda s vyšší tvrdostí se změkčuje bazickými iontoměníči a následujícím doměkčením fosfáty, úpravou alkality a chemickým odplyněním. Výhodný je přímý odběr doplňkové neagresivní vody z horkovodní soustavy, s patřičnou redukcí tlaku – tak tomu dochází i v PT.

Odplynění vody je jedno z nejdůležitějších protikoročních opatření k ochraně energetických zařízení. V teplovodních a horkovodních okruzích se obvykle používá pro odstranění kyslíku siřičitan sodný. V horkovodních okruzích, které tvoří primární okruh v PT se používá chemické odplynění.

PT se řídí normou ČSN 07 7401 – Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa. Tato norma stanovuje podmínky k zajištění bezporuchového provozu teplovodních a horkovodních kotlů a připojených uzavřených tepelných sítí, kde je nutno vodu pro první naplnění, vodu doplňovací a vodu oběhovou upravovat tak, aby nedocházelo ani ke vzniku inkrustací, ani ke korozi systému

Norma dále stanovuje požadavky na vlastnosti vyrobené páry, kondenzátu, přídavné vody pro vstřikovou regulaci teploty přehřáté páry. Norma neuvažuje k použití vodu znečištěnou odpadními látkami (jako fenoly, dehty, oleji, naftou, detergenty, sulfidovými výluhy, celulózu, škroby, cukry aj.).

Složení vody dle normy musí odpovídat hodnotám uvedené v tabulce (obr. 14). Potřebná alkalizace vody a chemické vázání kyslíku se zajistí přidáním vhodných chemikálií (siřičitanu sodného, hydrazinu – odstavec 3.2.6 a 3.2.9 normy). V oběhové vodě se udržuje předepsaný přebytek fosfátu, aby se ze zbytkové tvrdosti nevytvořily, usazeniny na místech vysoce tepelně namáhaných.

Chemické oddělení PT denně kontroluje tyto parametry, které zaznamenává a udržuje parametry stanové normou ČSN 07 7401. Jde tedy o:

- tvrdost Tc – max 0,03,
- hodnota Ph při 25°C nad 9,5,
- siřičitan sodný,
- oxid fosforečný,
- fosfát.

Složení oběhové vody, která by nezpůsobila ani inkrustace, ani koroze systému, je dáno požadavky, uvedenými v tabulce (obr. 14) výše uvedené normy

- pH vody vyšší než 8,5 zaručuje, že veškerý volný CO_2 byl převeden do nekorozivní iontové formy. Při tomto nutno mít na zřeteli, že minimum kyslíkové koroze uhlíkové oceli v proudící vodě leží nad pH 10 a že naopak za přítomnosti mědi a jejích slitin v systému nemá být pH vyšší než 10.
- Přebytek Na_2SO_3 představuje zásobu deoxygenační chemikálie k vázání kyslíku vzniklého do systému
- Přebytek fosforečnanu sodného vyjádřený jako rozpuštěný P_2O_5 slouží jednak jako ochrana proti případnému vniknutí tvrdosti do systému, jednak jako inhibitor koroze. [24]

Tabulka 1 – Voda pro provoz vodních kotlů a připojených uzavřených soustav

Ukazatel	Měřicí jednotka	Kotle teplovodní a vodní tepelné sítě s nejvyšší pracovní teplotou do 115 °C (nejvyšší dovolené hodnoty)							Kotle horkovodní a vodní tepelné sítě s nejvyšší pracovní teplotou nad 115 °C (nejvyšší dovolené hodnoty)	
		Kotle článkové skříňové a válcové kombinované		Kotle vodotrubné	Kotle elektrodové	Kotle elektrodové (s topným článkem)	Kotle radiční	Kotle válcové kombinované a kotle vodotrubné (s přirozenou nebo nucenou cirkulací)	Kotle vodotrubné průtočné	
		průměrná hodnota q								
		$q < 23$ kW/m ²	$q \geq 23$ kW/m ²							
Voda doplňovací	hodnota pH při 25 °C min.	–	–	–	8,5***	8,5***	8,5***	–	–	
	tvrdost	mmol/l*	(1)	1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
	Ca ²⁺	mmol/l*	(0,3)	0,3	–	–	–	–	–	
	koncentrace celkového Fe + Mn	mg/l	(0,5)	(0,3)	(0,3)	(0,2)	(0,2)	(0,3)	0,3	
Voda oběhová	konduktivita při 25 °C	μS/cm	–	–	–	1000	–	–	–	
	hodnota pH při 25 °C min.	–	8,5***	8,5***	8,5***	8,5***	8,5***	8,5***	8,5***	
	zjevná alkalita	mmol/l**	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	0,5 až 1,5	
	přebytek Na ₂ SO ₃	mg/l	10 až 40	10 až 40	10 až 40	10 až 40	10 až (40)	10 až 40	10 až 40	
	rozpuštěný P ₂ O ₅	mg/l	5 až 15	5 až 15	5 až 15	5 až 15	5 až 15	5 až 15	5 až 15	
obsah suspendovaných látek	mg/l	–	–	–	5	5	5	5	5	

Poznámka – Hodnoty v závorkách jsou doporučené.
 *) koncentrace chemických ekvivalentů;
 **) při čemž se doporučuje 2. (p-hodnota) ≤ (m-hodnota);
 ***) za přítomnosti mědi a jejích slitin v systému nemá být pH vyšší než 10.

Obrázek 13 – Tabulka z normy ČSN 07 7401[24]

9.5.2 Filtry v předávacích stanicích

Pracovní médium protéká přes všechny technologické komponenty, umístěné v daném okruhu (větvi). Průchodnost je zajišťována vstupními filtry, kde by se měla zachytit většina hrubých nečistot přicházejících z vnějších částí okruhu. Proto je potřeba provádět pravidelnou kontrolu zanášení a následné čištění filtrů. Použití filtrů je tedy další možnost ochrany proti zanášení výměníků. Dle směrnice [62] je v každé předávací stanici vždy před regulačním ventilem instalován filtr, který zadržuje usazeniny ve své vnitřní síťce. Pokud se filtr zanesе usazeninami, je nutné ho rozebrat a provést patřičnou údržbu, tak aby mohl být zaručen stejný průtok kapaliny bez větších tlakových ztrát.

Filtry se instalují na přívodní potrubí primárního okruhu. Pokud se však jedná o soustavu ohřevu ÚT je zde instalován i filtr na soustavu doplňování. Při ohřevu ÚT se používají rekuperační výměníky, tudíž kapaliny jsou odděleny stěnou. Pro přechod mezi primární a sekundární stranou se používá doplňovací soustava, ve které je také obsažen filtr. Filtry se instalují i na přívodní potrubí studené vody, která je následně ohřívána prostřednictvím výměníku – ohřev TV. Chráněna je i filtrem sekundární strana ÚT a ToV, kde se instaluje filtr před čerpadla.



Obrázek 14 – filtr v předávací stanici PT

Filtry je nutné čistit důkladně, neboť i vizuálně čistý filtr může výrazně zhoršit průtok. Uvnitř síta filtru se může vytvořit slabý film, který je zodpovědný za zhoršený průtok. Síta jsou buď s hrubým vnitřním sítem, nebo s jemným. Zakomponování správného filtru závisí na daném okruhu a teplotním médiu.

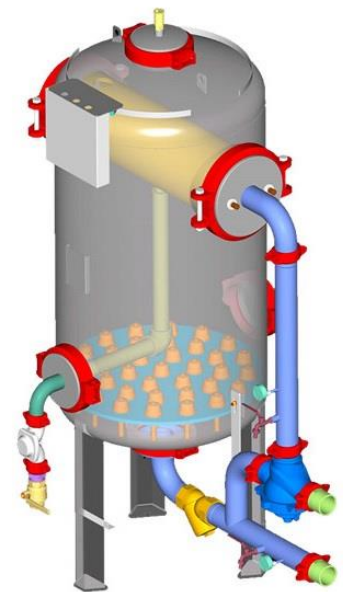
9.5.3 Úpravny teplé vody

Pokud se jedná o sekundární okruh ÚT nebo ToV, je úprava vody stejná, jako je na primárním okruhu. Tudiž jsou zde jasně definovány podmínky, které stanovují kvalitu teplotního média, jak je tomu uvedeno v předchozích kapitolách. Ne tak jednoduchá situace je bohužel u TV, kde dochází pouze k ohřevu studené vody. Tato voda je náchylnější ke korozi a dalším znepokojujícím jevům. Úprava TV se provádí proto z několika důvodů. Jde o zabránění vzniku inkrustů, zabránění vzniku a odstranění zmiňované koroze z potrubí, odstranění organického znečištění a prevence proti bakteriím jako jsou Legionella a Pseudomonas. Např. v bytových domech je mnohdy potřeba vodu nejprve odtočit, než začne téct čistá. Pokud se problém neřeší včas, může dojít k ucpání potrubí či k dalším technologickým problémům. Inkrusty vznikající ve vodovodním systému jsou pak živnou půdou pro různé mikroorganismy včetně legionell. Dle podmínek, právě k zamezení vzniku bakterií v systému TV musí být výstupní teplota nastavena minimálně na 55 °C.

Jednou z možností, jak zamezit těmto problémům, je používání elektrolytické úpravny Euroclean KEUV TV. Toto zařízení lze použít na každý systém ohřevu TV, který obsahuje cirkulaci. KEUV TV je zařízení, které má na svých PS zakomponované i PT. Ne však v každé PS je úpravna vody od společnosti Euroclean využívána.

Hlavní funkce KEUV TV jsou:

- Kontinuální filtrace sloučenin železa, zákalu a nerozpustných látek z teplé vody.
- Ochrana výměníků a rozvodů teplé vody před tvorbou vápenatých úsad.
- Dodatečná dezinfekce teplé vody. [63]



Obrázek 15 - KEUV TV Euroclean [63]

9.6 Závady výměníku

Pokud výměník přestane předávat dostatečné množství tepla tak, aby měla ohřívána sekundární strana dostatečnou teplotu, dojde obsluhou PS ke kontrole všech možných komponent u soustavy v PS, které by mohly zabránit průtoku primární strany skrz výměník. Zejména se jedná o funkci regulačního ventilu, či jiných armatur

instalovaných na primární straně a případné vyčištění již zmiňovaného filtru. Následně obsluha PS musí vyhodnotit stav sekundární strany, zejména zda je v provozu čerpadlo, či není jiná závada na sekundární straně. Pokud dotyčné komponenty primární a sekundární strany jsou v pořádku a je-li dostatečná teplosměnná plocha výměníku, jedná se o zanesení výměníků. Vyskytují se dvě možnosti:

- vyčistit výměník,
- nahradit výměník novým.

Může se stát, že výměník byl čištěn a problém neodpadl. Tento problém nastává, když je výměník zanesený a neprůchodný. Pokud během čištění výměníku nedochází k oběhu čistící kapaliny, nelze ve většině případů výměník vyčistit a je nezbytné ho nahradit novým. Náhradu novým výměníkem komplikuje skutečnost, že demontáž a následná montáž výměníku je časově náročná. Především pokud se problém vyskytne v otopném období pro ÚT. Zanesení výměníku se stejně může stát i u ohřevu TV, kdy odstavení ohřevu může způsobit komplikace v kterémkoli období v roce, kromě plánované letní odstávky. Při náhlém vyskytnutí tak vážného problému, kdy se výměník musí nahradit novým, je nutné mít stejný typ výměníku připraven k výměně. Montáž a pořízení těchto technologií zajišťuje pro PT dceřiná společnost Termonta, která disponuje dostatečnou zásobou. V reálné praxi se tento problém nevyskytuje často.

9.6.1 Netěsnost deskového výměníku

Netěsnost deskových výměníků se může vyskytnout jak v mezideskové části uvnitř výměníku, tak i v okrajové desce, kde následná netěsnost způsobí únik média z výměníku. Tato kapitola se více zabývá netěsností uvnitř výměníku.

Častý výskyt závad u výměníku tepla je způsoben netěsností desek uvnitř výměníku. Při netěsnosti mezi deskami dochází k smíšení primární strany teplovodního okruhu se sekundárním okruhem. Pájené deskové výměníky tepla, které se především používají v předávacích stanicích PT jsou konstrukčně řešeny jako sada tenkých zvlněných desek z austenitické korozivzdorné oceli (obvykle jakosti AISI 316), vyrobených lisováním a spojovaných pájením nejen po obvodu, ale ve všech styčných bodech desek. Pájené spoje tak vymezují kanálové prostory pro primární a sekundární teponosné médium. Při výrobě se většinou používá vysokoteplotní pájení pod ochrannou atmosférou nebo ve vakuových pecích, aby se zabránilo oxidaci. Obecně se používají pájky z různých kovů, v PT jsou používané deskové výměníky i s měděnými pájkami.

Funkční životnost pájených deskových výměníků z korozivzdorných ocelí může být v teplovodních okruzích např. dle [59] významně ovlivněna korozními procesy, které probíhají ve spojích.

Daná analýza problému [59] byla odzkoušena na deskových výměnících, u kterých byly ověřeny provozní podmínky a chemické složení primární oběhové vody, která má stejné složení jako upravená oběhová voda v PT. Metalografické hodnocení prokázalo, že problematickou oblastí posuzovaných výměníků jsou právě pájené spoje. Možnými příčinami může být galvanická koroze. Kombinace mědi s korozivzdornou ocelí v běžných neagresivních vodách obvykle nečiní problémy, pokud se v systému nevyskytují složky, které napadají přednostně kov s výrazně menší plochou, tj. v tomto případě měď.

U hodnocených výměníků byla v pájených spojích na bázi mědi pozorována rovnoměrná i lokální důlková koroze, přičemž důlkové napadení v některých případech vedlo až k perforaci spoje. Koroze mědi v neutrálních vodách probíhá jen za přístupu kyslíku, při nízkém obsahu anionů však obvykle vznikají jen tenké vrstvičky přilnavých oxidů Cu_2O / CuO s ochrannými vlastnostmi a koroze je zanedbatelná. K porušení těchto ochranných vrstev obvykle dochází prouděním nebo důlkovou korozí, která má odlišný průběh ve studených a teplých vodách. Pravděpodobnost důlkové koroze mědi v teplých vodách roste s teplotou (zvláště nad 60 °C), zejména pokud jsou ochranné vrstvy oxidů mědi chemicky narušovány (např. aniony Cl^- , sírany, organickými kyselinami) nebo se ochranné vrstvy oxidů mědi nemohly vytvořit v důsledku úsad cizích korozních produktů respektive jiných nečistot. V teplých vodách lze na nebezpečí důlkové koroze mědi usuzovat z koncentrací hydrogenuhličitanu (inhibující složka) a síranu (agresivní složka), pokud hodnoty poměru hydrogenuhličitanu a síranu jsou $< 1,5$, tak naznačují vysokou pravděpodobnost tohoto napadení především v neutrálních a kyselých vodách.

U posuzovaných výměníků byla oběhová voda primárního okruhu upravována dávkováním siřičitanu sodného, což vede k nárůstu obsahu síranů a snížení poměru zmiňovaného poměru. Za těchto podmínek vznikají na mědi tlusté, nepřilnavé korozní produkty na bázi hydroxysíranu mědi, které jsou snadno narušovány a umožňují tak v důsledku vzniku lokálních korozních článků poměrně rychlý průběh perforace pájeného spoje. Koroze ze strany oběhové vody primárního okruhu umožňuje za daných podmínek kyslík. Proto je velmi důležité jeho odstranění dávkováním siřičitanu sodného. Výsledek analýz prokázal, že v posuzovaných případech bylo příčinou

netěsností deskových výměníků korozní porušení pájených spojů na bázi mědi ze strany primární oběhové vody. [59]

9.7 Čištění deskových výměníků v PT

Pro kompaktnost pájených deskových výměníků, které jsou hojně provozovány v PT, nelze čistit výměníky mechanicky, ale je nutné použít chemické čištění. Vyčištění výměníku tepla může dojít buď pomocí své vlastní pracovní síly, která je proškolená s nakládáním a zacházením s čistící směsí, která je aplikována anebo je možné si výměník nechat vyčistit externí společností. V PT v minulosti docházelo i k čištění externími firmami, nyní se však používá interní metoda čištění.

9.7.1 Doporučený postup čištění dle dodavatele výměníků

Společnost Secespol, která dnes dodává výměníky tepla do předávacích stanic PT, nemá žádné svoje servisní oddělení na čištění výměníků a na našem trhu nemá žádný svůj chemický přípravek pro čištění. Podle interních informací v příštím roce společnost Secespol představí svůj přípravek na čištění výměníků. Pro odběratele deskových výměníků od společnosti Secespol je nutné se řídit několika provozními zásadami, které i stanovují, jak vyčistit daný výměník. Je nutné nepřipustit nadměrné znečištění výměníku a tedy zajistit periodické kontroly z hlediska vzniku pevných usazenin ve výměníku podle níže uvedených doporučení:

- U výměníků pracujících v instalaci ohřevu topné vody min. každých 18 měsíců práce výměníku, (podle kvality a množství dopouštěné vody).
- U výměníků pracujících v instalaci přípravy teplé vody minimálně každých 12 měsíců práce výměníku.

Podle průvodně technické dokumentace [73] lze vyjmutí výměníku ze zařízení a čištění provádět tehdy když:

- 1) Všechna čerpadla jsou vypnuta a zabezpečena před nepředvídatelným spuštěním.
- 2) Zařízení není pod tlakem.
- 3) Teplota zařízení poklesla pod 40 °C, ale neklesla pod 10 °C.

Dále se u výměníků od společnosti Secespol musí chemicky čistit proplachovacími látkami, které nereagují s nerezavějící ocelí a mědí (resp. niklem). Proplachovat se vždy musí opačným směrem než je pohyb pracovního média. Jako

vhodnými firmami pro dodávku vhodného čistícího roztoku jsou podle společnosti Secespol v ČR produkty firem Henkel, Lieber či GEL.

Čištění v záruční lhůtě výměníku lze pouze s vědomím a souhlasem dodavatele. Mezi zakázané látky, kterými nelze dle společnosti Secespol vyčistit jejich výměník je kyselina chlorovodíková, roztoky obsahující HCl, volný chlór v koncentraci vyšší než 0,5 ppm a jakákoliv látka, ze které by se ukládali alkalické zbytky nebo fosfor. [73]

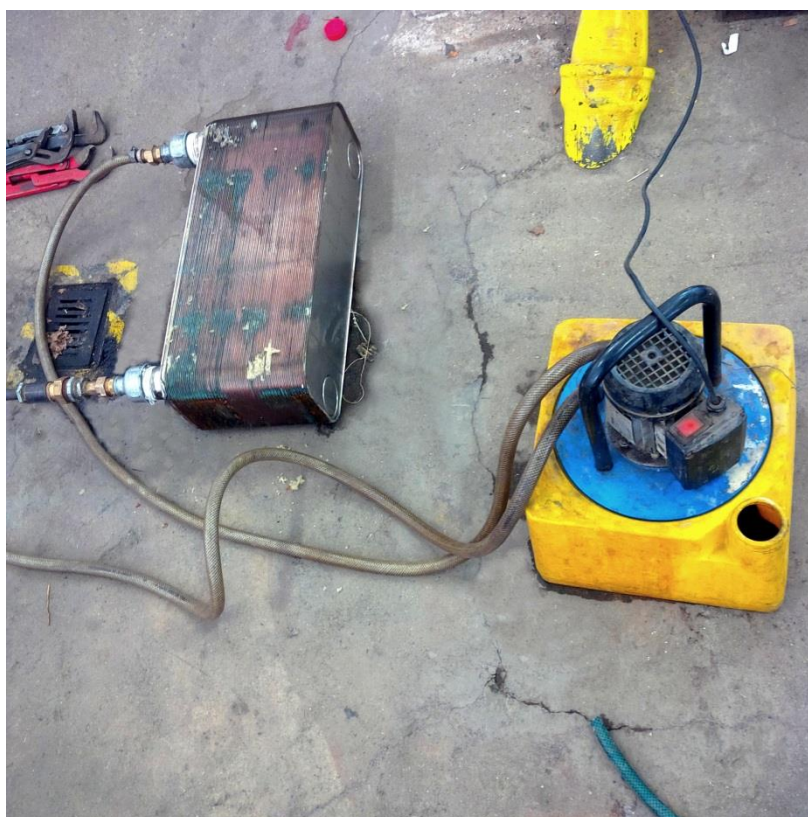
Společnost Alfa Laval nabízí celou řadu servisních služeb pro zvýšení výkonu zařízení. Konkrétní řešení se odvíjí od samotné servisní služby. Tyto servisní služby poskytují buď specializovaná servisní centra anebo autorizovaní servisní technici společnosti Alfa Laval přímo v daném závodu. Portfolio Alfa Lavalu zahrnuje hned několik služeb, díky kterým se deskové výměníky mohou stát účinnějšími. Jedná se o auditové služby (kdy pracovníci Alfa Lavalu provedou analýzu provozních činností a doporučí postupy pro zvýšení výkonu a snížení celkových výrobních nákladů), systém na monitorování provozních podmínek (slouží k optimálním intervalům čištění) a také služby čištění chemickými prostředky.

K obnovení a optimalizaci výkonu zařízení pro přenos tepla používá společnost Alfa Laval řadu svých CIP zařízení (čištění na místě) a čistících prostředků. Alfa Laval doporučuje použít jejich speciálně vyvinuté netoxické čistící prostředky s nízkým dopadem na životní prostředí. Pro deskové výměníky tepla je doporučen výrobek Alpacon Descalant. Alfa Laval má 9 servisních partnerů po celé ČR, které jsou schopné vyčistit daný výměník tepla dle podmínek stanovených Alfa Lavalem. [65]

9.7.2 Interní chemické čištění

V PT dochází k vyčištění výměníku na základě rozhodnutí provozovatele dané teplárenské soustavy. Dříve prováděla v PT servis přímo společnost Alfa Laval, nicméně v dnešní době tuto činnost poskytuje dceřiná společnost Termonta. Místní provozní předpisy PT pro údržbu technologických komponentů nyní nestanovují předpokládanou dobu pro preventivní vyčištění. V interním softwaru je vedena evidence o průběžném čištění výměníků na předávacích stanicích. Dle interních informací a zkušeností by se výměník měl jednou za cca 4 roky vyčistit. Hlavní důraz je však kladen na výměníky, které se opakovaně zanášejí. Tyto výměníky nechá provozovatel pravidelně kontrolovat a při zhoršených provozních podmínkách se výměník vyčistí. Pokud provozovatel vydá pracovní příkaz k vyčištění, dceřiná společnost Termona

pracovní příkaz převezme. Termonta výměník tepla přijede demontovat a zahájí samotné čištění. V PT se pro vyčištění deskových výměníků používá především mobilní zařízení – čerpadlo pro odstraňování vodního kamene italské značky Seipee (obr. 16), které se připojí na deskový výměník šroubením a hadicemi. V první fázi dojde k propláchnutí vodou, tak aby se vyplavili prvotní nečistoty. U výměníků čištěných v PT se používá čisticí směs Kalklöser P obsahující kyselinu amidosulfonovou a kyselinu citronovou. Jedná se o práškové provedení od firmy BWT, kterou nabízí i společnost Alfa Laval. Čisticí směs se nasype do čerpadla a je doplněna převážně teplou vodou o teplotě 58 °C. Pro vyčištění jedné strany okruhu se zpravidla využije 1 kg směsi. Chemický čisticí roztok musí být zneutralizován, tzn. k roztoku do čerpadla se přisype neutralizační směs Neutra P, která je také v podobě prášku. Po neutralizačním procesu se nečistoty spolu s neutralizovaným roztokem mohou vypustit do kanalizace. Pokud se po následném propláchnutí vodou nejeví zlepšení průtoku výměníkem, proces vyčištění stejnou směsí o hmotnosti 1 kg se opakuje. Vyčištění jednoho okruhu danou směsí trvá zpravidla 3 hod. Záleží však na usazených nečistotách ve výměníku. [66]



Obrázek 16 – Ukázka čištění deskového výměníku v PT

9.8 *Ekologické aspekty způsobené čištěním výměníku v PT*

Jako jednou z hlavních priorit PT je respektovat zásady státní politiky životního prostředí a všech právních předpisů v oblasti životního prostředí včetně předpisů Evropské unie. Při čištění výměníků, které se mohou provádět přímo v místě instalace a tedy v PS, je nutné dbát na všechny předpisy, týkající se této problematiky. Jedná se tedy o interní předpisy a předpisy a zákony dané státem.

Chemické čištění výměníků tepla může být uskutečněno různými chemickými látkami. Složení chemické směsi pro čištění se liší od každého výrobce. V PT Nakládání s chemickými látkami se řídí v PT pokynem [68], který navazuje na pokyn [69] Nakládání s vodami, chemická služba a stanovuje způsob nakládání s chemickými látkami na provozech a v laboratořích PT. Při nakládání s nebezpečnými látkami a směsmi, které čistící směsi představují, je každý povinen chránit zdraví lidí a životní prostředí a řídit se výstražnými symboly nebezpečnosti, větami H a P a informacemi v bezpečnostních listech. H-věta je standartní věta o nebezpečnosti, neboli věta přiřazené dané třídě a kategorii nebezpečnosti, která popisuje povahu nebezpečnosti dané nebezpečné látky nebo směsi a P-věta je pokyn pro bezpečné zacházení, neboli věta popisující jedno nebo více doporučených opatření pro minimalizaci nebo prevenci nepříznivých účinků způsobených expozicí dané nebezpečné látky nebo směsi. Zaměstnanci PT, kteří nakládají s nebezpečnými chemickými látkami a směsmi, jsou prokazatelně seznámeni s nebezpečnými vlastnostmi chemických látek a směsí, zásadami ochrany zdraví a životního prostředí před jejich škodlivými účinky a zásadami první lékařské pomoci. Pokud by PT objednala čistící prostředek, kterým by docházelo k čištění výměníku tepla a byl by používán příslušným pracovníkem PT, musí mít tento prostředek obal v českém jazyce tak, jak stanovuje [68] a tj. např. výstražné symboly nebezpečnosti, H-věty, P-věty a další. Zároveň musí dodavatel směsi dodat příslušný bezpečnostní list, zpracovaný v souladu s Nařízením EK a EP č 453/2010.

Jedna z nejčastějších chemických látek obsažená v čistících prostředcích je kyselina chlorovodíková. Tato kyselina je žíravá a pracovník se musí během jejího užívání dostatečně chránit, tak jak je to popsáno v příloze č. 2 v [68].

Po vyčištění výměníku chemickou směsí je nutné se vypořádat s odpadem, který vznikl. Plnění povinností PT při nakládání s odpady v návaznosti na platná legislativní ustanovení stanovuje pokyn [71] a vztahuje se na všechny zaměstnance, kteří svojí činností vyprodukují odpad, nebo s ním manipulují a podílejí se na evidenci odpadů.

Při vyčištění výměníku tepla externí společností je nutné se také řídit těmito pokyny, které stanovují, že původcem odpadu je zhotovitel. Zhotovitel (externí firma pro čištění v tomto případě) se zavazuje řídit se při své činnosti zásadami ochrany životního prostředí. A jelikož by nakládal se závadnými látkami, je povinen dodržovat ustanovení zákona č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon), v platném znění. A následně pokud při své činnosti produkuje odpady, je povinen dodržovat zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění a jeho prováděcích předpisů. Zhotovitel je povinen dodržovat zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění tak, aby při jeho činnosti nedocházelo ke kontaminaci plochy areálu závadnými látkami a nevypouštěl do kanalizace či vodního toku odpadní vody nad rámec kanalizačních ráďů nebo integrovaného povolení provozu. Externí firma je také povinna stanovit bezpečnostní rizika a ekologické aspekty, které mohou vzniknout při realizaci předmětu plnění.

9.9 Ušlé výnosy za tepelnou energii při odstavení výměníku

Pro upřesnění ušlého výnosu při nedodání tepelné energie zákazníkovi je nejprve důležité zanalyzovat, čím je tvořena cena tepla. Od roku 1999 přešla PT na účtování tepelné energie v takzvaných dvousložkových cenách. Tato forma, kdy je cena rozdělena na platbu stálou a proměnnou, přesněji zohledňuje odlišné potřeby jednotlivých odběratelů a umožňuje jim ovlivňovat výši nákladů za tepelnou energii. Nicméně se k těmto dvěma složkám nákladů musí připočíst přiměřený zisk na 1 GJ. Výsledná cena je upravena ještě o DPH 15% pro konečného spotřebitele.

Náklady na výrobu tepelné energie lze rozdělit do dvou skupin. Stálé náklady, které souvisí s existencí potřebné výrobní kapacity a rozvodných sítí a proměnné náklady, jejichž výše se odvíjí od nákladů potřebných k výrobě 1 GJ tepla. Do nákladů proměnných tedy patří náklady na palivo, přikoupená tepelná energie, voda pro doplňování, elektrická energie pro distribuci, náklady na elektrickou energii potřebnou k výrobě a poplatky za emise. Mezi náklady stálé, které vystihují připravenost výrobních kapacit a rozvodných sítí patří např. mzdové náklady, náklady na údržbu a opravu zařízení apod.

Náklady proměnné se tedy jednoznačně určují podle skutečně odebraného množství tepla registrovaného na měřiči odběrného místa v GJ. Náklady stále jsou rozúčtovány v poměru, jakým se jednotlivá odběrná místa podílejí na celkových

dodávkách tepla za srovnatelné období. Toto rozdělení ceny tepla znamená, že při odstavení výměníku tepla, kdy nedochází k žádnému předání tepla, odběratel nezaplatí za nedodaný GJ tepla. Tak tomu je při náhlých přerušeních dodávek tepla k odběrateli, které je PT zpravidla povinna zprovoznit do 4 hod od nahlášení. Pokud se jedná o plánované odstávky na údržbu, je situace obdobná. Výjimka nastává, když dojde k přerušení dodávek na dobu delší než 3 dny. PT v tomto případě může situaci zohlednit ve vyúčtování a odběratel zaplatí méně. Doba 3 dnů se však netýká takové údržby technologického zařízení, jako je právě čištění deskových výměníků či výměna vadného kusu za nový. Díky tomuto cenovému rozlišení na dvě složky PT nepřichází při údržbě, opravách a odstavení výměníků o velkou část výnosů.

V otopném období, kdy se předpokládá velký odběr tepla a nastane nucené odstavení výměníku tepla, tak v tu chvíli přichází PT o příjem z proměnné složky ceny tepla. Zároveň však PT nevznikají žádné náklady na proměnnou složku, tj. náklady na palivo, přikoupená tepelná energie atd. Tudíž PT nepřichází o příjem, protože nevznikl PT daný výdej za přikoupenou tepelnou energii.

Cena tepla v PT je stanovena dle tabulky (obr. 17). Průměrná cena pro odběrná místa z plateb za sjednané a odebrané množství je 552,5 Kč za 1 GJ. [74]

Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH účtované podle platných předpisů!

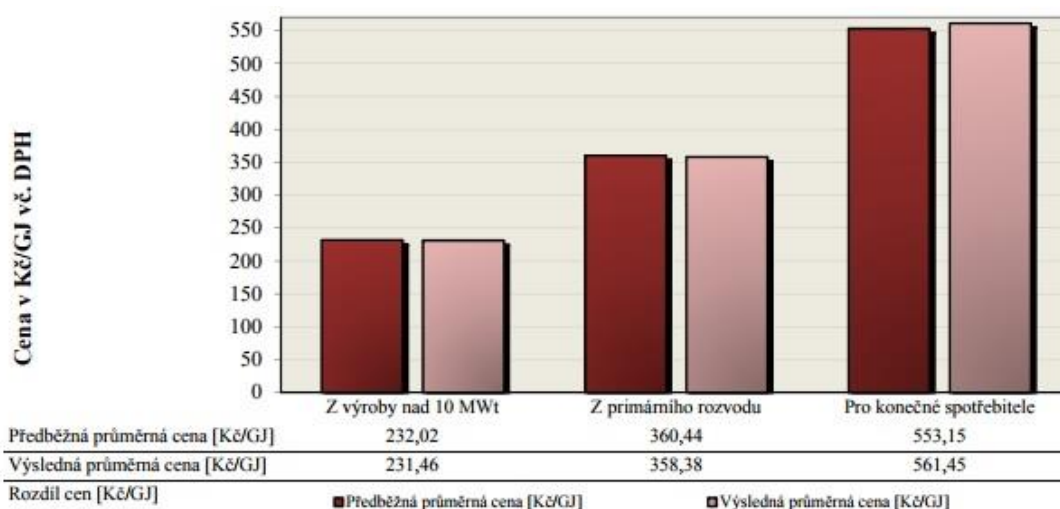
Ceník pro odběrná místa s platem za sjednané a odebrané množství											
Předací místo	Smluvní označení	Sazba	Pražská teplelárenská soustava ³⁾				Lokální plynové zdroje II ⁴⁾				
			plat za množství				plat za množství				
			odebrané množství Kč/GJ	sjednané ²⁾ v tarifním pásmu			odebrané množství Kč/GJ	sjednané ²⁾ v tarifním pásmu			
				A	B	C		A	B	C	
Vstup do RTZ ⁵⁾	na vstupu do předávací stanice	N15	267,20	214,20	202,70	191,20	P15, P16	357,10	167,10	155,60	144,10
Vstup do OTZ ⁶⁾	na výstupu z předávací stanice nebo na vstupu do objektu	N23, N36	305,50	275,10	263,60	252,10	P23, P36	385,70	224,90	213,40	201,90
	teplá voda na vstupu do objektu ¹⁾	N33	559,90	x	x	x	P33	596,70	x	x	x
PTS - horkovodní odběry Holešovice											
		H33	559,90	x	x	x					

Ceník pro odběrná místa s platem za sjednaný výkon a odebrané množství											
Předací místo	Smluvní označení	Sazba	Pražská teplelárenská soustava ³⁾				Lokální plynové zdroje II ⁴⁾				
			odebrané množství Kč/GJ	výkon v tarifním pásmu			odebrané množství Kč/GJ	výkon v tarifním pásmu			
				A	B	C		A	B	C	
			PTS - horkovodní odběry Holešovice								
Vstup do RTZ ⁵⁾	na vstupu do předávací stanice	N19	267,20	1 118,12	1 058,09	998,06	P19	357,10	872,26	812,23	752,20
Vstup do OTZ ⁶⁾	na výstupu z předávací stanice nebo na vstupu do objektu	N26, N39	305,50	1 436,02	1 375,99	1 315,96	P26, P39	385,70	1 173,98	1 113,95	1 053,92
Vstup do RTZ ⁵⁾	na vstupu do předávací stanice	H19	267,20	1 118,12	1 058,09	998,06					
Vstup do OTZ ⁶⁾	na výstupu z předávací stanice nebo na vstupu do objektu	H26, H39	305,50	1 436,02	1 375,99	1 315,96					

Obrázek 17 – ceny tepelné energie od PT [74]

9.9.1 Stanovení ceny tepla

Dodavatel tepelné energie kalkuluje před začátkem zúčtovacího období předběžnou cenu tepelné energie, která vychází z předpokládaných ekonomicky oprávněných nákladů, přiměřeného zisku, předpokládaného množství tepelné energie a daně z přidané hodnoty. Po ukončení účtovacího období sestavuje kalkulaci výsledné ceny tepelné energie, která obsahuje skutečné ekonomicky oprávněné náklady a odpovídá výnosům za tepelnou energii a skutečnému dodanému množství tepelné energie za ukončený kalendářní rok. V následujícím grafu č. jsou porovnány předběžně kalkulované ceny tepelné energie k 1. 1. 2015 a výsledné ceny za rok 2015 na úrovních předání tepelné energie, kde jsou realizovány největší dodávky (z výroby nad 10 MWt, z primárního rozvodu a pro konečné spotřebitele). Z celkového vyhodnocení údajů vyplývá, že se výsledné ceny tepelné energie za rok 2015 výrazně neliší oproti předběžným cenám tepelné energie k 1. 1. 2015.[75]



Obrázek 18 – Porovnání předběžné ceny a výsledné ceny za rok 2015[75]

10 Návrhová část pro zlepšení dané problematiky v PT

Po zanalyzování problematiky v PT se nabízejí tři možnosti ohledně čištění deskových výměníků:

- 1) Zachovat stávající metodu čištění a čistící roztok ponechat.
- 2) Zajišťovat čištění výměníků pouze pomocí externích firem.
- 3) Zefektivnit čištění jinou metodou čištění a jiným čistícím roztokem.

První možnost nemůže přinést žádné zlepšení v dané problematice už z důvodu, že jednak zakonzervovává současný stav a dále, že vývoj této metody čištění nikdo z pracovníků PT ani Termonty neprovádí.

Z hlediska druhé možnosti jsou v následující kapitole rozebrány ceny čištění jednotlivých firem, které nabízejí tuto službu. Ceny čištění jsou vztažené na jeden typ deskového výměníku, který se v PT používá. Je zde i porovnání ceny výměníku s cenami za vyčištění externími firmami.

Právě třetí možnost nabízí podle mého názoru efektivní přístup ke zlepšení čištění deskových výměníků v PT.

Pro zlepšení daných podmínek v oblasti přestupu tepla a snížení tlakové ztráty, které jsou způsobeny zanesením výměníku tepla, je důležité včasně analyzovat problém tak, aby bylo možné daný výměník vyčistit. Tím, že se vyčistí výměník tepla, dojde díky nižší tlakové ztrátě k úbytku nákladů na čerpací práci, ale hlavním faktorem však je, že při včasné vyčištění výměníku se může prodloužit jeho životnost i o několik let. Pokud však dojde k velkému ucpání deskových kanálků, je velmi obtížně dát takovýto stav výměníku do původního, tzn. plně průchozího stavu. Tato kapitola poskytne pohled, jakým vhodným způsobem by se mohl včasné analyzovat problém zanášení deskových výměníků a také navrhne metodu, která by mohla nahradit stávající metodu čištění, která je popsána v kap. 9.7.2.

První část návrhové kapitoly se bude zabývat, jakým možným způsobem se může docílit zamezení zanesení výměníku tepla tak, aby se nečistil výměník příliš často či příliš pozdě. K tomu slouží diagnostický monitoring – kontrola funkčnosti výměníku.

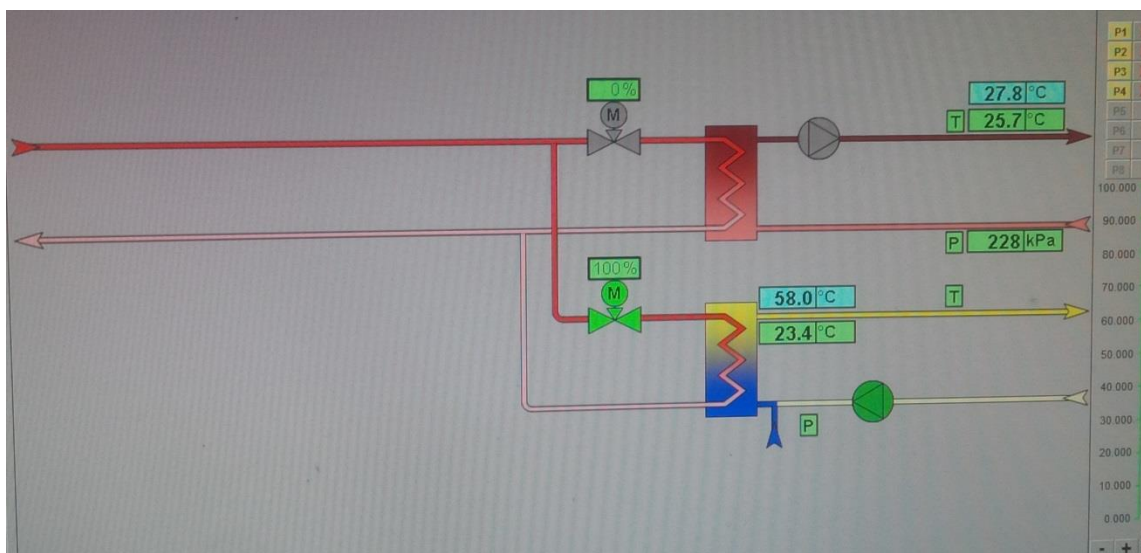
Druhá část popíše ve zkratce navrženou metodu a její výhody. Stanoví se i přibližný náklad na danou metodu. Následující kapitola (kap. 11) prakticky otestuje navrženou metodu na deskovém výměníku, který se také používá v PS. Na základě praktické části vyčištění výměníku tepla, kde byla implementována čistící látka, která funguje pro daný příklad výměníků, které se provozují v PT, se dá stanovit vhodnost

této metody právě pro čištění dané technologie (výměníků). Poslední podkapitola srovná náklady za tento typ čistícího roztoku s produkty ostatních dodavatelů chemického čištění.

10.1 *Kontrola účinnosti výměníku tepla*

V každé předávací stanici, kterou PT provozuje, jsou dle standardů PT [64] dané měřicí komponenty. Jedním z nich je i měřič tepla, který servisuje sesterská společnost PT měření a.s. Toto zařízení umožňuje sledovat daný průtok výměníkem či aktuální výkon. Dalšími měřicími komponenty jsou orientační měřidla – teploměry a manometry. Jak manometr, tak i teploměr je zapojen na primární i sekundární straně. Mezi všemi PS, které provozuje PT, se ještě najdou předávací stanice, které nejsou zmodernizované. Tyto PS jsou osazeny ještě analogovými systémy regulačních okruhů, které nejsou vybaveny displeji ani archivací provozních dat. Tedy obsluha PS může zaznamenat jen provozní data při své přítomnosti, což z pohledu případných analýz je nedostačující. Nicméně větší množství PS je provozováno s osazenými moderními číslicovými řídicími systémy, které mají své snímače teploty a tlaku. Tyto provozní hodnoty jsou pak automaticky vizualizovány a obsluha PS může místně vyčíst z displeje řídicí jednotky relativně přesný parametr daného média. Tyto moderní řídicí systémy jsou vybaveny obousměrnou komunikací se SCADA systémem, který umožňuje nejen sledovat vzdáleně jednotlivé parametry v jednotlivých PS, ale také umožňuje právě i archivaci provozních dat, která jsou pro analýzu nutnou podmínkou.

SCADA je zkratka pro Supervisory Control And Data Acquisition, tzn. supervizní řízení a sběr dat. SCADA tedy není plnohodnotným řídicím systémem, ale zaměřuje se spíše na úroveň supervizora (např. dispečera). Zpravidla je to software fungující nad skutečným řídicím systémem. Software poskytuje údaje z měřidel tepla, snímačů teploty, snímačů tlaku a poskytuje i údaj o poloze regulačního ventilu. Žádané výstupní teploty sekundární strany jsou dosahovány regulací průtoku primární vody do výměníku tepla prostřednictvím regulačního ventilu. Regulační ventily jsou převážně osazeny elektrohydraulickými pohony. Poloha regulačního ventilu je tedy důležitým parametrem k analyzování problému se zanesením výměníku. SCADA systém mohou využívat dispečeré, správcové oblastí, obchodní oddělení i teploměrná služba. Ukázka zobrazení PS ve SCADA systému je na obr. 19. [86]



Obrázek 19 – Zobrazení PS v systému SCADA

10.1.1 Systém AlfaCheck

Jednou z možností analyzovat problém zanášení výměníků je i použití systému od výrobce deskových výměníků Alfa Lavalu.

K analýze výkonnosti rozebíratelných i pájených výměníků slouží systém AlfaCheck, jehož součástí je také měřicí zařízení se čtyřmi čidly teploty a průtokoměrem. Technik externí firmy připevní čidla na vnější stěnu potrubí poblíž vstupů a výstupů výměníku a poté shromažďuje údaje o průtoku a rozdílech teplot. Tento proces zabere přibližně hodinu. Během měření je výměník v běžném provozu a není nutné jeho chod nijak přerušovat. V kanceláři pak technik údaje zpracuje pomocí výpočtového programu, který provede analýzu provozních dat daného výměníku a odvodí optimální tepelné zatížení.

Ve výsledném protokolu jsou porovnány provozní vlastnosti výměníku s optimálními hodnotami a formou jednoduchého barevného grafu zobrazeny informace o jeho skutečném vnitřním stavu. Na základě informací o aktuálním vnitřním stavu deskového výměníku tepla je možné rozhodnout, kdy a proč výměník odstavit. Údržba prováděná ve správný čas zamezí problémům souvisejícím se zanášením, které mohou negativně ovlivnit provoz. Zároveň budou uspořeny náklady za práce prováděné zbytečně. [50]

Systém AlfaCheck, které poskytuje servisní centra společnosti Alfa Laval, by pro PT nebyl příliš efektivní. Důvod je provozování 1800 PS, na kterých může být jiný typ výměníku či se může lišit délka provozu daných výměníků. Nelze proto provést zkoušku pouze u jednoho či pár vybraných výměníků a následně zanalyzovat všechny

ostatní. Při objednání této služby na všechny možné výměníky, které PT provozuje, by sice došlo k velké efektivitě a následnému přehledu o tom, jaký výměník vyčistit nicméně investice do tohoto procesu by byla příliš vysoká a je pravděpodobné, že by se investované prostředky dostatečně nevrátily.

10.1.2 Vlastní návrh kontroly zanesení deskových výměníků

Stejně jako u metody používanou společností Alfa Laval, jsou v PS k dispozici 4 teploty (primární přívod a zpátečka, sekundární přívod a zpátečka), které spolu s průtokem, který je zaznamenán na měřiči tepla (instalovaný na primární zpátečce), stačí k vyhodnocení výkonu výměníku tepla. Podle této metody je však ještě zapotřebí určit hodnotu součinitele přestupu tepla k . Tyto výpočty se většinou provádějí pomocí softwaru na výpočet tepelných ztrát, který má k dispozici výrobce výměníku. Tento postup je však pro posuzování neefektivní (časově a finančně náročné ověřování výkonové funkčnosti výměníku).

PT by také mohla investovat do příslušného softwaru tak, aby na základě těchto 5 parametrů (teploty médií a průtoku) mohl vždy vyhodnotit daný stav určitého výměníku a analyzovat, kdy je zapotřebí výměník vyčistit. Investici do vývoje interního „hlídacího“ softwaru však nedoporučuji, neboť i v tomto případě se jedná jednak o vícenásobné náklady spojené nejen s vlastním vývojem softwaru, ale i náklady na provoz a správu systému.

Návrh pro kontrolu včasného analyzování zanesení po vyloučených možnostech spočívá s použitím datové struktury zavedeného interního softwaru SCADA. Tato příležitost se mi jeví z časového a finančního hlediska jako nejvýhodnější, navíc pro účely posouzení stavu výměníku jako dostačující.

Přesné zanalyzování, kdy a jak moc došlo k zanesení výměníku, je velice problematické. V návrhu analýzy dotyčné problematiky je nutné určit, jaký pracovník bude patřičnou analýzu provádět. Je nutné, aby tento pracovník měl přístup ke všem potřebným datům, díky kterým by byl schopný analyzovat zanesení. Správce oblasti má přístup k systému SCADA a zároveň zodpovídá za stav PS v příslušné oblasti, tudíž se jeví jako optimální volba.

V systému SCADA může správce oblasti zobrazit jednotlivé PS, za které zodpovídá. Důležitým parametrem je zmiňovaná poloha regulačního ventilu zobrazená v procentech. Pro zanalyzování musí dotyčný pracovník znát i parametry na sekundární straně, jedná se o požadovanou teplotu sekundární strany a výstupní teplotu sekundární

strany či případný odběr tepelné energie celého sekundárního okruhu. Například v systému ÚT při ohřevu otopné vody s max. výstupní sekundární teplotou 80 °C bude v závislosti na venkovní teplotě požadovaná hodnota ohřevu sekundárního okruhu 43 °C, požadavky odběratelské potřeby budou uspokojeny, ale regulační ventil je otevřen na 95 %. Toto již signalizuje nestandardní provozní stav. Při takové poloze regulačního ventilu je nutné zjistit, zda jsou všechny parametry primární a sekundární strany v pořádku. Pokud není problém lokalizován na jiných technologických komponentech v PS primární ani sekundární straně, pak je s největší pravděpodobností závada přestupu tepla je v deskovém výměníku. Jedná se o zanesení výměníku. Zjednodušeně se dá říci, že se jedná o analýzu polohy regulačního ventilu na primární straně a porovnání požadované a okamžité teploty spolu se spotřebou tepelné energie na sekundární straně. Proces této analýzy však není jednoduchý na zjištění. Příslušný pracovník musí znát parametry regulačního ventilu (zejména jeho k_v hodnotu) a parametry deskového výměníku tak, aby mohl určit, zda poloha ventilu při odběru tepelné energie je adekvátní, či nikoli. Tak, aby bylo zanesení výměníku lokalizováno včas, je nutná dobrá znalost možných alternativ chování PS a patřičné zkušenosti příslušného pracovníka.

Pro evidenci o vyčištěných výměnících slouží vnitropodnikový informační systém SAP, kam se ukládají i data o provedené údržbě na PS. Tyto údaje tedy slouží jako podklad k naplánování dalšího čištění deskových výměníků. Pro přesné a rychlé zorientování může dle mého návrhu sloužit i vedle systému SAP tabulka se spisem provozovaných výměníků na příslušné oblasti. Výhoda prosté tabulky spočívá v rychlém zorientování a přehledu o údajích ohledně čištění či zhoršených stavech výměníků a následném stavu po vyčištění.

Tabulka 2 – Vzor tabulky pro evidenci o čištění výměníků; vysvětlivka: sek. = sekundární okruh, RV = regulační ventil

Označení PS	Typ výměníku	Okruh zapojení	Datum připojení	Záznam o zhoršeném stavu	Datum čištění	Stav po vyčištění
A6/1364	Alfa Laval CB76 – 50H	ÚT	14/5/2009	11/5/2015 požadavek sek. 40 °C RV 80 % - konstantě	10/6/2015	23/9/2015 požadavek sek. 43 °C RV 12 % - kolísá
Bo 307	Secespol LC170	ToV	6/2/2017	20/3/2017 požadavek sek. 65 °C RV 60 % - kolísá ± 5%	1/6/2017	5/6/2017 požadavek sek. 65 °C RV 23 % - konstantě

10.1.3 Nejlepší doba pro čištění výměníku tepla pro ohřev ÚT

Optimální doba pro vyčištění deskových výměníku tepla, které jsou užívány pro ohřev ÚT, je v období mimo topnou sezónu. Deskové výměníky jsou stále pod tlakem

otopného média, ale okruh primární strany je uzavřen uzavíracími armaturami před výměníkem, tudíž nedochází k ohřevu. Pokud se výměník vyčistí v tuto dobu, PT nepřichází o žádné ušlé příjmy z neprodaného tepla. Pro přesné vymezení tohoto období je zapotřebí se naopak řídit termínem otopného období, tedy čemu je obecně nazýváno topná sezóna.

O tom, kdy se rozehtějí, nebo naopak zase vychladnou radiátory v bytech, rozhoduje vlastník budovy, nikoliv dodavatelé tepla či teplárny. Pravidla pro vytápění se obecně řídí závazným předpisem, konkrétně vyhláškou č. 194/2007 Sb. V ní je otopné období vymezeno od 1. září a 31. květnem následujícího roku. Otopné období PT je vždy ovlivněno venkovní teplotou. V této době se podle zmíněné vyhlášky dodávka tepelné energie zahájí v případě, kdy průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě dodávky klesne pod $+ 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dvou následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad $+13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pro následující den. V tomto období má PT v provozu předávací stanice tak, aby sekundární okruhy byly na stanovených parametrech dle uzavřených smluv. Výměníky tepla, jsou v tomto období v provozu.

A opačně i platí, že ohřev ÚT se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad $+ 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod $+ 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se vytápění obnoví. Mimo otopné období tedy PT nepřichází o své příjmy z prodeje tepla, a tato doba je vhodná pro následnou údržbu výměníků v podobě čištění. Nicméně predikce počasí je velmi zrádná a je tudíž velmi obtížné určit, kdy se k tomuto výkyvu počasí v době otopné sezóny nastane. Často se stává v jarních měsících, že přes den je venkovní teplota okolí vysoká a naopak po západu slunce je teplota tak nízká, že stanovený denní průměr vyjde pod $+ 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Stanice s moderní regulací mají nastavení na tzv. eco režim, který odstavuje danou regulaci od ohřevu ÚT. Tyto dny lze také využít k právě zmiňované údržbě. Pro ujasnění definuje vyhláška, jak má být průměrná teplota zjišťována, aby nedocházelo ke zbytečným sporům. A tedy, že průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu s vyloučením vlivu sálání okolních ploch v 7:00, 14:00 a ve 21:00 hod., přičemž teplota měřená ve 21:00 se počítá dvakrát. [76]

PT dodržuje zmíněná pravidla, tudíž lze dobře stanovit přesný čas pro případnou údržbu. Nelze však plánovat čištění výměníků, které by mohli provádět pracovníci dceřiné společnosti Termonty v době, kdy jsou z důvodů odstávek všichni pracovníci většinou využiti a zaneprázdněni prací na jiných technologických a závažnějších problémech. Ideální čas pro vyčištění se tedy pohybuje přesně mimo letní odstávky a zároveň mezi koncem a začátkem otopného období. Pokud by však pro vyčištění zanesených výměníků byla přijata externí společnost, ideální období se prodlužuje na celý vymezený čas mezi koncem a začátkem otopného období.

10.1.4 Optimální doba pro čištění výměníku tepla ohřevu TV a ToV

Dodávky TV jsou zajišťovány celoročně s výjimkou krátkých odstávek nutných z technických a provozních důvodů. PT se však snaží, aby tyto odstávky byly co nejkratší. Z toho důvodu se vyskytuje jen krátké optimální období pro vyčištění výměníků, provozující ohřev TV. V tomto období lze bez ušlých příjmů z prodeje teplé vody vyčistit daný zanesený výměník. Bohužel však v tomto období, díky nutné práci jsou pracovníci dceřiné společnosti Termonty zpravidla zaneprázdněni. Alternativa spočívá v zadání požadavku pro externí společnost, která v tomto období výměníky vyčistí.

Ztráta z ušlých příjmů není však pro PT tak znatelná, tudíž není potřebné uvažovat jen optimální dobu vyčištění výměníku. Interní metoda vyčištění výměníků může být tedy prováděna celoročně, je však nutné brát ohled na přesný čas vyčištění během dne. Po 9 hod ranní již není odběrová špička, tudíž je zde prostor pro vyčištění atd.

Ohřev ToV je v provozu stejně jako TV celoročně. Jelikož se jedná o topnou vodu o konstantní teplotě, která je následně zapojena do tlakově závislé předávací stanice, je nutné přistupovat k čištění výměníku ToV stejně jako k čištění výměníku TV. Jen s tím, že ideální doba je jako u čištění výměníků ÚT, tedy mezi koncem a začátkem otopného období a mimo plánované odstávky. Důvodem je případná eliminace ušlých příjmů z prodeje tepelné energie na nedodané ÚT.

10.2 *Ceny chemického čištění externích firem*

Cena chemického čištění deskových výměníků tepla je externími firmami různě stanovena a odvíjí se zejména od nákladů na čisticí látku a je ovlivněna tržním prostředím.

Například brněnská firma ESL a.s. nabízí cenu dle následujícího ceníku (obr. 20), kde ještě není započítaná hodinová sazba za práci servisního technika, náklady za materiál a cestovní náklady.

Nové označení	Staré označení	Cena jednostranné čištění (Kč)	Jednorázové zapůjčení (Kč/den)
CB16	CB 14	1 500,-	400,-
CB18		1 800,-	400,-
CB20		2 000,-	500,-
CB30	CB 26, 27	2 000,-	500,-
CB60	CB 52	2 600,-	500,-
CB110	CB 76	3 700,-	900,-
CB112	CB 77	3 700,-	900,-
CB200, 300, 400		Dle individuální nabídky	Dle individuální nabídky

Obrázek 20 – ceny čištění [52]

Autorizované servisní centrum Alfa Lavalu, které provozuje i společnost KP Mark s.r.o. v Praze a dle [53] čištění na stacionárním zařízení tvá podle stupně znečištění a vytíženosti i několik hodin. K čištění se dá například i použít mobilními jednotka s názvem CIP 200 nebo CIP 40, která je schopná čistit deskové výměníky přímo v místě instalace. Čistící zařízení je možné zakoupit za 59 900,- Kč (CIP 40), nebo je možné si od [53] zapůjčit toto zařízení od 800 Kč za den. Například pan Karel Havlíček s jeho firmou [57] se odkazuje s určením ceny čištění až po ukončení práce, protože délka čištění a objem použitých chemikálií jsou závislé na objemu usazenin a stavu znečištění. Nevýhoda této firmy je, že při likvidaci odpadu z proplachovaných zařízení je si povinen zajistit objednavatel z důvodu, že není možno určit druh a původ usazenin. Stanovené východisko zmiňované firmy je v rozporu s interními standardy PT, tudíž tato firma není vyhovující k čištění výměníků v PT.

Cena výměníku Alfa Laval CB76-50L (počet desek = 50, typ kanálku L) je dle [52] 59 101 Kč. Ceny čištění dle dostupných informací společností, které čistí deskové výměníky jsou uvedeny pro srovnání v tabulkách č. 3 a č. 4. V tabulce č. 3 jsou ceny za vyčištění deskového výměníku CB76 na místě instalace výměníku. V tomto případě daná externí firma přijede na místo, kde je výměník provozován a vyčištění výměníku je provedeno na místě. Cena za vyčištění je včetně nákladů za vzniklý nebezpečný odpad, který je pak následně ekologicky zlikvidován. V druhé tabulce č. 3 jsou uvedeny ceny za čištění deskového výměníku CB76, který je vyčištěn v místě externí společnosti. To znamená, že provozovatel výměníku si musí sám demontovat zanesený

výměník a dopravit ho do místa firem, kde projde následným čistícím procesem. K této ceně je nutné připočíst náklad za vlastní dopravu. Po vyčištění si provozovatel opět výměník odveze. Doba čištění pro všechny dodavatele je průměrně stanovena na 12 hod (5 hod primární okruh + 7 hod sekundární okruh výměníků), ale fakturovaných hodin dle sazebníku dotyčných firem je jen 5.

Tabulka 3 – Srovnání cen čištění v místě instalace [52][53][54][55][56]

Firma	cena čištění v místě instalace (Kč)
ESL a.s.	9 700 ,-
ETL-Ekotherm a.s.	6 800 ,-
Alfa Omega Technology	10 610 ,-
KP MARK s.r.o.	11 930 ,-

Mezi dodatečné náklady k tabulce 3 patří hodinová sazba servisního pracovníka a náklady na dopravu, účtované externí firmou. Dle uvedených cen se dá určit, že cena za čištění je zhruba 1/6 ceny deskového výměníku.

Tabulka 4- Srovnání cen čištění v místě externí firmy [52][53][54][55][56]

Firma	cena čištění v místě externí firmy (Kč)
ESL a.s.	7 400 ,-
ETL-Ekotherm a.s.	3 700 ,-
Alfa Omega Technology	7 250 ,-
KP MARK s.r.o.	7 250 ,-
Rego s.r.o.	2 500 ,-
HTS a.s.	7 000 ,-

10.3 Obecné úskalí při externím čištění energetického zařízení

Velmi lákavé vyčištění energetického zařízení, které je v poměru s cenou dané technologie několikrát levnější, se může jevit jako jasné řešení při úspoře nákladů. Problém nastává, kdy chemické čištění není tak efektivní, jak se na první pohled mohlo zdát anebo kdy chemické čištění naopak napáchá více škody, než užítku. V minulosti

docházelo po čištění otopných soustav kyselinami k narušení základního materiálu a tudíž i k znehodnocení celé technologie. Ztráty pak byly značné.

Neprofesionální přístup k čištění energetických zařízení může způsobit zkrácení životnosti a nebezpečná poškození materiálů, což se projeví až v provozu vyčištěného zařízení.

Řada firem, bez potřebné kvalifikace, mnohdy nezná složení materiálů čištěného systému ani složení používaného prostředku k čištění. Neuvědomují si, že provádí zákrok na tlakových systémech. Je proto nezbytné požadovat při výběru firem prokázání jejich kvalifikace a záruky za provedenou práci.

Stejná zodpovědnost je na straně objednavatelů čištění či zadavatelů výběrového řízení. Nejlevnější nabídka nemusí být totiž ta nejkvalitnější. Pro potřebný vysoký stupeň bezpečnosti práce i životního prostředí je nutné volit vhodné čisticí metody, prostředky a jejich výrobce a profesionální firmy s patřičnou kvalifikací i minulostí v oblasti čištění náročných zařízení. [67]

Tato kapitola je sice více z obecného hlediska, nicméně je dobré, aby každá společnost včetně PT si byla vědoma všech možných úskalí při využití externí firmy pro čištění energetických zařízení do budoucna. Zároveň jedním z důvodů, proč být obezřetný při spolupráci s externí společností při čištění je složité okamžité prokázání účinnosti čištění. Hlavním důvodem zůstává pro zavedení plošné spolupráce s externí společností velké množství PS, které PT provozuje.

10.4 Navržená metoda čištění výměníků tepla a její náklady

Stávající postup a čisticí látka, která se používá pro vyčištění výměníku tepla v PT je dostačující. Daná čisticí látka Kalklöser P je doporučována společností Alfa Laval, která se samostatně velmi zabývá touto problematikou. Nicméně tato směs není na prvním místě nabízených produktů. U všech dostupných čisticích látek, které obsahují v určitém množství kyselinu, hrozí nebezpečí, že daný výměník tepla mohou nejen vyčistit, ale i poškodit. Z toho plyne, že přípravek, který vyčistí daný výměník bez sebemenšího poškození základního kovu a tedy nenaruší funkčnost výměníku, je ideální variantou.

Navrhovaná metoda pracuje s přípravkem Z-Fáze, který není v ČR mezi výrobci a dodavateli výměníků, kteří zpravidla provádějí jejich následný servis, tak moc rozšířený. Unikátní na tomto přípravku je, že zároveň čištěné plochy pasivuje. Dle mých informací tento účinek nemá žádný jiný čisticí přípravek. Po vyčištění jakýmkoliv

jiným čisticím přípravkem je tedy nutné samostatně vytvořit pasivační vrstvu. Dle prováděných testů na Ústavu strojírenské technologie na Fakultě Strojní ČVUT v Praze tento přípravek nenarušuje základní materiál a je tedy bezpečné ho použít na vyčištění deskových výměníků pájených mědí. Praktické vyzkoušení této směsi pro daný typ výměníku je popsáno v kapitole 11.

10.4.1 Postup metody čištění

K danému postupu je zapotřebí stejné vybavení jako u metody, která se používá v PT. Je nutné mít tedy čerpadlo vhodné pro čištění, tzn. s vhodnou nádrží o objemu min. 20 litrů a přívod studené a teplé vody. Potřeba množství čisticího roztoku závisí na velikosti technologického zařízení. Technologický postup čištění je stručně popsán v bodech takto:

- 1) Příprava na chemické čištění.
- 2) Čištění technologického zařízení metodou CIP .
- 3) Proplach, neutralizace a pasivace čištěného technologického zařízení.
- 4) Ukončení chemického čištění, očištění prostorů po chemickém čištění.

CIP – čištění na místě (cleaning in place) [84]

10.4.2 Náklady na Z-Fázi

Výrobek Z-Fáze se vyrábí v zahraničí. Tento produkt je tedy k dispozici jen prostřednictvím společnosti, která výrobky distribuuje. V ČR je pouze jediná společnost, která přímo komunikuje s dotyčnou zahraniční společností. Společnost ZETFAZA s.r.o. může distribuovat jako jediná tuto čisticí směs. Zaváděcí cena jednoho litru přípravku Z-Fáze stojí 520 Kč. Tento přípravek se ředí s vodou v poměru 1:20 pro vyčištění běžně zanesených výměníků. Pokud však došlo k velkému ucpání mezideskových kanálků ve výměníku, je potřeba tuto koncentraci upravit. Objem potřebné látky se také odvíjí od objemu kanálků deskových výměníků. Tento rozdíl však bude pouze v jednotkách litrů či spíše stovek mililitrů přípravku Z-Fáze.

Největším nákladem pro vyčištění výměníku je čas pracovníka obsluhující čisticí soustavu. Dalším nákladem je likvidace produktu, pokud nedojde ke správné neutralizaci, kde pH roztoku stoupne až na hodnotu 7 je nutné tento roztok ekologicky zlikvidovat v příslušné ČOV, s tím jsou spojené další finanční výdaje.

10.4.3 Srovnání cen s ostatními chemickými přípravky

Pro srovnání čistících chemických přípravků je nutné zvážit i poměr ředění čistícího roztoku s vodou. Z-Fáze se ředí s vodou v poměru 1:20, to znamená, že do nádrže čistícího zařízení, který má objem 20 litrů stačí jeden litr přípravku. Cena pro naplnění této nádrže je tedy 520 Kč.

Shrnutí doporučených čistících chemikálií od Alfa Lavalu a dalších přípravků je v následující tabulce. V tabulce 5 je srovnání možných produktů, které lze zakoupit k vyčištění deskových výměníků. Je zde srovnání ceny za balení, cena za jeden litr přípravku a poslední sloupec tabulky srovnává cenu přípravku, která je potřeba po naředění s vodou k vyčištění stejného výměníku.

Tabulka 5 – Srovnání cen čistících roztoků (uvedené ceny jsou bez DPH) [80][81][82]

Název chemikálie	ředění	Balení	Cena [Kč]	Cena za 1 l	Cena za připravenou směs k vyčištění výměníku v nádrži o objemu 20 l
Alfa Phos	1:5	20 l	6841,-	342 Kč/ litr	1368 Kč
Alfa Caus	1:5	20 l	4410,-	220 Kč / litr	880 Kč
Alfa P-Scale	1 kg na 20 l roztoku	1 kg	590,-	-	590 Kč
Alpaccon Descalant Detex	1:10	10 l	1250,-	125 Kč	250 Kč
Kalklöser P	1 kg na 20 l roztoku	5 kg	1544,-	308 Kč/ kg	308 Kč
Z-Fáze	1:20	20 l	10400,-	520 Kč	520 Kč

Z-fáze je třetí nejlevnější pro přípravu čištění deskových výměníků. Pořizovací cena balení je však nejdražší. Pokud se prokáže dobrá účinnost tohoto čistícího roztoku, je možné spekulovat o nejvýhodnějším čistícím roztoku z nabízených.

10.4.4 Zavedení přípravku Z-Fáze do PT

Pro zlepšení účinnosti čištění deskových výměníků v PT jsou k dispozici dva návrhy užívání možné čistící látky Z-Fáze. První návrh spočívá ve vlastním užívání tohoto čistícího přípravku a nahrazení za současný přípravek Kalklöser P. Druhý návrh kopíruje spolupráci s externí firmou. V tomto případě je na území ČR pouze jedna

firma, která v této chvíli může naplno disponovat zmiňovaným produktem, jedná se o již zmiňovanou firmu ZETFAZA s.r.o.

V současné době nelze počítat s druhým návrhem, jelikož firma ZETFAZA s.r.o. nedisponuje takovým množstvím pracovníků, který by dokázal případnou poptávku ze strany PT pokrýt. První možnost nespočívá pouze v distribuci samotného produktu, který by v PT nahradil současný. Přestože k navržené metodě je zapotřebí stejné vybavení jako u současné metody čištění, je nutné, aby příslušný pracovník, který bude provádět čištění, byl patřičně zaškolen a seznámen se všemi aspekty týkající se čištění. Na druhou stranu jedna z výhod navržené metody spočívá právě v potřebě stejného vybavení pro čištění, které se již v PT používá.

V současné době jak je uvedeno v kap. 9 zajišťuje vyčištění výměníků dceřiná společnost Termonta. Je tedy možné provést zaškolení na její pracovníky, kteří již mají zkušenosti se samotným čištěním. Navíc Termonta disponuje zabezpečeným pracovištěm, které splňuje všechny podmínky ke skladování čisticí směsi či případného odpadu po vyčištění.

Po zanalyzování problému se zanášením výměníku (uvedeno v kap. 10.1) dotyčný správce oblasti předá pracovní příkaz příslušným pracovníkům Termonty. Po schválení dojde k vyčištění.

11 Praktická část vyčištění výměníku

Praktická část se zabývá samotným způsobem čištění, které bylo aplikováno na deskové výměníky níže popsanou chemickou sloučeninou. Úkolem bylo zjistit, zda tato látka dokáže bezpečně daný deskový výměník vyčistit tak, aby nedošlo k porušení těsnosti výhřevných ploch a mohl se deskový výměník dále používat. Nejprve se budeme zabírat chemickou látkou a její případnou toxicitou, zda lze vůbec tuto látku použít pro chemické čištění dané technologie. Kapitola přinese i ekologický pohled na danou metodu čištění, respektive její ekologickou likvidaci. Hlavním bodem této práce je experiment s danou čistící látkou na vhodný výměník tepla. Před a po vyčištění byly vykonány příslušné zkoušky, aby se mohlo stanovit, zda vyčištění výměníku pomohlo.

11.1 Chemická látka

Chemická sloučenina čistícího roztoku vznikla na základě nejjednodušší organické látky ethandial - $C_2H_2O_2$, nebo-li glyoxalu. Za pomoci této látky jako katalyzátoru se dnes vyrábí více než dva a půl tisíce látek a tento seznam se stále prodlužuje.

Během studia vlastností glyoxalu bylo zjištěno, že se může používat jako katalyzátor – iniciátor a urychlovač reakci, ale v řadě případů i jako inhibitor – blokátor reakcí. Bylo zjištěno, že směs glyoxalu a kyseliny chlorovodíkové, která je nebezpečná pro všechny kovy, měď a nerez především, vůbec nereaguje s konstrukčními kovy. Což je jeden z příkladů funkce inhibitoru. Na druhou stranu vodný roztok stejné směsi s 5 % kyseliny chlorovodíkové více než desetkrát rychleji, v porovnání s 5 % vodným roztokem kyseliny chlorovodíkové, rozpouští usazeniny (složitou kompozici solí a rzi). To představuje funkci katalyzátoru.

Po objevení prvních účinků sloučeniny bylo nutné zajistit optimální poměr mezi účinky, náklady, bezpečností a šetrností k životnímu prostředí, které prvotní verze sloučeniny neměla. Konečný výrobek má tedy ještě asi dalších čtyřicet substancí – organických i neorganických. Výsledná směs by tedy měla rozpouštět jakékoli nánosy vodního kamene, bez poškození kovových základů, ani jejich svarů nebo gumových či plastových těsnění.

Optimální kombinace na základě glyoxalu byla patentována a po různých modifikacích pojmenována na Z-Fáze. Tento výrobek se nyní průmyslově se vyrábí. Výrobek se řídí standardy výrobce. Příznačné je, že pro ostatní chemické prostředky pro

odstraňování vodního kamene a rzi neexistují žádné přísné nadnárodní, nebo o něco volnější národní, standardy. Všechny tyto prostředky se desítky let vyrábí podle vlastních firemních norem, kterých už je nespočetné množství.

Algoritmus chemického čištění energetického zařízení, který je doporučovaný jinými výrobci čistících směsí, se skládá až ze sedmi operací, ale tato chemická směs na bázi glyoxalu si vystačí pouze se dvěma – samotným čištěním a následným propláchnutím vodou, to vše i bez ohledu na druh minerálních usazenin, včetně ochranné pasivace. [77]

11.1.1 Testování čistící směsi

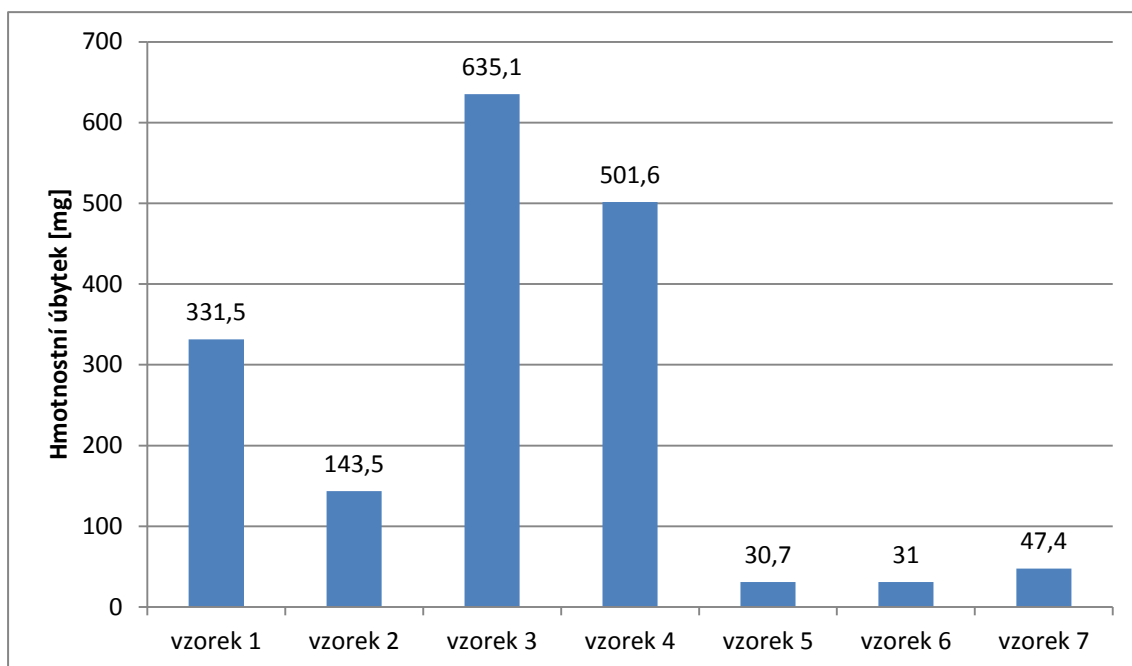
Na trhu existuje řada různě bezpečných a účinných čistících prostředků. Proto byly provedeny laboratorní zkoušky a porovnání odlišných prostředků od různých výrobců. Zkušebním vzorkem byla zkorodovaná ocel. Vzorky byly přesně zváženy a následně ponořeny do čistících prostředků na 24 hodin. Po uplynutí této doby byly vzorky osušeny a opět přesně zváženy. Sledovány byly hmotnostní úbytky, tedy vliv chemického prostředku na čištěný materiál.

Hodnotící kritérium bylo množství, respektive koncentrace použitého přípravku a jeho účinnost při čištění. Z tabulky vyplývá, že nejúčinnější prostředek je pod označení C a D.

Tabulka 6 – Srovnání čistících přípravků [67]

Přípravek	Vzorek	Koncentrace [obj.%]	Hmotnost před zkouškou [g]	Hmotnost po zkoušce [g]	Hmotnostní úbytek [mg]
A	1	10 %	27,4880	27,1565	331,5
B	2	1 %	27,2457	27,1022	143,5
C	3	50 %	27,2100	26,5749	635,1
D	4	10 %	27,2636	26,7620	501,6
E	5	1 %	27,5555	27,5248	30,7
F	6	3 %	27,3271	27,2961	31,0
G	7	1 %	27,2100	27,1626	47,4

Na grafu 2 lze sledovat a porovnat hmotnostní úbytky vzorku v miligramech při použití různých čisticích prostředků (uvedených v tabulce 5).



Graf 2 – hmotnostní úbytky jednotlivých čisticích prostředků [67]

Z uvedených zkoušek vyplývá, že nejvyšší čisticí schopnost mají prostředky C, D, A. Protože u čisticího prostředku C je potřeba 50 % koncentráту do čisticího roztoku na znečištěné systémy, byl k dalšímu čištění zvolen jako ekonomicky nejvýhodnější čisticí prostředek pod označením D. [67]

Tento prostředek je použit i v následující aplikaci – jedná se o Z-Fázi.

11.2 Výměníky před vyčištěním

Dva výměníky tepla se před samotným vyčištěním podrobili defektoskopii. První výměník byl demontován ze soustavy ÚT, když došlo k netěsnosti mezi protékajícími pracovními médii. Oba dva testované výměníky jsou zapojeny protiproudově. U prvního výměníku si lze ověřit podle pořizovaných fotek (obr. 22-26) jeho znečištění po demontování. První výměník již nemůže být funkční, právě z důvodu netěsnosti. Tento výměník tedy pouze slouží k ukázce možného zanesení po letech provozu v teplárenství. V této práci je označen jako výměník B.

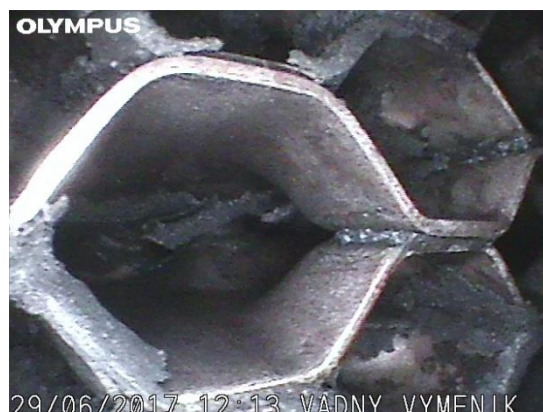
Z hlediska výzkumu je více zajímavý druhý výměník (dále jen pod označením výměník A). Výměník A také sloužil v okruhu ÚT a je více zanesený než první

výměník, ale i přes tak značné znečištění je stále funkční. Proto je pro tuto práci stěžejní tento výměník, jehož znečištění je možné vidět na obr. 27.

Kontrola znečištění byla provedena průmyslovým endoskopem/videoskopem značky Olympus Série C (Obr. 21). Základní průmyslový videoskop značky Olympus nabízí výjimečné natáčení konce sondy, odolnost a skvělou optiku, která umožnila získat obraz zvětšený, jak jsem k práci potřeboval.



Obrázek 21 – Videoskop značky Olympus [83]



Obrázek 22 – Detail vnitřní části netěsného výměníku B



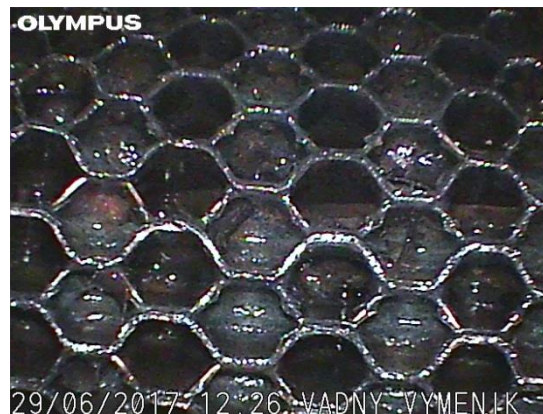
Obrázek 23 – Detail zaneseného kanálku ve výměníku B



Obrázek 24 – Zanesené kanálky výměníku B



Obrázek 25 – Pohled na sekundární stranu výměníku B



Obrázek 26 – Zanesené kanálky

Výměník A je na snímcích nepřesně označen jako vadný výměník 2, jedná se však o funkční výměník, jak již bylo zmíněno. Na fotkách je zobrazena jak sekundární tak primární strana. Na fotkách je možné vidět velké zanesení primární strany výměníku, vstup primárního okruhu (obr. 27) a výstup z primární strany výměníku (obr. 28 a 29). Sekundární strana byla méně zanesená (obr. 30 a 31).



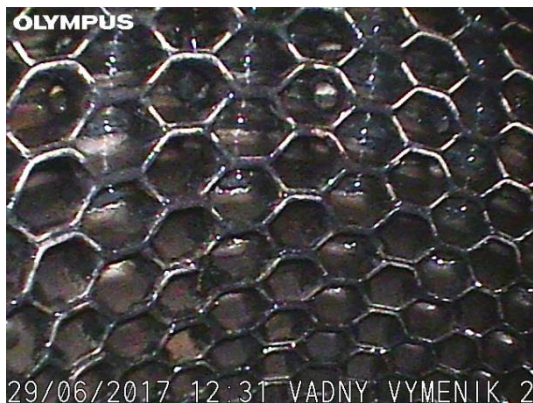
Obrázek 217 – Primární strana výměníku A



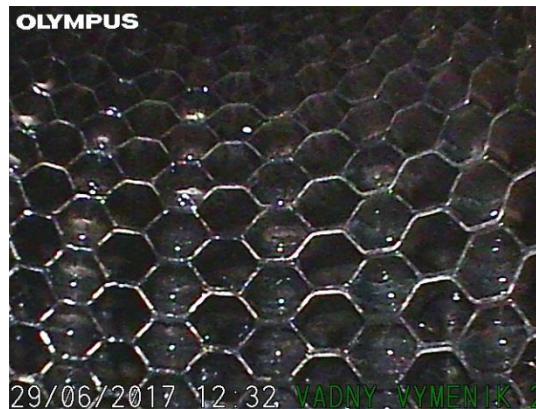
Obrázek 28 – Výstup z primární strany výměníku A



Obrázek 29 – Výstup z primární strany výměníku A



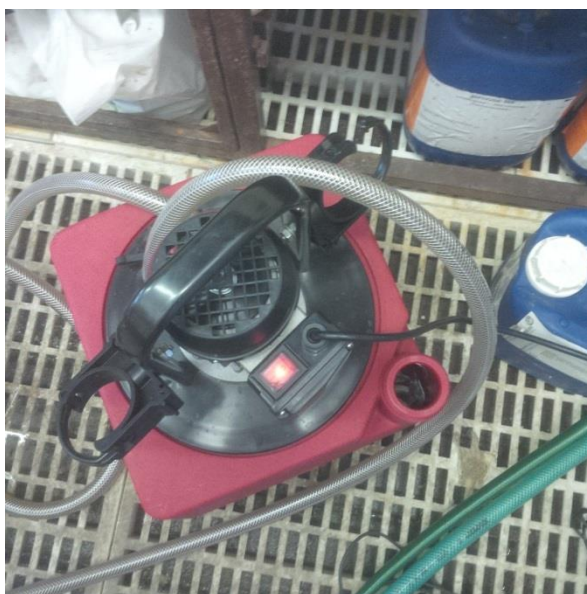
Obrázek 30 – Sekundární strana výměníku A



Obrázek 31 – Sekundární strana výměníku A

11.3 Přístroj k vyčištění deskového výměníku

K vyčištění výměníků tepla byla použita čistící pumpa DOS 25 V4V značky Regulus (obr. 32). Tato čistící pumpa je vybavena čtyřcestným ventilem a jeho přepínáním je možné měnit směr proudění čistícího roztoku. Maximální pracovní teplota protékajícího média je 50 °C. Objem nádrže je 20 litrů. Průtok může být až 56 l/min (3,34 m³/h) s příkonem 0,165 kW. Při tomto experimentálním čištění byla tato pumpa použita poprvé a její výsledek byl velmi dobrý. Po čištění lze říci, že tento typ pumpy je optimálním prostředkem pro čištění vnitřních povrchů. Pumpa splnila požadavky, kterým dokáže zajistit dostatečně rychlé vyčištění vnitřních ploch od korozních produktů a minerálních úsad. Jeden z aspektů pro splnění těchto požadavků je reverzní chod pumpy. Při změně smyslu otáčení se mění směr průtoku kapaliny.[78]



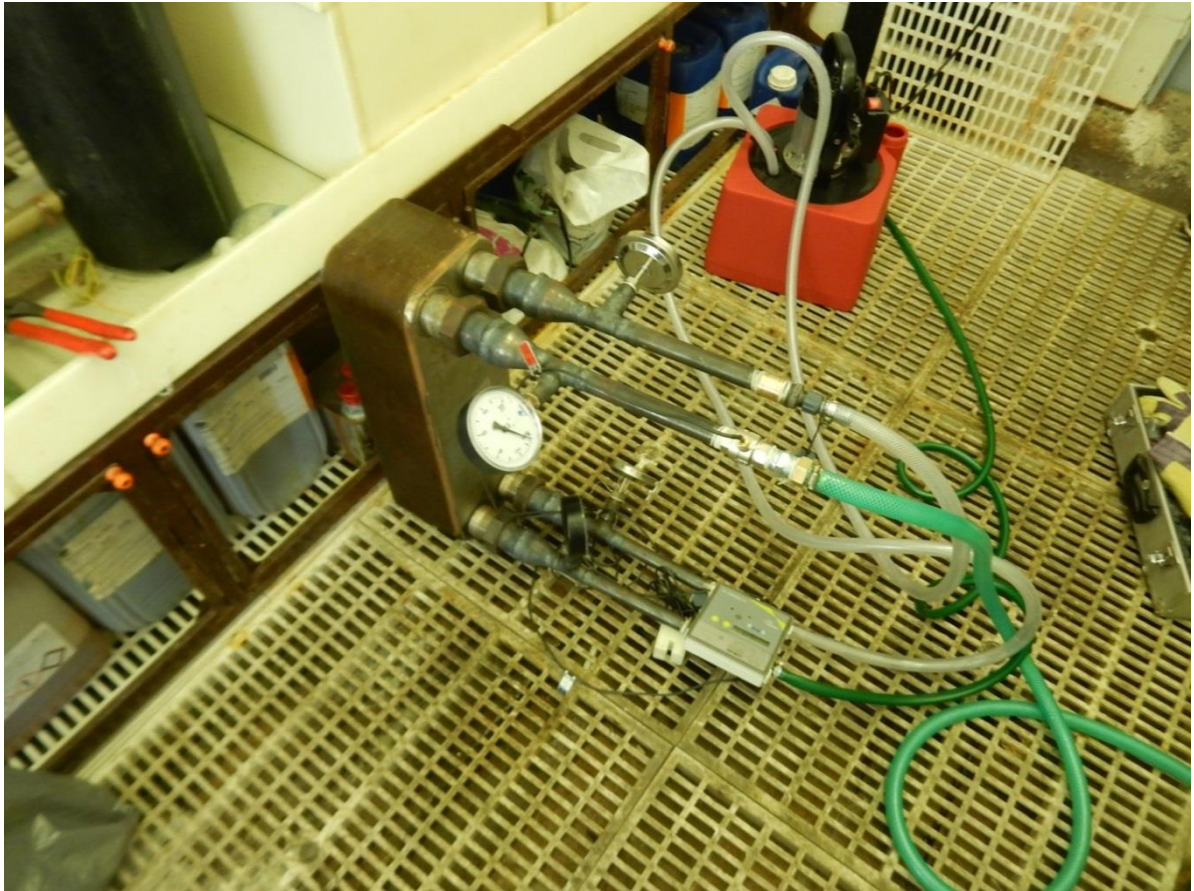
Obrázek 32 – čistící pumpa značky Regulus

11.4 Experiment vyčištění deskového výměníku

Čištění proběhlo u výměníku A. Jedná se o deskový výměník značky Alfa Laval typu CB76-50H. Prvotním cílem bylo zjistit, jak zmiňovaná čistící směs dokáže vyčistit usazeniny z výměníku, kterými byl výměník znečištěn při zapojení v teplárenské soustavě. Na základě pořízených fotek endoskopem (kap. 10.2) se dá vizuálně určit, jakým způsobem se výměník v daných místech vyčistil. Určení pouze vizuálního zlepšení však není pro danou problematiku dostatečný. Dalším cílem vyčištění výměníků bylo, zda dojde ke zlepšení průtoku a o kolik. Výměník se otestoval i na přenos teploty z jednoho okruhu na druhý okruh. Tento experiment se vyjádřil v porovnání ohřevu zaneseného výměníku a vyčištěného výměníku v závislosti na čase. Posledním a zároveň jedním z nejdůležitějších cílů bylo zaznamenat, zda dotyčná čistící směs nenaruší výměník tepla tak, aby byl nadále funkční, tzn. základní materiál desek nebo pájky nesmí být narušen či poškozen a tedy teplotonosné látky v okruzích musí zůstat oddělené.

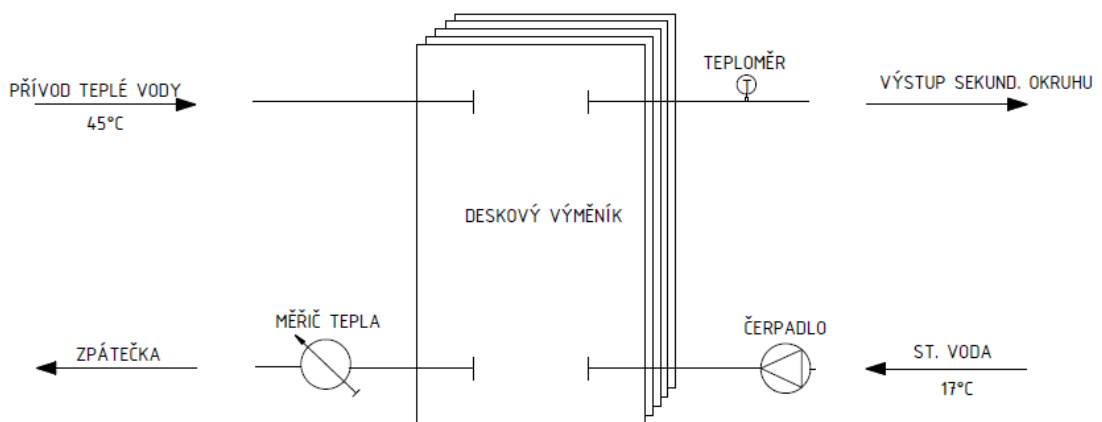
11.4.1 Zkouška průtoku a změn teplot na vstupech a výstupech

Ke změření daných parametrů byl při této zkoušce použit měřič tepla ULTRAHEAT T550 značky Landis+Gyr, který byl zapůjčen od společnosti PT měření a.s., která je sesterskou společností PT. Měřič tepla disponuje dvěma teploměry, které se umísťují na přívodní a zpáteční potrubí u výměníku. Samotný měřič dokáže vyhodnotit aktuální průtok či výkon. Toto měřidlo se instaluje na všechny PS, které provozuje PT. Dále byly použity dva samostatné teploměry, které byly zakomponovány na přívodní a vratné potrubí druhého (sekundárního okruhu). Na improvizované přívodní a vratné potrubí byly nasazeny hadice, které sloužily buď k přívodu teplé vody anebo odtoku ochlazené vody do kanalizace anebo jako samostatný okruh, které pohánělo čerpadlo. Zapojení soustavy je zobrazeno na obr. 33.



Obrázek 33 – zkouška průtoku a ohřevu u výměníku A

Teplá voda o konstantní teplotě 45 °C byla pomocí hadice vpuštěna do vstupu primární strany výměníku. Za daným měřidlem tepla (výstup z primární strany výměníku) je napojena hadice, která vychlazenou vodu vypouští do kanalizace. Sekundární okruh byl tvořen dvěma stejnými hadicemi a čerpadlem, které cirkulovalo v oběhu napuštěném studenou vodou. Schéma zapojení soustavy je zobrazeno na obr. 34.

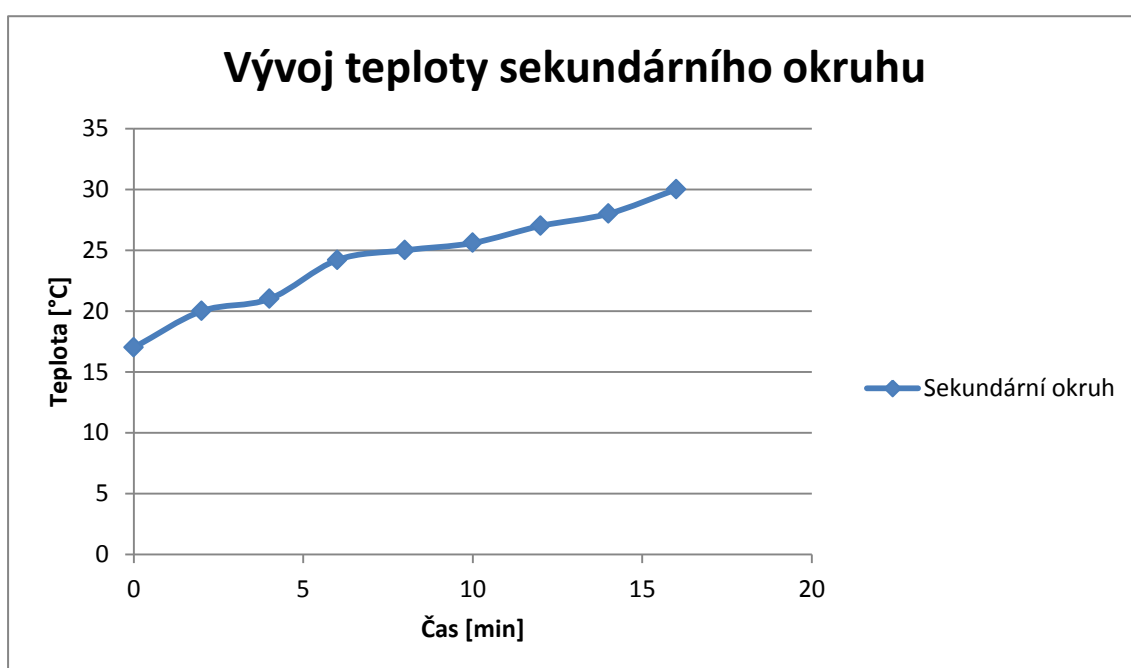


Obrázek 34 – schéma zapojení soustavy při měření průtoku primární strany a ohřevu sekundární strany

Experiment nejprve sledoval změny teplot, které byly zapisovány každé dvě minuty. Teplá voda (primární okruh) ohřívala sekundární okruh, který byl napuštěn vodou o teplotě 17 °C. Cílem této zkoušky bylo určení času potřebného k dosažení teploty 30 °C na sekundární straně. Tento čas byl zaznamenán. Po změření výsledného času potřebného k ohřevu se změnil i průtok primární strany. Po vyčištění následovalo stejné měření všech daných parametrů. Zapsané hodnoty jsou zobrazeny graficky.

Průtok primární strany před vyčištěním: 0,29 m³/h

Zobrazení průběhu ohřátí sekundárního okruhu před vyčištěním:



Graf 3 – Vývoj teploty sekundárního okruhu před vyčištěním

Hodnoty teplot před vyčištěním:

Tabulka 7 – hodnoty teplot před vyčištěním

čas [min]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Teplota sekund. strany [°C]	17	20	21	24,2	25	26,8	27	28	30

Z měření vyplývá, že k ohřátí sekundární strany na teplotu 30 °C bylo zapotřebí 16 minut. Průtok po této době byl změřen na 0,29 m³/h.

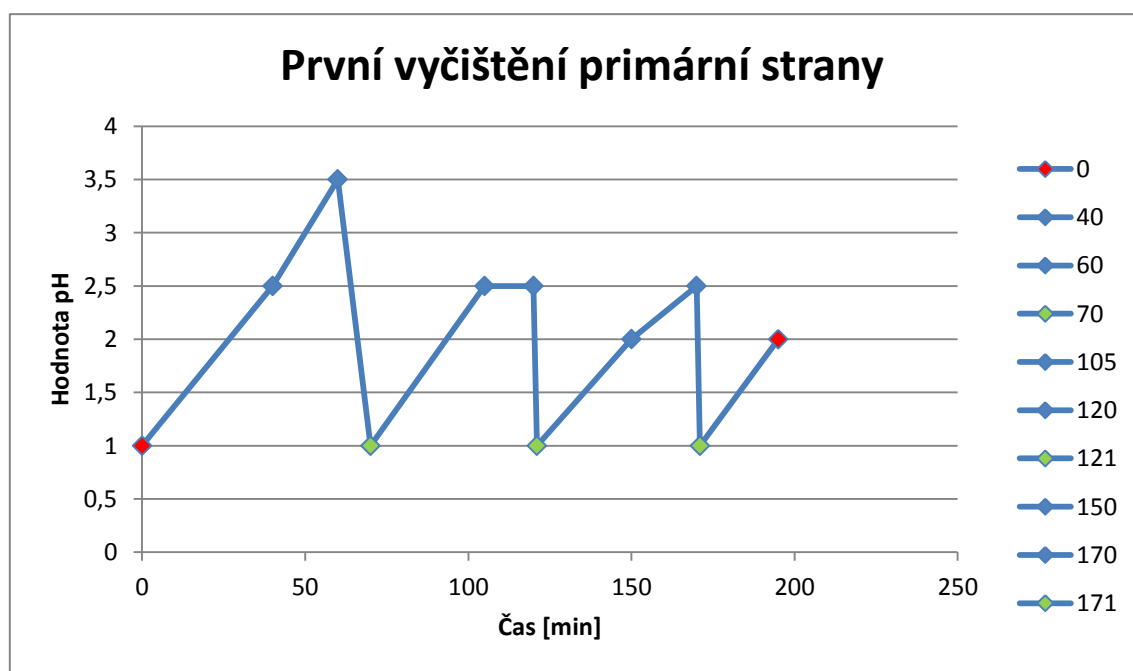
11.4.2 Čištění po provedené zkoušce

Po první zkoušce a záznamu všech hodnot se demontovala testovaná soustava. Pro čištění bylo důležité napojit daný okruh na okruh poháněný čerpadlem. Nejprve se začalo čištěním sekundární strany, která i podle nezávislého vizuálního pohledu byla

více čistá. Směs Z-fáze byla namíchána v poměru 1:20 s vodou. Voda na začátku čištění měla teplotu 30 °C. Během čištění se zaznamenávaly hodnoty pH a čas čištění. Čištění sekundárního okruhu trvalo pouze 40 minut. Na začátku čištění byla změřena hodnota pH 1. Po 20 minutách oběhu čistícího roztoku byl změněn směr toku čistícího roztoku. Hodnota pH lehce stoupla na přibližně 1,5. Po celkových 40 minutách byla naměřena stejná hodnota pH a čištění sekundárního okruhu bylo ukončeno. Teplota roztoku na konci čištění se navýšila o 5 °C.

Čištění primárního okruhu, který i dle fotek se jevil, jako náročnější se začal čistit stejným množstvím roztoku jako v předešlém případě. Průběh hodnot pH v závislosti na čase je zobrazen v následujícím grafu. Teplota roztoku na začátku čištění bylo 33 °C.

Primární okruh:



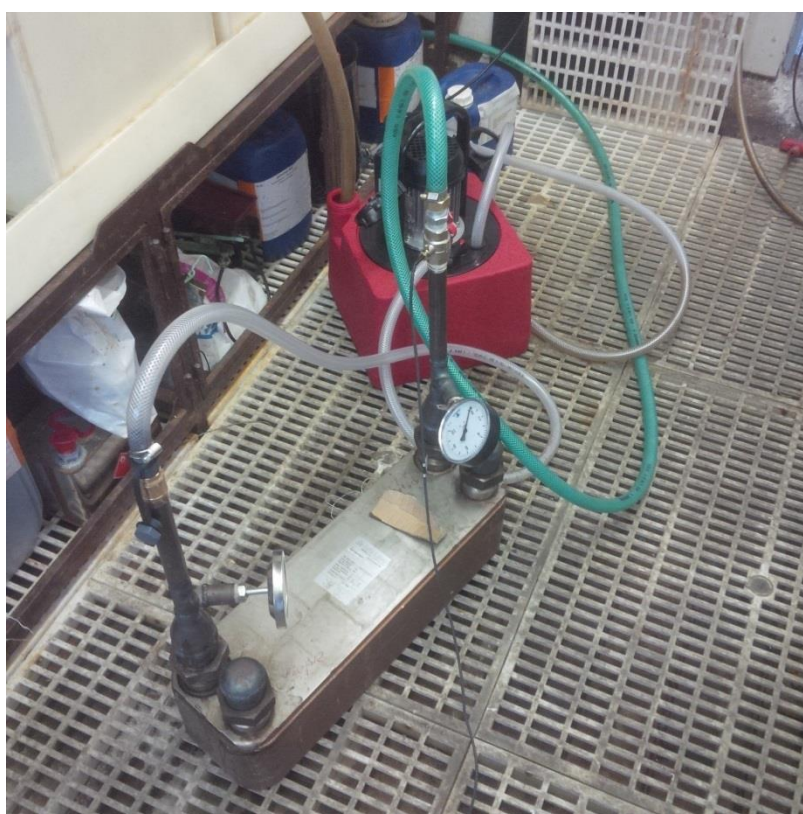
Graf 4 – Průběh hodnot pH v závislosti na čase při prvním čištění primární strany výměníku A

Po prvním vyčištění následoval proplach výměníku pomocí čerpadla používaného k vyčištění. Díky tomuto oběhu došlo k propláchnutí a zároveň k vyčištění i čerpadla, hadice či závitových spojení v dané soustavě. Ukázka propláchnutí je zobrazena na obr. 36. Zobrazení čištění primárního okruhu je na obr. 35. Po 195 minutách čištění, za kterých došlo k přilítí dohromady 750 ml roztoku Z-Fáze se výměník vyčistil, nicméně dané inkrusty rzi byly na vstupním primárním kanálu pořád vizuálně vidět. Na grafu 4 je zobrazen zelenými body čas, kdy se snížila hodnota

pH na hodnotu 1, tzn. do čisticí směsi bylo přidáno 250 ml roztoku Z-Fáze. Červené body značí začátek a konec čištění.



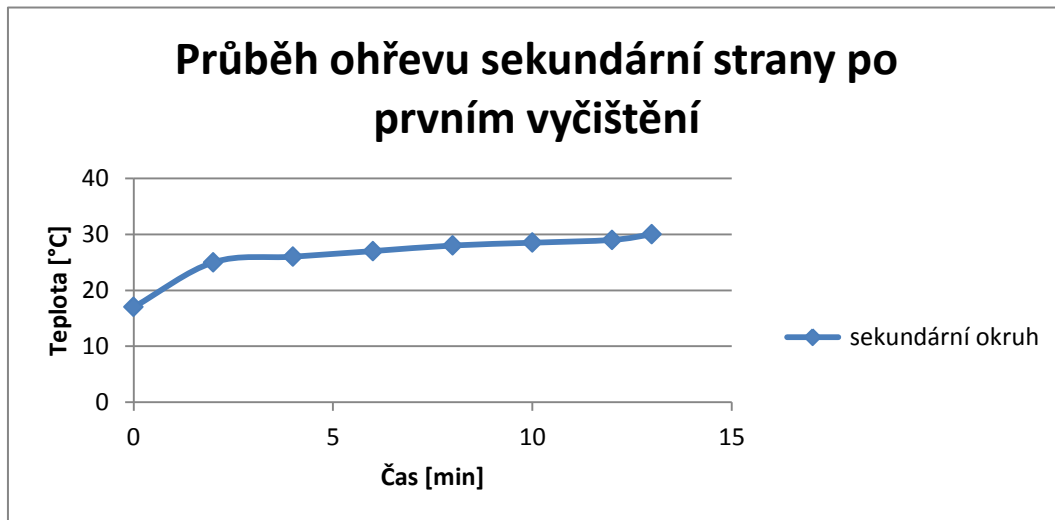
Obrázek 35 – čištění deskového výměníku



Obrázek 36 – Proplachování deskového výměníku po čištění

11.4.3 Zkouška průtoku a ohřevu sekundární strany po prvním vyčištění

Po vyčištění sekundární strany a po prvním vyčištění primární strany proběhla stejná zkouška ohřevu sekundární strany a průtoku primární strany jak je popsána v kap. 11.4.1. Zobrazení průběhu teplot na sekundární straně je vidět na grafu 5.



Graf 5 – Vývoj teploty sekundárního okruhu po vyčištění

Hodnoty teplot po vyčištění:

Tabulka 8- Hodnoty teploty sekundárního okruhu po vyčištění

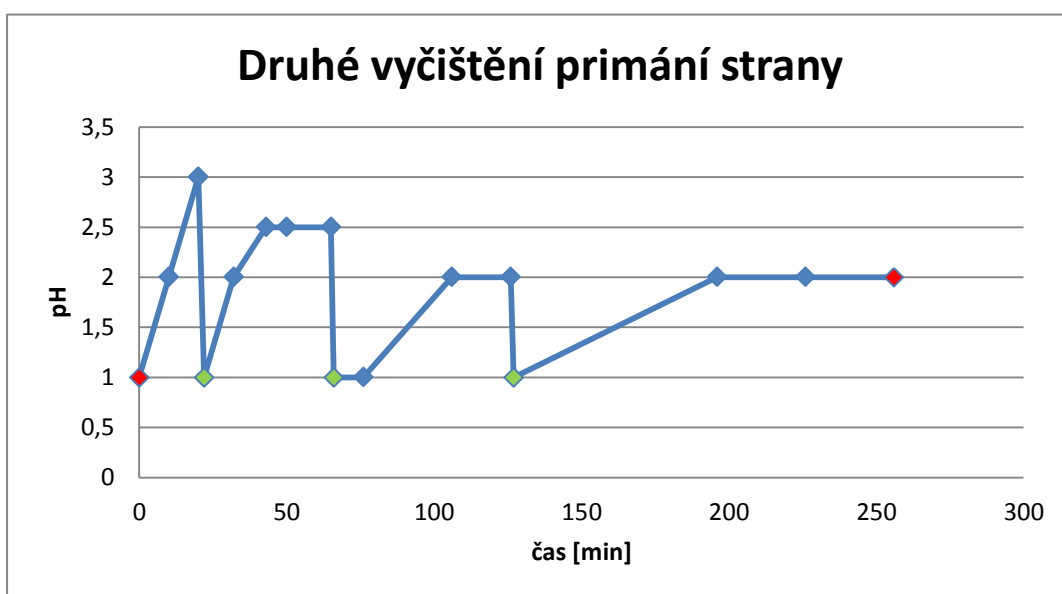
čas [min]	0	2	4	6	8	10	12	13
Teplota sekund. strany [°C]	17	25	26	27	28	28,5	29	30

Průtok primární strany po vyčištění: $0,83 \text{ m}^3/\text{h}$

Po prvním čištění je vidět, že došlo k ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C o 3 min dříve nežli u nevyčištěného výměníku. Změnu zaznamenal i průtok, který se měřil na výstupu z primární strany výměníku. O cca $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ byl průtok větší.

11.4.4 Druhé čištění primárního okruhu

Primární strana i po tři a čtvrt hodinovém čištění zůstala s několika inkrusty rzi na povrchu vstupního kanálu primárního okruhu. Výměník A byl vyčištěn ještě jednou. Průběh čištění byl monitorován podobně jako u předchozího čištění. Každých 10 minut se změnil směr toku oběhového čerpadla a častěji se hlídala hladina pH. Byla zaznamenána i průběžná teplota čistícího chemického roztoku, která se díky procesu čištění zvedla. Následující graf 6 zobrazuje průběh čištění. Na grafu 6 jsou vynesené sledované hodnoty pH v závislosti na čase. Začátek a konec čištění je vyobrazen červeně, zelené body v grafu značí čas přidání 250 ml čistícího roztoku, který vždy snížil hodnotu pH na 1.



Graf 6 – Průběh hodnoty pH v závislosti na čase při druhém čištění primární strany výměníku A

Na konci čištění je vidět, že hodnota pH se ustálila. Po 256 min se výměník touto směsí dočistil. Na čištění bylo použito celkově 2500 ml roztoku Z-Fáze.

Důkaz, jak čistící prostředek reagoval s danými inkrusty, je i velký počet rozmělněné rzi a dalších nečistot, které byly přítomny po vyčištění buď v samotné nádobě čerpadla, či na stěnách potrubních vstupů, na které byly připojeny hadice čerpadla. Zobrazení odplavených nečistot z výměníku je na obr. 37-39.



Obrázek 37- Ukázka nečistot po čištění



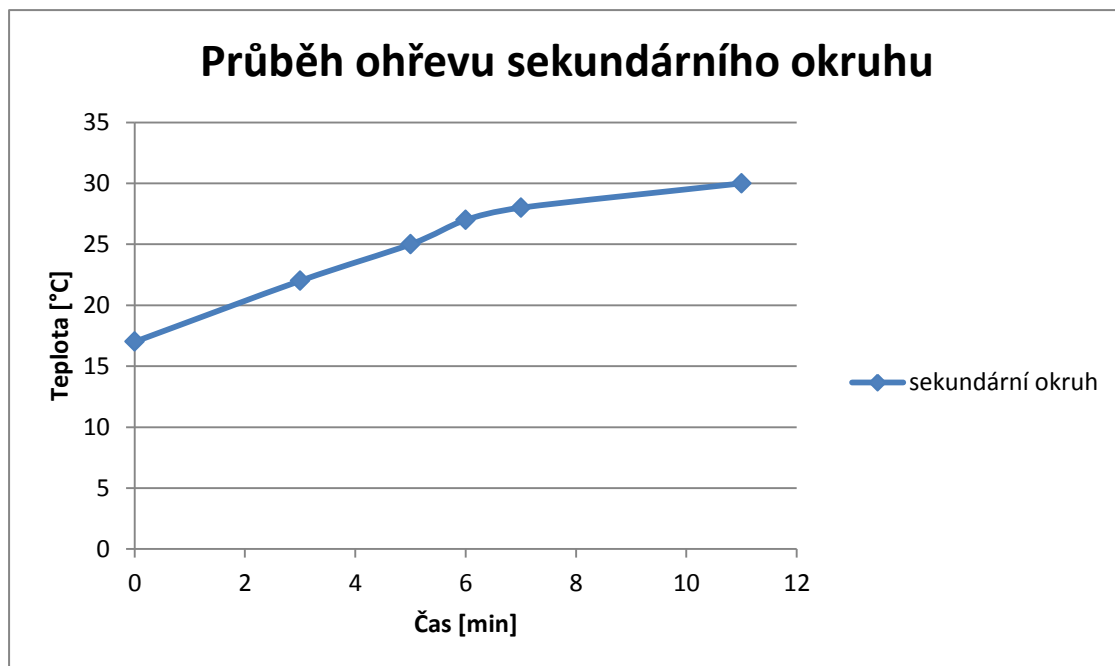
Obrázek 38 - Jemná struktura nánosů po vyčištění



Obrázek 39- Zobrazení smytých nečistot

11.4.5 Zkouška průtoku a ohřevu po druhém čištění

Po druhém čištění se výměník znovu zapojil do soustavy dvou okruhů tak, jak je zobrazeno na obr. 33 a 34, kde se měřil ohřev teploty sekundární strany i průtok primární strany výměníku. Průběh ohřevu sekundární strany po druhém vyčištění je zobrazen v grafu 7.



Graf 7- Vývoj teploty sekundárního okruhu po druhém čištění

Hodnoty teplot po vyčištění:

Tabulka 9 – Hodnoty teplot sekundárního okruhu po druhém čištění

Čas [min]	0	3	5	6	7	11
Teplota sekund. okruhu [°C]	17	22	25	27	28	30

Průtok po druhém vyčištění byl v soustavě ohřevu změřen na $1,12 \text{ m}^3/\text{h}$ a následně byl změřen i v sestavě uzavřeného oběhu, který cirkuloval pomocí čerpadla. Výsledek se lišil o $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$, tzn. průtok byl stanoven na $1,14 \text{ m}^3/\text{h}$.

11.5 Likvidace daného roztoku po vyčištění

Po vyčištění se roztok o hodnotě pH 2 ekologicky nezlíkvidoval. Důvodem je následné použití pro další čištění, neboť prostředek je stále aktivním čističem.

11.5.1 Obecné podmínky pro likvidaci Z-Fáze

Likvidace zbytků čisticí lázně obsahující nečistoty z čištěného potrubí (minerály, korozní produkty) je potřeba provést neutralizací a vysrážením (oddělení vody od nečistot) v neutralizační, resp. čisticí stanici (ČOV) nejbližší daného místa. Vzhledem ke složení vodného čisticího roztoku Z-fáze lze provést vyčištěním namíste

použití s přihlédnutím k parametrům kanalizačního řádu (pH, obsah nečistot v litru vyprázdněného vodného roztoku).

Menší množství směsi lze zneutralizovat sodou nebo vápnem. Zbytky kyseliny stejně jako oplachové vody nesmí být vypouštěny do půdy, veřejné kanalizace ani do blízkosti vodních zdrojů a vodotečí. Vypouštění vod obsahující kyselinu do kanalizace, vodotečí je přípustné až po neutralizaci za podmínek stanovených vodohospodářskými orgány. [79]

11.6 Výměník po vyčištění a vyhodnocení efektivnosti

Po vyčištění výměníku A byla opět provedena defektoskopie, díky které byly pořízeny následující snímky výměníku po vyčištění. Primární strana výměníku A (především přívodní strana) byla před vyčištěním zanesena, že ani dotyčné mezideskové kanálky nebyly vidět (obr. 27). Čištění primární strany trvalo dohromady 451 minut. Hlavním cílem bylo zjistit, zda dotyčná chemická látka nenaruší materiál tak, aby došlo k netěsnosti mezi dvěma pracovními médii uvnitř výměníku. Po vyčištění při oplachu a při testu průtoku byla tato skutečnost ověřena.



Obrázek 40 – Výměník A po vyčištění (přívodní primární strana)



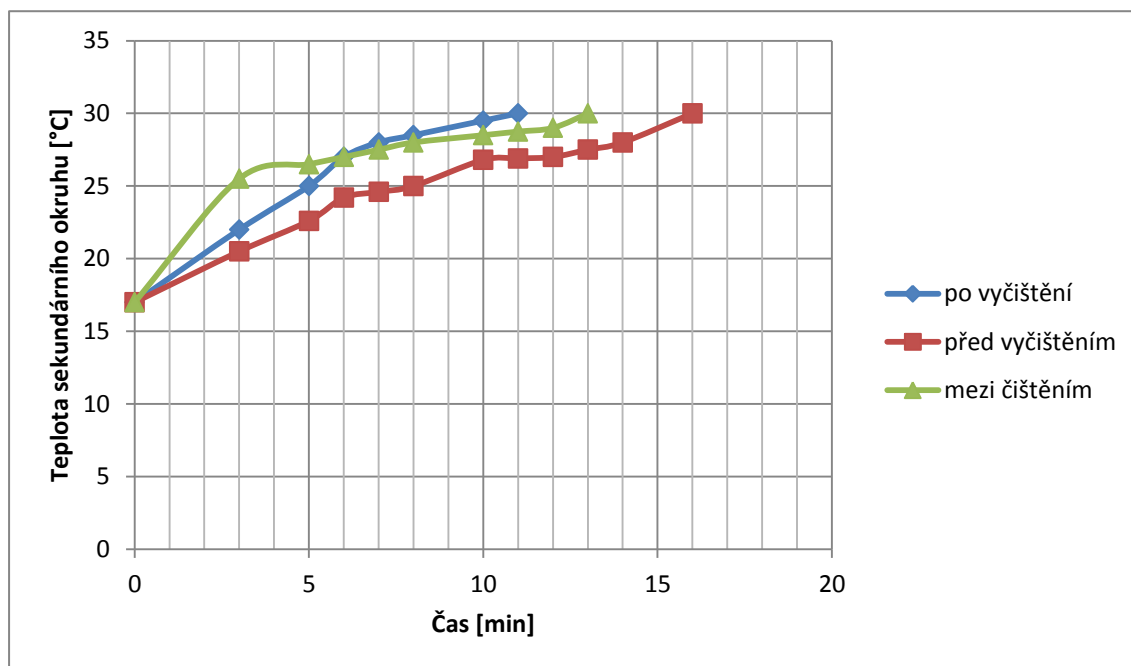
Obrázek 41- výměník A po vyčištění (primární zpátečka)

Vyčištění sekundární strany bylo velmi rychlé a účinné. Primární strana byla zanesená tak, že vyčištění za 451 minut nezvládlo odstranit všechny usazeniny v mezideskových kanálcích. Při pokračování v čištění je velice pravděpodobné, že i tyto nánosy by se nakonec odstranily. To je však velmi časově náročné. Na obr. 32 je vidět pořád velmi zanesené mezideskové kanálky, které nebyly úplně zprůchodněny ani po vyčištění. Nicméně dle stavu před vyčištěním, je zde vidět velmi velké zlepšení. Především je zde znát, že usazeniny na primární straně se redukovaly a nerezový materiál nikoli. Výsledek experimentu ověřil zároveň poznatek, že je důležité, aby k čištění deskových výměníků docházelo dříve, než se výměník zanesou tak významně, jak je vidět na fotce primární strany výměníku před vyčištěním (obr. 22). Pro vyčištění výměníku bylo použito pouze 2,5 litru roztoku při čemž roztok byl stále aktivní.



Obrázek 42- Primární přívod do výměníku A po vyčištění

Zkoušky ohřevu sekundární strany, které byly prováděny před čištěním, mezi čištěním a po vyčištění stanovily následné poznatky: po prvním vyčištění se projevilo zlepšení v časové závislosti ohřevu o 28,75 %. Ohřev sekundární strany na 30 °C byl o 3 minuty rychlejší než před vyčištěním výměníku. Po druhém vyčištění bylo zjištěno, že ohřev teploty sekundární strany byl o 31,25 % rychlejší, než tomu bylo před vyčištěním. Růst teplot během testu je srovnán v následujícím grafu.



Graf 8 – Srovnání růstu teploty sekundárního okruhu před, mezi a po vyčištění

Průtok po prvním vyčištění se zvedl o 0,54 m³/h. Velká změna byla zaznamenána i po druhém čištění, nárůst průtoku byl skoro o 4 násobek větší, než tomu bylo před prvním vyčištěním.

12 Shrnutí návrhů pro zlepšení dané problematiky

- Kontrolu zanášení výměníků, lze zefektivnit podrobnější analýzou prováděnou správcem příslušné oblasti na základě použití datové struktury zavedeného interního softwaru SCADA. Díky této metodě, lze naplánovat vyčištění výměníku i mimo otopnou sezónu, kde PT nepřichází o ušlé příjmy z prodeje tepla.
- Po zanalyzování a srovnání cen externích firem provádějících chemické čištění je interní vyčištění deskových výměníků tepla správným postupem. Konzistentní externí čištění nelze plošně v PT zavést, muselo by dojít k decentrálnímu rozdělení daných oblastí PTS, kde by bylo rozhodnutí na každém správci oblasti, jakým způsobem a případně od jaké firmy by nechal výměník vyčistit.
- Po porovnání cen možných přípravků používaných na čištění výměníků tepla a praktickému testování čistícího roztoku lze tvrdit, že navrhovaný přípravek je levný v poměru, jakým se řadí a velmi účinný v čištění stejného technologického komponentu.
- Navrhují implementovat účinný čistící roztok – Z-Fázi s jasně daným postupem čištění.
- Školení zaměstnanců Termonty, kteří by přišli do styku s chemickým čištěním navrženého postupu. Školení od společnosti ZETFAZA s.r.o.

Závěr

Teoretická část bakalářské práce shrnuje rozbor sledované problematiky. V první kapitole bylo přiblíženo, jak funguje centrální zásobování teplem. Následně se teoretická část zabývá výměníky tepla a problematikou zanášení, ke kterému u nich dochází. Analýza metod čištění deskových výměníků a podrobněji přiblížená metoda chemického čištění je v rámci analytické části obsažena v kapitole 5 a 6. Dále teoretická část nahlíží na ekologické dopady sledované problematiky. Jedním z důležitých faktorů, který souvisí se zanášením výměníku je správná ekonomická optimalizace, která dokáže přinést zajímavý pohled na věc z ekonomického hlediska.

Cílem bakalářské práce bylo zanalyzovat daný problém ve společnosti Pražská teplárenská a.s. V analytické části práce popisuje, jakým způsobem je k problému přistupováno v konkrétní společnosti a pro jakou metodu čištění se společnost rozhodla. Všechny důležité aspekty, které tato problematika nese, jsou v analýze obsaženy. Následujícím cílem bylo zjistit, zda a jakým způsobem lze zefektivnit čištění výměníku tepla ve společnosti Pražská teplárenská a.s. Jako návrh bylo určeno použití čistícího přípravku s neobvyklými vlastnostmi. Tento přípravek byl i v praktické části otestován na podobném deskovém výměníku, který se používá v PT. Výsledky přinesly pozitivní zjištění, tudíž tato práce slouží i jako doporučení k zavedení přípravku do PT a nahrazení stávajícího přípravku.

Použitá literatura

- 1) *Kniha o systému centralizovaného zásobování teplem* [online]. [cit. 2017-06-08]. Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_scztpdf
- 2) *Výměníky tepla* [online]. [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-06.pdf>
- 3) *Výměníkové stanice* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.avos.cz/vyмениkove-stanice/>
- 4) *NÁVRH REKONSTRUKCE HORKOVODU* [online]. BRNO, 2014 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=90742. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.
- 5) SAZIMA, Miroslav, Jiří SCHNELLER a Vladimír KMONÍČEK. *Teplo*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Česká matice technická. ISBN 80-030-0043-2.
- 6) Tepelný výměník. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD_v%C3%BDm%C4%9Bn%C3%ADk
- 7) *Výměníky tepla* [online]. [cit. 2017-06-14]. Dostupné z: <http://www.secespol.com/cz/produkty/v-m-niky-tepla/trubkove/jad.html>
- 8) BANI KANANEH, Ali a Julian PESCHEL. *Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience* [online]. [cit. 2017-06-14]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-application/fouling-in-plate-heat-exchangers-some-practical-experience>
- 9) KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-720-4222-X.
- 10) *Studie problematiky snižování energetických ztrát a zvyšování spolehlivosti při dodávkách tepla* [online]. 2007 [cit. 2017-06-08]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Studie_problematiky_sni_zovani_energetickych_ztrat_a_zvyseni_spolehlivosti__pri_dodavkach_tepla_2220047215.pdf

- 11) ČERNÝ, Václav. *Spalovací zařízení a výměníky tepla*. České vysoké učení technické v Praze, 1986
- 12) ŠKORPÍK, Jiří. Vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny, *Transformační technologie*, 2010-12, [last updated 2016-01]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/38.html>
- 13) SHAH, R. K. a Dušan P. SEKULIĆ. *Fundamentals of heat exchanger design*. Hoboken, NJ: John Wiley, 2003. ISBN 04-713-2171-0.
- 14) ČSN EN 305. *Výměníky tepla: Definování výkonnosti výměníků tepla a všeobecné metody zkoušek pro stanovení výkonnosti výměníku tepla*. Český normalizační institut, 1998.
- 15) KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy*. Praha: Editační středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5, 1981.
- 16) KUCHAR, Jiří,; KREIBICH, V. *Čištění otopných a energetických zařízení*, 9. Odborný seminář, Technologie, kvalita, a rizika ve výrobě, 26/4-27/4/2016 [cit. 2017-06-09]
- 17) BOTT, T.Reg. *Fouling* [online]. [cit. 2017-06-04]. Dostupné z: <http://www.thermopedia.com/content/779/>
- 18) Zanášení deskových výměníků. *CHEMAGAZÍN* [online]. 2013, **XXIII**(1), 40 [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/PDF_full/CHEMAGAZ%C3%84DN_1-2013.pdf
- 19) Kubín M.: *Návrh matematického modelu simulace procesů zanášení deskových výměníků*. Ustav TZB. FAST.VUT Brno. 2012
- 20) CIKHART, Jiří. *Soustavy centralizovaného zásobování teplem*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-030-0021-1.
- 21) *Technická příručka pro pracovníky oboru úprav vod*. Praha: Nakladatelství technické literatury ve Středisku interních publikací, 1981.
- 22) HÜBNER, Pavel. *Úprava vody v energetice: Pavel Hübner*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-873-3.
- 23) *Fosforečnan sodný* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://www.aquaterm.cz/fosforecnan-sodny/>

- 24) ČSN 07 7401. *Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa*. Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- 25) Prospektové materiály, firma RESOM GmbH, Rakousko
- 26) *Chemické čištění* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.finextechnology.cz/cz/chemicke-cisteniprocc-chemicke-cisteniprocc/>
- 27) *Čištění a servis deskových výměníků* [online]. , 6 [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://www.kpmark.cz/uploads/katalogy/servis_vt_cz.pdf
- 28) KUCHAR, Jiří, Vladimír AGARTANOV a Viktor KREIBICH. Čištění energetických zařízení. *Mmspektrum* [online]. 2016, **2016**(12) [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cistenenergetickychzarizeni.html>
- 29) *Chemické čištění* [online]. [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://cistenipotrubic.cz/>
- 30) VLČEK, Jiří. *Ekologie – vliv chemických látek na životní prostředí: doplňuje publikaci Základy středoškolské chemie* [online]. [cit. 2017-03-10].
- 31) TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČR. *Teplárny loni investovaly do snížení emisí téměř 3 miliardy Kč* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/15218-teplarny-loni-investovaly-do-snizeni-emisi-temer-3-miliardy-kc>
- 32) *Prioritou teplárenství je ekologie* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <http://pro-energy.cz/clanky18/2.pdf>
- 33) *POUŽÍVÁNÍ CHEMICKÝCH LÁTEK PŘI POVRCHOVÝCH ÚPRAVÁCH MATERIÁLŮ* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://www.suip.cz/_files/suip-3b6f249479469f515ac6c8b63bb5e0e7/povrchove_upravy_chl.pdf
- 34) HORÁK, Josef, Igor LINHART a Petr KLUSOŇ. *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky*. Praha: VŠCHT, 2004. ISBN 978-80-7080-548-0.
- 35) *Jednotka pro okruhové čištění* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://www.kpmark.cz/uploads/CIP40_navod.pdf
- 36) HORÁK, Josef, Igor LINHART a Petr KLUSOŇ. *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2004. ISBN 80-708-0548-X.
- 37) *Vyhláška č. 294/2005 Sb.* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-294>

- 38) *Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=51365&nr=185~2F2001&rpp=15#local-content>
- 39) GRACH, Luboš. *Čištění vnitřních otopných ploch*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta Strojní.
- 40) *Věstník Ministerstva životního prostředí ČR* [online]. Praha: Práce, 2012 [cit. 2017-06-15]. ISBN 0862-9013. Dostupné z: http://www.ceho.cz/fileadmin/user_upload/CeHO/hodnoceni/OVV-Vestnik_12_2010.pdf
- 41) *Ochrana Vod* [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://uiozp.ft.utb.cz/studmat/20151289217/6.Ochrana_vod.pdf
- 42) *Fouling in heat exchangers* [online]. KNUDSEN, J. G., G. F. HAYS a T. R. BOTT. s. 107 [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <http://www.dl.begellhouse.com/download/issue/20945f8470416592/sample.pdf>
- 43) Master BI, Chunangad KS, Pushpanathan V. Fouling mitigation using helixchanger heat exchangers.
- 44) Mueller-Steinhagen H, Malayeri MR, Watkinson AP. Fouling of heat exchanger-New approaches to solve old problem. *Heat Transfer Engineering*, 2005;26(2).
- 45) KUDLÁČEK, Ivan. *Ekologie průmyslu*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2495-4.
- 46) *Fouling in heat exchangers* [online]. , 40 [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: http://cdn.intechopen.com/pdfs/39353/InTech-Fouling_in_heat_exchangers.pdf
- 47) *Heat Exchanger Fouling and Cleaning XII - 2017* [online]. In: . <http://www.chemistryviews.org/details/event/936954> [cit. 2017-06-15].
- 48) *Servisní centrum Alfa Laval pro údržbu deskových výměníků tepla* [online]. 2010 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vetrani-klimatizace/6828-servisni-centrum-alfa-laval-pro-udrzbu-deskovych-vymeniku-tepla>
- 49) KNUTSON, Hans-Kristian a Ergin KULENOVIC. *Optimalizace životního cyklu deskových výměníků tepla* [online]. 2012 [cit. 2017-06-03]. Dostupné z:

- <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artikul/article/optimalizace-zivotniho-cyklu-deskovych-vymeniku-tepla/>
- 50) *Preventivní a prediktivní údržba deskových výměníků tepla* [online]. 2010 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artykuly/artikul/article/preventivni-a-prediktivni-udrzba-deskovych-vymeniku-tepla/>
- 51) *Fouling* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: www.thermopedia.com
- 52) *Servis deskových výměníků Alfa Laval* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.esl.cz/servis-alfalaval/>
- 53) *Servis výměníků tepla* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.kpmark.cz/sluzby/servis-vymeniku-tepla/>
- 54) *Ceník služeb HTSA, a.s.* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.htsas.cz/pdf/cenik_sluzeb.pdf
- 55) *Servis* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.rego.cz/index.php/cs-cz/sluzby/servis>
- 56) *Fungující technologie jako základ efektivního využití tepla* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/novinka/339/fungujici-technologie-jako-zaklad-efektivniho-vyuziti-tepla/>
- 57) *CHEMICKÉ ČIŠTĚNÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA (I JINÝCH ZAŘÍZENÍ) OD VODNÍHO KAMENE A DALŠÍCH USAZENIN* [online]. [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: <http://cisteni-vymeniku.cz/cisteni-vymeniku/>
- 58) *O společnosti* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/cs/onas/o-spolecnosti/>
- 59) KURSOVÁ, Marie. *Příčiny netěsností výměníků* [online]. 2012 [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1887>
- 60) *PT dosáhla loni čistého zisku 27 miliard korun* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/prazska-teplarenska-dosahla-loni-cisteho-zisku-27-miliardy-korun/>
- 61) *Výroční zpráva Pražské teplárenské za rok 2016* [online]. , 99 [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: https://www.ptas.cz/file/edee/2017/05/prazska-teplarenska_vyrocnizprava_2016-20170526-115035.pdf
- 62) *SMĚRNICE SM/52/05/1: Standardy rozvodných tepelných zařízení*. Vnitřní legislativa. Praha: Pražská teplárenská, 2005.

- 63) *Úprava teplé vody* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/uprava-vody/uprava-teple-vody/>
- 64) *POKYN PO/52/05/01/3: Technologické standardy RTZ*. Vnitřní legislativa. Pražská teplárenská, 2008.
- 65) *Čistící prostředky a chemikálie* [online]. [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <http://www.alfalaval.cz/service-and-support/360-service-portfolio/cleaning-and-chemicals/>
- 66) *Bezpečnostní list podle 1907/2006/ES, Článek 31* [online]. 2017 [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: http://www.alfalaval.com/contentassets/0aa92b619fbf40bb9cf8daaef94bf917/msds_kalkloser-p_cz_170508.pdf
- 67) *KUCHAŘ, Jiří, Viktor KREIBICH a Grach LUKÁŠ. Povrcháři: Čištění vnitřních povrchů otopných zařízení* [online]. 2016(4.) [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201604_povrchari.pdf
- 68) *POKYN PO/44/00/03/8: Nakládání s chemickými látkami*. Vnitřní legislativa. Pražská teplárenská, 2002.
- 69) *POKYN PO/44/02/02/5: Nakládání s vodami, chemická služba*. Vnitřní legislativa. Pražská teplárenská, 2008.
- 70) *Pájené výměníky* [online]. [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <http://www.g-mar.cz/pajene-vymeniky/>
- 71) *POKYN PO/46/01/02/5: Nakládání s odpady*. Vnitřní legislativa. Pražská teplárenská, 2008.
- 72) *Návod k obsluze: Kompaktní předávací stanice Tenza* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file-other/teplarenska/prozkaznky/ledvice/navod-k-obsluze-aq_.pdf
- 73) *Průvodně technická dokumentace: Manuál L-line CZ*. Secespol.
- 74) *Ceník Pražské teplárenské v roce 2017* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: https://www.ptas.cz/file/edee/ceniky/cenik-pt-2017_b_dph.pdf
- 75) *Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1.1.2016* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/documents/10540/462928/Vyhodnocen%C3%AD%20cen+tepln%C3%A9%20energie+k+1.+1.+2016.pdf/e5e78a7f-0d20-4986-b68c-58ca270d7969>

- 76) CIHELKA, Miloš. Kdy začíná a končí odstávka tepla. *Zpravodaj PRAŽSKÉ TEPLÁRENSKÉ a.s.* [online]. 2015, 23(3) [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: https://www.ptas.cz/file/edee/zpravodaj/zpravodaj_web.pdf
- 77) *Prostředky na odstranění minerálních usazenin na základě glyoxalu*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení, 2016.
- 78) *Čistící pumpy DOS 25 V4V a DOS 40 V4V: Návod na montáž, použití, údržbu*. Regulus spol.
- 79) *Bezpečnostní list: Kyselina chlorovodíková* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: https://www.milcom.cz/images/ziraviny/BL-MILCOM-HCl_technicka_CLP_revize_listopad-2014_SPOLCHEMIE.pdf
- 80) *Čistící produkt BWT: Kalkloser P* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://aquaro.pl/bwt-cillit-kalkloser-p-5kg.html>
- 81) *Čistící chemie DV: Alfa Laval* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.aotech.cz/UploadFiles/Doc/Cen%C3%ADk%20%C4%8Dist%C3%ADc%C3%AD%20chemie%20DV%20CZ2016%20AL.pdf>
- 82) *Čistící roztok: Detex* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/detex>
- 83) *Videoskop Olympus: Série C* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/en/rvi-products/series-c/>
- 84) *Technologický postup chemického čištění* [online]. [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://cistenipotrubic.cz/chemicke-cistenipotrubitechnologicky-postup-chemickeho-cistenic/>
- 85) MPP/PT/RTZ/1. *Místní provozní předpis: Rozvodné tepelné zařízení - tepelné sítě a předávací stanice*. Vlastní legislativa: Pražská teplárenská, 2013.
- 86) *SCADA/HMI* [online]. [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.reliance.cz/cs/products/what-does-scada-hmi-mean>