

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie



Čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů

Bakalářská práce

Vypracoval: Michal Kuběnka

Konzultant: Ing. Jiří Kuchař

Vedoucí práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Praha 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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:

4.5.2017

Michal Kuběnka

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a Ing. Jiřímu Kuchařovi za cenné rady při vedení mé bakalářské práce. Dále bych poděkoval rodičům a prarodičům za jejich podporu.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

| | | |
|---------------------------|--|-------|
| Program: | Výroba a ekonomika ve strojírenství | |
| Obor: | Technologie, materiály a ekonomika strojírenství | |
| Název bakalářské práce: | Čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů | |
| Autor bakalářské práce: | Michal Kuběnka | |
| Konzultant: | Ing. Jiří Kuchař | |
| Vedoucí bakalářské práce: | doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc. | |
| Rozsah bakalářské práce: | Počet stran: | 49 |
| | Počet obrázků: | 46 |
| | Počet tabulek: | 7 |
| | Počet grafů: | 6 |
| | Počet příloh: | 1x CD |

Anotace:

První část bakalářské práce se zaměřuje na možnosti čištění vnitřních povrchů teplosměnných zařízení, jejich prostup tepla a porovnání různých teplosměnných kapalin. V druhé části se popisuje experiment, který zjišťoval vliv usazenin na přestup tepla.

Klíčová slova: čištění vnitřních povrchů, chemické čištění, čištění v energetice, přestup tepla, tepelné výměníky

Annotation:

The first part of the bachelor thesis focuses on methods of cleaning inner surfaces heat exchangers. Their heat transfer and compare different heat Exchange liquids. In the second part is described experiment, which he examined the effect of sedimentation on heat transfer.

Keywords: clean inner surfaces, chemical clean, clean energy, heat transfer, heat exchanger

1 Obsah

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Úvod..... | 7 |
| 2 | Teplosměnná kapalina | 8 |
| 3 | Teplosměnné systémy | 12 |
| 3.1 | Povrchové výměníky | 13 |
| 4 | Čištění vnitřních povrchů | 16 |
| 5 | Vedení a prostup tepla | 17 |
| 6 | Metody čištění | 21 |
| 6.1 | Mechanické čištění..... | 21 |
| 6.2 | Chemické čištění | 25 |
| 6.3 | Ekologická likvidace produktů čištění | 28 |
| 7 | Kontrola kvality a stavu povrchu | 30 |
| 8 | Experiment..... | 33 |
| 8.1 | Návrh zařízení ke zjišťování vlivu znečištění na přestup tepla..... | 33 |
| 8.2 | Čištění výměníku od firmy Alfa Laval a stanovení vlivu korozních úsad na ztráty tepla | 35 |
| 9 | Závěr | 45 |
| 10 | Použitá literatura | 47 |

1 Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku vnitřního povrchu teplosměnných systémů. Na povrchu těchto zařízení se vždy v závislosti na jejich funkci vyskytuje určité množství nečistot. Vnitřní povrch může být: mastný, zoxidovaný, respektive s úsadami minerálů a koroze. Při čištění vnitřních povrchů je cílem dosáhnout čistý stav blízký stavu původnímu. Uspoří se tak náklady za topení nebo chlazení. Navíc se předejde haváriím a prodlouží se životnost těchto zařízení.

Úkolem je vrátit povrch do původního stavu, kdy nevykazuje žádné známky oxidace a je případně vytvořena i pasivní vrstva na čištěném materiálu.

Hlavním cílem této práce je kvantifikovat vliv tloušťky nečistot na přestup tepla.

2 Teplosměnná kapalina

V teplosměnných systémech slouží topná nebo chladící média k přestupu tepla. Topná média jsou kapaliny, vodní pára, vzduch nebo spaliny dle požadavků konstruktéra jaká teplota se požaduje dosáhnout. Horkou vodu použijeme, pokud potřebujeme teplotu do 80 °C za normálního tlaku. Minerální olej lze použít do 300 °C, taktéž za normálního tlaku. Nasycenou vodní páru lze použít do teploty cca 250 °C, ale pouze za vyššího tlaku než je atmosférický. Výhoda tohoto média je velký koeficient přestupu tepla při kondenzaci a značné kondenzační teplo. Za atmosférického tlaku lze získat přehřátou vodní páru do 300 °C, která má nízký koeficient přestupu tepla a nízkou tepelnou kapacitu. Horký vzduch a spaliny se používají pro teploty od 1000 °C až do 1700 °C. Jejich nevýhodou je malý koeficient přestupu tepla a malá měrná tepelná kapacita, proto je nezbytný jejich velký objem.

Chladícím médiem může být kapalina nebo plyn. Nejběžnější topné a chladící médium je voda. Voda má velkou tepelnou kapacitu, je snadno dostupná a má velký koeficient přestupu tepla, který u výměníků požadujeme. Nevýhodou vody je, že při provozu teplosměnného systému se vylučují anorganické látky a minerály na stěnách. To má za následek postupné zanášení a snižování účinnosti celého systému. Ve výměnících se také používá obecně plyn. Výhodou vzduchu je, že je ho dostatečné množství, ale i u něj dochází k zanášení soustavy. Proti tomu jsou jeho nevýhody, jako je nízký koeficient přestupu tepla a nízká měrná tepelná kapacita. [1]

Tab. 1 Součinitel přestupu tepla [21]

| Médium I Horká strana | Médium II Studená strana | Součinitel přestupu tepla ($W/m^2 K$) |
|--------------------------|-----------------------------|--|
| voda | voda | 850 - 1600 |
| plyn | voda | 20 - 270 |
| lehký olej | voda | 350 - 900 |
| těžký olej | voda | 60 - 300 |
| voda | solanka | 580 - 1150 |
| plyn | solanka | 20 - 280 |
| kondenzace vodní páry | voda | 2000 - 4400 |
| vodní pára | vypařování vody - var | 2000 - 4400 |

Usazeniny

Voda obsahuje vždy určité množství nečistot dle její kvality a také úrovně vyčištění. Usazeniny vznikají při procesu usazování, kdy těžší nerozpustné částice klesají ke dnu a vytváří sediment. Při sedimentaci na částice působí tři základní síly, které jsou: tíha, vztlak a odpor prostředí. Při provozu teplosměnného zařízení se z vody vylučují anorganické látky a minerály, které se usazují na povrchu zařízení. Tyto usazeniny mají negativní vliv na účinnost a funkčnost celého systému. Když dojde k vytvoření lokální usazeniny, sníží se průtok vody a zvýší se hydraulický odpor v systému. Vytvořením většího tlaku může dojít k prasknutí v nejslabším místě zařízení a vzniku havárie. Vzniklé usazeniny fungují jako izolant a brání přestupu tepla z důvodu malé tepelné vodivosti. Požadavek na dosažení určeného přenosu tepelného výkonu má za následek zvýšení teploty kapaliny na vstupu do soustavy, nebo zvýšení průtoku vody. Usazeniny tedy snižují celkovou účinnost soustavy důsledkem energetických a teplotních ztrát. [2, 3, 4]



Obr. 1 Zanesené potrubí [5]



Obr. 2 Zanesené potrubí [2]



Obr. 3 Zanesený vzorek potrubí

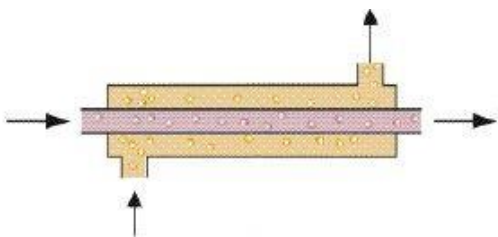


Obr. 4 Zanesené vzorky potrubí

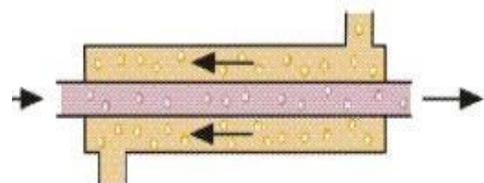
3 Teplosměnné systémy

Tepelné výměníky jsou zařízení určená k ohřevu, nebo chlazení teplosměnných kapalin vlivem sdílení tepla. Do výměníků mohou vstupovat tuhé částice, kapaliny i plyny. Dle funkce dělíme tepelné výměníky na: kondenzátory, odpařovače, chladiče a ohřivače. U kondenzátorů dochází ke zkapalnění plynů. Opačným způsobem fungují odpařovače, které mění kapalinu na páru. Chladiče a ohřivače umožňují změnu teploty teplosměnného média.

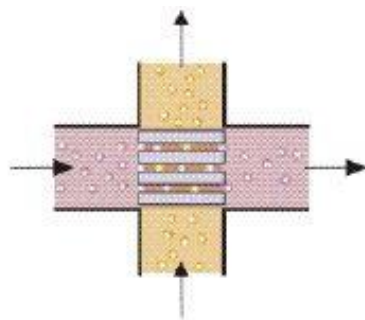
Výměníky se dělí dle směru toku proudů na: souproudé, protiproudé a křížové. U souproudých výměníků dochází k největšímu rozdílu teplot, protože nejteplejší a nejstudenější proud se setkává na začátku a následně teplotní rozdíl se vzdáleností klesá. Vhodnějším řešením je protiproudý výměník, u kterého dochází k rozložení teploty po celé délce a nevznikají extrémy. Další výhodou je použití nižší teploty proudu než u souproudého zařízení k dosažení požadované teploty. [1]



Obr. 5 Souproudé uspořádání [1]



Obr. 6 Protiproudé uspořádání [1]



Obr. 7 Křížové uspořádání [1]

3.1 Povrchové výměníky

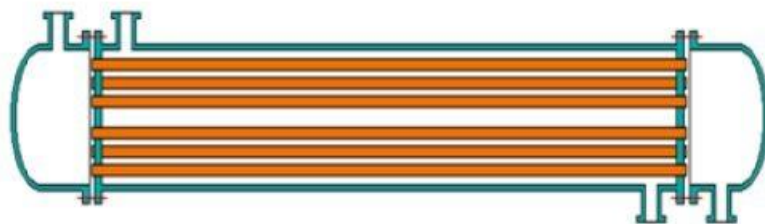
Tento typ výměníků je určen pro tepelnou výměnu mezi kapalinou – kapalinou, nebo kapalinou – plynem. Povrchové výměníky se dělí dle konstrukce na následující druhy.

1) Duplikátor

Nádoba s dvojitým pláštěm, nebo může být na vnějším povrchu stočená trubka kde protéká médium. Jedná se o nejjednodušší výměník.

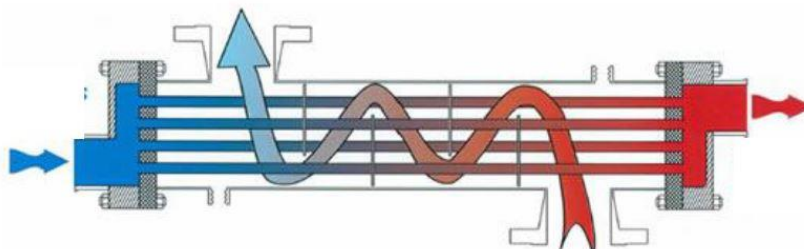
2) Plášťový výměník

Pokryt pláštěm, kde jsou svazky trubek jimiž protéká kapalina určená ke změně teploty. Teplosměnnou plochou jsou stěny trubek, které jsou ochlazovány nebo ohřívány z vnější strany médiem.



Obr. 8 Plášťový výměník [1]

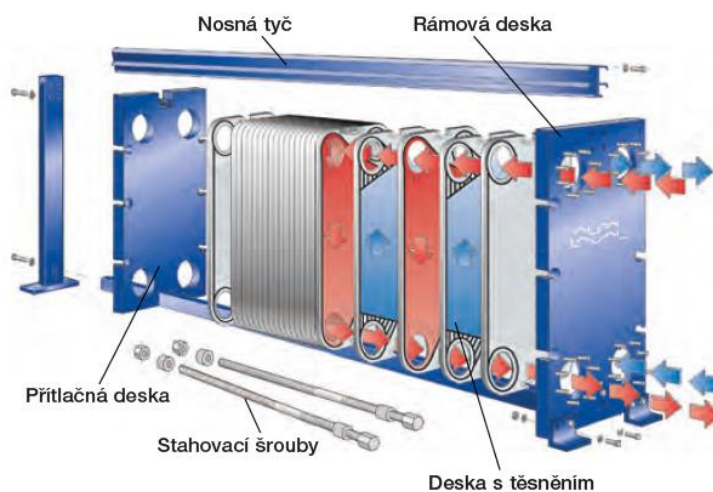
Vložením různých tvarů přepážek do mezi-trubkového prostoru dosáhneme větší účinnosti výměníku.



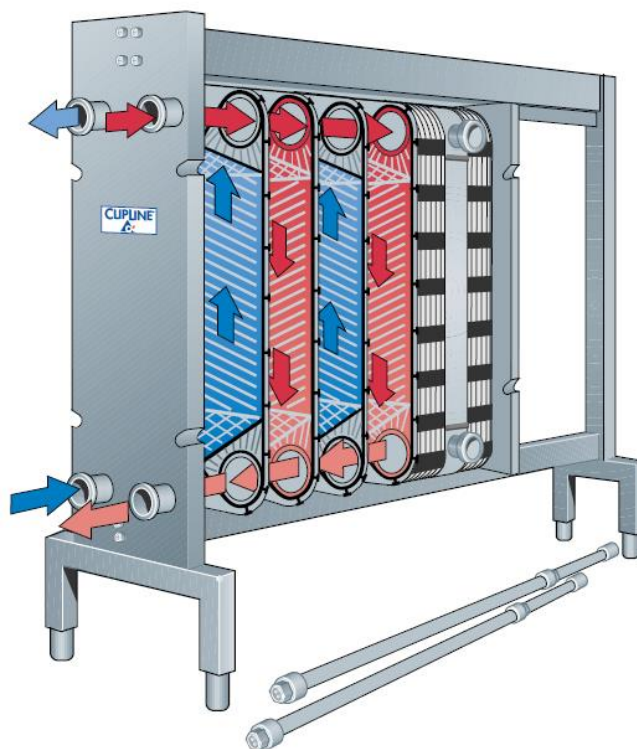
Obr. 9 Přepážky ve výměníku [1]

3) Deskový výměník

Teplosměnná plocha je ze sady desek, které jsou přišroubovány k sobě. V deskách jsou umístěny velmi blízko sebe kanálky, ve kterých protéká kapalina a pracovní médium určené k ochlazení, nebo ohřívání. Výhodou je, že výměník má 3x až 5x vyšší účinnost než výměník trubkový.



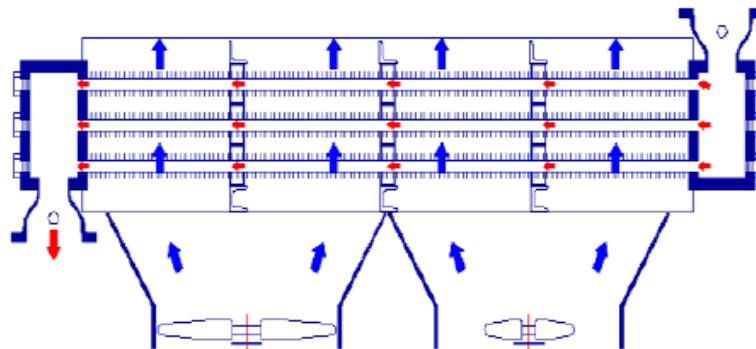
Obr. 10 Deskový výměník [24]



Obr. 11 Princip toku a přestupu tepla v deskovém výměníku [24]

4) Vzduchový chladič

Ventilátor vhání studený vzduch na teplosměnnou plochu a tím jí ochlazuje. Trubky mohou mít žebrování, které výrazně zvyšuje účinnost chlazení. Vzduchový chladič musí být velký, protože vzduch má nízký koeficient přestupu tepla. Další nevýhodou je nízká účinnost zařízení za vysokých teplot v letních měsících. Hlavní výhodou je snížení spotřeby vody v závodě. [1]

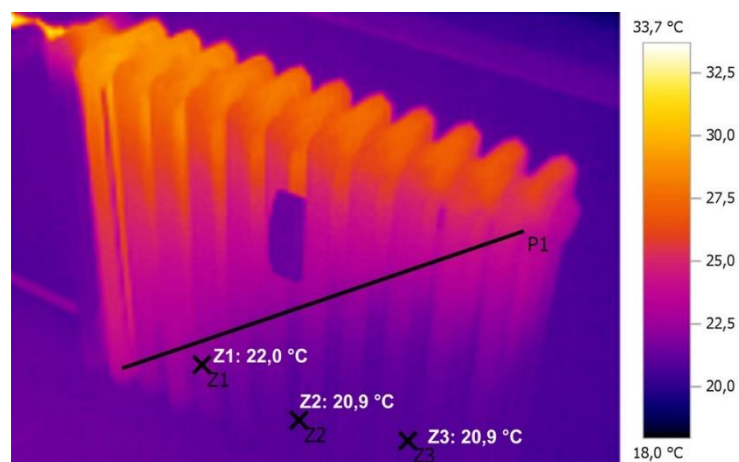


Obr. 12 Princip vzduchového chladiče [1]

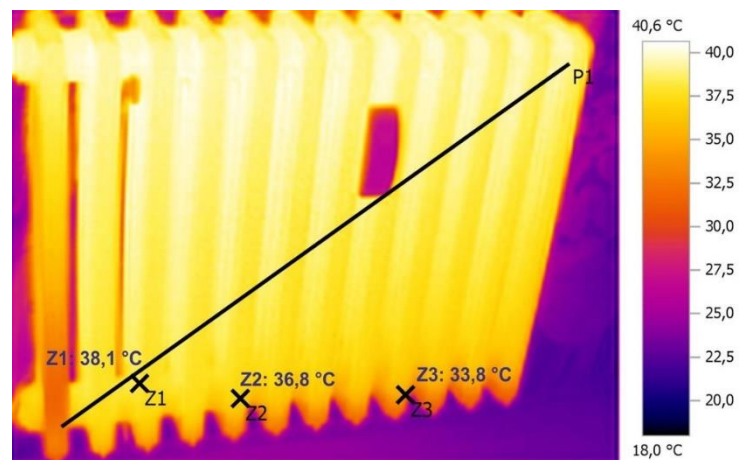
4 Čištění vnitřních povrchů

Důvody čištění

Pravidelným čištěním teplosměnného zařízení se zabrání vzniku usazenin a koroze. Zároveň se dosáhne menších tepelných a energetických ztrát. Navíc se prodlouží životnost soustavy vlivem pasivace povrchu. Zpomalením korozního poškození se zajistí energetické systémy v efektivním a bezpečném stavu. Zlepšením přestupu tepla teplosměnného média se zmenší počet odstávek a oprav. Následně se vše promítne v ekonomii provozu, kde se ušetří výrazné náklady na ohřev a chlazení. [6, 7]



Obr. 13 Zobrazení rozložení teplot radiátoru termokamerou před čištěním vnitřních povrchů [14]



Obr. 14 Zobrazení rozložení teplot radiátoru termokamerou po vyčištění vnitřních povrchů [14]

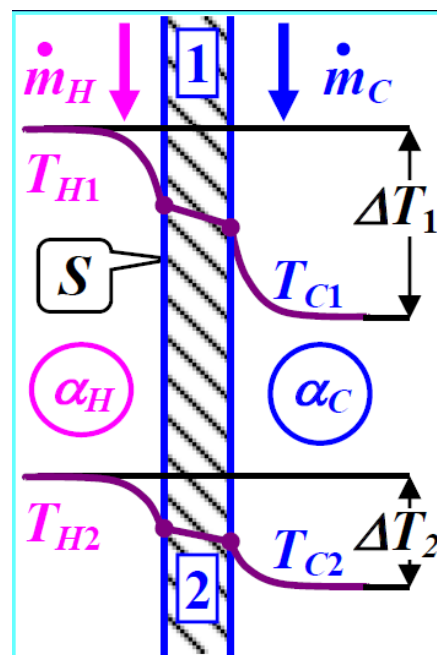
5 Vedení a prostup tepla

Dosáhnout velkého přestupu tepla u tepelných výměníků je primárním požadavkem. Splněním tohoto požadavku se dosáhne vysoké efektivity využití energií a rychlé dosažení tepelné pohody v domech, továrnách, školách a ostatních uzavřených budovách.

U teplosměnných systémů slouží tepelné výměníky k přenosu tepla mezi chladnějším a teplejším médiem. Tepelné výměníky se používají v oblasti vytápění nebo chlazení, v elektrárnách, chemičkách, letadlech, automobilech, motocyklech, atd. Výměníky se dělí dle způsobu proudění médií na: souproude, protiproude a výměníky s příčným proudem. U těchto zařízení je důležitý tepelný tok, který je přenášen prostupem tepla. Tepelný tok je veličina, která vyjadřuje rychlost přenosu tepla. Vztah pro výpočet tepelného toku přestupujícího ve výměníku je:

$$\dot{Q} = k * S * \Delta T_S$$

Kde $S [m^2]$ je plocha výměníku, $k [W * m^{-2} * K^{-1}]$ je součinitel prostupu tepla a $\Delta T_S [K]$ střední teplotní spád. [15]



Obr. 15 Schéma přestupu tepla [16]

Mechanismy sdílení tepla

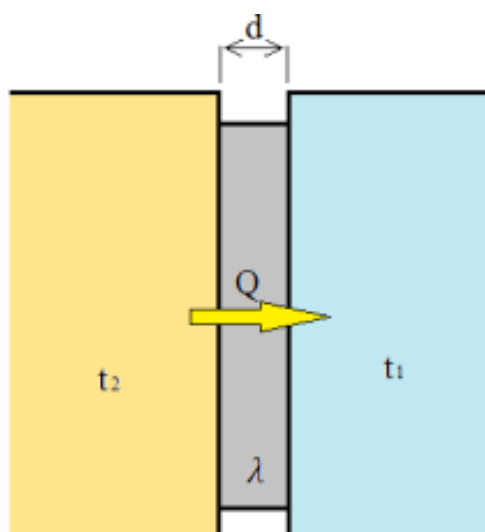
Ke sdílení tepla dochází, když existuje teplotní rozdíl mezi dvěma látkami. Mechanismus sdílení tepla probíhá podle druhého zákona termodynamiky, který v Carnotově-Clausiově formulaci zní: „Teplo samo o sobě nemůže přecházet z látky o teplotě nižší na látku o teplotě vyšší“. [17]

Sdílení tepla probíhá třemi základními principy.

- Vedením
- Prouděním
- Sáláním

Vedení (kondukce) tepla

Vlivem teploty a vzájemným působením molekul, atomu a iontů dochází k pohybu a k sdílení tepla vedením. Aby došlo ke sdílení tepla vedením, musí být teploty v tělese nerovnoměrně rozloženy. K vedení dochází převážně v pevných látkách. Teplo se také šíří v plynných a kapalných látkách, ale převažuje zde šíření tepla prouděním. Tepelná vodivost určuje, jakou rychlostí se teplo v prostředí šíří. K porovnání tepelné vodivosti materiálů slouží součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]. Dle λ se materiály dělí na tepelné izolanty a tepelné vodiče. Tepelné izolanty špatně vedou teplo a naopak tepelné vodiče vodí teplo dobře. Z hlediska dynamiky se vedení tepla dělí na ustálené a neustálené vedení tepla. Pokud se jedná o ustálené (stacionární) vedení tepla, teplotní rozdíl zůstává mezi jednotlivými částmi tělesa stejný. Teplota t_2 je na teplém konci látky, teplota t_1 na studeném konci látky a jejich rozdíl se nazývá teplotní gradient, neboli teplotní spád. Tloušťka desky značena d . $Grad\ t = \frac{t_2 - t_1}{d}$ [K/m]. [17, 18, 19]



Obr. 16 Schéma vedení tepla [19]

Tab. 2 Příklad součinitele tepelné vodivosti různých materiálů [25]

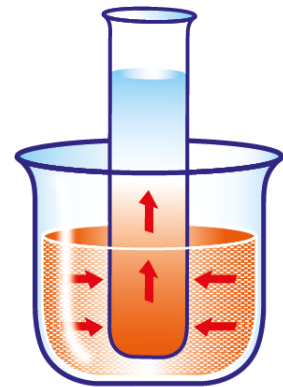
| Materiál | λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] |
|--------------------|--|
| Ocel | 46 – 52 |
| Uhličitan vápenatý | 1,4 – 2,9 |
| Biofilm | 0,5 – 0,7 |
| Korozní produkty | 0,7 – 0,8 |

Pokud se jedná o neustálené (nestacionární) vedení tepla, dochází v jednotlivých částech tělesa ke změně teploty s časem. [19]

Proudění (konvekce) tepla

Přestup tepla prouděním vzniká při pohybu tekutin nebo plynů a současně se sdílí teplo mezi tekutinou a tuhou látkou. Proudící tekutina odebírá nebo předává teplo přilehlým tělesům. K proudění dochází, když se látka zespodu zahřívá.

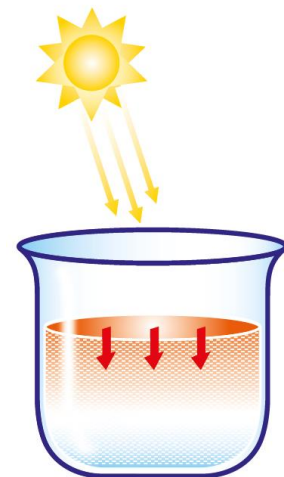
Následně klesá její hustota. Zahřátá část látky stoupá vzhůru a na její místo se přesouvá nezahřátá látka. Když zahřátá látka stoupá vzhůru, dochází k jejímu ochlazování vlivem okolního prostředí a následně klesá ke dnu. Tento proces probíhá neustále dokola a je tedy cyklický. [17, 19]



Obr. 17 Princip proudění [24]

Sálání (zářením a radiací) tepla

Podstata šíření tepla sáláním je založena na elektromagnetickém vlnění, které se šíří rychlostí světla. Sdílení tepla může probíhat i ve vakuu na rozdíl od dvou předchozích mechanismů sdílení tepla. Intenzita vyzařování závisí na povrchu a teplotě. [17, 18, 19]



Obr. 18 Princip sálání [24]

6 Metody čištění

Metody čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů lze rozdělit na dvě skupiny dle dané technologie.

- Mechanické čištění
- Chemické čištění

6.1 Mechanické čištění

Mechanické čištění využívá kinetické energie k odstranění sedimentů a nečistot.

Dělení mechanického čištění

- Lehké tryskání
- Vysokotlaké čištění vodou
- Projektilové čištění
- Speciální způsoby čištění

Lehké tryskání

Princip tohoto čištění spočívá v tryskání abrazivem o nízké hmotnosti. Abrazivo dopadá na daný materiál a čistí ho od korozních produktů a usazenin. Kinetická energie může být dodávána ve formě stlačeného vzduchu i tlakovou vodou. Médium pro lehké tryskání je korund (Al_2O_3), soda ($NaHCO_3$), suchý led (CO_2) a další tryskací média. Tento způsob čištění lze použít pouze na větší průměry trubek. [7, 8]

Vysokotlaké čištění vodou

Kinetická energie je udělována vodnímu paprsku, který velkou rychlostí a tlakem (až 20 MPa) působí na čištěnou plochu. Způsob tohoto čištění má značnou míru nebezpečnosti pro obsluhu a ostatní v okolí, protože se při tomto způsobu pracuje s velkými tlaky. [8, 9]

Projektilové čištění

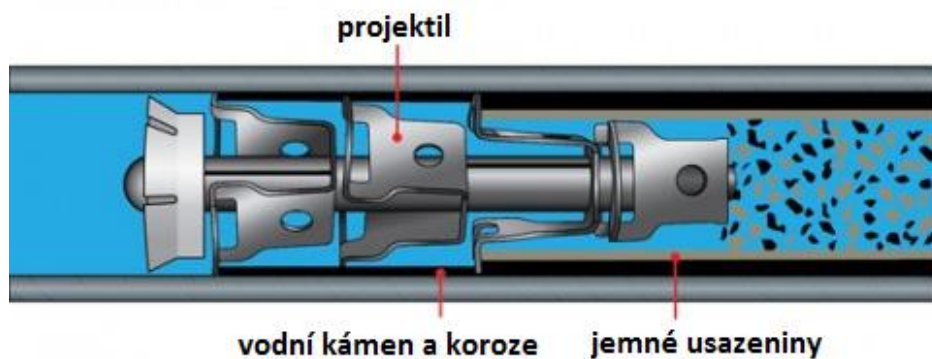
Projektilové čištění uděluje kinetickou energii speciálnímu projektilu, který proletí čištěnou trubkou a současně odstraní nánosy usazenin a ostatních cizorodých částic. Typů projektilů je velké množství a je tedy potřeba zvážit potřebné parametry a požadavky pro danou technologii. Tento proces čištění lze provádět v častých intervalech pro zmírnění postupného zanášení usazeninami. Čistit lze pouze vnitřní prostory trubek. Nevýhodou je nutnost rozebrání soustavy a zůstatek zbytkové vrstvy nečistot. [10]



Obr. 19 Pistole a projektily pro projektilové čištění [16]



Obr. 20 Projektilové čištění [16]



Obr. 21 Schéma projektilového čištění [16]

Základní typy projektilů jsou: kovový, plastový, U, nylonový a nerezový. Každý typ lze použít na jiné znečištění. Například kovový projektil je určen pro usazeniny extrémního typu, kdežto nylonový projektil je vhodný pro dočištění a lehké nečistoty. [11]



Obr. 22 Plastový projektil [6]

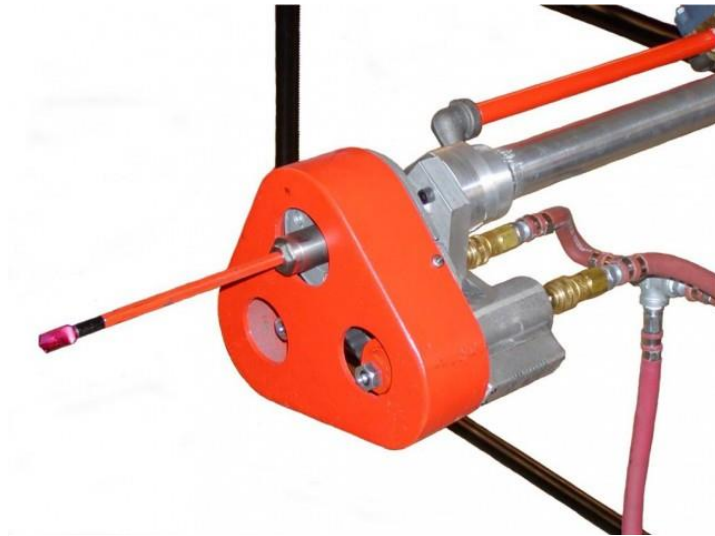


Obr. 23 Nylonový projektil [12]

Speciální způsoby čištění

1) Proplachování a vrtání (HydroDrill)

Čištění je prováděno proplachováním za současného vrtání, které odstraňuje tvrdé usazeniny. Trubky dlouhé 6 m se obvykle čistí 30 až 90 vteřin. Tato metoda je rychlá a účinná, neboť stačí provést jeden průchod. [16]



Obr. 24 Zařízení HydroDrill [16]

2) Kartáčování a proplachování pomocí zařízení Excaliber

Zařízení má na konci kartáč, který rotuje v trubce a dochází k čištění. Při rotaci a odstraňování usazenin se současně čerpá voda do konce nástroje a dochází k vyplavování nečistot. [16]



Obr. 25 Čištění pomocí zařízení Excaliber [16]

3) Čištění pomocí kapalného dusíku

Vysoce zchlazený tekutý dusík je stříkán pomocí pistole na čistěný povrch. Dusík se dostane do trhlin a štěrbin, kde dojde k jeho rozpínání a následnému rozpadu usazenin. [16]



Obr. 26 Princip čištění tekutým dusíkem [16]

6.2 Chemické čištění

Chemické čištění je prováděno na principu technologie moření (kyselinami nebo alkáliemi). Poněvadž teplosměnné systémy mají různorodou variabilitu materiálů, je cílem najít takový chemický prostředek, který nepoškodí žádný z různých materiálů daného systému (například: litinu, ocel, měď, plasty, další typy materiálů a jejich svary, respektive těsnění). Při tomto procesu se odstraňují usazeniny a korozní produkty rozpouštěním. Používané kyseliny jsou buď na bázi anorganických kyselin (chlorovodíková, fosforečná, sírová,.) nebo organických kyselin (citrónová a octová.). Ke kyselinám se přidávají inhibitory, aby nedošlo k poškození čistěných kovů a urychlovače čistících reakcí. Inhibitory zabraňují poškození základního materiálu. Díky velké variabilitě moření a řadě prostředků lze dosáhnout různě čistého povrchu za přijatelných nákladů a času. [2, 8, 13]

Co chemicky čistit

Obecně, co se bude chemicky čistit, záleží na technologických možnostech čištění a požadavcích na čistotu povrchu. Další důvod čištění je pravidelná údržba systému. Nutností je brát v úvahu teploty a tlaky, které v zařízení vznikají.

Největší péče při čištění se musí věnovat výparníkům, kde vznikají největší rozdíly teplot a jsou zde nejvhodnější podmínky pro vznik usazenin a koroziích produktů. [6]

V jakých intervalech čistit

Usazeniny se v důsledku chemických procesů tvoří neustále a proto se doporučuje pravidelné čištění topné soustavy v intervalu 7-10 let. V systému, kde se nachází tepelné výměníky, výrobci doporučují čištění každé 2 roky. Tento pravidelný interval má své opodstatnění z důvodu prodloužení životnosti otopného systému, zabránění vzniku koroze a udržení účinnosti přenosu tepla. [14]

Ekonomie chemického čištění

Pravidelné čištění je důležité z důvodu zabránění vzniku havárií a následných drahých oprav. V následující tabulce jsou vyčísleny náklady na opravu zařízení bloku elektrárny. Pokud by se provádělo pravidelné čištění, tyto drahé opravy by se nemusely provádět a nedošlo by k výpadku dodávky elektrické energie. Peněžní prostředky investované do prevence a tedy pravidelného čištění se jistě vyplatí. [6]

Tab. 3 Náklady na opravu bloku elektrárny [6]

| Zařízení | Cena (mil. USD) | Doba odstávky (týdny) |
|--|-----------------|-----------------------|
| Náhrada stěny kotle na fosilní palivo | 5 - 12 | 20 - 32 |
| Oprava netěsné trubky v kotli | 0,1 – 0,5 | 2 dny |
| Oprava přehříváku nebo přihříváku | 5 - 8 | 12 - 26 |
| Výměna EKA ¹ | 0,6 – 1,2 | 2 - 6 |
| Přetrubkování kondenzátoru | 3 - 18 | 8 - 26 |
| Náhrada jedné řady lopatek parní turbíny | 0,1 – 0,8 | 3 - 8 |

Odpady chemického čištění

Nebezpečné odpadní produkty a vody z procesů čištění mohou mít negativní účinky na životní prostředí. Nebezpečným odpadům se musí věnovat zvýšená pozornost v místě jejich vzniku, při převozu a v místě kde dochází k jejich likvidaci. Po vyčištění zůstane vždy odpad, který je potřeba ekologicky zlikvidovat. Likvidace odpadů je velice důležitá a musí se rozhodnout, jakým způsobem dojde k jejich odstranění. Odpady a chemikálie se nemohou vypouštět do odpadních vod. Tyto chemikálie musí být zlikvidovány na řízených skládkách, kde neustále stoupají ceny za jejich zpracování. [6, 21]¹

¹ EKA - je zkratka pro ekonomizér. Jedná se o výhřevnou plochu v kotli, kam je přiváděna napájecí voda a je zde ohřívána.



Obr. 27 Odpady z chemického čištění [6]

6.3 Ekologická likvidace produktů čištění

Při čištění a úpravě chemických odpadů se využívá třech základních technologických postupů:

- 1) Fyzikální a fyzikálně-chemické
- 2) Chemické
- 3) Biologické

Postup čištění odpadů se musí přizpůsobit velikosti znečištění a požadavku jakosti vyčištěné vody.

- 1) Mezi fyzikální procesy patří sedimentace, kde dochází k separaci pevných částic vlivem gravitace. Následně dochází k filtraci přes filtrační síťovinu nebo zrnitý materiál.
- 2) Neutralizace se řadí mezi chemické procesy, při které je upravováno pH vody na požadovanou hodnotu. Ekonomicky nejvýhodnější neutralizace se provádí smícháním alkalických a kyselých kapalin. Další možností neutralizace je přímé dávkování neutralizačních činidel. Nejvíce se používají činidla: hydroxid vápenatý, kyselina sírová a chlorovodíková.
- 3) Biologické procesy fungují na principu urychleného mikrobiálního procesu, který probíhá v přírodě. Výhodou je, že se do tohoto procesu čištění nepřidávají žádné další látky. Nevýhodou je horší ovladatelnost, nižší účinnost a vysoká citlivost na toxické látky, které mohou mikroorganismy zničit. [22]

7 Kontrola kvality a stavu povrchu

Kontrola vyčištěného vnitřního povrchu se provádí nepřímou vizuální a nedestruktivní metodou pomocí průmyslových endoskopů, nebo zkouškou ultrazvukem. Takto se kontrolují obtížně přístupné prostory, potrubí, tepelné výměníky a kondenzátory.

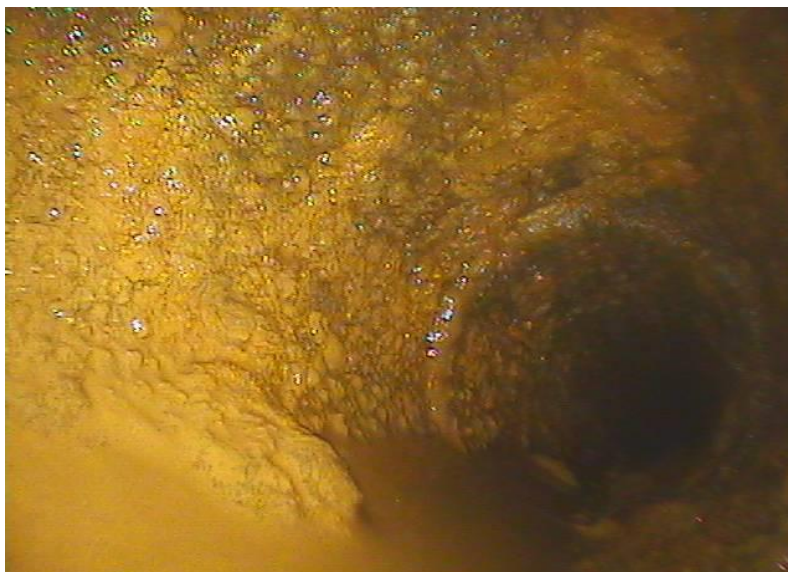
Endoskopy se rozdělují na:

- a) Fibroskopy
- b) Videoskopy

V energetice se při kontrole vnitřního povrchu nejvíce používají videoskopy a fibroskopy. Tato zařízení se skládají z obrazovky, ovládacích prvků a sondy, která se zasouvá do vnitřních prostorů. Na konci sondy jsou umístěny zdroje světla, které osvětlují tmavý prostor. Následně je online obraz převeden pomocí chipu na monitor. [23]



Obr. 28 Videoskop [23]



Obr. 29 Kontrola vnitřního povrchu videoskopem [23]

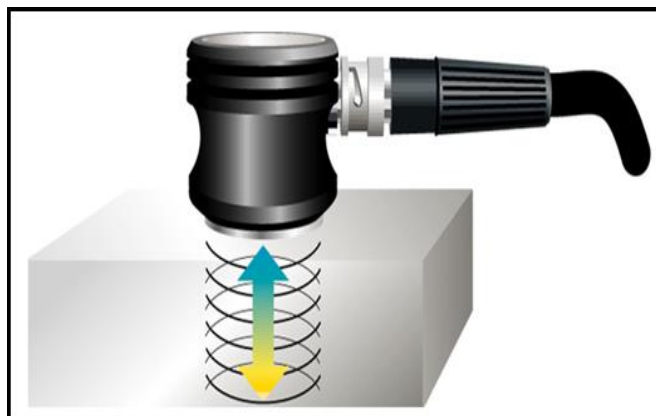
Dalším zařízením pro odhalení korozních úbytků je ultrazvukový tloušťkoměr. Tímto zařízením lze kontrolovat kovové i nekovové materiály a měřit zeslabení tloušťky stěn trubek. Kmity v podobě zvukové vlny o frekvenci 500 KHz – 20 MHz se šíří materiálem určitou rychlostí a směrem. Část vlnění se vrátí zpět a na obrazovce se zobrazí signál. Ultrazvukové vlny podélné se mohou šířit v pevném, kapalném i plynném prostředí. [23]



Obr. 30 Měření vnitřních korozních poškození potrubí pomocí ultrazvuku [23]



Obr. 31 Ultrazvukové zařízení [23]

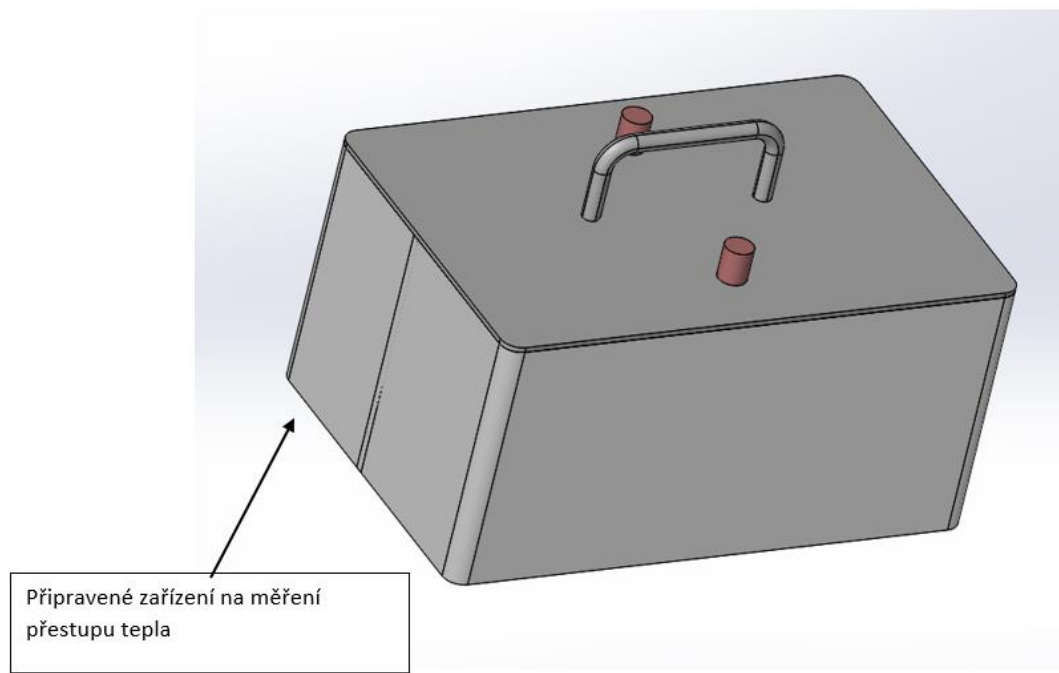


Obr. 32 Schéma principu měření tloušťky stěny ultrazvukem [23]

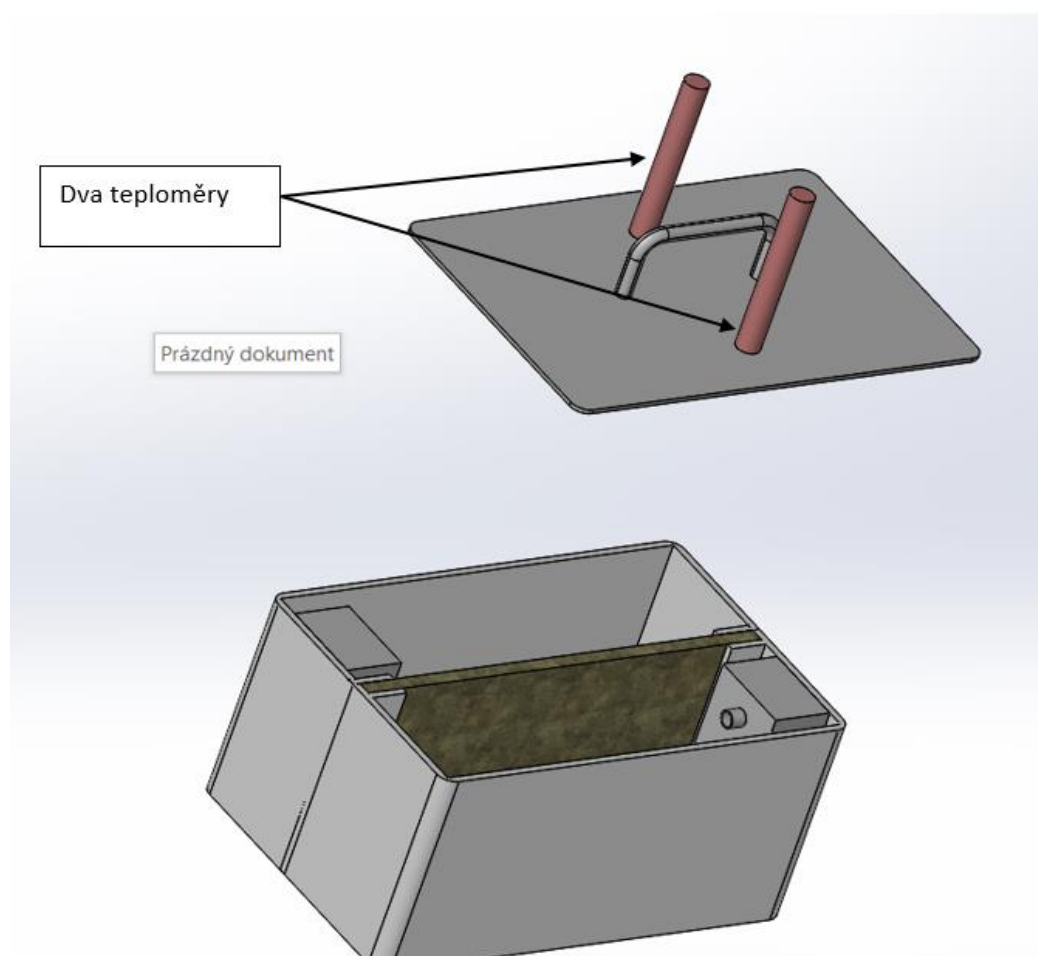
8 Experiment

8.1 Návrh zařízení ke zjišťování vlivu znečištění na přestup tepla

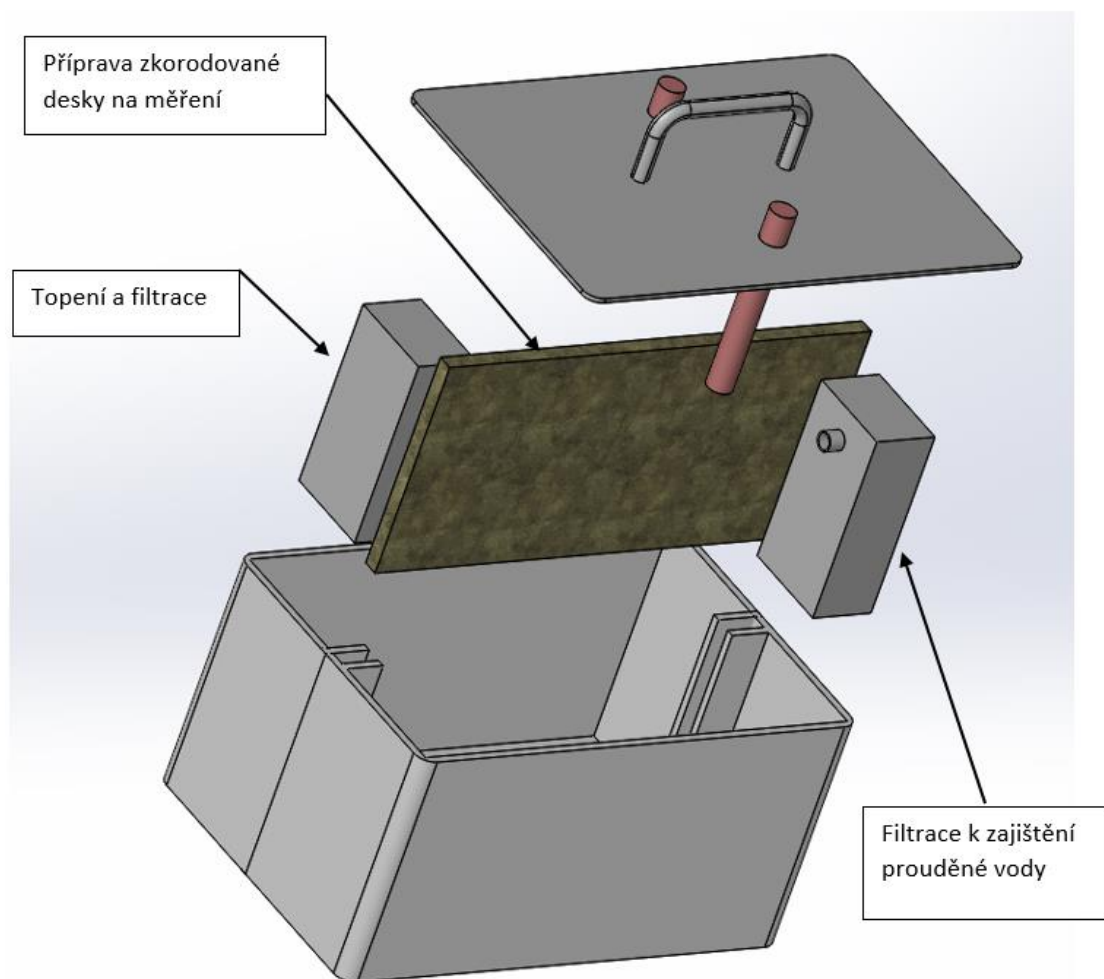
Ke zjištění přestupu tepla u znečištěné stěny bylo navrženo zařízení, které je vidět na obrázcích níže. Zařízení se skládá z nádoby, dvou teploměrů se záznamem, topení, 2x filtrace a víka nádoby. Do nádoby se vloží zanesená deska a utěsní se spáry. Následně dojde k naplnění nádoby vodou o pokojové teplotě. Nádoba se zavře víkem a vloží dva teploměry. Na jedné straně bude topení ohřívat kapalinu a filtrace bude zajišťovat proudění vody pro lepší výměnu tepla. Na druhé straně poběží pouze filtrace. Teploměry zaznamenávají teplotu na ohřívané a neohřívané straně v závislosti na čase. Po dokončení se nechá zařízení vychladnout a vyndá se zanesená deska, kterou je potřeba vyčistit. S čistou deskou se opakuje měření a lze porovnat změřená data. Tímto pokusem se zjistí vliv usazenin na přestup tepla. Z měření je zřejmé, že usazeniny zabraňují přestupu tepla.



Obr. 33 Zařízení pro měření přestupu tepla desek



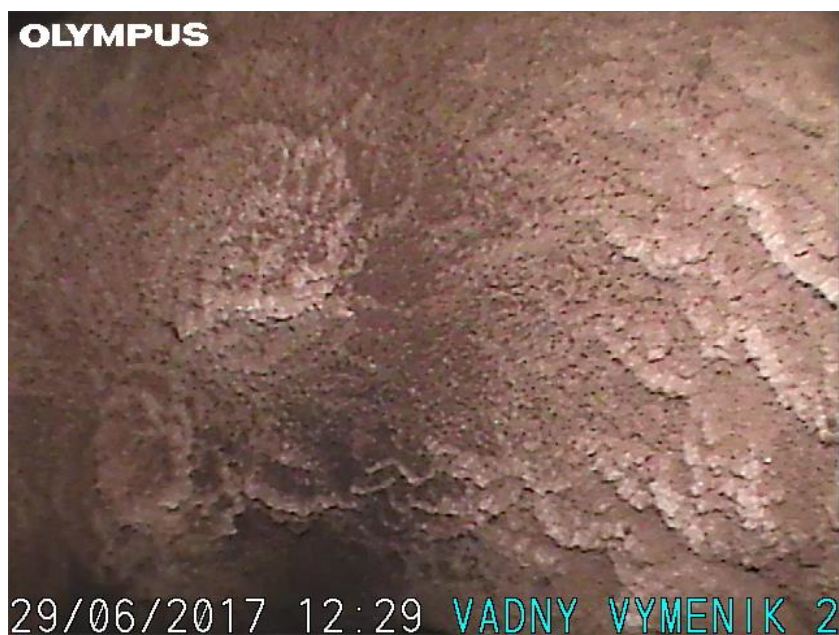
Obr. 34 Zařízení pro měření přestupu tepla desek



Obr. 35 Zařízení pro měření přestupu tepla desek

8.2 Čištění výměníku od firmy Alfa Laval a stanovení vlivu korozních úsad na ztráty tepla

Pro praktické měření byl vybrán znečištěný výměník tepla. Před samotným čištěním byla provedena kontrola výměníku pomocí videoskopu od firmy Olympus. Na obrázcích níže lze vidět, že výměník je více zanesen na primární straně. Na fotkách jsou oba okruhy, tedy primární i sekundární. Vstup primárního okruhu pokrývají značné inkrusty. Na výstupu primární strany výměníku je vidět mnohem méně usazenin. Sekundární strana výměníku není tolik zanesená v porovnání s primární stranou.



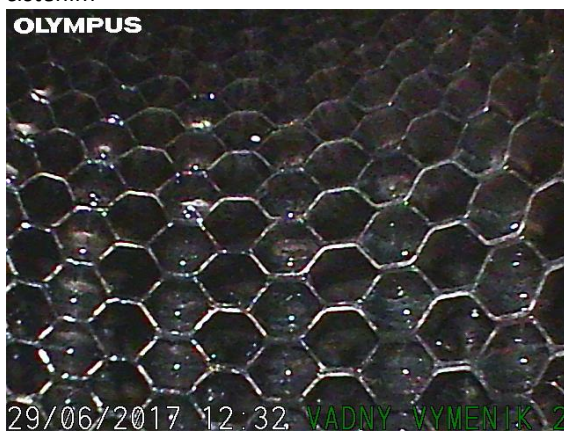
Obr. 36 Vstup primární strany výměníku



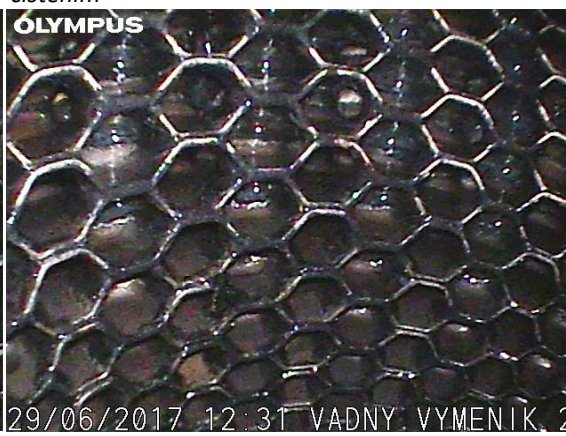
Obr. 37 Vstup primární strany výměníku před čištěním



Obr. 38 Výstup primární strany výměníku před čištěním



Obr. 39 Sekundární strana výměníku před čištěním



Obr. 40 Sekundární strana výměníku před čištěním

K čištění deskového výměníku byl použit čisticí prostředek Z-fáze, ředěný s vodou v poměru 1:20. Tento čisticí prostředek byl vybrán na základě jeho prověřené účinnosti a vlastností. Při pokusu čištění na deskovém výměníku od firmy Alfa Laval byl použit měřič tepla Landis, dva teploměry, dva tlakoměry a tlaková pumpa DOS 25/V4V. Tlaková pumpa DOS 25/V4V se 4-cestným ventilem umožňuje změnu směru proudění čisticí chemikálie.

Tab. 4 Technické parametry tlakové pumpy DOS 25/V4V

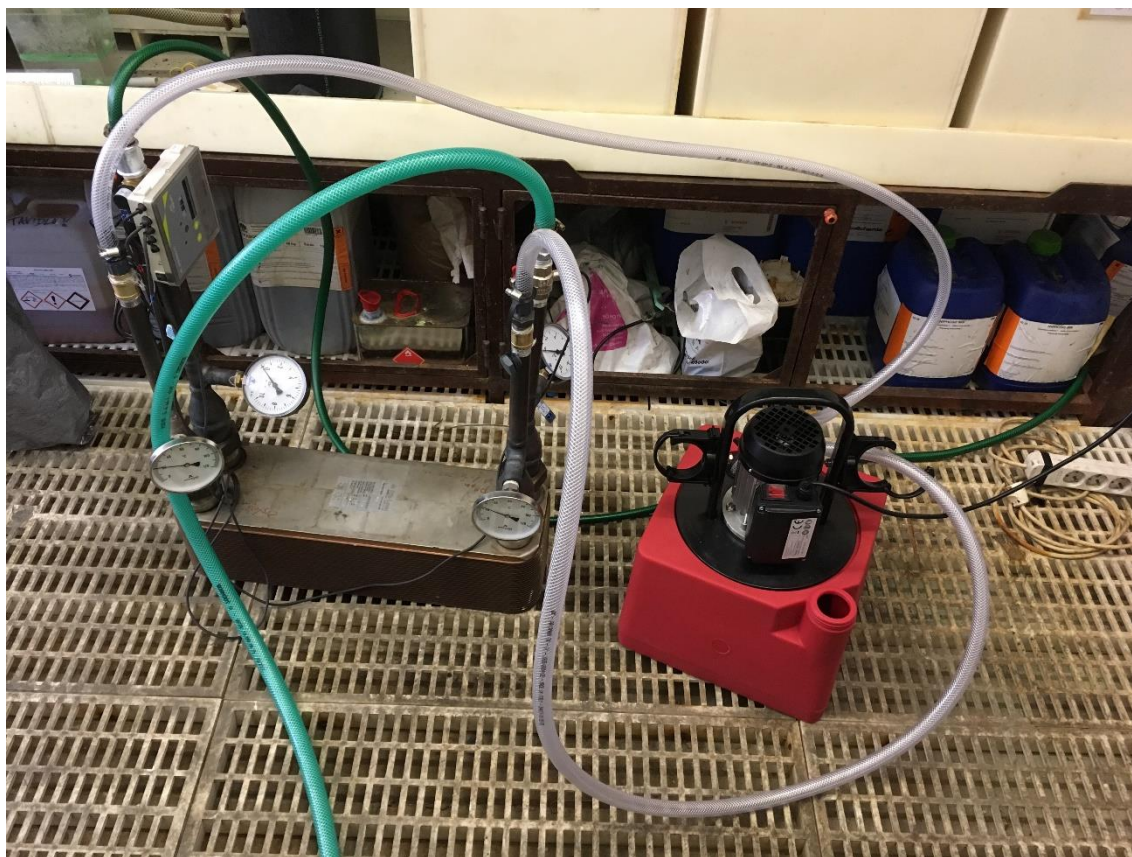
| | | DOS 25 V4V | |
|-----------------------|-------|-----------------|--|
| OBJEM NÁDRŽE | l | 20 | |
| PRŮTOK | l/min | 56 | |
| DOPRAVNÍ VÝŠKA | m | 10 | |
| PŘIPOJENÍ | -- | 1/2" | |
| NAPĚTÍ | -- | 250 VAC/50 Hz | |
| TYP ČERPADLA | -- | rotační, 165 W | |
| MAX. PRACOVNÍ TEPLOTA | °C | 50 | |
| KRYTÍ | -- | IP55 | |
| ROZMĚRY (v x š x d) | mm | 500 x 350 x 350 | |
| HMOTNOST | kg | 8,5 | |
| OBJEDNACÍ KÓD | -- | 590 | |



Obr. 41 Popis tlakové pumpy DOS 25/V4V [26]

Zkouška výměníku před samotným čištěním

Před čištěním se změří parametry výměníku, aby se po jeho vyčištění mohlo konstatovat zlepšení, nebo zhoršení jeho účinnosti. Na obrázku níže je vidět zapojenou soustavu, připravenou k měření teploty, průtoku a výkonu. Měřič tepla má dva senzory, z nichž jeden je na přívodní straně teplé vody z vodovodního potrubí a druhý senzor je umístěn na odpadní straně. Na druhém okruhu jsou dva teploměry, rovněž rozmístěny na vstupu a výstupu. Voda v tomto okruhu je poháněna tlakovou pumpou.

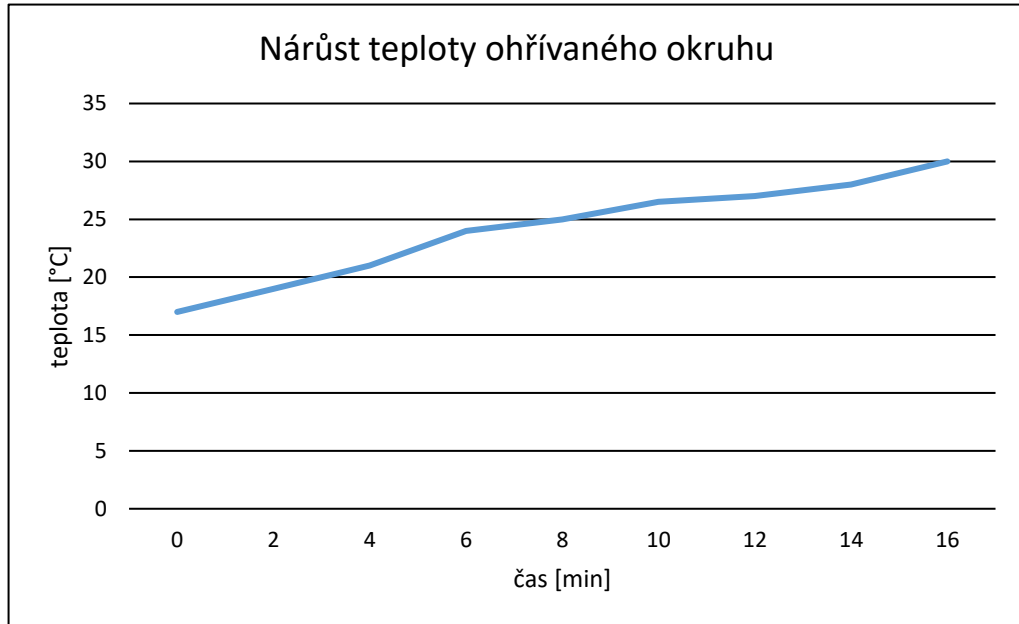


Obr. 42 Soustava zapojená a připravená k měření

Do primární strany výměníku byla napouštěna voda o teplotě 45 °C. V sekundárním okruhu je napuštěná studená voda o teplotě 18 °C, která cirkuluje v okruhu pomocí čerpadla. Pozorovalo se, jak rychle teplá voda primárního okruhu ohřeje vodu v sekundárním okruhu. Níže v tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty. Dále byl měřen průtok primárního okruhu, který byl 0,29 m³/h.

Tab. 5 Nárůst teploty ohřívaného okruhu před čištěním

| čas [min] | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
|--------------|----|----|----|----|----|------|----|----|----|
| teplota [°C] | 17 | 19 | 21 | 24 | 25 | 26,5 | 27 | 28 | 30 |



Graf 1 Nárůst teploty ohřívaného okruhu výměníku před čištěním

Čištění výměníku

Předchozí soustava se následně rozebrala a připravila se k čištění sekundární strany výměníku. Na obrázku je vidět připravená soustava k čištění. Vstup a výstup primární strany byl zaslepen šroubením.



Obr. 43 Zapojená soustava k čištění

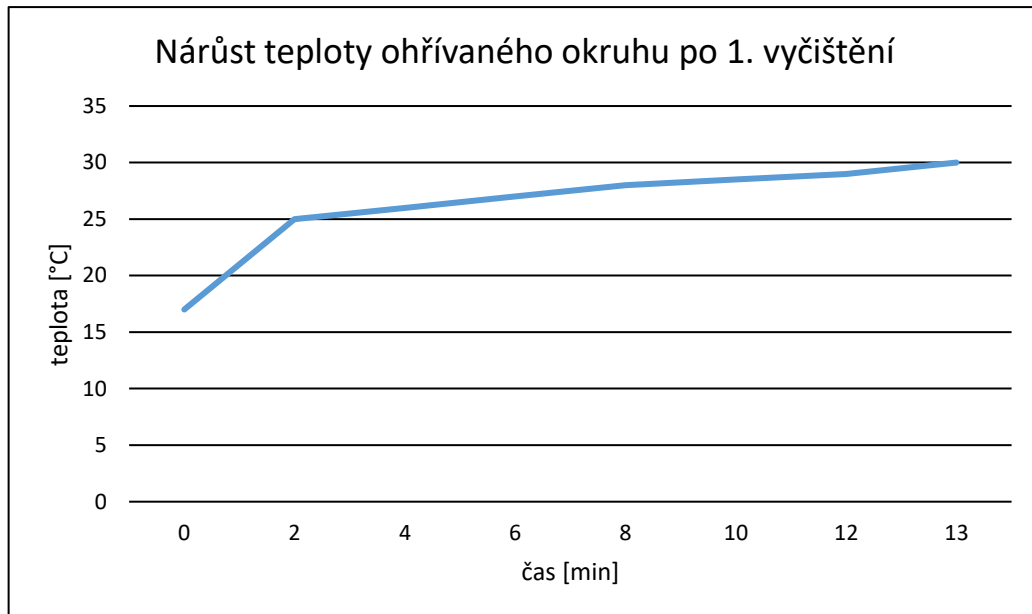
Do nádoby čerpadla bylo nalito 10 l vody o teplotě 30 °C. Sekundární okruh se nejdříve vyzkoušel pouze s vodou, aby byla zkontrolována těsnost čištěného okruhu. Následně byl do nádoby čerpadla přidán čisticí prostředek Z-fáze, namíchaný s vodou v poměru 1:20. Na začátku čištění bylo pH 1. Po 20 minutách čištění byl změněn směr toku kapaliny, aby se docílilo lepšího účinku čištění. Poté byl sekundární okruh propláchnut a zbaven zbytků nečistot.

Následovalo čištění primárního okruhu, a proto se musela soustava přepojit a zaslepit sekundární okruh. Počáteční hodnoty byly stejné jako v předchozím čištění. V průběhu čištění se měřilo pH a měnil se směr toku kapaliny. Po 195 minutách bylo čištění ukončeno, následně sestava demontována a zapojena do původního stavu, kdy se prováděla zkouška před samotným čištěním.

Znovu se pozorovala rychlost ohřevu sekundární strany s následujícími hodnotami: průtok primárního okruhu byl $0,83 \text{ m}^3/\text{h}$. Po prvním vyčištění se tedy průtok zvětšil téměř 3x. Zvýšila se i rychlost ohřevu sekundárního okruhu oproti rychlosti ohřevu před vyčištěním, což je patrné z tabulky a grafu.

Tab. 6 Nárůst teploty ohřívaného okruhu výměníku po 1. čištění

| čas [min] | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 13 |
|--------------|----|----|----|----|----|------|----|----|
| teplota [°C] | 17 | 25 | 26 | 27 | 28 | 28,5 | 29 | 30 |



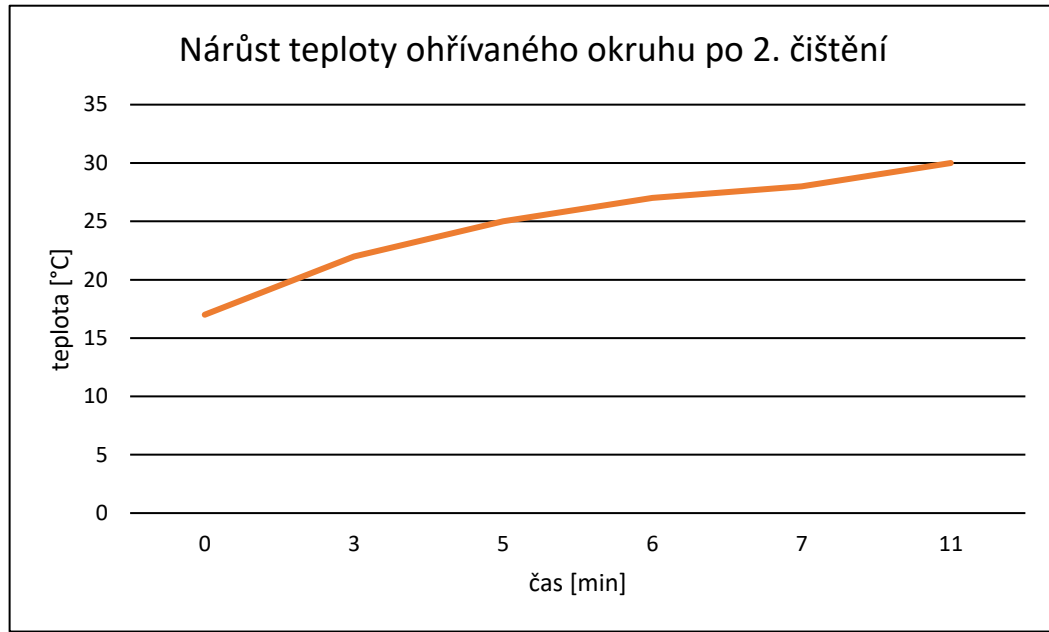
Graf 2 Nárůst teploty ohřívaného okruhu výměníku po 1. čištění

Protože po 1. čištění bylo na vstupu primárního okruhu vidět ještě značné zanesení, provedlo se 2. čištění. Častěji, tedy po 10 minutách se měnil směr toku kapaliny. Jinak čištění probíhalo stejným způsobem jako předchozí. Po 256 minutách bylo čištění ukončeno a soustava propláchnuta čistou vodou. Celkově se na primární okruh použilo 2,5 l Z-fáze. Následně byla sestava demontována a zapojena do původní podoby, kdy se prováděla zkouška před samotným čištěním.

Byl změřen průtok primární strany, který se zvýšil na $1,12 \text{ m}^3/\text{h}$. Průtok se tedy znovu zvýšil skoro o 40% oproti změřenému průtoku po 1. vyčištění. Taktéž se zvýšila rychlost ohřevu sekundárního okruhu (viz. tabulka a graf 4).

Tab. 6 Nárůst teploty ohřívaného okruhu výměníku po 2. čištění

| čas [min] | 0 | 3 | 5 | 6 | 7 | 11 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|
| teplota [°C] | 17 | 22 | 25 | 27 | 28 | 30 |

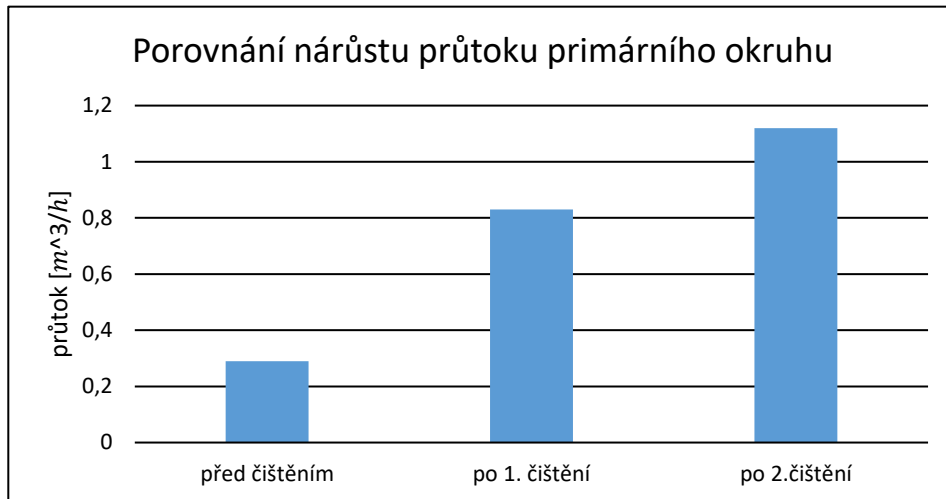


Graf 3 Nárůst teploty ohřívaného okruhu výměníku po 2. čištění

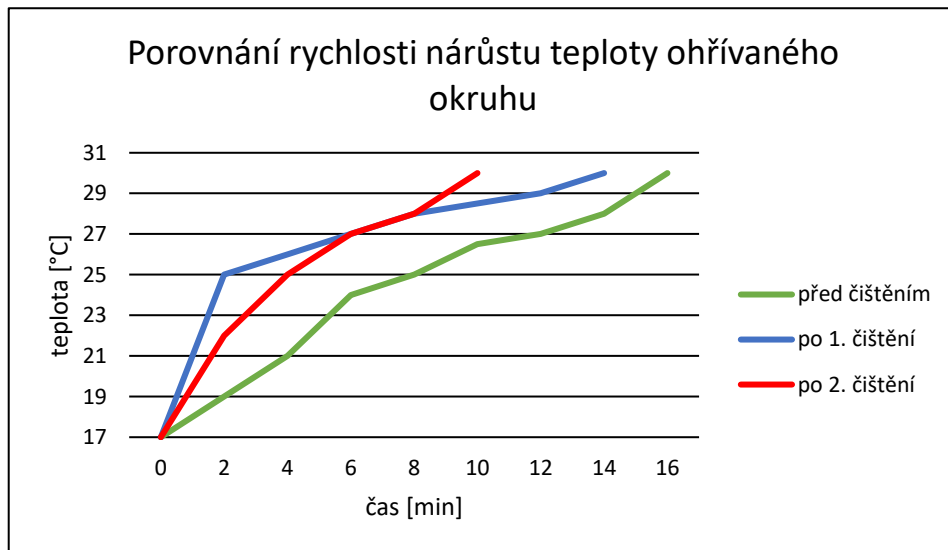
Pokud se porovná ohřev sekundárního okruhu před čištěním, po 1. čištění a po 2. čištění, zjistí se zrychlující průběh ohřevu vody. Z grafů plyne, že korozní úsady ve výměníku zpomalují rychlost ohřevu a tím předání tepla. Pro dosažení požadované teploty je nutné zvýšit teplotu v primárním okruhu, nebo začít ohřívat dříve. Nutnost zvýšení teploty, nebo delšího ohřívání vede tedy ke ztrátě tepla.

Tab. 7 Porovnání nárůstu průtoku primárního okruhu po čištění

| před čištěním [m ³ /h] | po 1. čištění [m ³ /h] | po 2. čištění [m ³ /h] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0,29 | 0,83 | 1,12 |



Graf 4 Porovnání rychlosti průtoku primárního okruhu po čištění



Graf 5 Porovnání rychlostí ohřevu sekundárního okruhu výměníku po jeho vyčištění

Po dokončení čištění výměníku byla znovu provedena kontrola videoskopem. Z pořízených fotografií níže je patrné, že se podařilo odstranit významnou část usazenin. Výměník není ještě vyčištěn dokonale. Dá se předpokládat, že pokud by se v čištění pokračovalo, výměník by se vyčistil téměř dokonale. Na fotografiích je vidět zlepšení průchodnosti kanálků v porovnání s fotografiemi před čištěním.



Obr. 44 Vstup primárního okruhu po čištění



Obr. 45 Výstup primárního okruhu po čištění

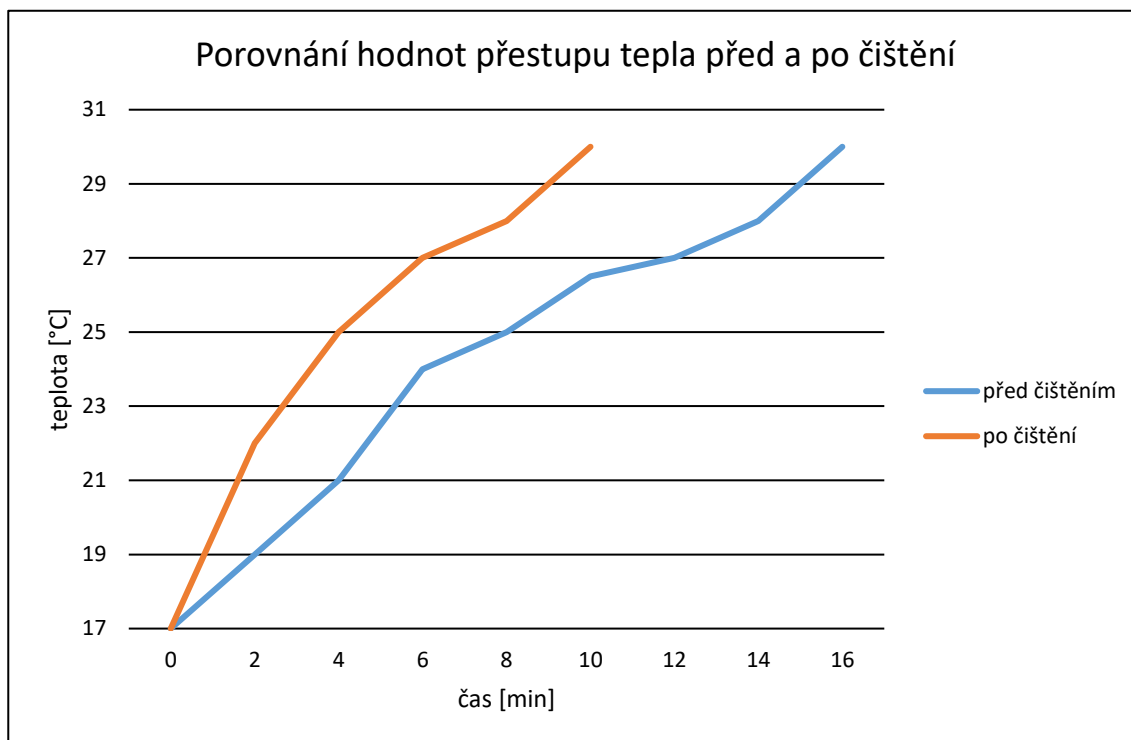


Obr. 46 Výstup primárního okruhu po čištění

9 Závěr

Teoretická část bakalářské práce se zabývá problematikou čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů. Představuje výhody a nevýhody různých teplosměnných kapalin. Popisuje usazeniny, které ve výměnících vznikají a mají negativní účinky na otopnou soustavu. Práce se zabývá teplosměnnými systémy, u kterých dochází k zanášení a představuje princip jejich funkce. V následující kapitole je vysvětleno, jak dochází k přestupu tepla ve výměnících a porovnání tepelné vodivosti různých materiálů. Jsou představeny různé metody čištění, jak mechanické, tak i chemické. Dále se práce zabývá problémem likvidace produktů čištění, které vznikají a musí se ekologicky zlikvidovat. V poslední kapitole teoretické části jsou uvedeny zařízení a metody pro kontrolu kvality a stavu povrchu.

V experimentální části je navrženo zařízení ke zjištění vlivu znečištění stěny na přestup tepla. Dále se zkoumal stav povrchu výměníku pomocí videoskopu. Provedlo se měření průtoku výměníku a následně jeho vyčištění. Z naměřených hodnot vyplynulo, že vyčištěním výměníku od korozních produktů dojde k zlepšení přestupu tepla, snížení energetické i tepelné ztráty, zvětšení průtoku teplosměnného média a snížení pravděpodobnosti poruchy systému. Dojde k úspoře nákladů za vytápění, ohřev a chlazení vody. Porovnáním hodnot před a po čištění se zjistilo zlepšení přestupu tepla o 31,25%.



Graf 6 Porovnání hodnot přestupu tepla před a po vyčištění

10 Použitá literatura

- [1] VÝMĚNÍKY TEPLA. *Katedra technických věd* [online]., 1-7 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/10%20VymenikyTepla.pdf
- [2] Jiří KUCHAR, Vladimír AGARTANOV a Viktor KREIBICH. Čištění energetických zařízení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016, 2016(12) [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cistenenergetickychzarizeni.html>
- [3] Čištění kapalin. In: *Fakulty životního prostředí UJEP* [online]. 2008 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/16%20CistenKapalin.pdf
- [4] Zdeněk ZELENÝ. Úprava vody - sedimentace. In: *VODOVOD.INFO* [online]. 2013 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/tema/219-uprava-vody-sedimentace#.WLMYfvnhBPZ>
- [5] Koroze v potrubí. In: *EuroClean* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://euroclean.cz/wp-content/gallery/aquaemix2/ucpane-kolenko.jpg>
- [6] Vlastimil OTÁHAL. *Problematika čištění energetických zařízení*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 13.4.2016 [cit. 2017-02-27]
- [7] Jiří KUCHAR. *Nové poznatky v čištění vnitřních povrchů systémů*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 15.11.2016 [cit. 2017-02-27]
- [8] Viktor KREIBICH. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 800101472x.
- [9] Čištění potrubí. *ROTHENBERGER* [online]. 2016, 1-43 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.esl.cz/eshop/pdf/cistici-technika_2015.pdf

- [10] Mohamed Abdel Hadi SALAMA, MALAYERI a JALALIRAD. Intensification of the cleaning action of structurally different projectiles by multiple injections and changing injection rate. *Desalination* [online]. 2014, 337, 52-59 [cit. 2017-03-06]. DOI: 10.1016/j.desal.2014.01.011. ISSN 00119164. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916414000277>
- [11] Projectile tube cleaning Inc. [online]. 2015 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.projectiletube.com/>
- [12] John R. Robinson, Inc. [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.johnrrobinsoninc.com/>
- [13] Moření a pasivace. In: *FK SYSTÉM* [online]. Brno: Petr KALNÝ, 2013 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.fksystem.cz/povrchove-upravy/moreni-pasivace/konecna-povrchova-uprava-legovanych-antikoroznich-oceli>
- [14] Chemické čištění topení. *EKO-CHEMO* [online]. 2014 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/11221-dejte-topeni-do-cistirny>
- [15] Milan Pavelek. *Tepelné výměníky*. Odborný seminář FSI VUT v Brně. Termomechanika. [cit. 2017-03-21]
- [16] Condenser and Heat Exchanger Tube Cleaning, Air-Cooled Condenser Cleaning, Eddy Current and Remote Field Testing, Tracer Gas Leak Detection. 2015. USA, 2015. *Conco Systems* [online]. Verona: Conco Services, ©2017 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/>
- [17] Adéla MACHÁČKOVÁ. *Sdílení tepla a proudění: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 9788024825762.
- [18] HALLIDAY, David Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 8021418699.

- [19] *MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Petr BENEŠ.
- [20] *Tepelné výměníky* [online]. 1-16 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: http://www.zvuengineering.cz/files/cz/brozury/Tepelne_vymeniky_brozura_revize_0.pdf
- [21] Nebezpečné odpady. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha, ©2008-2015 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady
- [22] Základní procesy v technologii úpravy a čištění vod. *Úprava a čištění vody* [online]. Ostrava: KUČEROVÁ, FEČKO, LYČKOVÁ, 2010 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/zpuv.html
- [23] Milan PETŘÍK. *Kontrola kvality povrchů v energetice*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 15.11.2016 [cit. 2017-04-10]
- [24] Řešení pro ohřev a chlazení. *Alfa Laval* [online]. 2017, [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.industry.alfalaval.com/industry-handbook_cz/files/assets/basic-html/index.html#1
- [25] Jan ŠKAROHLÍD. *Vliv zanášené trubek na přestup tepla*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 15.11.2016 [cit. 2017-05-17]
- [26] *Čisticí pumpy* [online]. 1 [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: http://www.regulus.cz/download/katalogove-listy/cz/kt_cz_pumpy_chem.pdf