ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Skřivánek
Jakub

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Skřivánek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **474844**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**

Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**

Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Čištění vnitřních povrchů

Název bakalářské práce anglicky:

Cleaning of internal surfaces

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor metod čištění vnitřních povrchů
2. Návrh metodiky čištění
3. Likvidace odpadů vzniklých uvolněním usazenin a nánosů z vnitřních povrchů
4. Zhodnocení kvality povrchu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ústav strojírenské technologie 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: **29.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá čištěním vnitřních povrchů energetických zařízení. Teoretická část popisuje základní rozdělení metod čištění energetických zařízení, ekologickou likvidaci odpadů z čištění a kontrolu kvality povrchu. Experimentální část je zaměřena na návrh chemické metody čištění trubkového chladiče. Cílem této práce je kvalitně vyčistit zanesený vnitřní povrch chladiče.

Klíčová slova:

Čištění vnitřních povrchů, chemické čištění, chemické čištění chladiče, čištění za provozu, čištění na odstaveném zařízení

Abstract

This bachelor thesis deals with cleaning internal surfaces of energy devices. The theoretical part describes the basic distribution of methods used in cleaning energy devices, ecological disposal of cleaning waste and surface quality control. The experimental part is focused on the design of a chemical method of cleaning a tube cooler. The aim of this work is to clean the clogged inner surface of the cooler.

Keywords:

Cleaning of internal surface, chemical cleaning, chemical cleaning of cooler, on-line cleaning, off-line cleaning

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma Čištění vnitřních povrchů vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že 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 (autorský zákon).

V Praze, dne …….. …….

podpis

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE a doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. za jejich přístup, cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za jejich podporu.

Obsah

ÚVOD **8**

1 ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ **9**

2 DŮVOD ČISTĚNÍ VNITŘNÍCH POVRCHŮ **10**

3 USAZENINY **12**

4 METODY ČIŠTĚNÍ VNITŘNÍCH POVRCHŮ **14**

4.1 ON-LINE ČIŠTĚNÍ 14

4.1.1 Chemické čištění on-line na odstranění oxidů železa *14*

4.1.2 Chemické čištění on-line fosforečnanu vápenatého, síranu vápenatého a křemíku *15*

4.1.3 Taprogge systém *15*

4.1.4 Tepelné ohřátí *16*

4.1.5 Změna rychlosti průtoku *16*

4.2 OFF-LINE ČIŠTĚNÍ 16

4.2.1 Off-line čištění oxidu železa, vápníku a křemíku *17*

4.2.2 Off-line odmaštění *17*

4.2.3 Ruční čištění *18*

4.2.4 Mechanické čištění *18*

4.2.5 Tepelný šok *18*

4.2.6 Čištění výbušninami *18*

4.3 ULTRAZVUKOVÉ ČIŠTĚNÍ 19

4.4 MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ 20

4.4.1 Mechanického čištění a jeho dělení *20*

4.4.2 Vysokotlaké čištění vodou *20*

4.4.3 Projektilové čištění *21*

4.4.4 Speciální způsoby čištění *22*

4.5 CHEMICKÉ ČIŠTĚNÍ 24

4.5.1 Předúprava povrchu a chemické čištění *24*

4.5.2 Co čistit chemicky *25*

4.5.3 Jak často čistit *26*

4.5.4 Ekonomie a chemické čištění *26*

4.5.5 Odpad chemického čištění *27*

5 EKOLOGICKÁ LIKVIDACE ODPADŮ Z ČIŠTĚNÍ **28**

5.1 CHEMICKÉ ODPADY A JEJICH LIKVIDACE 30

6 KONTROLA STAVU A KVALITY POVRCHU **32**

7 EXPERIMENT 34

7.1 Čisticí prostředek 34

7.2 Návrh metodiky čištění 34

7.3 Endoskopická kontrola 36

7.4 Proplach čistou vodou 37

7.5 Příprava čisticího prostředku 38

7.6 Cirkulace čisticího prostředku v soustavě 38

7.7 Průběžná kontrola pH a teploty 39

7.8 Vypuštění čisticího prostředku ze soustavy 40

7.9 Proplach čistou vodou 41

7.10 Endoskopická kontrola 41

ZÁVĚR 43

BIBLIOGRAFIE 44

Úvod

Pravidelné čištění vnitřních povrchů strojů energetických zařízení zabraňuje usazování a korozi. Současně se dosahuje menších ztrát tepla a energie. Životnost systému se navíc zvyšuje díky pasivaci povrchu. Zpomalením korozního poškození se poskytne energetickým systémům delší účinný a bezpečný stav. Zlepšením přenosu tepla teplosměnného média má za následek snížení počtu odstávek a oprav. Následně se vše projeví v ekonomice provozu, kde se ušetří značné náklady na vytápění a chlazení [34].

Údržba a čištění vnitřních povrchů těchto systémů je velmi obtížná a musí být provedena vhodnými prostředky. Konstrukce topných systémů je z různých druhů materiálů (ocel, mosaz, měď, plasty), proto je nutné zvolit takové bezpečné metody a univerzální čisticí prostředky, ať se žádný z materiálů použitých v systému nepoškodí [34].

Energetická zařízení je nutno během provozu monitorovat. Při detekci velké míry zanesení je třeba vnitřní povrchy vyčistit. Ve velké míře případů kvůli čištění, je potřeba zařízení odstavit z provozu. Finanční ztráty z odstávky a náklady na čištění bývají vysoké. Z tohoto důvodu se klade především důraz na prevenci zanášení.

Cíle této bakalářské práce jsou v teoretické části udělat rozbor metod čištění vnitřních povrchů. Dále popsat likvidaci odpadů vzniklých uvolněním z usazenin a nánosů z vnitřních povrchů a bodem posledním je zhodnocení kvality povrchu.

V praktické části je cílem navrhnout metodiku čištění a posléze kvalitně vyčistit povrch.

1 Energetická zařízení

Energetická zařízení principiálně fungují na výměně tepelné energie dvou nebo více látek o odlišných teplotách. Používají se v mnohých průmyslových oblastech. Energetická zařízení mají významnou roli hlavně v teplárnách, jaderných elektrárnách, petrochemickém a chemickém průmyslu nebo v chladírnách či obecně v těch provozech, kde je třeba cokoliv něco chladit a ohřívat. Každodenně se člověk může setkat s tepelnými výměníky jako například výparníky ledniček, radiátory, chladiče automobilů a další [1].

Energetická zařízení jsou většinou konstruována na bázi nepřímého kontaktu látek, mezi nimiž se uskutečňuje tepelná výměna. Látky jsou izolovány stěnou, která je nepropustná. Zabraňuje tedy přenosu hmoty a přenáší pouze teplo mezi nimi. Jako jednoduchý příklad je teplý šálek čaje. Jestliže se bude chtít čaj v hrnku zchladit, vloží se do misky se studenou vodou. Stěna hrnku zamezí smíchání vody z misky a čaje, přesto propustí teplo z teplého čaje do vody v misce. Tím se čaj rychle ochladí. Nepřímý styk látek a jeho tepelná výměna má nenahraditelnou pozici ve všech oblastí průmyslu [1].

Často se také setkává v každodenním životě s tepelnou výměnou, při které dojde ke kontaktu přímých látek. Se samotným teplem se tedy i přenáší hmota. Příklad může být, když se v hrnci vaří voda. Teplá pára jde nahoru z hrnce a předává přímo svoje teplo vzduchu, který je okolo a ohřívá ho tím. V praxi fungují na stejném principu chladící průmyslové věže, v nichž vodní pára se ochlazuje způsobem, že obsažené teplo vylučuje do okolního vzduchu [1].

2 Důvod čistění vnitřních povrchů

Přenosové médium koluje v každém chladícím, nebo otopném systému. Funkce přenosového média je předat potřebnou energii do systému. Použití otopných a chladicích systémů je v předání energie mezi odlišnými médii. Předávka například může probíhat mezi médií: přehřáta vodní pára–voda, tekutina-tekutina, tekutina – vzduch, aj. Zmíněná média přenášejí v sobě vždy nějaký potencionální druh znečištění. Ve vnitřních prostorech chladících nebo otopných systémech kolují znečištěné částice a zhoršují jejich životnost, funkčnost a v neposlední řadě i jejich přenosovou účinnost. Podle druhu znečištění v médiích mohou nepotřebné částice na vnitřním povrchu otopných nebo chladících systémech ulpívat či povrch přímo narušovat. Na zmíněných systémech se na vnitřním povrchu nejčastěji vylučují z přenosového média minerály a anorganické látky. Nežádoucí vliv na materiály dotyčných systémů, a to hlavně u mediích kapalných, mají změny pH protékajícím médiem. Dále nežádoucí vliv má kyslík, který je obsažen v médiu. Vylučováním kyslíku z média je napomáhán proces korozní degradace daného materiálu chladicí či otopné soustavy. Kyslík tedy podporuje korozní děj, který utvoří vytvoří v systému korozi. Vzniklé částečky rzi jsou objemově větší než z předchozího materiálu. To má dopad na zmenšení prostoru nezbytného pro tok přenosového média. Ve výsledku to může dopadnout tak, že dojde k celkovému ucpání (zanesení) vnitřního prostoru [3, 4, 5].

Obr. 1 Zanesená trubka [2]

Korozní vrstva částic na prvotním materiálu patrně také snižuje tepelnou vodivost daného materiálu. Tím se snižuje celková účinnost chladící nebo otopné soustavy. Dalším možným negativním projevem, kdy koroze působí na daný materiál soustavy, je zmenšování stěny průřezu, která vede k vytvoření trhliny [3, 4, 5].

Pravidelným čištěním lze prodloužit životnost každé chladící či otopné soustavy. Vzniku usazenin a koroze brání preventivní a pravidelné čištění. Schopnost některých čisticích prostředků je pasivace materiálu, a tím jeho zvýšení odolnosti proti korozi. Soustava pomocí toho zůstane daleko delší čas zcela funkční s původní účinností a původními parametry. Finanční náklady na opravu systému a odstávka s tím spojená, jsou zpravidla mnohonásobně vyšší než náklady na průběžné čištění [3, 4, 5].

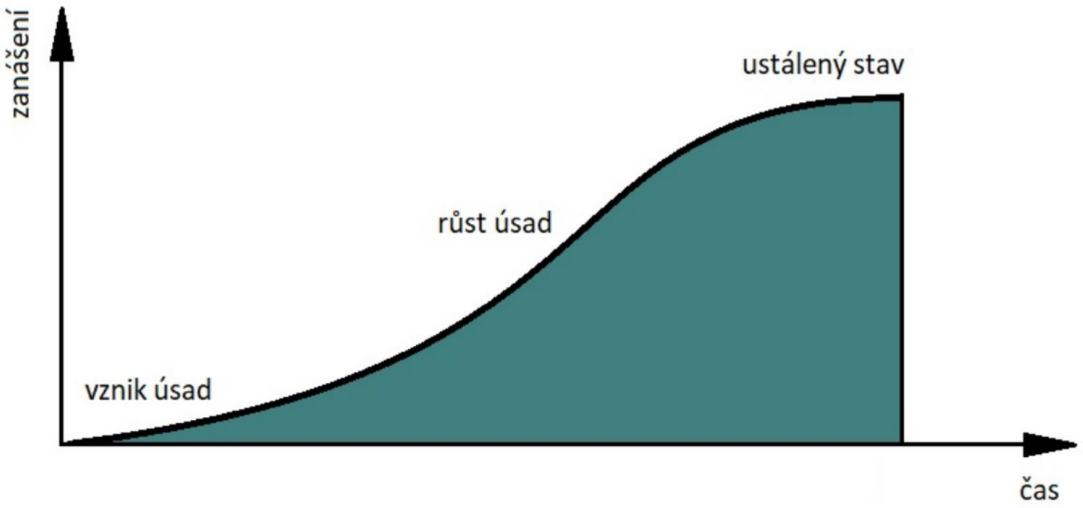
Obr. 2 Před a po odstranění sedimentu [3]

3 Usazeniny

Výrazem usazenina se rozumí hromadění drobných částic a nečistot na povrchu teplosměnného výměníku. Na přenosových vnitřních plochách výměníků tepla se ukládají nečistoty a při jejich činnosti se vytváří vrstva, která na přenosové médium působí dodatečným odporem. To má za následek, že se zmenšuje průřez průtokového kanálu, a tím se v kanálu zvyšuje úměrně rychlost proudění kapaliny. Celkově se zhoršuje hydrodynamika tohoto proudění. Ze zmíněných dějů to má hlavní dopad na pokles účinnosti výměníků [35].

Rychlost zanášení procesu není pokaždé stejná. Rozlišujeme mnoho druhů a typů výměníků tepla, a to podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Dále se výměníky liší velikostí, tvarem a členitostí dutiny, povrchovou strukturou a v neposlední řadě množstvím proudícího média. Veškerá zmíněná odlišnost má dopad na intenzitu a rychlost zanášení. Také zanášení dále záleží na stavu a druhu proudícího média. Tedy každé zařízení má jinou časovou periodu zanášení. Na určení intenzity zanášení je více možných postupů. Například jeden z možných postupů je tzv. modelové určení, kdy nikdy nelze přesně určit dobu do zanesení a hodnota je vždy jen přibližná. Určit tento přesný čas se dá jen tehdy jsou-li přesně známé provozní parametry a je-li také přesně změřená doba zanesení určitého energetického zařízení. V tomhle případě lze na stejném energetickém zařízení, který mý stejné parametry proudícího média již aplikovat doba známá do konkrétního zanesení [35].

Různý bývá také charakter usazenin. Struktura usazenin může být z drolivého sedimentu, pohyblivých měkkých kalů či tvrdých částic, které jdou těžko odstranit. Jsou tvořeny různými prvky. O usazeniny minerální typu jako rez, vodní kámen, biologické částice či krystaly jde často o výměníky s cirkulovanou vodou. Rozsah a složení dílčích složek v dané usazenině hlavně závisí na kolujícím stavu média. Dominovat v médiu může jeden prvek. Snaha je tedy odstranit tento prvek, když vstupuje do soustavy. Struktura a kvalita média se při provozu soustavy patrně mění, proto je velice obtížné definovat dopředu jaký druh usazeniny se bude vytvářet. Je potřena před zvolením metody počítat s měnící se kvalitou média při činnosti zařízení. Na Obr. 3 je znázorněn průběh zanášení, který je závislý na čase. Z grafu vyplývá, že od svého vzniku narůstá rychlost zanášení, až je natolik povrch výměníků zanesený, že se zastaví další zanášení [35].



Obr. 3 Obecný zanášecí průběh výměníku v čase [6], upraveno

Na takto znečištěných površích je ustálení zanášení ovlivněno z velké míry mnohonásobně zesílenou rychlostí toku média, a to důsledkem zúžením prostoru. Rychlost toku média docílí hodnot takových, že sedimenty jsou odbourávány a odplavovány proudem daného média. Nevznikají tedy další sedimenty či jen v míře velmi omezené. Pochopitelně je velice neefektivní činnost takto znečištěných výměníků, a proto je neprodleně zapotřebí vyčistit teplosměnné plochy [35].

Pro lepší pochopení tohoto procesu je nutno zmínit druhy zanášení. Probíhá to níže zmíněnými způsoby:

– sedimentace

– biologické zanášení

– korozní zanášení

– zanášení z krystalizační a precipitační

– zanášení v důsledku chemické reakce

– kontinuální usazování

– zanášení v důsledku mrazu

– kombinované zanášení [35]

4 Metody čištění vnitřních povrchů

Podle použité technologie se čištění vnitřních povrchů teplosměnných systémů rozděluje na dvě metody [35]. Jsou to metody:

- **Chemické čištění**
- **Mechanické čištění**
- **Ultrazvukové čištění**

Může se nalézt také rozdělení na způsob čištění „off-line“ a „on-line“ [35].

4.1 On-line čištění

Metodou on-line se rozumí způsob, při kterém se čištěné zařízení nemusí takzvaně „odpojit z provozu“ [20]. Používají se metody:

4.1.1 Chemické čištění on-line na odstranění oxidů železa

Oxidy železa mohou být odstraněny kyselinami, jako je kyselina citrónová nebo sulfamová při cirkulační hodnotě vody pH ± 4,5. K zabránění koroze čistých kovových povrchů je nutná mimořádná péče. Obvykle se proto přidává 1 až 2 % inhibitoru. Čisticí program je často řízen tak, aby se pH snižovalo po stupních např. každé 2 až 3 hodiny se sníží o jeden stupeň na hladinu pH 6,5 poté na 5,5; 4,5. Je možné klesnout až na hodnotu pH 3,5. Proces musí být pečlivě monitorován, aby se zajistilo, že nedochází k neočekávaným a negativním reakcím. Tato technika je například nevhodná tam, kde je přítomna galvanizovaná ocel. Za určitých okolností mohou být vhodné minerální kyseliny jako kyselina chlorovodíková, dusičná nebo sírová. Všechny tyhle kyseliny jsou agresivní a každá z nich má potenciální nevýhody, které mohou zakazovat jejich použití. Čisticí metody s nízkým pH či kyselinami často úplně nerozpouštějí větší šupiny koroze. Ty dále blokují cestu v systému [20].

Alternativou může být použití chelátů EDTA, NTA nebo kyseliny glukonové pracujících při alkalických pH, často v kombinaci s fosfonátem. Tato technologie může být drahá, pokud cirkulační voda obsahuje vysoké hladiny vápenatých solí nebo pokud

je přítomný větší nános vápníku. Typické dávkování bývá 1000 ppm chelatičního činidla do vody v systému [20].

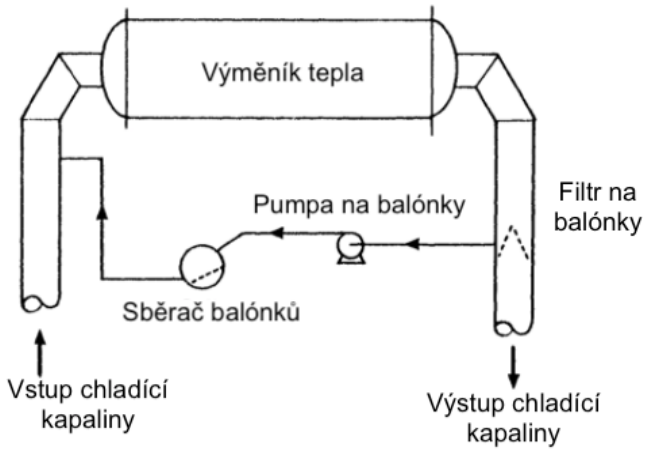
4.1.2 Chemické čištění on-line fosforečnanu vápenatého, síranu vápenatého a křemíku

Tradiční složky na čištění vápenatých solí jsou fosfáty a sírany s často doprovázenými cheláty EDTA nebo NTA. Také se přidávají přísady jako fosfonát a polyakrylát [20].

Chemické čištění v provozu celých energetických systémů, za účelem odstranění oxidu křemičitého, dříve nebylo možné. To obvykle vyžadovalo odstavení zařízení a následné mechanické čištění či obtížnější chemický postup s kyselinou chlorovodíkovou nebo kyselinou citronovou spolu s bifluridem amonným [20].

4.1.3 Taprogge systém

Taprogge je mechanický čisticí systém fungující na principu periodicky se opakujícího zavádění houbovito-gumových či plastových balónků do komory kondenzátoru, odkud procházejí dále do trubek pomocí proudu vody. Balónky mají větší průměr, než je průměr trubice a díky tomu vyčistí jejich vnitřní povrch [23].



Obr. 4 Taprogge systém pro cirkulaci gumových balónků [23]

4.1.4 Tepelné ohřátí

Spočívá v ohřátí chladící kapaliny, která cirkuluje v uzavřeném okruhu bez přítoku studené kapaliny nebo instalací sekundárního okruhu přívodu teplé kapaliny, a to například z motoru s vnitřním spalováním. Kapalina cirkuluje, dokud nedosáhne teploty od 50 až 70 °C. Tato teplota způsobí zánik mikroorganismů. Účinnost téhle metody závisí hlavně na teplotě, době a četnosti opakování [24].

4.1.5 Změna rychlosti průtoku

Rychlost proudění kapaliny trubkami energetických zařízení je určujícím faktorem růstu bioznečištění. Rychlost proudění ovlivňuje možnost usazení a také přínos živin pro jejich další růst [24].

Energetická zařízení by měla být navržena tak, aby pracovala při vysokých průtokových rychlostech (od 1 do 3 ms^{-1}) nebo aby se rychlost průtoku kapaliny měnila s pravidelnými a krátkými intervaly (od 1 do 3 ms^{-1}) [24].

Další možnost je zavedení buď stlačeného vzduchu nebo dusíku do uzavřeného okruhu, a to při velmi vysoké rychlosti (3 ms^{-1}) a periodicky krátkých intervalech (5, 10 a 60 minut). Účinkem je zvýšení turbulentního režimu, vytvoření kolísání tlaku uvnitř trubky a vyšší smyková napětí na vnitřním povrchu. V důsledku toho se dosáhne vyšší účinnosti oddělení biologického znečištění než u toho, kde se použije jen zvýšení rychlosti toku kapaliny. Účinnost této metody však klesá s tím, jak povrch biologického znečištění se stává časem kompaktnějším [24].

4.2 Off-line čištění

Off-line metody čištění oproti metodám on-line se nečistí za provozu. Energetická zařízení se tedy prvně odstaví z provozu a poté na nich následně probíhá čištění.

Off-line Chemické čištění

Proces čištění a pasivace jednotlivého výměníku tepla, než se uvede do provozu, se nejčastěji provádí cirkulací vhodného chemického prostředku pomocí čerpadla, nádrže a dočasných hadic. Pro dosažení nejlepších čisticích výsledků by měl být

prostředek zahříván. Teplota závisí na použité chemické metodě, obvykle bývá od 49 do 76 °C [20].

4.2.1 Off-line čištění oxidu železa, vápníku a křemíku

Pro uhlíkové oceli se obvykle používá kyselina chlorovodíková (kyselina muriatová) v množství objemové koncentrace 5 až 15 %. U nerezové oceli se používá kyselina fosforečná s objemovou koncentrací 15 %. Pro slitiny titanu se používá koncentrace 5 % kyseliny citronové. Pokud při rozboru usazenin je nalezen oxid křemičitý, přidá se polovodík amoniumdifluorid (amonium bifluorid) hmotnosti 1 až 3 % [20].

Amoniakovaná kyselina citrónová při pH 3,5 současně s bifluoridem amonným jsou užitečné tam, kde je vyžadováno pomalejší a stabilnější čištění. Časy čištění se liší, ale obvykle se pohybují od 4 do 12 hodin. Bifluorid amonný, je-li použit v koncentraci 0,5 %, je také užitečný při odstraňování magnetických usazenin. Pokud je přítomna měď, přidává se 2 až 3 % thiomočoviny. Energetická zařízení musí být důkladně propláchnuta, aby se odstranily všechny stopy mědí. Poté musí být zařízení zkontrolováno [20].

K dispozici je několik inhibitorů koroze. Příkladem může být řada inhibitorů Rodine, které se obvykle přidávají v koncentraci 1 až 3 % ke koncentrované kyselině. Můžeme také přidat do čisticího prostředku 0,1 % neiontového smáčedla. U litiny je potřeba udržovat teplotu do 49 °C [20].

4.2.2 Off-line odmaštění

Odmaštění lze provést cirkulací horkého silně alkalického čisticího prostředku při 5 % koncentraci po dobu 2 až 3 hodin. Tato metoda není vhodná pro materiál jako je hliník a zinek. Používané složky a koncentrace můžeme vidět v tabulce č. 1 [20].

Tabulka 1 Složení čisticího prostředku [20]

Složka	Koncentrace
Hydroxid sodný	5 %
Trifosforečnan sodný (prášek)	10 %
Křemičitan sodný 41Be	10 %
Propylenglykol monobutylether	3 %
Kyselina peroctová	1 %
Odpěňovač	1 %
Voda	70 %
	100 %

4.2.3 Ruční čištění

Ruční čištění může být provedeno jak na suchém či mokrém povrchu. Jsou to relativně jednoduché praktiky zahrnující např. stírání, kartáčování a škrábání. Může být problém se špatným přístupem na zanesená místa, proto je potřeba čistit tímto způsobem jen ta energetická zařízení, která jsou snadno demontovatelná (deskový výměník). Náročnost práce tedy může být vysoká [25].

4.2.4 Mechanické čištění

Dále velmi používané off-line metody jsou pomocí mechanických čištění, které budou detailněji popsány v další části mé bakalářské práci.

4.2.5 Tepelný šok

Zvláště rychlé změny teploty způsobují popraskání znečištěné vrstvy, která se posléze odlupuje. Tato technika je podobná namáčení pomocí páry. Proplachováním vodou se odvádí uvolněné usazeniny. Proplachuje se do té doby, dokud nebude čistý vnitřní povrch [25].

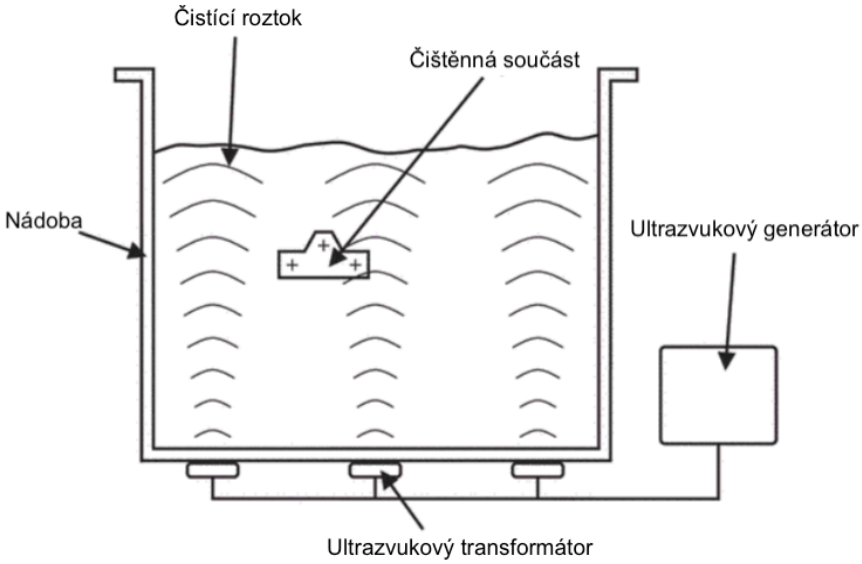
4.2.6 Čištění výbušninami

Používají se při řízených explozích, kde je potřebná energie k odstranění usazenin přenášena tlakovou vlnou ve vzduchu ze sousedního čistého povrchu. Vnitřní povrch

se také čistí díky vibracím trubek, kterou způsobila exploze. Jedná se relativně o novou metodu používanou při čištění kotlů [25].

4.3 Ultrazvukové čištění

Ultrazvukové čištění je technologie čištění povrchu, při které vysokofrekvenční vibrace vytvářejí malé nízkotlaké bubliny ve speciálním roztoku. Když tyto bubliny implodují v blízkosti pevného povrchu, vytvoří se vysokoenergetická vlna v okolním roztoku. Tlakové vlny, které lokálně i přesahují hodnotu 1 000 bar a 5 000 °C oddělují a odstraňují povrchové částice na ponořených výměnících. Tato vysoce účinná metoda může být použita na širokou škálu velikostí a tvarů energetických zařízení. Hlavní výhodou je vyčištění skrytých povrchových ploch (slepé díry), kde se například trysky mechanického čištění nemohou dostat [21, 22].



Obr. 5 Princip ultrazvukové čištění [21]

Čisticí prostředek může mít jakoukoliv hodnotu pH (alkalickou, neutrální či kyselou). Musí ale dostatečně snižovat povrchové napětí tekutiny [22].

Většinou se používají středně až silně alkalické prostředky, protože mají vynikající čisticí účinnost. Kyselé prostředky se používají pro odstranění oxidů, vodního kamene a prachu. Rozpouštědla jsou méně vhodná pro ultrazvukové čištění. Pokud jsou přesto použity, musí být přijata příslušná bezpečnostní opatření [22].

4.4 Mechanické čištění

Použití mechanického způsobu čištění je tam, kde z různých důvodů není možno použít chemický způsob. Nevýhoda zmíněného čištění je taková, že se musí vždy čištěná soustava z provozu odstavit. Občas je i potřeba dokonce jednotlivé díly rozebrat. Čištění mechanické je velice účinné, ale neodstraní nikdy veškeré sedimenty a nečistoty [6, 7].

Při téhle metodě čištění se využívá kinetická energie pro odstranění nečistot a sedimentů [6, 7].

4.4.1 Mechanického čištění a jeho dělení

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

4.4.2 Vysokotlaké čištění vodou

Principem metody je, že se předává kinetická energie do paprsku vody. Ten velkým tlakem (do 20 MPa) a rychlostí účinkuje na plochu, která se právě čistí. Daný způsob čištění, je pro obsluhu a ostatní lidi v blízkém okolí značně nebezpečný, protože se pracuje při tom s vysokými tlaky [8, 9].

Obr. 6 Mobilní vysokotlaké vodní čisticí zařízení Kärcher HD 13/35–4 Cage [10]

4.4.3 Projektilové čištění

U projektilového čištění se předává kinetická energie do speciálního projektilu, který prolétne trubkou, na které se provádí čištění a odstraňuje přitom vrstvy usazenin i ostatní cizorodé částice. Je hodně typů projektilů, proto je nutné předem promyslet jaké požadavky a parametry použít pro zmíněnou technologii. Tato metoda mechanického čištění se může realizovat v krátkých časových intervalech pro snížení rizika postupně se zanášejících usazenin. Lze čistit jen povrchy vnitřních trubek. Jedna z nevýhod je potřeba rozebrat soustavu. Druhá nevýhoda je zbytkový zůstatek vrstvy nečistot [11].

Obr. 7 Pistole pro projektilové čištění [12]

Obr. 8 Projektilové čištění [12]

Mezi základní druhy projektilů patří: plastový, kovový, nerezový, nylonový a U projektil. Na každé znečištění se používá jiný druh projektilu. Projektil kovový

je například vhodný pro extrémní typy usazenin. Naopak projektil nylonový je určen pro lehké nečistoty a dočištění povrchu [12].

Obr. 9 Kovový projektil [12]

Obr. 10 Plastový projektil [12]

4.4.4 Speciální způsoby čištění

1) Vrtání a proplachování (HydroDrill)

Proplachováním při současném vrtání je prováděn čisticí proces, který je schopen odstranit tvrdé usazeniny. Šest metrů dlouhé trubky jsou obvykle čištěny v rozmezí třiceti až šedesáti vteřin. Tahle metoda je účinná a rychlá, jelikož stačí vykonat jeden průchod [13].

Obr. 11 Hydrodrill [13]

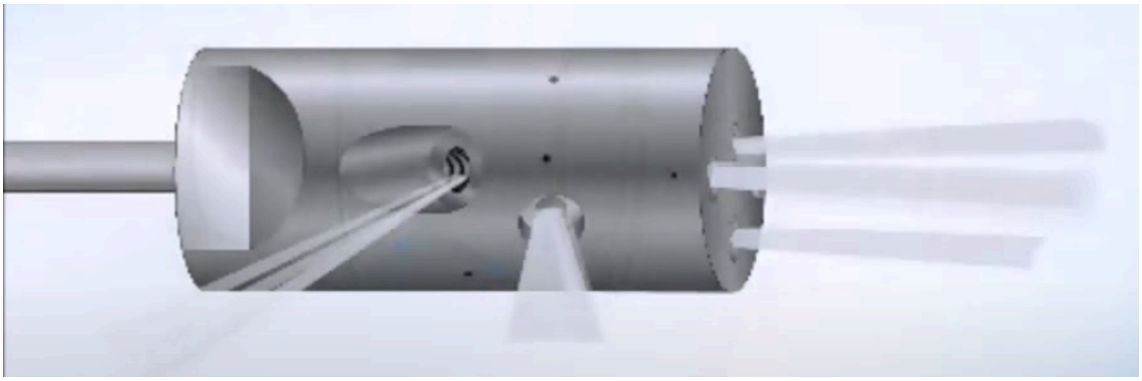
2) Proplachování a kartáčování pomocí zařízení Excaliber

Na konci zařízení se nachází kartáč, který se v trubce točí, a tím pádem čistí povrch. Při rotaci kartáče a likvidaci usazenin se souběžně do konce kartáče pouští voda, která vyplavuje nečistoty [13].

Obr. 12 Obsluha zařízení Excaliber [13]

3) Čištění metodou kapalného dusíku

Kapalný vysoce zchlazený dusík, je pomocí pistole vystříkáván na čištěný povrch. Do štěrbin a trhlin se dostane dusík. Dusík zvětší svůj objem a následně se usazenina díky němu rozpadne [13].



Obr. 13 Metoda čistění kapalným dusíkem [13]

4.5 Chemické čištění

Chemická metoda čištění je založena na principu moření (alkáliemi nebo kyselinami). Jelikož mají teplosměnné systémy rozmanitou materiální variabilitu, je záměrem nalézt takový potřebný chemický prostředek, který neznehodnotí ani jeden z odlišných materiálů použitého systému. Takovými materiály mohou být například litina, měď, plast, ocel či jiné druhy materiálů a jejich svarů (těsnění). Při tomhle technologickém procesu dochází k odstranění usazenin a korozních produktů pomocí rozpouštění. Kyseliny se používají buď na bázi organických kyselin (octová a citrónová) či kyselin anorganických (fosforečná, sírová, chlorovodíková). Inhibitory se přidávají ke kyselinám, aby nedocházelo k poškození urychlovače čisticích reakcí, a také čištěných povrchů. Díky inhibitorům se zamezuje poruše základního materiálu. Pomocí velké řady prostředků a variability moření se může získat různou kvalitu čistého povrchu za přijatelný čas a přijatelných nákladů [8, 14].

4.5.1 Předúprava povrchu a chemické čištění

Přípravné práce na předúpravě vnitřních povrchů by měly poskytnout ve výsledku maximální dosažitelnou rychlost cirkulace kapaliny v systému. Měla by být zahrnuta identifikace umístění všech filtrů. Dále následuje proces instalace všech požadovaných dávkovacích, monitorovacích, kontrolních a testovacích zařízení. Je také potřeba získat základní informace z vodní/bakteriologické analýzy [20].

Před přidáním chemického prostředku by se měl provést předběžný proplach či mechanické čištění. Předběžný proplach či vypuštění velkých výměníků tepla není

vždy možný, proto je třeba to předčistit mechanicky. Tato fáze nám minimalizuje rizika na ucpání trysek, potrubí s úzkým otvorem [20].

Poté následuje zmíněné chemické čištění. To probíhá cirkulací chemického prostředku po dobu 12 až 24 hodin se zavřeným odvzdušňovacím ventilem. Některé systémy mohou vyžadovat cirkulaci chemického prostředku až 3-4 dny nebo i déle. V těchto případech je potřeba zajistit, aby jednou či za dva dny bylo přidáno dispergační činidlo. S dispergačním činidlem je zároveň vhodné přidat chlor, aby dosáhla koncentrace 2-3 ppm volného chloru po dobu několika hodin. Volný chlor je nutno často kontrolovat, jelikož chemický prostředek odstraňuje zoxidované látky, a tím ubývá množství volného chloru. Může být také přidán odpěňovač, biodispergátor nebo neoxidující biocid. Obzvláště efektivní čisticí účinek mají nové druhy biocidů fosfoniové soli např. Tetrakis-hydroxymethyl-fosfonium sulfát nebo Tributyl-tetradecyl fosfonium chlorid [20].

Během procesu čištění se barva vody obvykle zakalí a změní barvu na oranžovou kvůli zbytkům koroze a dalších nečistot. Testy na pH, železo, měď, fosforečnany, atd. se provádějí za účelem zjištění, zda je potřeba více chemikálií či jsou na už potřebné mezi [20].

Před vypláchnutím je potřeba zkontrolovat a vyčistit všechny filtry. Po vypuštění výměníku následuje propláchnutí celého systému vodou, dokud nebude dosaženo požadovaného standardu kvality vody. To může trvat dalších 8 až 24 hodin. Přítomnost polyfosfátového detergentu v čisticím prostředku povede ve většině okolností k pasivaci čistých kovových povrchů [20].

4.5.2 Co čistit chemicky

Co čistit chemickou cestou, bude obecně záležet v první řadě jaké jsou technologické možnosti čištění a v druhé řadě požadavek na povrch a jeho finální čistotu.

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 korozích produktů [5].

4.5.3 Jak často čistit

Z důvodů procesů chemických se neustále tvoří usazeniny. Čistit topnou soustavu se doporučuje v intervalu jednou za 7-10 let. V systémech, kde jsou tepelné výměníky, doporučují výrobci čistit soustavu jednou za 2 roky. Hlavní důvody, proč dodržovat tenhle časový interval jsou obrana proti vzniku koroze, zachovaní původní účinnosti přeneseného tepla a samozřejmě se tím i prodlouží životnost otopného systému [15].

4.5.4 Ekonomie a chemické čištění

Pravidelnost čištění je důležitou součástí proti vzniku havárií a jejich následných značných opravách, i když velice závisí na typu kapalin, konstrukci tepelného výměníku a jejich provozních podmínkách. Jestliže se předpokládá větší zanášení a energetické zařízení je nezbytné pro proces, může být vhodným řešením výměník tepla dublovat. Po následném nastřádání usazenin, se může činnost zachovat bez odstavení výměníku a výroba bez problému pokračovat [5].

Ekonomické sankce jsou:

1) Zvýšení investičních nákladů – Přidáním přídavné oblasti přenosu tepla, nákup zařízení na čištění
2) Zvýšení spotřeby energie
3) Náklady na údržbu spojenou s čištěním
4) Náklady na chemické prostředky proti zanášení
5) Náklady na výměnu tepelného výměníku
6) Ušlé příjmy z odstavené produkce [5]

4.5.5 Odpad chemického čištění

Z čisticích procesů vznikají odpadní nebezpečné látky a vody, které mají na životní prostředí nežádoucí vliv. Je potřeba věnovat zvýšenou pozornost nebezpečným odpadům v místech jejich vzniku, převozu a v místech kde se koná jejich likvidace. Po následném čištění vždy vznikne odpad, který je nutno ekologicky zlikvidovat. Ekologická likvidace chemických odpadů je nesmírně důležitá a je třeba rozhodnout způsob, jak je odstranit. Chemikálie a odpady se nesmějí vypouštět do vod odpadních. Likvidují se na skládkách, kde ceny za jejich zlikvidování stále rostou [5, 16].

5 Ekologická likvidace odpadů z čištění

Veškeré použité vody, jinak nazývané jako vody odpadní, jsou odváděny pomocí kanalizace. Kanalizační síť je složena z kanalizační přípojky a systému veřejného kanalizačního potrubí, které je pravidelně kontrolováno a udržováno, z důvodu možného ucpání či zabránění tvoření koroze [28].

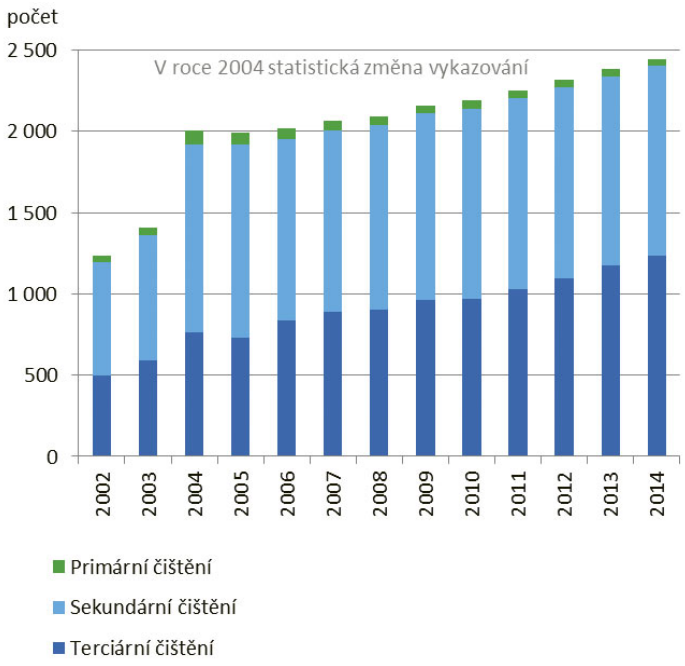
Odpadní voda je transportována kanalizací do čistírny odpadních vod. Ta je většinou situována v daném místě, které je nejníže položené. Jestliže voda musí cestou v terénu zdolat převýšení, je třeba k přečerpání použít čerpací kanalizační stanice [28].

V čistírnách se podrobuje odpadní voda mnohostupňovému čištění, při kterých jsou z ní odstraněny chemická znečištění a organické látky. Dle terminologie Ministerstva životního prostředí se čištění odpadních vod rozdělují na typy [28,29]:

1) Primární čištění – mechanické čističky odpadních vod

2) Sekundární čištění – mechanicko-biologické čističky odpadních vod bez odstraňování fosforu a dusíku

3) Terciální čištění – mechanicko-biologické čističky odpadních s dalším odstraňováním fosforu a/nebo dusíku [29]



Obr. 14 Struktura a počet čističek odpadních vod do roku 2014 [29]

Při primárním stupni čištění je mechanicky zbavena odpadní voda pevných nerozpustných částic. K tomu jsou použity česla, lapače písku, lapače štěrku, lapače tuku a primární usazovací nádrže. V tomto stupni čištění je odpadní voda přibližně zbavena 70 % pevných částic [28].

Dalším stupněm je smísení vody odpadní s kulturou bakterií (aktivovaným kalem). Z vody pomocí bakterií jsou odstraněny organické látky, jimiž se bakterie živí a převedou amoniakální dusík na dusík plynný, který se uvolní do atmosféry [28].

Kaly, které jsou fermentované a odvodněné na optimální stupeň, jsou ve finále zlikvidovány na skládce. Během jednoho měsíce je kal vhodně vysušen, a také je dostatečně zralý. Jestliže vyhovuje zemědělským normám, může opět být použit k hnojení průmyslových plodin [30].

Posledním krokem při procesu čištění odpadních vod je důkladná kontrola užitkové vody. Tato kontrola má za účel analyzovat stupeň kontaminace a zároveň zajistit, aby vyčištěná voda vyhovovala nejvyšším normám [30].

Vyčištěná odpadní voda je zpět vrácena do přírodního cyklu a znovu se stává prvkem řek a moří, aniž by zhoršila rovnováhu životního prostředí [28].

Při úpravách a čištění chemických odpadů se používají tři základní technologické postupy:

1) Chemický

2) Fyzikální a fyzikálně-chemický

3) Biologický [17]

Proces u čištění odpadů se musí přizpůsobit podle velikosti stupně znečištění a nároku na jakost vyčištěné vody.

1) Mezi procesy chemické patří neutralizace, kde se upravuje pH vody na předem požadovanou hodnotu. Finančně nejvýhodněji se provádí neutralizace smícháním kyselých a alkalických kapalin. Jako další varianta neutralizace je pomocí přímého dávkování neutralizačních činidel. Činidla, která se nejvíce používají: kyselina sírová, hydroxid sodný, hydroxid vápenatý a kyselina chlorovodíková [17].

2) Sedimentace se řadí mezi fyzikální procesy, kde dochází vlivem gravitace k oddělení pevných částic. Poté přes zrnitý materiál či filtrační síto dochází k filtraci [17].

3) Na principu urychleném mikrobiálním procesu v přírodě fungují tzv. procesy biologické. Biologický proces má výhodu v tom, že během čištění se nepřidají další žádné látky. Naopak nevýhodou je nižší účinnost, horší ovladatelnost procesu a vysoká senzitivita na látky toxické, které ničí mikroorganismy [17].

5.1 Chemické odpady a jejich likvidace

Na pracovištích se pro účely likvidace vodných, kyselých nebo zásaditých roztoků dají využít chemické výlevky, neboť tyto odpady jsou zpracovávány lokální čistírnou odpadních vod [31].

Do výlevky lze vylévat jen zbytky chemických látek mísitelných s vodou v množství neohrožujícím vodní toky a odpadní potrubí, dále ve vodě rozpustná rozpouštědla do 0,5 l (nejméně 10krát zředěná), kyseliny a hydroxidy (30krát zředěné, pH se musí

pohybovat v rozmezí 6,5 – 8,5). Žíraviny, kyseliny a hydroxidy se mohou vylévat jen do výlevky, do které teče současně i voda [31].

Do výlevky nelze v žádném případě vylévat rozpouštědla nemísitelná s vodou, toxické, hořlavé a výbušné látky, koncentrované kyseliny a hydroxidy a sloučeniny uvolňující toxické nebo dráždivé látky při styku s vodou, dále pak roztoky těžkých kovů [31].

Použitá a odpadní rozpouštědla (neutralizovaná a bez samozápalných látek), koncentrované a kontaminované roztoky minerálních kyselin a hydroxidů, roztoky těžkých kovů se sbírají do nádob, které jsou zhotoveny z vhodného materiálu, přímo v místě jejich vzniku (laboratoř, pracoviště) [31].

Jednotlivé odpadní nádoby určené pro sběr určitého druhu odpadu je nutno řádně označit nesmazatelným štítkem (např. koncentrované minerální kyseliny, kyselé roztoky těžkých kovů, chlorovaná rozpouštědla apod.) [31].

Každé pracoviště chemický odpad v pravidelných intervalech zneškodňuje či likviduje dodavatelským způsobem [31].

6 Kontrola stavu a kvality povrchu

Kontrola stavu a kvality povrchu se rozděluje na dvě skupiny, a to na kontrolu přímo v provozu a kontrolu po skončení vyčištění.

Kontrola v provozu

Přímá vizuální kontrola vnitřních povrchů při chodu nelze uskutečnit, proto se průběžné zanášení zkoumá nepřímo. Lze získat docela přesné informace o zanesení výměníků pomocí monitorování. Jak už bylo uvedeno, zanášením výměníků se snižuje tepelný výkon či roste tlaková ztráta. Proto jsou průběžně monitorovány hodnoty tlaků vstupních a výstupních, kde je sledován jejich časový průběh [18].

Tepelná účinnost výměníku se měří prostřednictvím teploty pracovních látek. Jestliže se během monitorování sníží teplotní rozdíl mezi výstupem a vstupem konkrétní pracovní látky, znamená to klesnutí účinnosti daného tepelného výměníku. Příčinou právě bývá zanášení [18].

Tlaková ztráta je měřena podobně jako zmíněná tepelná účinnost. Informace o výstupních a vstupních hodnot tlaků se zjišťuje pomocí tlakoměrů. Jestliže se zvyšují rozdíly tlaků na vstupech a výstupech, značí to o zvyšování se tlakové ztráty. Jako příčina bývá opět ve většině případů zanášení [18].

Kontrola po vyčištění

Vnitřní povrch po vyčištění se kontroluje průmyslovými endoskopy, které pracují na principu nepřímé vizuální a nedestruktivní metody. Další možné kontroly jsou např. pomocí ultrazvuku či elektromagnetická metoda. Zmíněnými metodami se kontrolují tepelné výměníky, potrubí, těžce přístupné prostory a kondenzátory. Průmyslové endoskopy se dělí na:

1) Videoskopy

2) Fibroskopy

3) Boroskopy

Obr. 15 Průmyslový Videoskop OLYMPUS IPLEX NX [26]

V energetické oblasti se nejčastěji používají při kontrole vnitřních povrchů fibroskopy a videoskopy. Skládají se z monitoru, ovládání a ohybné sondy, která používá pro přenos obrazu z místa kontroly na monitor koherentní svazek optických vláken. Pro osvětlení v tmavém prostoru obsahují zdroj světla. Videoskopy ho mají na konci sondy, fibroskopy a boroskopy mají zdroj světla externí [19].

Jako další zařízení pro detekci koroze a jejího úbytku se používá ultrazvukový tloušťkoměr. Kontroluje se ním nekovové i kovové materiály. Tohle zařízení měří oslabení tloušťky stěny trubky. Funguje na principu kmitů zvukových vln o frekvencích okolo 500 KHz až 20MHz, které projdou materiálem určitým směrem a rychlostí. Zpět se vrátí část vlnění a ta je následně zobrazena na obrazovce. Ultrazvukové vlny se šíří v kapalném, pevném i plynném prostředí [19].

Obr. 16 Ultrazvukový tloušťkoměr Danatronics EHC-09DLCW [27]

7 Experiment

Praktická část bakalářské práce se zabývá chemickým čištěním aplikovaným na vnitřní povrchy trubkového chladiče s měděnými trubkami BASCO TYPE 500 od firmy API Heat Transfer.

Obr. 17 Trubkový chladič BASCO TYPE 500

7.1 Čisticí prostředek

Při čištění se pracuje s čisticím prostředkem s kyselým pH. Kvůli zvýhodnění, či znevýhodnění některého z výrobců čisticích prostředků, nebude tento prostředek jmenován, ani nebude zveřejněno jeho chemické složení. Prostředek v praxi v ČR není mezi dodavateli, výrobci a servisem moc rozšířený. Na tomto prostředku je jedinečné to, že čištěné povrchy zároveň pasivuje. Podle zjištěných informací tuto funkci postrádá většina čisticích prostředků. U nich je tedy potřeba po vyčištění povrch pasivovat dodatečně pasivační vrstvou. Prováděné testy na Fakultě strojní ČVUT v Praze na Ústavu strojírenské technologie prokázaly, že čisticí prostředek s kyselým pH základní materiál nenarušuje, a je proto vhodný pro vyčištění trubkových výměníků s měděnými trubkami.

7.2 Návrh metodiky čištění

K danému technologickému postupu čištění je potřeba mít vhodné čerpadlo, které má nádrž minimálně 15 litrů a přívod vody. Je to dáno objemem čištěného tepelného

výměníku, který slouží jako chladič. Dále jsou třeba hadice na propojení soustavy čerpadla s chladičem, redukce, těsnění, videoskop, měřící zařízení pH a teploty.

Technologický postup chemického čištění daného chladiče je následovný:

1) Endoskopická kontrola
2) Proplach čistou vodou
3) Příprava čisticího prostředku
4) Cirkulace čisticího prostředku v soustavě
5) Průběžná kontrola pH a teploty
6) Vypuštění čisticího prostředku ze soustavy
7) Proplach čistou vodou
8) Endoskopická kontrola

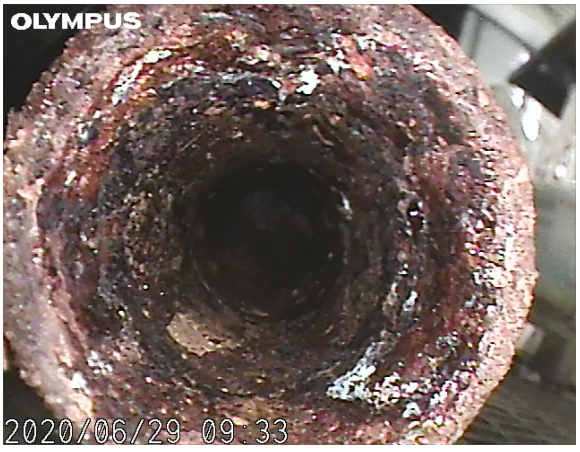
Obr. 18 Navrhnutý a zapojený čisticí okruh

7.3 Endoskopická kontrola

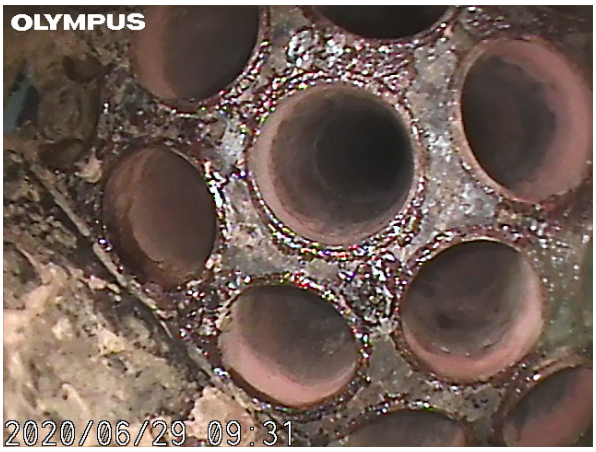
Průmyslovým videoskopem typu Olympus Series C (Obr. 19) byla provedena kontrola znečištění vnitřních povrchů chladiče. Díky možnosti natáčení sondy, odolnosti a skvělé optice na tomto videoskopu mně bylo umožněno získat kvalitní zvětšený obraz.

Obr. 19 Průmyslový videoskop Olympus Series C [32]

Na snímcích níže je zobrazena jak primární strana chladiče (Obr. 20, 21), tak strana sekundární (Obr. 22, 23). Dále lze na snímcích vidět, že sekundární strana je více zanesená, a to v mezi trubkovém prostoru nežli strana primární.



Obr. 20 Zanesená primární strana chladiče



Obr. 21 Zanesená primární strana chladiče

Obr. 22 Zanesená sekundární strana

Obr. 23 Zanesená sekundární strana

7.4 Proplach čistou vodou

Před chemickým čištěním chladiče byl proveden proplach čistou vodou. Nejprve se nainstalovaly na vstupy a výstupy chladiče veškeré potřebné redukce k hadicím. Dále byla na redukce závitu umístěna těsnící páska, aby nemohl čisticí prostředek unikat. Následně byl chladič pomocí hadic propojen s čerpadlem.

Před puštěním vody do soustavy bylo ještě zkontrolováno správné utáhnutí veškerých hadic pomocí instalatérských kleští.

Proplach čistou vodou trval 10 minut. Díky prvotnímu proplachu byly odstraněny hrubé nečistoty z vnitřních povrchů chladiče.

Obr. 24 Znečištěná voda po oplachu vnitřních povrchů chladiče

7.5 Příprava čisticího prostředku

Následovala příprava čisticího prostředku, při kterém byl smíchán čisticí prostředek v koncentraci 1:10 s čistou vodou, tzn. že se do nádrže nalilo 10 litrů vody a jeden litr prostředku s kyselým pH. V procesu čištění bylo průběžně sledováno pH prostředku, neboť se jedná o čisticí prostředek na vodní bázi.

7.6 Cirkulace čisticího prostředku v soustavě

K cirkulaci čisticího prostředku v soustavě bylo použito čerpadlo. Při tomto experimentu byl jeho výsledek velmi dobrý. Po experimentálním čištění lze konstatovat, že tento typ čerpadla s vhodně zvoleným čisticím prostředkem je vhodný pro čištění vnitřních povrchů energetických systémů. Dostatečně rychle dokáže vyčistit vnitřní povrchy od minerálních úsad a korozních produktů.

Chemické čištění trvalo celkem 255 minut. Na Obr. 26 je možné vidět, jak čisticí prostředek při čištění rozpustí hrubé sedimenty, které jsou zobrazeny na Obr. 25.

Obr. 25 Hrubé sedimenty

Obr. 26 Rozpuštěné částice nečistot

7.7 Průběžná kontrola pH a teploty

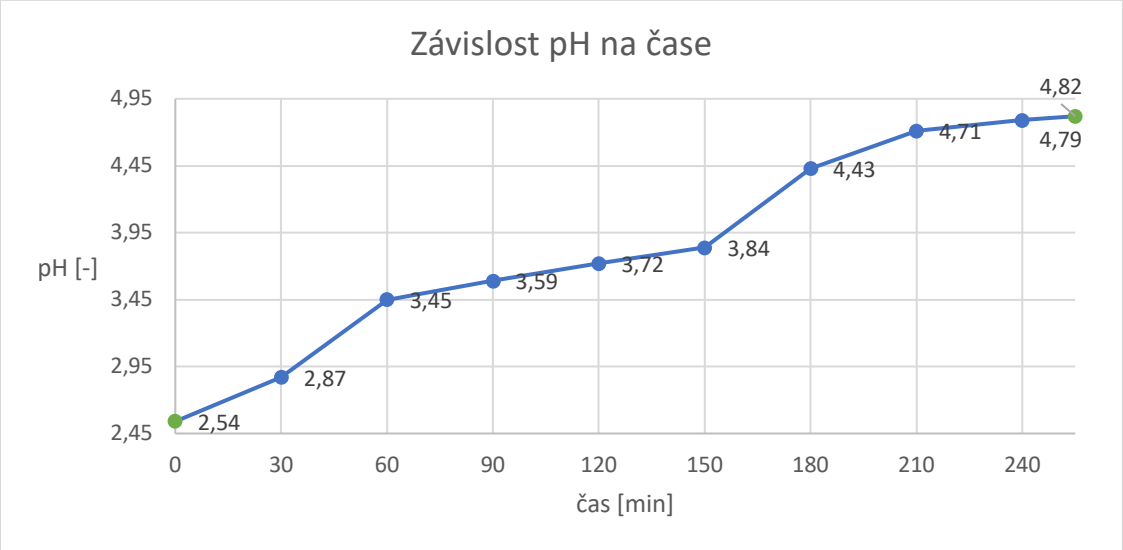
Při cirkulaci čisticího prostředku v soustavě se průběžně, v předem určeném čase, kontrolovala a zaznamenávala hodnota pH a teplota prostředku.

V experimentálním měření byl použit profesionální vodotěsný pH metr HI-98191 značky Hanna Instruments. Zároveň s hodnotou pH má schopnost měřit teplotu prostředku pomocí vyměnitelné elektrody, která je připojena k přístroji kabelem a konektorem BNC. Rozlišení přístroje je v desetinách, setinách i tisícinách na rozsahu od -2,000 do 20,000 hodnoty pH. Pro účely experimentu postačilo rozlišení na setiny. Pracovní teplota přístroje je od -20,0 do 120,0 °C.

Obr. 27 Přístroj HI-98191 na měření pH a teploty

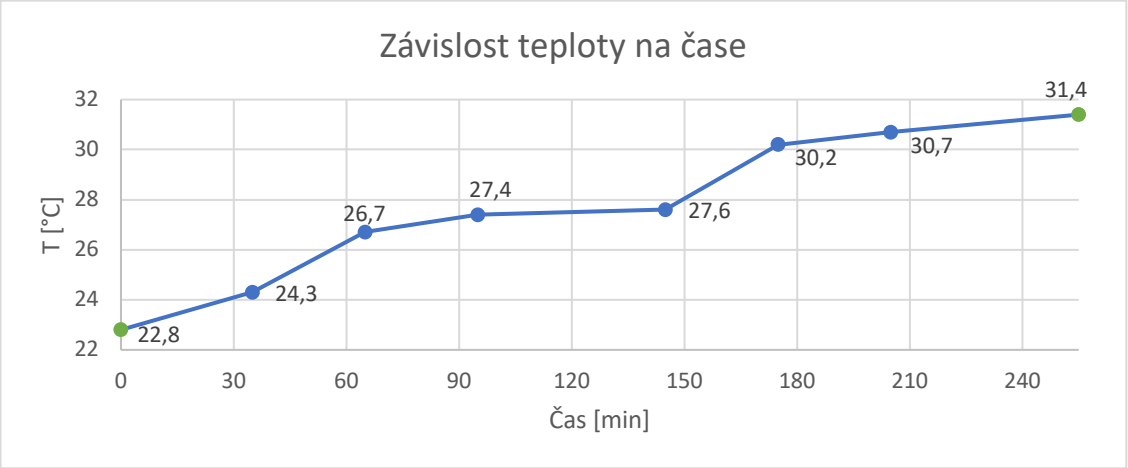
Měření pomocí zmíněného přístroje bylo rychlé, přesné a spolehlivé. Je tedy vyhovující pro danou problematiku.

Z naměřených hodnot pH byl vytvořen graf závislosti pH na čase (Graf 1), kde zelenou barvou je znázorněn začátek a konec čištění. Každých cca 30 minut se zaznamenávaly hodnoty pH. Z grafu je možno vyčíst, že čištěním usazenin a koroze z vnitřních povrchů se zvyšuje průběžně hodnota pH prostředku.



Graf 1 Naměřená závislost pH na čase

Z naměřených hodnot teplot v průběhu čištění byl sestaven graf (Graf 2). V něm je možno vidět, jak díky odstraňování usazenin a koroze roste teplota při čištění. Začátek a konec měření je značen zelenou barvou. V prvních 65 minutách rostla teplota nejvíce, poté 50 minut rostla jen lehce. Od 145 minuty do 175 minuty lze vidět opět výrazné zvýšení teploty.



Graf 2 Naměřená závislost teploty na čase

7.8 Vypuštění čisticího prostředku ze soustavy

Po chemickém procesu čištění chladiče se uvolnily uzávěry ventilů a prostředek byl vypuštěn ze soustavy do předem připravené nádoby. Na Obr. 28 lze vidět vypuštěnou mastnotu a nečistoty z čištěné soustavy.

Znečištěný čisticí prostředek byl zneutralizován a ekologicky zlikvidován.

Obr. 28 Vrstva mastnoty a jiné nečistoty po vypuštění

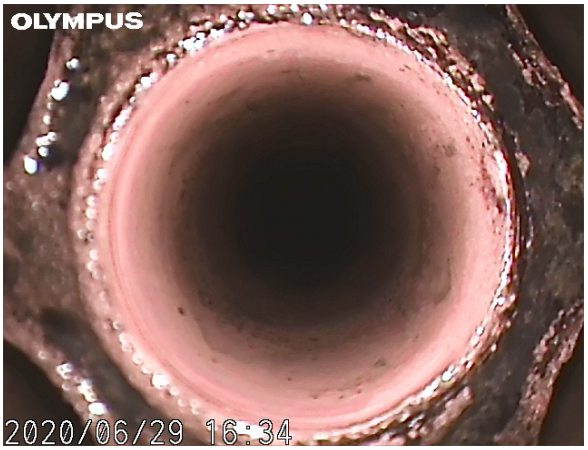
7.9 Proplach čistou vodou

Po vypuštění znečištěného chemického prostředku ze soustavy se do nádrže nalila čistá voda. Poté pomocí čerpadla byl proveden opakovaný finální proplach soustavy. Celkově finální proplach trval 45 minut, kde čistá voda cirkulovala soustavou.

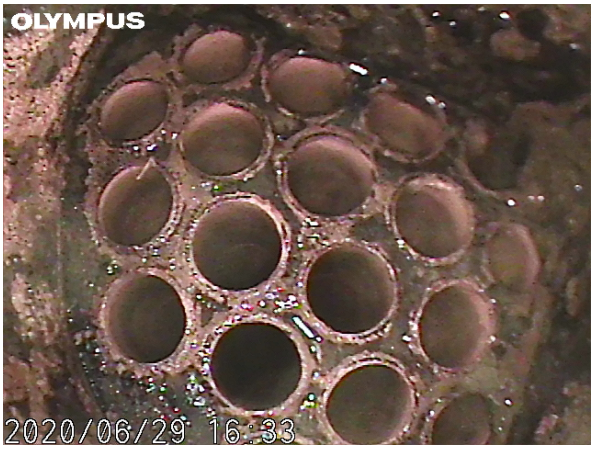
Při likvidaci byla znečištěná voda ekologicky zlikvidována.

7.10 Endoskopická kontrola

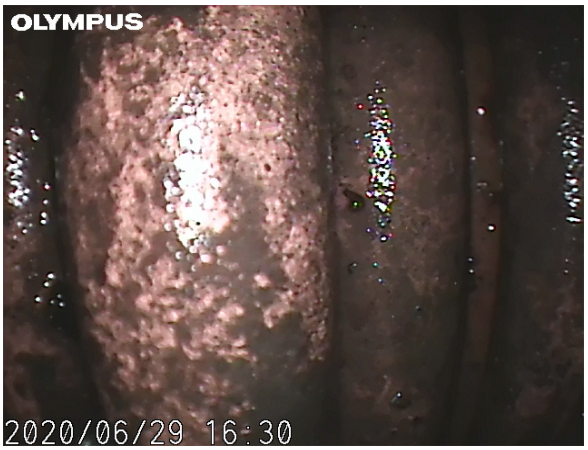
Pro zhodnocení čištění byla následně provedená endoskopické kontrola pomocí stejného průmyslového videoskopu, který byl zmíněn v kapitole 7.3. Z fotografií je možné vidět vyčištěný sekundární okruh, který byl před čištěním silně zanesený, a to mezi trubkami. Dále na fotografiích lze vidět vyčištěný primární okruh.



Obr. 29 Vyčištěný primární okruh



Obr. 30 Vyčištěný primární okruh



Obr. 31 Vyčištěný sekundární okruh

Obr. 32 Vyčištěný sekundární okruh

Závěr

První kapitola v teoretické části bakalářské práce popisuje, kde je možno se v životě potkat s energetickými zařízeními. V další kapitole jsou uvedeny důvody, proč čistit vnitřní povrchy a případné negativní následky, když se povrch nečistí. Ve třetí kapitole je popsáno, co je to usazenina, jak vzniká a dále rychlost usazování. Nejobsáhlejší je kapitola čtvrtá. V ní je uveden rozbor metod čištění vnitřních povrchů. Dále se v téže kapitole nachází rozdělení čištění za provozu a čištění na odstaveném zařízení mimo provoz, také jsou nazývané jako metody on-line a off-line. V páté kapitole s názvem *Ekologická likvidace odpadů z čištění* jsou popsány stupně čištění odpadních vod v ČR a následně technologické postupy pro likvidaci chemického odpadu. Poslední teoretická kapitola shrnuje, jaká zařízení se používají pro kontrolu stavu kvality při i po čištění.

V části experimentální je navržen technologický postup čištění daného trubkového chladiče. V první řadě se zkoumal znečištěný povrch pomocí videoskopu. Dále se propojila čištěná soustava. Poté se soustava propláchla vodou a následoval proces chemického čištění. Při čištění se průběžně zaznamenávaly hodnoty pH a teploty. Následovalo vypuštění znečištěného čisticího prostředku. Poté byla soustava znovu propláchnuta čistou vodou. V posledním kroku se provedla na vyčištěném vnitřním povrchu endoskopická kontrola, kde byl povrch zhodnocen.

Vytyčený cíl vyčistit vnitřní povrch trubkového chladiče pomocí chemického čištění byl splněn.

Volbou správné čisticí technologie se zajistí:

- Odstranění izolantů v podobě sedimentů, korozních produktů a ostatních usazenin a nánosů
- Zlepšení účinnosti zařízení
- Správného přestupu tepla odstraněním izolantů
- Prodloužení životnosti a provozuschopnosti zařízení
- Snížení nákladů na energie
- Obnovení ucpaných ventilů a dalších regulačních prvků v soustavě

Bibliografie

[1] KUPPAN, Thulukkanam. *Heat Exchanger Design Handbook*. 2. Bosa Roca, United States: CRC Press, 2013. ISBN 1628705981, 9781628705980.

[2] ALEXANDER, Jennell. *Water Quality Concerns in Older D.C. Homes* [online]. 2018 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: http://dcnorthstar.com/water-quality-concerns-shepherd-park/

[3] How to Prevent Your Water Heater from Leaking. *Nashoba Air & Bollerworks* [online]. 2017 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://nashobaair.com/prevent-water-heater-leaking/

[4] KUCHAŘ, Jiří a KREIBICH, Viktor. *Technologie, kvalita a rizika ve výrobě: Čištění otopných a energetických zařízení*. Praha, 2016. Odborný seminář. ČVUT v Praze.

[5] OTÁHAL, Vlastimil. *Čištění otopných a energetických zařízení: Problematika čištění energetických zařízení*. Praha, 2016. Odborný seminář. FS ČVUT v Praze.

[6] Tepelné procesy: Zanášení deskových výměníků. *CHEMAGAZÍN* [online]. 2013, (1), 40 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/PDF_full/CHEMAGAZ%C3%8DN_1-2013.pdf

[7] Heat Transfer Research, Inc. [online]. Navasota, Texas 77868, USA: HTRI, 2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.htri.net/

[8] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 800101472x.

[9] Čištění potrubí. *ROTHENBERGER* [online]. 2016, 43 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: http://www.esl.cz/eshop/pdf/cistici-technika_2015.pdf

[10] Kärcher HD 13/35-4 Cage. *Karcher Expert* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.karcher-expert.cz/produkty/vsechny-kategorie/studenovodni-vysokotlake-cistice/specialni/hd-13-35-4-cage-s591155366

[11] JALALIRAD, Mohammad Reza, ABD-ELHADY, Mohamed S. a MALAYERI, Mohammad Reza. *Intensification of the cleaning action of structurally different projectiles by multiple injections and changing injection rate* [online]. 2014, 337 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916414000277

[12] *Condenser Tube Cleaning: Projectile Tube Cleaning* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: https://www.projectiletube.com/condenser-tube-cleaning/

[13] Industrial Cleaning Technologies. *CONCO* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.conco.net/services/industrial-cleaning/industrial-cleaning-technologies

[14] KUCHAŘ, Jiří, AGARTANOV, Vladimir a KREIBICH, Viktor. *Čištění energetických zařízení* [online]. 2016 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https:/www.mmspektrum.com/clanek/cisteni-energetickych-zarizeni.html

[15] *Dejte topení do čistírny: Snižování energií prostřednictvím chemického čištění* [online]. 2014 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapeni/11221-dejte-topeni-do-cistirny

[16] Nebezpečné odpady. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2014 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady

[17] KUČEROVÁ, Radmila, FEČKO, Peter a LYČKOVÁ, Barbora. *Základní procesy v technologii úpravy a čištění vod: Úprava a čištění vody* [online]. VŠB Ostrava, 2010 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/zpuv.html

[18] SHAH, Ramesh K., SEKULIC, Dušan P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons, 2003. 750 s. ISBN 0-471-32171-0.

[19] PETŘÍK, Milan. *Kontrola kvality povrchů v energetice: Čištění otopných a energetických zařízení* [Odborný seminář]. 2016 [cit. 2020-06-16].

[20] FRAYNE, Colin. *Cooling Water Treatment - Principles and Practice: Further Notes on the Preoperational Cleaning (POC) Process* [online]. Chemical Publishing Company, 1999 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007QFD62/cooling-water-treatment/further-notes-preoperational

[21] LEMBERSKY, Michael. *Realistic Cost Estimating for Manufacturing: Ultrasonic Cleaning* [online]. Society of Manufacturing Engineers (SME), 2016, (3rd Edition) [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010YUM02/realistic-cost-estimating/ultrasonic-cleaning

[22] MANG, Theo a DRESEL, Wilfried. *Lubricants and Lubrication: Introduction to Industrial Cleaning* [online]. John Wiley, 2016, (3rd Edition) [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011BYI51/lubricants-lubrication/introduction-industrial

[23] BOTT, Theodore Reginald. *Fouling of Heat Exchangers*. Amsterdam ; New York : Elsevier, 1995, s. 546. ISBN 978-0-444-82186-7.

[24] GARCÍA, Sergio a RUEBA, Alfredo. *Fouling in Heat Exchangers* [online]. 2019 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.intechopen.com/online-first/fouling-in-heat-exchangers-1

[25] BOTT, Theodore Reginald. *Industrial Biofouling - References* [online]. Elsevier, 2011 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009JMIZ2/industrial-biofouling/cleaning-off-references

[26] *INDUSTRIAL VIDEOSCOPE IPLEX NX: Catalogue 2019* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://en.equipauto.com/Catalogue-2019/Products-list/INDUSTRIAL-VIDEOSCOPE-IPLEX-NX-OLYMPUS-FRANCE

[27] Danatronics EHC-09DLCW Ultrasonic Corrosion Thickness Gage. *Amazon* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.amazon.com/Danatronics-EHC-09DLCW-Ultrasonic-Corrosion-Thickness/dp/B07GDWT6S3

[28] *Odvádění a čištění odpadních vod* [online]. 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.veolia.cz/cs/pro-zakazniky/sluzby-pro-zakazniky-spotrebitele/odvadeni-cisteni-odpadnich-vod

[29] WANNER, Jiří.: Čištění odpadních vod v ČR: vývoj a současná situace. *Vodní hospodářství* [online]. VŠCHT Praha [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: http://vodnihospodarstvi.cz/cisteni-odpadnich-vod-cr/

[30] Jak fungují čistírny odpadních vod (ČOV)? *Hydrotech* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://www.hydrotech-group.com/cz/blog/how-do-the-wastewater-treatment-plants-wwtps-work

[31] *Chemické odpady a jejich likvidace* [online]. , 1 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: https://intranet.fch.vut.cz/media/bezpecnost/docs/pokyny_VUT/pokyny/priloha_11.pdf

[32] Olympus Series C Videoscope (2m x 6mm). *Sunbelt Rentals Test and Calibration* [online]. 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: https://www.inlec.com/Olympus-Series-C-Videoscope

[33] HI-98191 Professional Waterproof pH/ORP/ISE Meter. *Hanna Instruments* [online]. 2020 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: https://www.hannainstruments.co.uk/hi-98191-professional-waterproof-ph-orp-ise-meter.html#manuals

[34] SOBRINO, Daynier Rolando Delgado a VELÍŠEK, Karol. *Novel Trends in Production Devices and Systems IV: Heat Exchangers System* [online]. Trans Tech Publications, 2018 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011TQVO1/novel-trends-in-production/heat-exchangers-system

[35] KINKOR, Jiří. *Čištění vnitřních povrchů chladičů* [online]. Praha, 2018 Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.