

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



Ústav strojírenské technologie

Vyhledávání a porovnání progresivních čistících prostředků

Bakalářská práce

Vypracovala: Olha Troianova

Studijní obor: Výroba a ekonomika ve strojírenství

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

Konzultant: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Troianova** Jméno: **Olha** Osobní číslo: **469967**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací 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:

Vyhledávání a porovnání progresivních čisticích prostředků

Název bakalářské práce anglicky:

Search and comparison of progressive cleaning products

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor sledované problematiky
- 2) Návrh a aplikace čištění na ocelové materiály
- 3) Vyhodnocení čistoty povrchu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Ing. Jiří Kuchař, 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**

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

Abstrakt

Teoretická část bakalářské práce se zabývá problematikou čištění vnitřních povrchů teplosměnného zařízení. Tato práce popisuje příčiny zanášení vnitřních prostor a možnosti odstraňování nánosů. Dále popisuje metody mechanického a chemického čištění. Práce obsahuje také způsoby kontroly stavu povrchu pomocí nedestruktivních zkoušek.

V praktické části je popsán experiment, pomocí kterého lze porovnat účinnost progresivních čisticích prostředků a jejich bezpečnost pro čisticí aplikace.

Klíčové slovy:

Čištění vnitřních povrchů, přenos tepla, usazeniny, metody čištění

Abstract

The theoretical part of bachelor thesis describes the issue of cleaning inner surfaces heat exchangers. This thesis describes the problems of fouling inner surfaces and ways of sediment removal. It contains methods of mechanical and chemical cleaning. The thesis also contains methods of surface condition control by non-destructive testing.

In the practical part is described experiment to compare effectiveness of progressive cleaning products and their safety for cleaning applications.

Keywords:

Clean inner surfaces, heat transfer, sediment, cleaning method

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Vyhledávání a porovnání progresivních čistících prostředků** vypracovala samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použila, 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

.....

Olha Troianova

Poděkování

Rada bych touto cestou vyjádřila poděkování panu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE za vstřícnost, ochotu a trpělivost při zpracovávání a konzultací této práce.

Obsah

Úvod.....	7
Cíl práce	7
1. Čištění vnitřních povrchů	8
2. Usazeniny	10
3. Příčiny znečištění vnitřních ploch	13
3.1 Biologické nánosy	14
3.2 Krystalizační a precipitační zanášení	14
3.3 Zanášení způsobené chemickou reakcí	15
3.4 Korozní zanášení	16
3.5 Zanášení v důsledku mrznutí.....	17
4. Metody čištění	18
4.1 Mechanické způsoby čištění.....	18
4.1.1 Lehké tryskání	18
4.1.2 Projektilové čištění	19
4.1.3 Vysokotlaké čištění vodou	20
4.1.4 Speciální metody čištění.....	21
4.2 Chemické způsoby čištění	21
4.2.1 Moření	22
4.2.1.1 Metoda CIP	22
4.2.1.2 Pasivace	23
4.2.2 Speciální čisticí prostředky	23
5. Analýza stavu vnitřního povrchu výměníku	26
5.1 Vizuální kontrola.....	26
5.2 Zkouška ultrazvukem	27
5.3 Zkouška rentgenovým zářením	28
5.4 Metoda vířivých proudů	29
6. Praktická část.....	30
6.1 Popis experimentu	30
6.2 Návrh čisticích prostředků	30
6.3 Čištění vzorků	31
6.3 Vyhodnocení výsledků	40
7. Závěr.....	42
Použitá literatura	44

Úvod

V současné době je důležitým úkolem efektivní využívání energetických zdrojů. Jeden způsob, jak optimalizovat využití energie, je zvýšit efektivnost přestupu tepla.

Vodní kamen, korozní zanášení a další usazeniny významně snižují produktivitu procesů výměny tepla, a tím pádem i zvyšují provozní náklady. Mnoho problémů, které vznikají během provozu zařízení pro výměnu tepla, lze vyřešit pomocí čištění výměníků tepla.

Nevhodná údržba zařízení vede nejen ke stálému zvyšování nákladů na energii při výrobě, ale také k relativně vysokým nákladům provozních parametrů a v některých případech i k mimořádným nouzovým situacím.

Dnes existuje hodně způsobů, jak vyčistit teplosměnné zařízení, bez poškození jeho konstrukcí. Metoda čištění se volí v závislosti na mechanismu zanášení a tloušťce nánosu, pevnosti a chemických vlastnostech usazenin. Skutečně účinné čištění tepelného zařízení výrazně zvyšuje jeho produktivitu a ve skutečnosti snižuje frekvenci nezbytných čištění, udržuje zařízení pro přenos tepla v dobrém stavu po celou dobu jeho životnosti.

Cíl práce

Cílem práce je vysvětlit hlavní příčiny zanášení teplosměnných soustav a možnosti odstraňování vzniklých nánosů znečištěním a popsat metody čištění vnitřních povrchů. Experimentálním úkolem bylo vyhledat a porovnat vhodné progresivní čisticí prostředky z hlediska rychlosti a bezpečnosti čištění.

1. Čištění vnitřních povrchů

V každém teplosměnném systému koluje médium k přestupu tepla. Přenos energie může vznikat mezi různými médii. V roli nosiče tepla lze použít funkční dvojice různých látek, plynů a kapalin, například kapalina – kapalina, kapalina – vzduch, plyn – plyn, vodní pára – voda aj. Tyto látky nejsou vždy dokonale čisté a mají v sobě různé nečistoty a příměsi. Chemické a mechanické vlastnosti přenosného média mohou velice ovlivnit zanášení vnitřní plochy teplosměnných systémů.

Během procesu exploatace systému dochází k postupnému snižování propustnosti tepla stěnou v důsledku: akumulace usazenin a mechanických nečistot, zvýšení drsnosti stěn vnitřních ploch, koroze a hromadění její produktů atd. Chladicí a topné systémy by měly mít čistý vnitřní povrch. Čistý povrch zaručuje vhodný výkon a spolu s tím i nutnou účinnost.

Snížená propustnost tepla, resp. chladu, vede k prudkému poklesu efektivity zařízení. Nahromadění usazenin v potrubích navíc vede ke zhoršení kvality čerpaných produktů v důsledku kontaminace mechanickými nečistotami. Na vnitřních površích se vylučují minerální a anorganické látky, které byly převedeny do systému pomocí přenosového média. Přítomnost kyslíku má na otopný nebo chladicí systém velmi negativní vliv. Obsah kyslíku v médiích může způsobit vznik nebo zrychlení procesu degradace materiálu. Narůstající rez zmenšuje prostor pro průchod média teplosměnným systémem, a nakonec může i úplně zabránit proudění. Koroze materiálu vede ke snížení tepelné vodivosti a také ke vzniku trhlin, což omezuje životnost a účinnost otopného nebo chladícího systému.



Obrázek 1. Ukázka koroze vnitřního povrchu potrubí [1].

Aby nedošlo ke zničení otopné či chladicí soustavy, je nutné pravidelným způsobem a včas kontrolovat a čistit vnitřní prostor systému. Tímto způsobem je možné několikrát zvýšit a prodloužit životnost i účinnost teplosměnné soustavy a snížit provozní finanční náklady, a to i na opravy a výměnu části nebo celé soustavy.

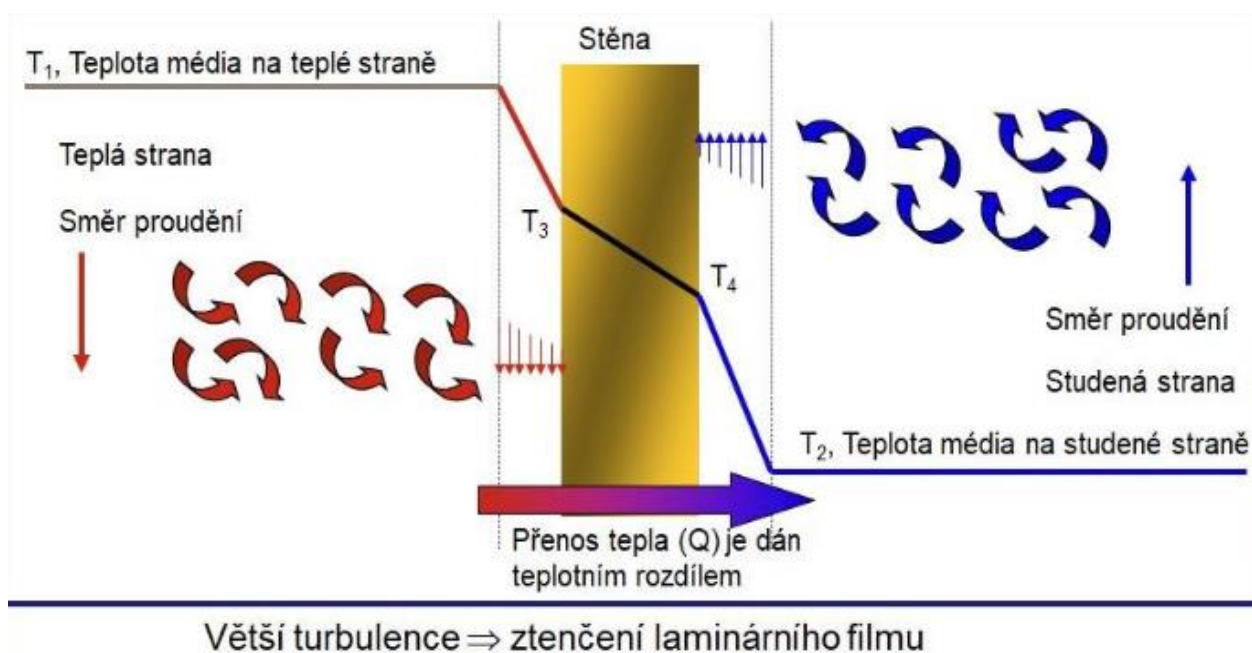
2. Usazeniny

Usazeniny v teplosměnných soustavách jsou problémem, s nímž se lze obecně setkat po celou dobu existence každého teplosměnného zařízení. Během provozu systému dochází na vnitřních plochách k tvorbě různých druhů nečistot. Tyto usazeniny negativně ovlivňují účinnost přenosu tepla mezi médii a vedou i ke ztrátám průtoku médií.

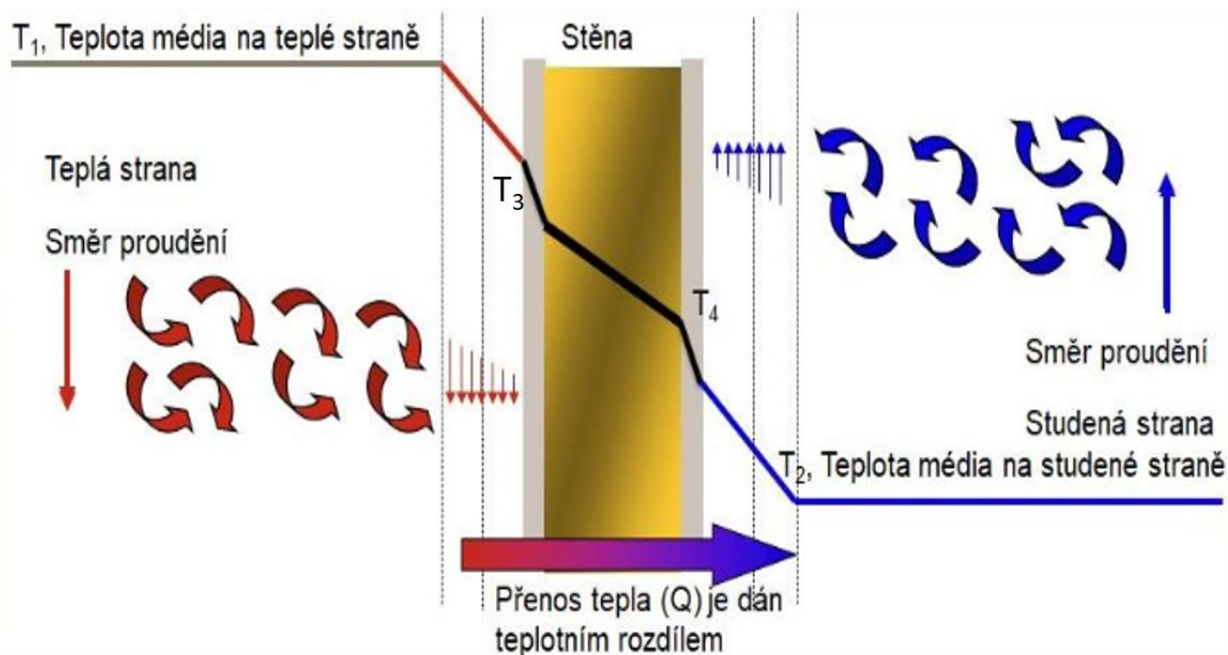
Škodlivé usazeniny v teplosměnných systémech se často vytvářejí kvůli použití „nekvalitní“ vody, která vždy vyžaduje její čištění, popř. úpravu. Je třeba říct, že voda je jedinou látkou široce používanou na planetě, která je použitelná ve třech základních fázích – pevném, kapalném a plynném.

Rovnoměrným zvýšením teploty je schopna absorbovat teplo mnohem více než kterákoliv jiná látka; v procesu odpařování při normálním tlaku se může zvýšit až na 1600krát v objemu a přeměnit se v horkou páru, která přenáší obrovské množství tepla. Lze říct, že z důvodů těchto jedinečných parametrů se voda stala ideálním prostředím, které se používá při výrobě energie a tepla.

Některé látky, které jsou v ní obsažené, například hořčík a vápník, jsou nepřímo rozpustné a jak se teplota zvyšuje, tak jejich rozpustnost klesá ještě více. V důsledku toho se hořčíkové a vápenaté soli, které se alespoň nějak rozpouštějí při nízké teplotě a nízké koncentraci, stávají nerozpustnými a se zvyšující se teplotou, se usazují ve formě sedimentů na vnitřních stěnách teplosměnného zařízení.



Obrázek 2. Přenos tepla dvou médií ve výměníku [40].



Obrázek 3. Přenos tepla mezi médii přes desku s nánosem nečistot [40].

(T_1 – teplota na vstupu – teplá strana; T_2 – teplota na výstupu – chladná strana;

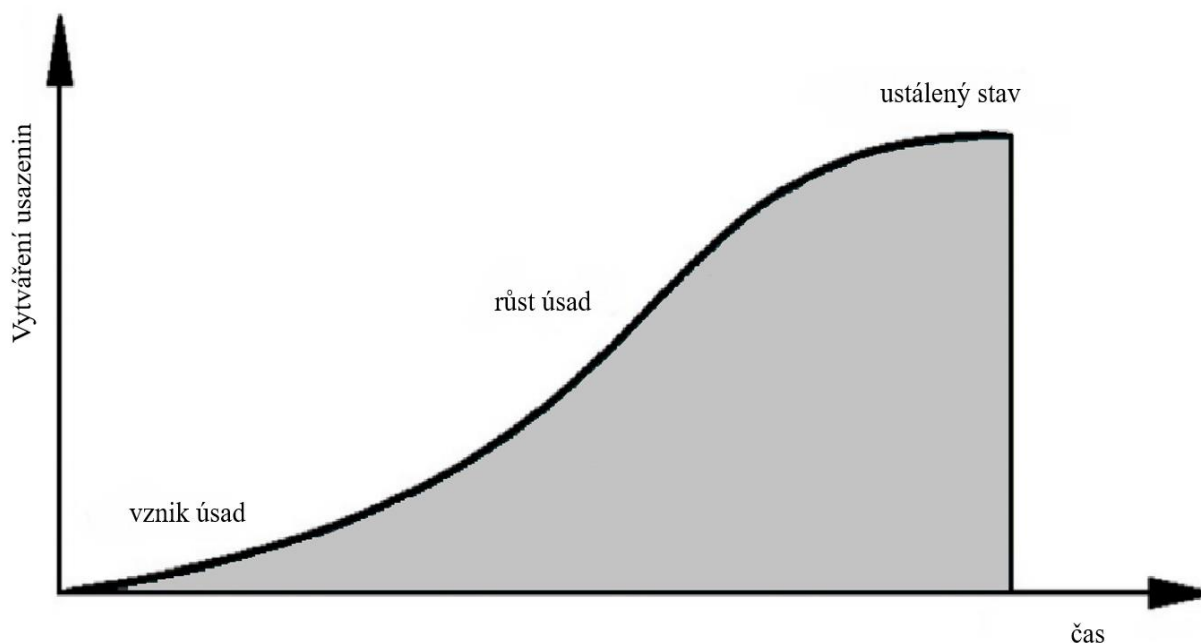
T_3 – teplota na výstupu – teplá strana; T_4 – teplota na vstupu – chladná strana)

Vznik nepatrné tloušťky filmu usazenin (obr. 3) může způsobit energetické ztráty soustavy. Výkon přenosu tepla se z tohoto důvodu může snížit až o 30 %. Tato vrstva se vytvoří v tvrdé vodě průměrně za 6 měsíců. Už přes rok, bez jakéhokoli způsobu čištění, se tento nános může zvětšit až na hodnotu 0,5 mm [40].

Nejčastěji proces usazování nečistot ve výměnících probíhá následujícími způsoby:

- biologické zanášení,
- kombinované zanášení,
- kontinuální usazování,
- korozní zanášení,
- sedimentace,
- zanášení krystalizační a precipitační,
- zanášení v důsledku chemické reakce,
- zanášení v důsledku mrazu [3].

Znečištěním usazováním nečistot zároveň dochází ke snížení průchodnosti průtočného průřezu, což zabraňuje cirkulaci média v systému a vede k velké ztrátě průtoku a vysokým nárokům na práci čerpadel. Může tak dojít i k prasknutí v místě úplného zanášení daného zařízení a způsobit vznik havárie.



Graf 1. Tři základní stavy zanášení povrchu [2].

Jiným negativním faktorem usazenin je pokles tepelného výkonu. Vrstva na ploše teplosměnného zařízení zvyšuje tepelný odpor plochy. V konečném stavu má snížení součinitele přestupu tepla vyšší náklady na provoz celého systému.

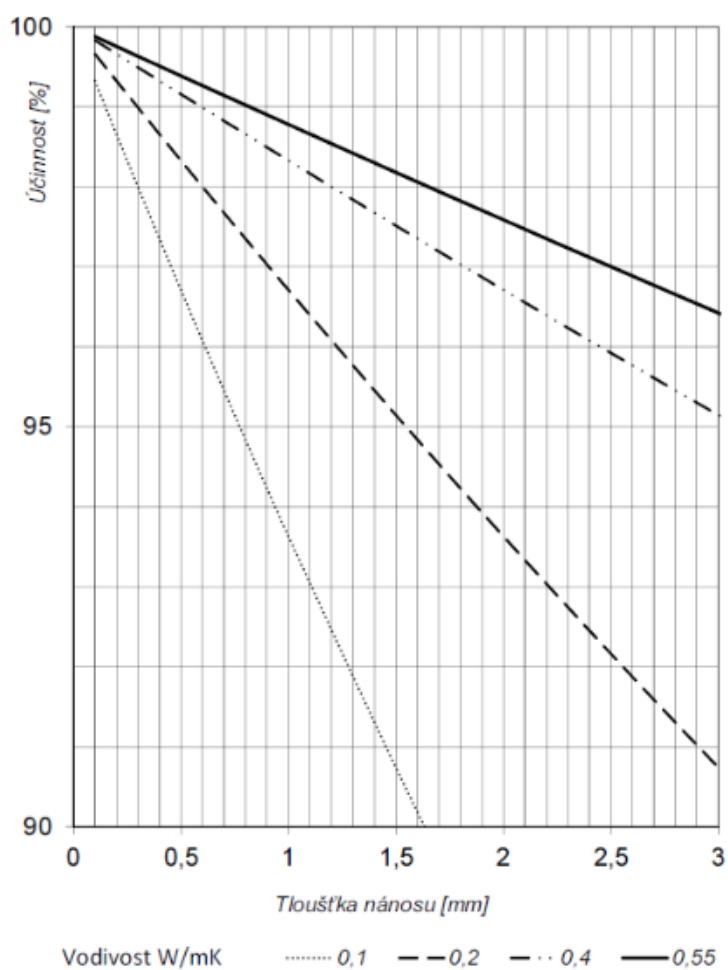
Odstraňování usazenin z výměňkových ploch je složitou a drahou záležitostí. Výběr správné metody pro optimální způsob čištění, při spotřebě minimálních finančních nákladů, bez nebezpečí nebo zastavení výrobního procesu, závisí na mnoha faktorech. Tyto faktory jsou zejména:

- drsnost povrchu profilovaných desek,
- materiál výměníku,
- rychlost proudění pracovních tekutin,
- teplota povrchu desek,
- typ a druh výměníku,
- vlastnosti pracovních tekutin,
- ostatní vlivy [3].

3. Příčiny znečištění vnitřních ploch

Zajištění vysoké úrovně čistoty vnitřních ploch je záruka nutného stupně efektivity chladicího nebo topného procesu v systému. Zabezpečení čistého povrchu je pracný, ale i náročný proces. Dobré provozní parametry vody zajišťují účinnost procesu, což v konečném důsledku vede nejen k nižším nákladům na údržbu, ale i na výrobní náklady tepla a energie. Úspěšná kontrola čistoty vnitřního povrchu závisí na průběžném udržování parametrů vody (vodivost, pH) a pravidelné údržbě daného zařízení.

Pod termínem zanášení se rozumí ukládání usazenin na plochách přenosu tepla v procesu provozu teplosměnného zařízení. Základními parametry zanášení jsou především: geometrie a teplota plochy pro přenos tepla, vlastnosti a rychlost proudění pracovní tekutiny [3]. Tyto faktory značně ovlivňují průběh a stupeň zanášení vnitřní plochy výměníku.



Graf 2. Snižování průstupu tepla podle tloušťky nánosu [8].

3.1 Biologické nánosy

Pod pojmem biologické zanášení se rozumí usazování a růst mikroorganismů na ploše výměny tepla. Existuje spousta druhů mikroorganismů (bakterie, sinice, mikroskopické houby, řasy), kterým vyhovuje prostředí, ve kterém si mohou adaptovat podmínky pro svůj život. Jedná se hlavně o bakterie, které se pak množí, a tak vytváří nános. Odpor této vrstvy oproti přestupu tepla je silný, ačkoliv samotný nános je tenký. Mikroorganismy se shromažďují na stěnách např. ve štěrbinách nebo v drsných površích, mohou s nimi chemicky reagovat a stávat se i příčinou koroze. Produkty jejich činnosti mohou mít negativní vliv na všechny oceli, zejména pokud jsou oceli pokryté nánosem z biomas, který odstraňuje kyslík, jenž by oceli pravidelně využily k tvoření ochranné oxidické vrstvy. Případně legovaná ocel už bude čelit korozi jako běžná uhlíková ocel [5].

Řešením tohoto problému mohou posloužit pesticidy. Pesticidy jsou přípravky určené k hubení nežádoucích biologických složek v pracovní kapalině. Rozdělují se na dva typy: s oxidačním a bez oxidačního účinku. Pesticidy bez oxidačního účinku likvidují bakterie, nicméně neodstraňují už vzniklý biologický nános. Zároveň pesticidy s oxidačním účinkem mohou zvládnout rozpustit usazené organické vrstvy, tak také zničit bakterie v přenosovém médiu. Před použitím je třeba však důsledně stanovit s jakými materiály mohou pesticidy reagovat [33].

3.2 Krystalizační a precipitační zanášení

Krystalizační anebo precipitační zanášení je dalším rozšířeným typem mechanismu zanášení. Podle zvoleného druhu pracovní kapaliny se z ní můžou uvolňovat krystaly a precipitáty. Tyto částice jsou velmi pevné a usazují na vnitřních plochách výměníků tepla. V případě, když voda slouží jako pracovní médium, na stěnách vzniká nános z minerálních látek (především uhličitan vápenatý CaCO_3). Krystalizace začne nejrychlejší probíhat v místech s pórovitým a drsným povrchem nebo v lokálních štěrbinách.

Nejpodstatnější faktory ovlivňující vznik usazenin z minerálních látek kotelního kamene uhličitanu vápenatého jsou:

- chemické složení a koncentrace rozpuštěných solí,
- stupeň pH,
- teplota přenosného média,
- jakost povrchu plochy výměníku,
- rychlost a pravidelnost proudění,

- přítomnost nečistot, které často slouží jako ohnisko zárodku krystalizace uhličitanů a jiných solí [5].



Obrázek 4. Snímek zanášení potrubí kotelním kamenem [32].

Je velmi náročné zvládnout tento problém. Proto se obvykle používá průběžné chemické čištění. Do vodného roztoku se přidávají chemické složky, které brání vylučování krystalů a precipitaci. Je však nutno dbát toho, aby udržovací chemikálie a materiál výměníku byly navzájem neaktivní.

3.3 Zanášení způsobené chemickou reakcí

Dalším mechanismem zanášení jsou nežádoucí chemické reakce. Proces probíhá, když složky v proudícím médiu reagují na ploše výměníku, ačkoliv samotný povrchový materiál není reaktantem, ale může se chovat jako katalyzátor. Tyto nánosy jsou houževnaté a mohou přivést ke korozi povrchu materiálu, jestliže ochranná vrstva oxidu se zničí.

Čím vyšší teplota chemických reakcí, tím vyšší rychlost reakcí. Aby se zmenšilo zanášení, je třeba provádět kontrolu teploty povrchů materiálu a proudící látky. Vzniklý nános špatně přenese teplo, což má za následek snížení tepelného výkonu. Chemické zanesení lze odstranit metodou mechanickou nebo chemickou, pomocí vhodných rozpouštědel. Volba metody zaleží na druhu, a především tvaru teplosměnného zařízení [34].

3.4 Korozní zanášení

Koroze má celkový a lokální účinek. Při celkové korozi je celá topná plocha v kontaktu s agresivním prostředím zkorodovaná, rovnoměrně se zeslabuje tloušťka potrubí. V případě lokální koroze, destrukce kovu nastává v určitých oblastech povrchu. Lokální (místní) koroze se mohou projevit bodově, štěrbinově, mezikrystalovou formou nebo korozním praskáním. V průběhu lokální koroze se zařízení rozpadá mnohem rychleji oproti rovnoměrné korozi, bez ohledu na nižší ztráty kovu. Produkty koroze konstrukčních materiálů (železo, oxidy mědi) částečně zůstávají na zkorodovaném kovu a částečně přecházejí do pracovní kapaliny, i při určitých podmínkách se usazují na jiných místech zařízení. Tyto sedimenty se stávají často příčinou zvýšení tepelného odporu, v důsledku čehož teplota kovu pod nimi může stoupnout na nepřijatelnou úroveň. Tepelné výměníky se vyrábějí obecně vzato z co nejvíce korozivzdorných materiálů: přesto přenosové médium a povrchy výměníku mohou navzájem reagovat [5].



Obrázek 5. Důlková koroze v ocelovém potrubí [4].

Aby se omezilo riziko vzniku korozního zanášení je nutno správně zvolit materiál tepelného výměníku a přenosového média. Navíce je třeba věnovat pozornost na chemické složení a na limitní hodnoty koncentraci chemických látek v pracovní kapalině. Proces koroze se dá potlačit různými inhibitory koroze, což jsou látky, které ve vhodné koncentraci mohou podstatně zpomalit rychlost koroze. V případě usazování oxidů je třeba najít ohnisko koroze a zabránit vzniku a šíření v daném systému [15].

3.5 Zanášení v důsledku mrznutí

V chladicích systémech může dojít k zanášení v důsledku zamrznutí pracovní látky nebo její složky. Hlavními faktory jsou nízká teplota, stav povrchu výměníku, krystalizační podmínky, hmotnostní průtok a koncentrace pracovní látky [6]. Vzniklá zmražená vrstva na ploše výměníku snižuje účinnost celého systému.

Tento mechanismus je nejjednodušším a po provádění včasné kontroly se dá odstranit. Jedním z řešení je zvýšení teploty povrchu nebo přenosné látky. Pokud namrznutí vzniká dost často, tento problém lze řešit posunutím bodu tuhnutí pracovní látky na nižší teplotu nebo změna vlastností prostředí pro celý systém. Jinou variantou je, pokud možno používat souprůdný tok místo protiproudového, aby předešlo nežádoucímu zanášení.

4. Metody čištění

Vzniklé nánosy, které se usazují na vnitřních površích výměníku, je třeba odstraňovat, aby se zvýšila životnost daného systému. Na to se může využít dvou způsobů čištění, buď mechanicky, nebo chemicky. Metody čištění se rozdělují též na „on-line“ a „off-line“. Metoda čištění „on-line“ spočívá v tom, že pro tyto metody není potřeba zastavovat provoz zařízení. Zatímco metoda „off-line“ vyžaduje přerušit chod zařízení, respektive systému.

4.1 Mechanické způsoby čištění

Mechanické čištění využívá kinetickou energii jak abraziv a nástrojů, tak i vysokotlakého paprsku, nebo proplachu, či podchlazených prostředků (dusíku). Odstraňování nečistot mechanickým způsobem je velice efektivní, ale metody nejsou schopné úplně očistit povrch od usazenin. Mechanické způsoby čištění rozdělujeme především na tryskání lehkými prostředky, vysokotlaké čištění vodou, projektilové a speciální způsoby čištění.

Výhodami mechanické technologií jsou:

- čisticí zařízení je přenosné,
- nižší namáhání na životné prostředí,
- vyšší rychlost procesu,
- nízké náklady.

Nevýhody jsou:

- při mechanických způsobech je třeba soustavu rozebrat nebo alespoň její část,
- nelze dokonale vyčistit povrch, vždycky zůstává určitý nános nečistot,
- nepoužívají se na tenkostěnné potrubí [7].

4.1.1 Lehké tryskání

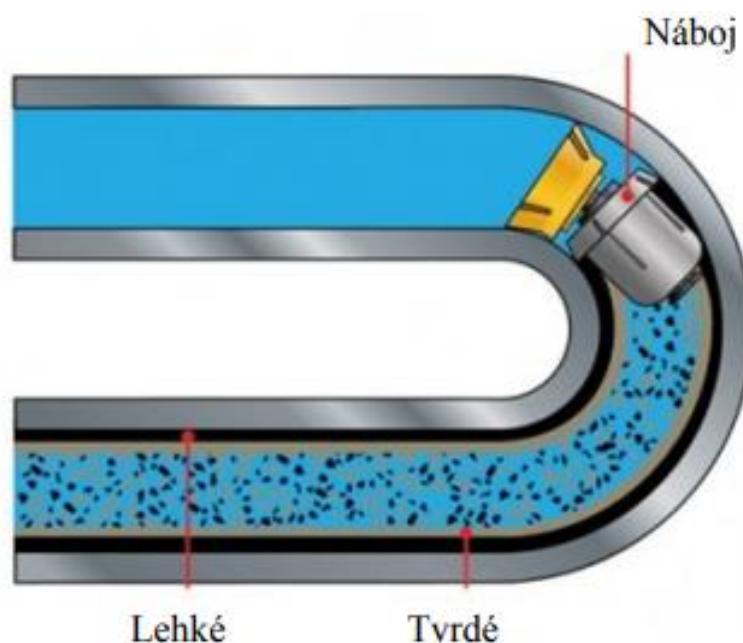
Lehké tryskání je jedním z metod mechanických úprav povrchu materiálu. Jedná se o metodu využívající abraziva s malou hmotností za použití dostatečné kinetické energie. Při dopadu abraziva na povrch daného čištěného materiálu, tryskací prostředek odstraní z plochy výměníku nežádoucí usazeniny a nečistoty. Kinetická energie se může objevovat ve formě stlačeného vzduchu nebo tlakové vody. Efektivita procesu tryskání závisí na několika faktorech. Především rychlosti, druhu, a hlavně hmotnosti tryskacích prostředků [10].

Při výběru tryskacího média je nutno vyhodnotit jeho vliv na zpracovaný materiál. Výsledný stav povrchu bude úměrně zaležet na vlastnostech použitých prostředků. Abrazivními materiály pro lehké tryskání jsou korund (bílý a hnědý), soda, suchý led a další prostředky. Hnědý korund se často používá na čištění oceli, zatímco bílý korund lépe odstraní nečistoty z korozivzdorných oceli a neželezných kovů. Lehké tryskání prostředkem ve formě sody (NaHCO_3) poskytuje možnost odstraňování nečistot, vzniklých sedimentací nebo naplavováním. Tryskání pomocí suchého ledu (oxid uhličitý CO_2) je progresivní metoda pro likvidaci usazenin. Suchý led bezprostředně po dopadu sublimuje a odstraňuje nečistoty i díky účinku tepelného šoku, který na nečistoty také působí [9].

Metoda lehkého tryskání je ekologicky šetrná technologie, umožňuje očistit vnitřní povrch bez poškození základního materiálu nebo jeho povlaku. Pro odstraňování usazenin nepotřebuje žádné chemikálie a spolu s tím lehce likviduje odpad.

4.1.2 Projektilové čištění

Projektilové čištění je ekologicky šetrný proces odstraňování nečistot. Tato metoda mechanického čištění umožňuje snížit časovou náročnost procesu. Projektilové čištění zahrnuje používání speciálního zařízení a projektilů. Díky rychlosti čisticím projektilům a vysokému tlaku se ze znečištěných povrchů očišťuje odpad (nánosy) za krátký čas. Projektilové čištění je zaměřeno pouze na čištění potrubí. Pomocí kinetické energie projektil projde trubkou a spolu s tím odbourá vzniklé jak měkké nečistoty, tak i tvrdé nánosy, např. vodní kamen na stěnách. Za použití vody a vzduchu se odstraní odpad ven ze soustavy [11].



Obrázek 6. Schematická ukázka projektilového čištění [11].

Existuje velké množství typů projektilů, které se rozlišuje podle požadavků a potřebných parametrů (průměr trubky, míry a charakteru kontaminace). Projektilové čištění je třeba opakovat, a tak zabránit usazování nečistot na vnitřních plochách.



Obrázek 7. Různé typy projektilů [12].

4.1.3 Vysokotlaké čištění vodou

Princip dané metody spočívá v působení vody pod velkým tlakem (až 20 MPa) na povrch, kde se vyskytují nečistoty, pomocí speciálních trysek, pracujících za podmínek různých průměrů trubek a různých tloušťek nánosů [9]. Velká kinetická energie vodního paprsku při interakci s usazeninami je snadno odstraní. Vysokotlaké čištění vodou vyžaduje speciální zařízení.



Obrázek 8. Hydrodynamické čištění [7].

4.1.4 Speciální metody čištění

Technologie čištění Hydrodrill je metodou, při které probíhají současně dva procesy – vrtání a proplachování. Vrták se otáčí pomocí pneumatického motoru při rychlosti 500 - 2000 ot/min. Přivádění vrtáku se provádí pomocí hydraulického válce. I ty nejtvrší nánosy se odstraní z trubic bez poškození vnitřní plochy, a poté se oplachují. Metoda je použitelná na všechny typy usazenin a pro všechny materiály, z nichž jsou trubky vyrobeny. Průměr potrubí je v rozsahu 10 - 40 mm, délka trubek je až 14 m [13].



Obrázek 9. Ukázka čištění metodou Hydrodrill [14].

4.2 Chemické způsoby čištění

Všechny projevy zanášení mají negativní vliv a projevují se ve zvýšených nákladech a energetických ztrátách. Následující možnost očištění soustavy je chemický způsob. Tento způsob umožňuje snadnou likvidaci nečistot pomocí jejich rozpuštění a navazujícího vypláchnutí ven ze zařízení. Chemicky lze obnovit provoz teplosměnné soustavy, a tím pádem zlepšit účinnost, efektivitu práce a přestup tepla [16].

Chemické čištění má své výhody:

- čisticí zařízení jsou mobilní,
- není potřeba rozebírat soustavu,
- delší intervaly mezi čištěními než u jiných metod,
- čištění je možné provádět i bez přerušení chodu celého zařízení,
- odstranění nežádoucích usazenin a nánosů z vnitřních ploch je rychlý a levný proces,

- při správném výběru čisticích prostředků a vhodných vstupních parametrů je postup čištění soustavy bezpečný [17].

Především za hlavní nedostatek chemické metody je možné považovat náročnost na ochranná opatření pracovníka. Za čisticí prostředek se používají kyseliny jak organické (citrónová a octová), tak i anorganické (dusičná, chlorovodíková, sírová atd), či dalších speciálních čisticích prostředků, které jsou nyní na trhu. Při této technologii je nutno vědět jaký vliv bude mít čisticí prostředek při interakci s materiálem výměníku, aby zabránil zničení částí nebo celého zařízení. Nevhodný výběr chemikálie nebo její koncentrace, může přivést zařízení k nevratné poruše. Proto spolu s kyselinami se používají inhibitory, které brání poškození materiálu výměníku.

4.2.1 Moření

Pro korozní zanášení se často používají moření jako metodou čištění vnitřního povrchu. Tato technologie probíhá za pomoci směsi kyselin, v nichž se produkty koroze rozpouštějí. Proto aby se snížilo riziko destrukce materiálu, je nutné přidat chemické inhibitory, pokud je čištění prováděno pomocí silných kyselin. Za nejběžnější mořící kyseliny se považují kyselinu chlorovodíkovou a sírovou. Neželezné kovy je možné mořit alkalickými roztoky např. NaOH. Technologie moření může přivést, při neznalosti interakce se základním materiálem, k poškození základního materiálu (měď, mosaz, korozivzdorná ocel). Většinou po procesu moření je nutno použít pasivaci povrchu, která oddálí vznik korozních produktů a dalších usazenin.

Dnes existuje množství čisticích prostředků, které jsou šetrnější a pečlivější vůči základnímu materiálu. Progresivní čisticí látky mají v sobě účinné inhibitory a urychlovače čisticích procesů. Takové moderní prostředky pasivují a zároveň konzervují vnitřní povrchy výměníku.

4.2.1.1 Metoda CIP

Cleaning in Place (CIP) ve překladu z angličtiny znamená metodu čištění zařízení a potrubí na místě. Metoda CIP nevyžaduje předběžné demontáže a je úplně automatizovaná. Teplota, doba trvání a pořadí vyčištěných médií jsou automaticky upraveny [18]. Postup CIP zlepšuje reprodukovatelnost a umožňuje ověření procesu čištění. Integrace čisticího cyklu do plně uzavřených systémů dále zvyšuje provozní bezpečnost. Validace vyžaduje prokázanou nepřítomnost po procesu čištění produktů, přísad nebo čisticích prostředků v koncentracích přesahujících přípustné hodnoty. Proto se na konci procesu čištění odebírají několik vzorků přímo z čištěného povrchů. Nebo (v méně přístupných oblastech) se analýza provádí nepřímo:

zkoumáním čisticího roztoku. Pro vyhodnocení důsledků kontroly vzorků se používají různé analytické metody. Patří sem měření vodivosti, pH, obsahu proteinu nebo množství biologické kontaminace [19].

4.2.1.2 Pasivace

Pasivace je jeden ze způsobů ochrany kovu před korozi. Umožňuje výrazně prodloužit dobu provozu potrubí, systémů přenosu tepla a topného zařízení. Pod pojmem pasivace se rozumí změna kovového povrchu z chemicky aktivního na pasivní. V důsledku pasivační reakce se vytvoří tenké povrchové vrstvy antikoročních sloučenin. K tomu se používají speciální chemické roztoky nebo elektrochemické procesy, které vytvářejí nepropustné a husté oxidové filmy. K pasivaci oceli se používá kyselina dusičná nebo sírová [20].

Pasivace legovaných ocelí neúčinněji brání rozvoji koroze. Korozivzdorná ocel může pasivovat sama, ale při nízkém obsahu chromu, ve styku s uhlíkovou ocelí, nebo na místech svařovaných spojů, je třeba tento proces podpořit. Teplota a doba pasivace závisí také na materiálu. Čím vyšší je teplota roztoku, tím rychlejší je proces. Při pasivaci se tloušťka povrchu nezmenšuje, neboť jde o proces vytvoření velmi tuhé konverzní vrstvy.



Obrázek 10. Vzorek potrubí před a po chemickém čištění a pasivaci [21].

4.2.2 Speciální čisticí prostředky

Při použití chemických metod čištění pro teplosměnné soustavy se používají speciální čisticí prostředky, jedná se o chemikálie založené na různých bázích s přidavkem povrchově aktivních látek, inhibitorů koroze, zředěných vodou v požadovaném poměru. Účelem souboru výše uvedených aditiv je zvýšit účinnost činidla na nánosech, které znečišťují vnitřní povrchy výměníku, a současně snížit korozní agresivitu s ohledem na kov, ze kterého jsou tyto součásti vyrobeny. Protože čisticí prostředky reagují v různé míře s různými typy usazenin, doporučuje

se zvolit prostředky podle typu usazenin na vnitřních površích čistěného výměníku tepla a podle experimentálního ověření.

V důsledku zvýšení rychlosti reakcí se doporučuje zvýšení proudění, které má intenzivnější mechanický účinek. Většího rozpuštění usazenin na povrchu lze dosáhnout zahřátím čisticího prostředku. Nečistoty se odstraňují v důsledku rozpouštěcího účinku progresivních čisticích prostředků. Pro dosažení lepších výsledků je průtok je zvýšen.

Teplosměnné zařízení je možné vyčistit pomocí speciálních čisticích prostředků, a to například:

- SteelTEX Cooper je účinným prostředkem pro čištění teplosměnného zařízení. Doporučuje se používat na výměníky z oceli, mědi, hliníku a jiných lehkých slitin. Koncentrát obsahuje přísady inhibitoru koroze. Používá se jak na rozebíratelné, tak i na nerozebíratelné soustavy. Zředí se v poměru 1: 6 až 1:10 vodou v závislosti na stupni kontaminace [36];
- Čisticí prostředek Fernox Cleaner F3 je univerzální čisticí prostředek na odstranění různých druhů nečistot z povrchů pro obnovení činnosti zejména topných systémů. Je z hlediska hodnoty pH neutrálním prostředkem, proto to není nebezpečná čisticí kapalina, kterou lze použít na všechny kovy používané v topných soustavách. Jeho pomocí lze lehce likvidovat anorganické usazeniny, kal a jiné druhy nečistot při zanášení soustavy [30];
- Alfa Phos od firmy Alfa Laval je kyselým čisticím prostředkem, založeným na základě fosforečné kyseliny s přísadami dalších činidel a inhibitorů. Používá se k odstraňování anorganických nečistot a částečně i usazenin na bázi oxidů z povrchu teplosměnných výměníků z korozivzdorné oceli a litiny. Čisticí prostředek se používá pro čištění metodou CIP [37];
- Koncentrovaná kapalina Detex obsahuje účinné biologicky rozložitelné povrchově aktivní látky, přísady proti pění a inhibitory koroze. Čisticí prostředek je určen k čištění vnitřního povrchu ocelových, litinových a měděných chladicích a topných systémů [38];
- Čisticí prostředek Z-fáze je univerzálním komplexním prostředkem, který je určený k rozpouštění anorganických usazenin na površích většiny kovů. Účinně odstraňuje korozní produkty, vodní kámen a jiné druhy nečistot z vnitřních a vnějších ploch výměníků, kotlů a dalších zařízení používaných pro výměnu tepla. Je vysokorychlostním čisticím prostředkem, který je vodným koncentrátem, obsahujícím souhrn anorganických kyselin, inhibitorů koroze a dalších funkčních přísad. Nepoškozuje kovové povrchy, svary a součásti soustavy. Optimální je i poměr ceny a účinnosti pro použití ve velkých průmyslových zařízeních [31];

- Čisticí prostředek BWT Cillit je kapalinou pro chemické čištění vnitřních prostorů teplosměnných systémů od anorganických usazenin a korozního zanášení. Obsahuje v sobě silné kyseliny konkrétně chlorovodíkovou kyselinu. Vhodné pro použití na různých materiálech jako ocel, litina, hliník, měď [39].

5. Analýza stavu vnitřního povrchu výměníku

Zlepšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu výměníků a jiného teplosměnného zařízení vyžaduje vývoj bezpečných metod a prostředků operativní kontroly jejich stavu během provozu a preventivní inspekce. Kontrola technického stavu soustavy v rámci zajištění požadavků bezpečnosti během provozu zahrnuje hodnocení interních povrchů stěny trubky: její integrita, stupeň erozního opotřebení, usazeniny, kvalita čištění. Důležitost vnitřní kontroly spočívá v následujících faktorech:

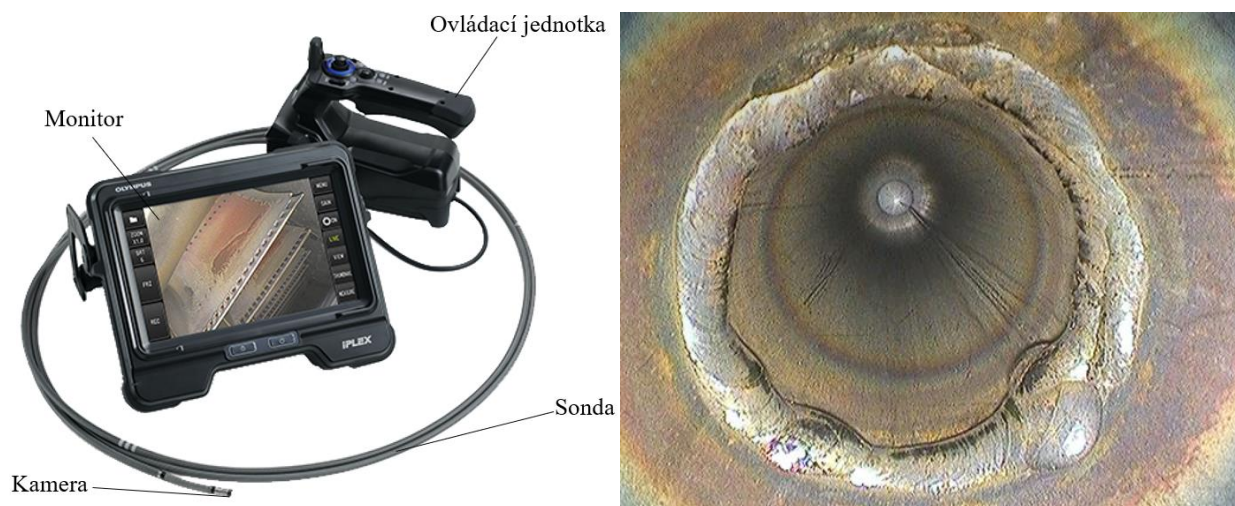
- včasná diagnostika může zabránit nehodám, poškození životního prostředí, pokutám;
- inspekce poskytuje základ pro provedení oprav výměníku;
- použití různých metod monitorování technického stavu kovu zařízení pro výměnu tepla umožňuje společnosti ušetřit čas a peníze – společnost nemusí kompletně vyměnit celý systém, ale pouze nahradit část s nepřijatelnými vadami podle výsledků kontroly dříve, než dojde k jejich poruše;
- podle výsledků kontroly je po opravě je zajištěna práce teplosměnné soustavy s co největší možnou účinností;
- periodická analýza poskytuje monitorování vývoje zajištěných závad, a tím i rychlost opotřebení [35].

5.1 Vizualní kontrola

Vzdálená vizualní kontrola (RVI – Remote Visual Inspection) je úsporná technologie nedestruktivního testování pro vizualní pozorování zkoušené součásti, kde inspektor nebo technik obsluhuje zkušební zařízení odkudkoli v reálním čase. Neustálý pokrok v oblasti robotiky umožnil inspekčním kamerám cestovat do dříve nepřístupných oblastí. Umožňují taky poskytovat video ve vysokém rozlišení s pokročilými možnostmi zobrazení pro podrobné posouzení jakékoli struktury s omezeným nebo nebezpečným přístupem [22].

Hlavními výhodami této metody zkoumání jsou jednoduchost a efektivita její provedení, relativní dostupnost. Z nedostatků stojí za zmínku nepřesnost získaných údajů vůči velkému vlivu lidského faktoru. Přestože se k výzkumu používá mnoho pomocných nástrojů, není možné pomocí jejich diagnostikovat příliš malé nebo skryté vady.

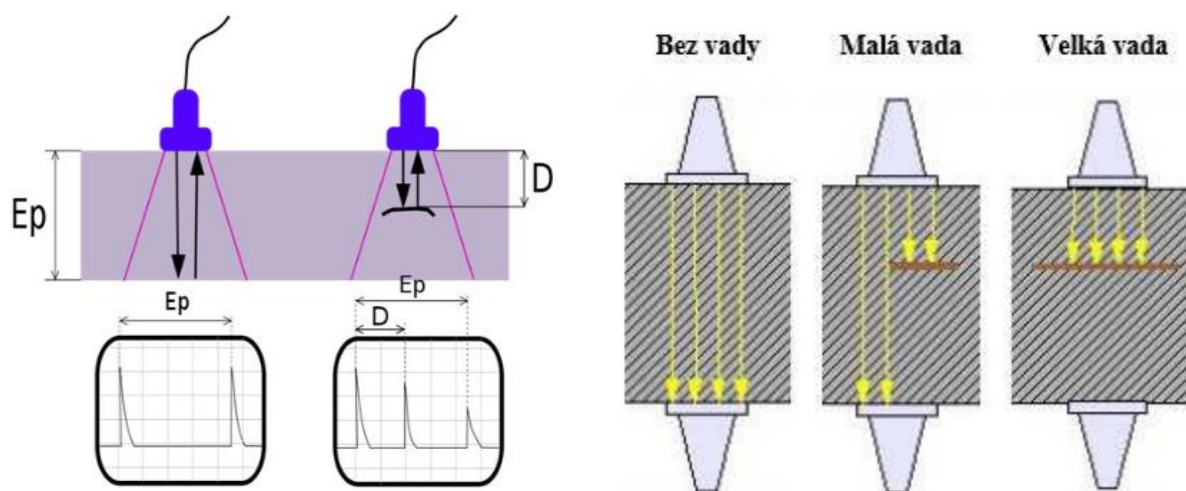
Kontrola stavu vnitřního povrchu se provádí pomocí endoskopů. Jsou kompaktní a snadno se ovládají, často poskytují vynikající viditelnost a mají další funkce. Existuje mnoho různých typů endoskopů, ale videokopy jsou v posledních letech považovány za nejoblíbenější. Mají ohebnou sondu, na jehož konci je kamera. Obrázek z něj je přenesen na malý monitor pomocí chipu.



Obrázek 11. Videoskop a ukázka zobrazení za jeho použití kontroly vnitřního povrchu [23].

5. 2 Zkouška ultrazvukem

Ultrazvuková metoda (UT – Ultrasonic Testing) je jednou z hlavních metod nedestruktivního zkoušení. Poprvé v roce 1930 bylo zkoušeno testování ultrazvukovou vlnou. Umožňuje detekovat různé vady skoro u všech pevných materiálů. Její podstatou je účinek speciálních vln na testovaný objekt a další vyjadřování jejich odrazu. Tok, vytvářený pomocí zařízení, proniká do materiálu zařízení. Nejčastěji používané metody jsou odrazová a průchodová. Pokud je zjištěna vada, její směr se odchyluje od přirozeného průběhu, čímž signalizuje existenci defektu. Pomocí této metody je dostatečně snadné detekovat póry, praskliny, korozi, heterogenitu chemického složení a další problémy. Chování vln umožňuje přesně určit vzdálenost k závadě, její přibližné rozměry. Zvukové vlny o frekvenci kolem 500 KHz – 10 MHz kmitají s určitou rychlostí a úhlem [24].



Obrázek 12. Zleva – odrazová metoda; zprava – průchodová metoda [41].

Metoda pomocí ultrazvuku se stala velmi populární. Má mnoho výhod, které ji odlišují od jiných nedestruktivních diagnostických metod:

- zvýšená přesnost výsledků. Výzkum probíhá co nejrychleji. Existuje jedna nevýhoda: výsledné údaje nejsou příliš rozsáhlé. Parametry, které mají být studovány, nejsou velké množství;
- úplná bezpečnost postupu pro operátora provádějícího diagnostiku;
- relativní dostupnost technického vybavení a její nízké náklady;
- terénní výzkum. Většina zařízení lze použít ve výjezdních laboratořích, protože jsou mobilní;
- možnost provádět diagnostiku všemi úhly současně. Analyzuje i úhly, které nejsou předepsané. Je možné nacházet závady s nevhodnou orientací [25].

Oblast použití ultrazvukových zařízení je poměrně rozsáhlá. V současné době existují různé typy defektoskopů a jejich modernizace, obecně lze všechny rozdělit do dvou hlavních skupin: jedná se o tloušťkoměry a přímo o defektoskopy, které pracují v důsledku akustických vibrací. Defektoskopy jsou schopné zjistit strukturální nesrovnalosti jak v kovových konstrukcích, tak i nekovových výrobcích. Při použití jakéhokoli defektoskopu nehrozí žádné poškození ani vnitřní, ani vnější struktury materiálu. Toto ultrazvukové zkušební zařízení pomáhá prozkoumat kvalitu zhotovených svařovaných spojů, umístění vad ve spojích a strukturách, velikost defektu.

5.3 Zkouška rentgenovým zářením

Zkouška rentgenem (RT – Radiographic Testing) je speciální diagnostická metoda, která umožňuje rychle a co nejpřesněji vyhodnotit kvalitu struktury materiálu. Rentgenová kontrola pomáhá identifikovat vnitřní vady a včas je eliminovat. Při procházení paprsky materiálem dochází k zeslabování ionizujícího záření. V místech, kde existují určité vady, zeslabení bude méně (nebo více – v závislosti na materiálu konstrukce). Také důležitým faktorem je tloušťka materiálu. Takže pomocí radiografického filmu lze snadno určit nejen umístění vad, ale také přesné rozměry. Metoda je vhodná pro interní analýzu, identifikaci technologických porušení v místech nepřístupných pro optickou analýzu [26].

Hlavní výhody rentgenové diagnostiky jsou:

- vysoce přesný výzkum. Tato metoda umožňuje získat nejpřesnější obraz pro posouzení umístění závad, jejich specifiky a velikosti;
- rychlost získávání diagnostických výsledků;
- možnost studovat mikrostrukturu svarových spojů a najít i ty nejmenší nedostatky a defekty.

5.4 Metoda vířivých proudů

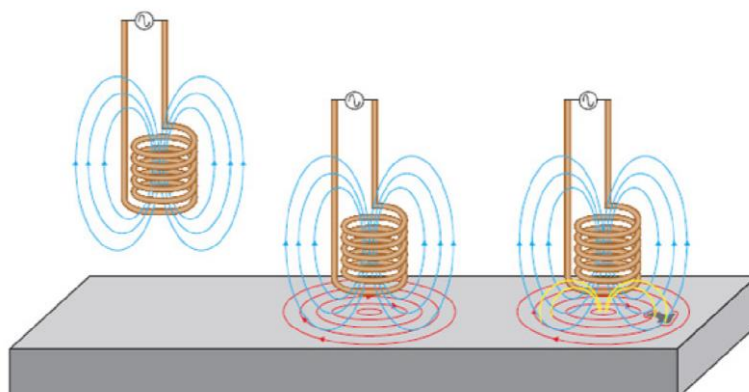
Metoda vířivých proudů (ET – Eddy Current Testing) je nejrychleji se rozvíjející skupinou nedestruktivních testovacích metod, která se osvědčila ve praxi. Testování je bezpečné, spolehlivé a přijatelné pro průmyslová odvětví, kde jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu a sledování stavu zařízení v rámci přísných omezení technických norem a podmínek. Často se používá při provozní kontrole trubkových tepelných výměníků [27].

Analýza pomocí vířivých proudů se používá pro testování elektricky vodivých materiálů. Je možné třídit zkoušený materiál na bázi tepelného zpracování nebo chemického složení, zjišťovat praskliny a jiné vady ve struktuře, a taky vyhodnotit nejen jejich umístění, ale také i rozměry. Nevýhodou metody je její omezení kvůli hloubce pronikání proudů (optimální hloubka do 7–8 mm).

Výhody této technologie je několik. Mezi nimi jsou:

- možnost distančního zkoumání. To platí zejména při kontrole pohybujících se objektů. Operátor a zařízení se nemusí vůbec dotýkat konstrukce, jak je v případě zkoušky rentgenovým zářením;
- vysokorychlostní testování. V závislosti na použitém zařízení může být až 0,1 m/min;
- schopnost ovládat součásti s poměrně složitou konfigurací;
- zvýšená citlivost technického zařízení, které umožňuje identifikovat mikroskopické vady přímo na povrchu nebo v jeho blízkosti.

Princip metody spočívá v analýze interakce vnějšího elektromagnetického pole s elektromagnetickým polem vířivých proudů. Při diagnostice kovových materiálů, detekční snímač přenáší elektromagnetické pole. Ve zkoušeném předmětu vytváří vířivé proudy a produkují se „sekundární“ elektromagnetická pole. Pomocí nich senzor využije pole k hodnocení. Intenzita a distribuce vířivých proudů v materiálu závisí na geometrických rozměrech konstrukce, elektrických a magnetických vlastnostech materiálu, celistvosti plochy a na vzájemné poloze snímače a zkoušené plochy [28].



Obrázek 13. Schéma průběhu metody vířivých proudů [29].

6. Praktická část

6.1 Popis experimentu

Praktická část této práce je zaměřena na vyhledávání a porovnání progresivních čisticích prostředků. Cílem je navrhnout čisticí prostředky a samotný proces, ve kterém proběhne interakce vybraných součástí s čisticími prostředky. Dalším úkolem je pomocí těchto látek prozkoumat průběh a efektivitu procesu čištění na součásti z různých materiálů.

Tento experiment spočívá v tom, aby se vyzkoušely progresivní čisticí látky s různou koncentrací na čtyřech vzorcích. Ve první části experimentu byly porovnány čtyři ocelové vzorky. Aby se zjistilo, který čisticí prostředek je účinnější a silnější, je třeba porovnat hmotnost zkoušených součástí do provádění zkoušky a po ní. Pomocí nalezených hmotnostních úbytků lze vyhodnotit zkoušené čisticí látky a dozvědět se, který z nich čistí povrch lépe od usazenin, v tomto případě především od korozního zanášení. Tím pádem zjistit, ze kterého kusu ubylo větší množství usazenin a ze kterého naopak nejmenší. Ve druhé části je nutné vybrat dvě nejefektivnější koncentrace a vyzkoušet čisticí prostředky na součásti z měděných a korozivzdorných materiálů.



Obrázek 14. Zkoušené ocelové vzorky.

6.2 Návrh čisticích prostředků

Pro experiment je nutné porovnat dva progresivní čisticí prostředky a jejich účinnost na vybraných součástech v určitém časovém rozsahu. Pro bezpečné odstranění nečistot z ploch byly vybrány speciální netoxické čisticí chemikálie, které mají minimální dopad na životní prostředí.

Pro praktickou část byly navrženy dvě čisticí látky. Prvním čisticím prostředkem je čisticí prostředek na neutrální bázi (neutrální pH) a druhý prostředek je na kyselé bázi (kyselé pH).

Pro provádění experimentu byly použity koncentrace stanovené výrobcem: neutrální čisticího prostředku v objemu 2,5 ml a 7,5 ml pro dva vzorky s různou koncentrací roztoků. Další čisticí prostředek na kyselé bázi byl v objemu 50 ml a 100 ml, aby bylo ověřeno, který roztok a s jakou koncentrací je účinnější.

6.3 Čištění vzorků

Před začátkem provádění samotného experimentu byl každý zkoušený vzorek zvážen. Měření hmotnosti vzorků proběhlo v laboratoři pomocí ocejchované váhy Ohaus Explorer Pro. Tento přístroj měří s přesností 0,1 mg. Hmotnost zkoušených vzorků před začátkem experimentu je uvedena v tab. 1.

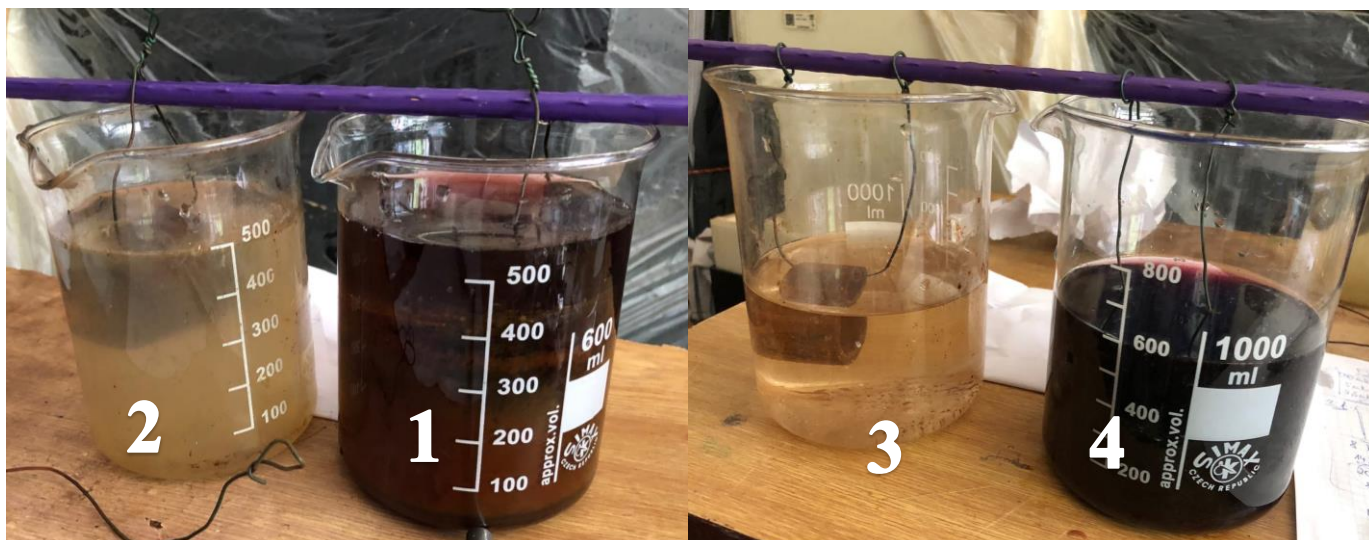


Obrázek 15. Váhy Ohaus Explorer Pro.

Tabulka 1. Hmotnost jednotlivých ocelových vzorků před experimentem.

Číslo vzorku	1	2	3	4
Hmotnost [g]	66,3500	63,2629	65,7521	62,8166

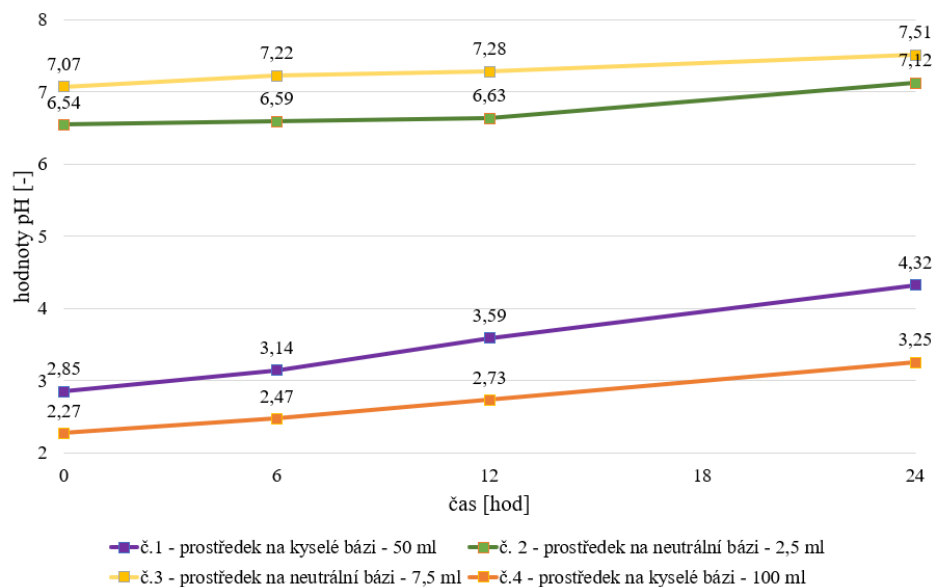
Následujícím krokem bylo připravit roztoky čisticích kapalin s různou koncentrací. Na každý čistič připadaly dva vzorky. Z toho vyplývá, že byly dva roztoky pro každý vzorek: jeden s menší koncentrací a druhý s vyšší koncentrací. Objem vody byl všude stejný a rovnal se 500 ml. Takže na první a čtvrtý vzorek bylo použito prostředku na kyselé bázi s koncentrací 50 a 100 ml a na druhý a třetí vzorek – prostředek na neutrální bázi s koncentrací 2,5 a 7,5 ml.



Obrázek 16. Roztoky zkoušených čisticích kapalin (ocelové vzorky).

(1 – 500 ml vody : 50 ml kyselého prostředku, 2 – 500 ml vody : 2,5 ml neutrálního prostředku,
3 – 500 ml vody : 7,5 ml neutrálního prostředku, 4 – 500 ml vody : 100 ml kyselého prostředku)

Experiment trval 24 hodin. Ve průběhu konání zkoušky byly měřeny hodnoty pH. Měření se provádělo na začátku experimentu, po 6, 12 a 24 hodinách. Pomocí pH metru HANNA INSTRUMENTS HI 98191 se měřily hodnoty pH. Jak je uvedeno v grafu 3, hodnoty pH nepřestávaly růst během celého procesu. Nejvyšší hodnoty pH má vzorek číslo 3, to je ostrý roztok prostředku na neutrální bázi. Nejmenší hodnoty pH jsou u vzorku číslo 4, to je ostrý roztok prostředku na kyselé bázi.



Graf 3. Závislost pH na čase.

Po ukončení experimentu se provádělo sušení součástí, aby se odstranila zbytková voda. Sušení proběhlo v sušárně při teplotě 60° C. Po 30 minutách vzorky byly vysušeny.



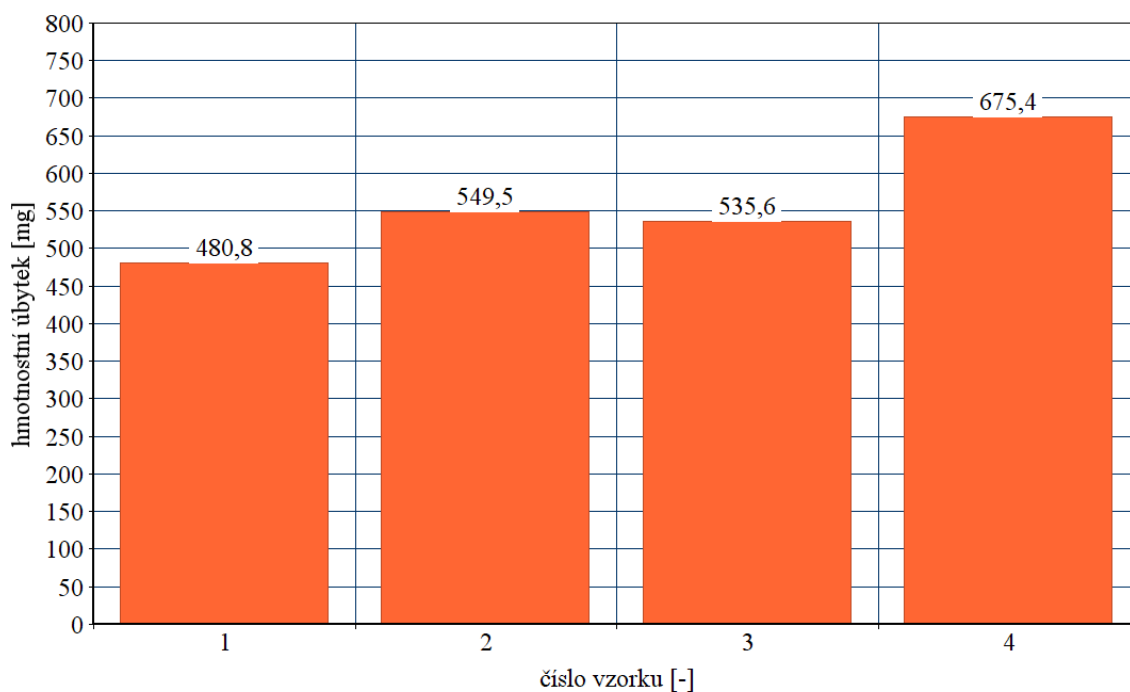
Obrázek 17. Ochlazování vzorků po vysušení.

Dalším postupem bylo finální vážení zkoušených vzorků. Hlavním úkolem bylo zjistit hmotnostní úbytky z každého kusu (vzorku). Ve tabulce 2 jsou ukázány všechny hodnoty hmotnostních úbytků jak v mg, tak i v procentuálním poměru. Pomocí porovnání hmotnosti součástí před zkouškou a po ní je možné zjistit, která z čisticích látek je účinnější.

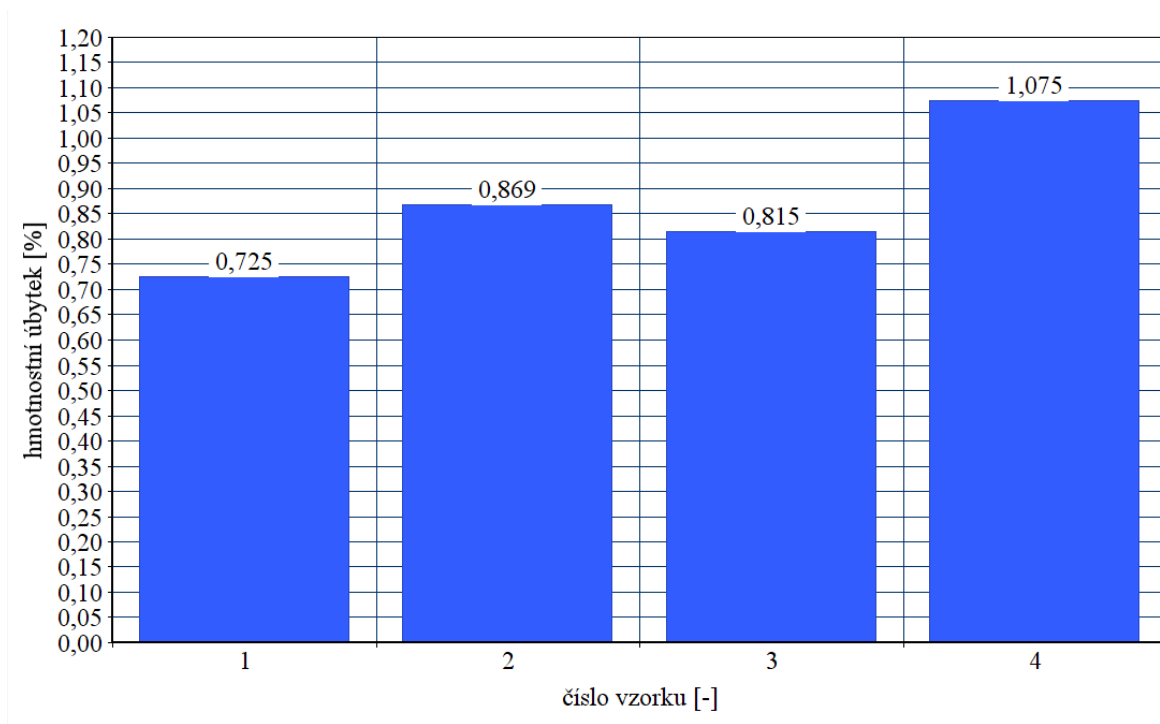
Tabulka 2. Hmotnostní hodnoty ocelových vzorků před a po experimentu.

Číslo vzorku	Hmotnost před zkouškou [g]	Hmotnost po zkoušce [g]	Hmotnostní úbytek [mg]	Hmotnostní úbytek [%]
1	66,3500	65,8692	480,8	0,725
2	63,2629	62,7234	549,5	0,869
3	65,7521	65,2165	535,6	0,815
4	62,8166	62,1412	675,4	1,075

Pomocí grafu 4 a 5 je zřejmé, že vzorek číslo 4 (ostrý roztok prostředku na kyselé bázi) ztratil největší množství nečistot, současně 1. vzorek – nejmenší množství nečistot.

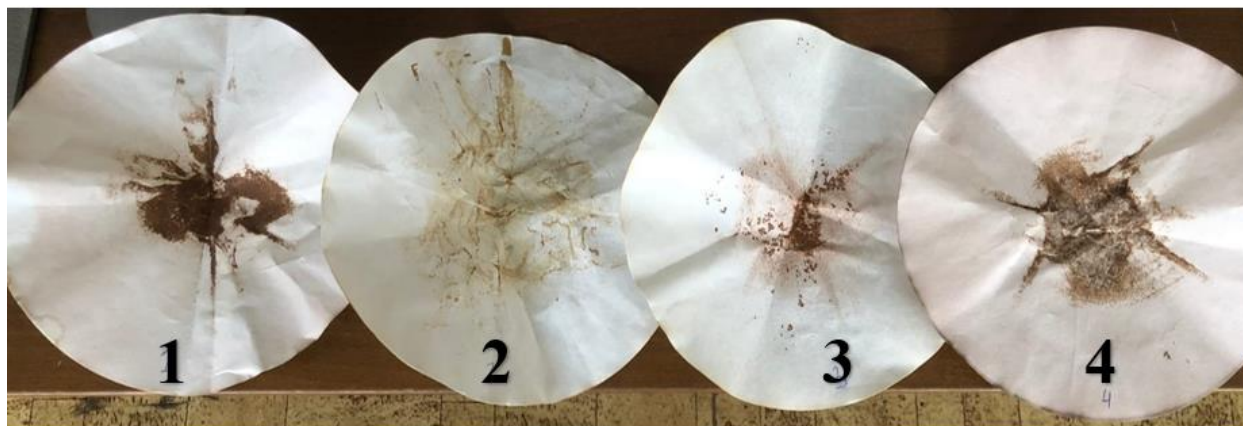


Graf 4. Hmotnostní úbytky v mg.



Graf 5. Hmotnostní úbytky v procentuálním poměru.

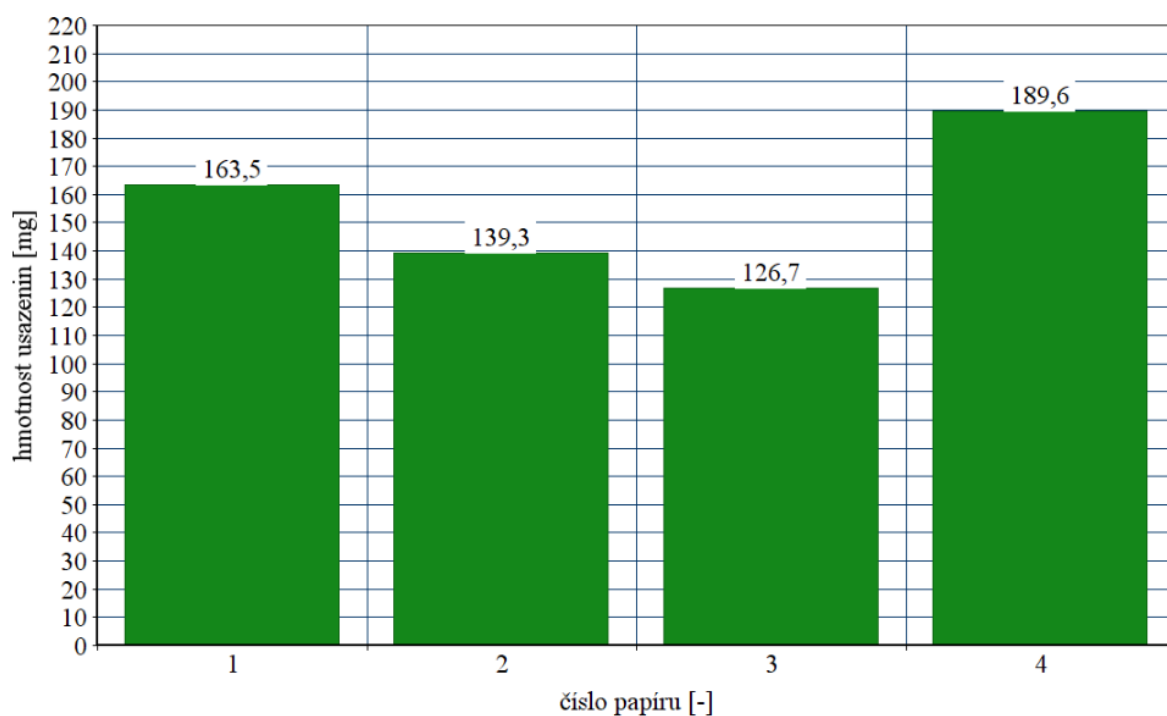
Posledním krokem v té části experimentu bylo filtrace roztoků čisticích kapalin. Provádělo se pomocí filtračních papírů. Aby byla zjištěna hmotnost usazenin v roztocích, před a po procesu filtrace byl každý filtrační papír zvážen. Hmotnost a její rozdíly jsou ukázány v tab. 3 a grafu 6. Po samotném odsedimentování byly filtrační papíry umístěny do sušky na vysoušení (30 minut při teplotě 105 °C).



Obrázek 18. Zbytek usazenin zachycených na filtračních papírech.

Tabulka 3. Hmotnost usazenin po čištění v zachycených filtračních papírech.

Číslo papíru	Hmotnost před filtrací [g]	Hmotnost po filtrací [g]	Hmotnost usazenin [mg]
1	3,5461	3,7096	163,5
2	3,5393	3,6786	139,3
3	3,6757	3,8024	126,7
4	3,4051	3,5947	189,6



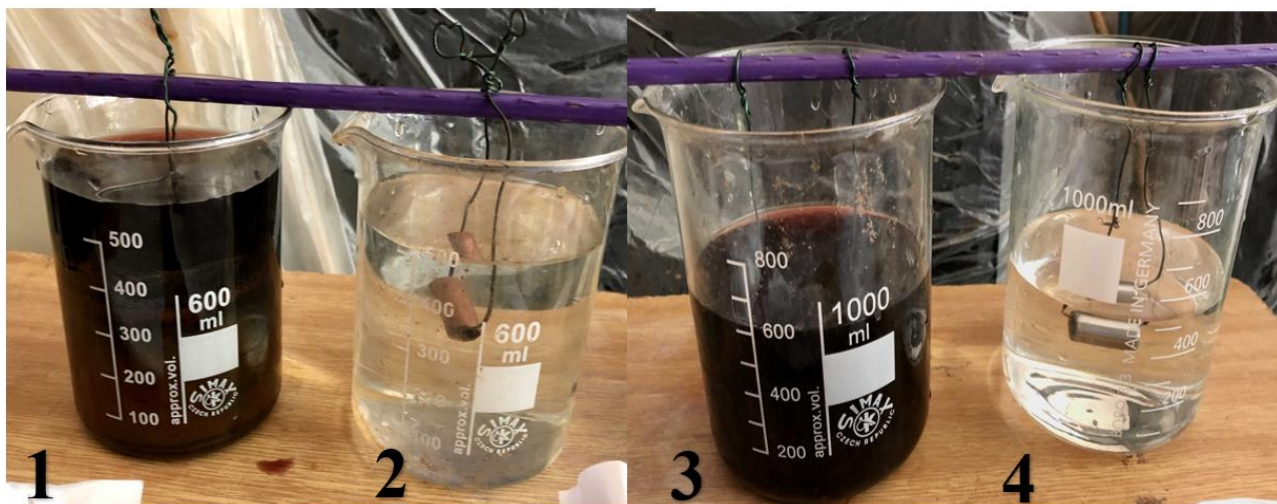
Graf 6. Hmotnosti usazenin v zachycených filtračních papírech.

Na základě experimentu v první části se ukázalo, že nejúčinnějšími koncentracemi čisticích prostředků je prostředek na kyselé bázi (100 ml) a prostředek na neutrální bázi (2,5 ml). V druhé fázi experimentu byly aplikovány prostředky s danými koncentracemi na čtyřech vzorcích z mědi a korozivzdorné ocele. Na začátku každý vzorek byl zvážen pomocí ocejchované váhy v laboratoři (tab.4).



Obrázek 19. Zkoušené vzorky ze mědi a korozivzdorné oceli.

Následně byly připraveny roztoky čisticích kapalin s těmito koncentracemi. Na první a třetí vzorek byly použity roztoky prostředku na kyselé bázi (100 ml) a na druhý a čtvrtý – prostředku na neutrální bázi (2,5 ml) (obr. 22)



Obrázek 20. Roztoky zkoušených čisticích kapalin (měď a korozivzdorná ocel).

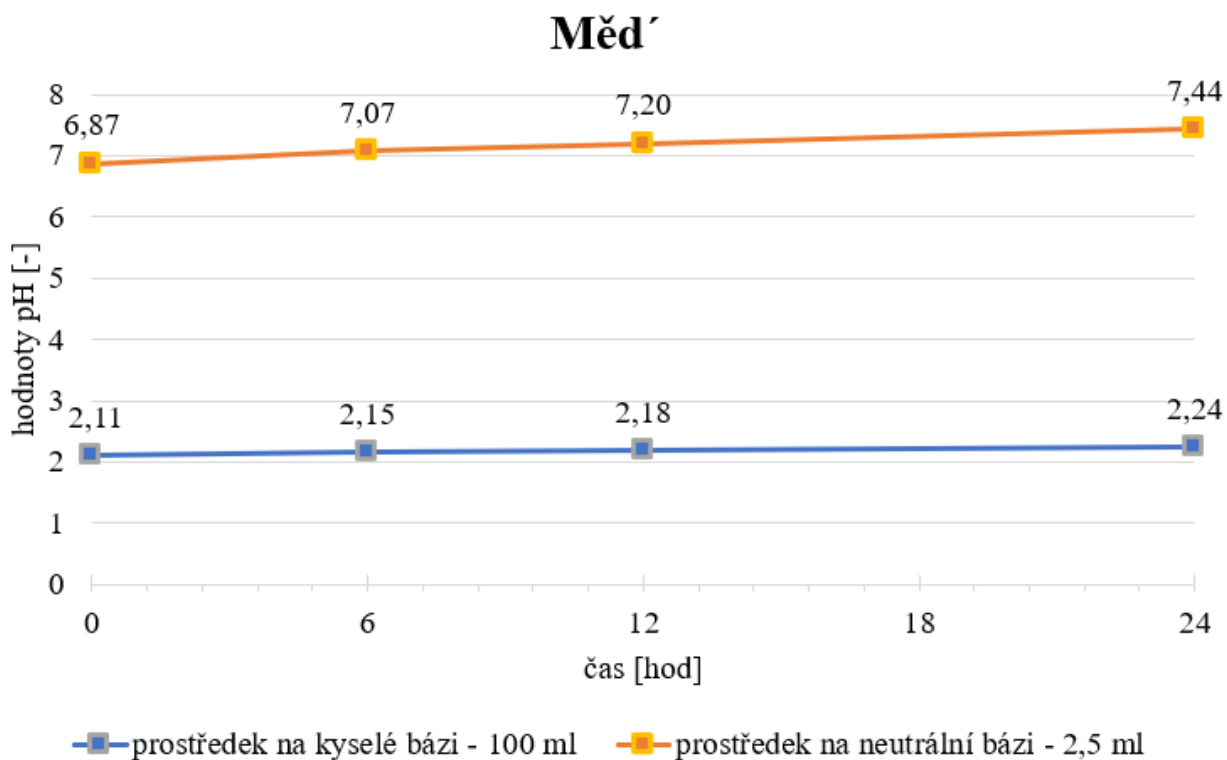
(Měď: 1 – 500 ml vody : 100 ml prostředku na kyselé bázi,

2 – 500 ml vody : 2,5 ml prostředku na neutrální bázi;

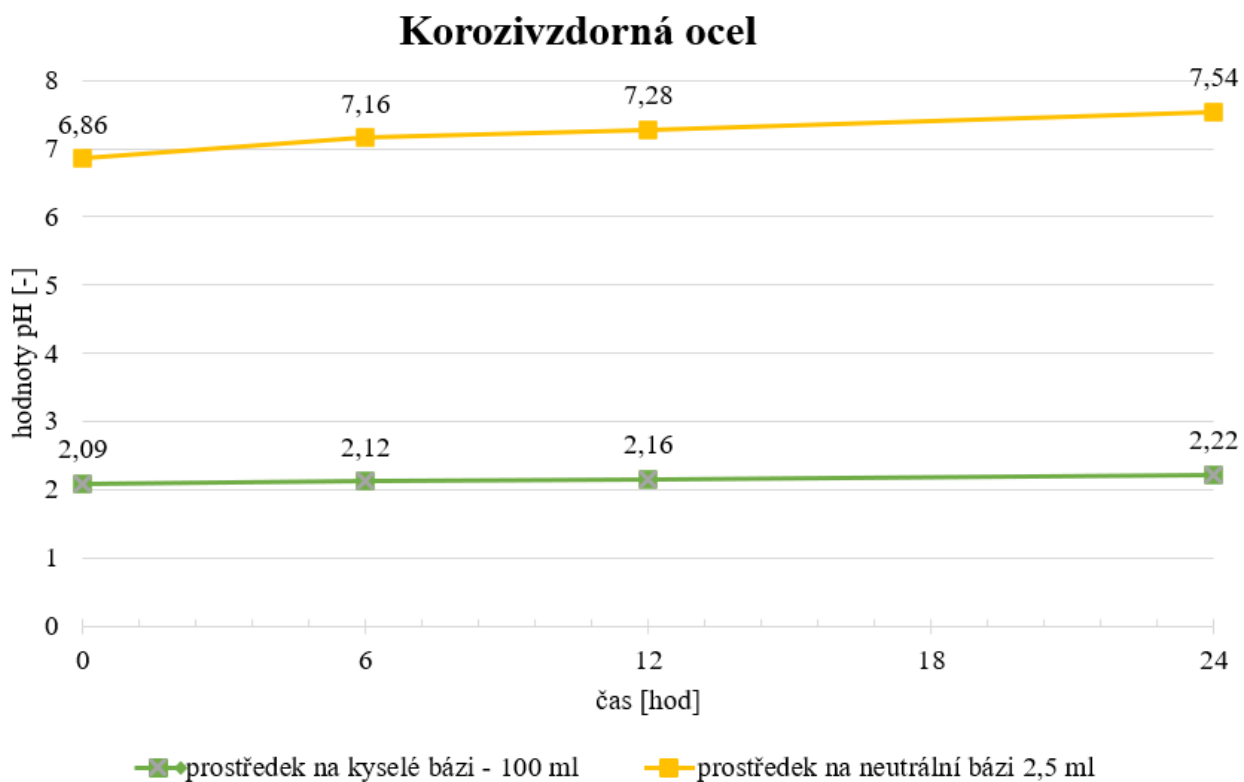
Korozivzdorná ocel: 3 – 500 ml vody : 100 ml prostředku na kyselé bázi,

4 – 500 ml vody : 2,5 ml prostředku na neutrální bázi)

Zkouška trvala stejně jako v první části, a to 24 hodin. Po dobu konání byly měřeny hodnoty pH, růst hodnot pH je znázorněn ve grafu 7 a 8.



Graf 7. Závislost pH na čase měděných součástí při procesu čištění.



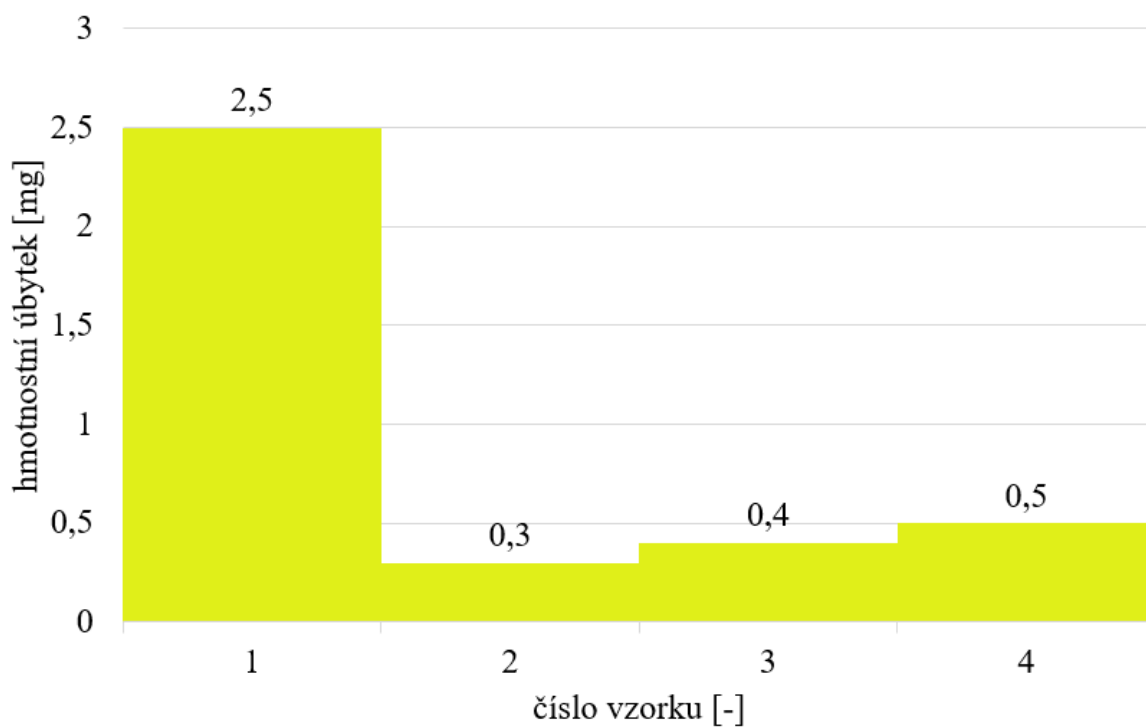
Graf 8. Závislost pH na čase korozivzdorných součástí při procesu čištění.

Po ukončení zkoušky daných součástí se provádělo opět sušení. Sušení proběhlo v peci při teplotě 105° C. Po 30 minutách vzorky byly vysušeny a následně i ochlazeny. Posledním krokem bylo finální vážení, hodnoty hmotnosti jsou ve tab. 4.

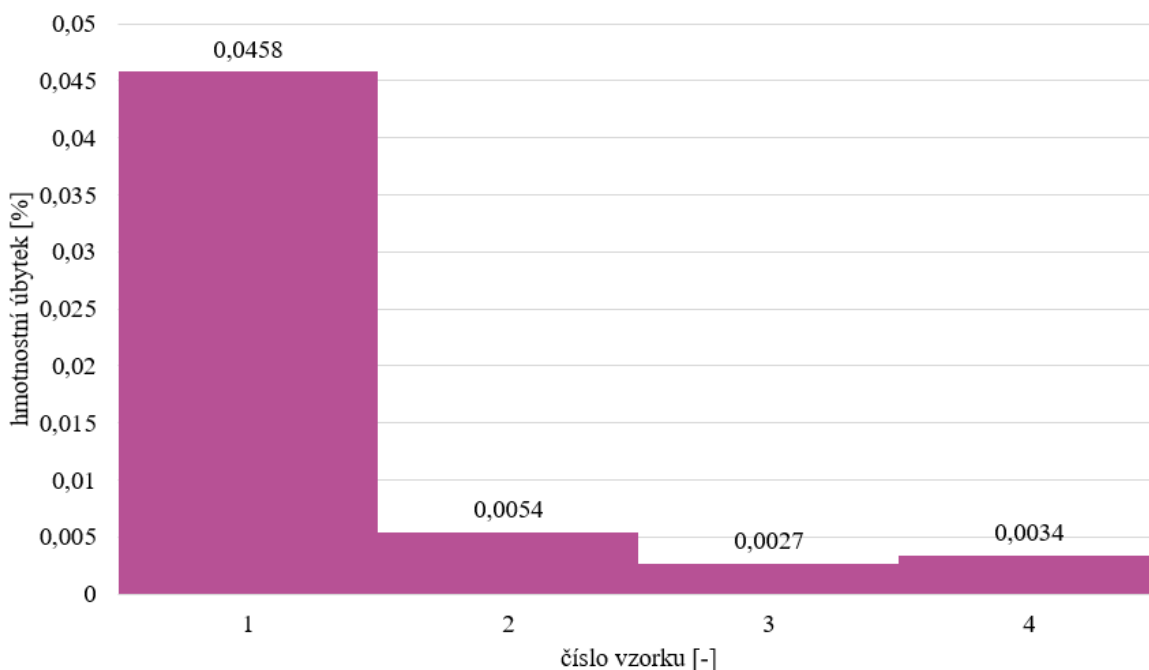
Tabulka 4. Hmotnostní hodnoty vzorků z mědi a korozivzdorné oceli před a po experimentu.

Číslo vzorku	Hmotnost před zkouškou [g]	Hmotnost po zkoušce [g]	Hmotnostní úbytek [mg]	Hmotnostní úbytek [%]
1	5,4599	5,4574	2,5	0,0458
2	5,5734	5,5731	0,3	0,0054
3	14,6010	14,6006	0,4	0,0027
4	14,6664	14,6659	0,5	0,0034

V tab. 9 a 10 jsou znázorněné hmotnostní úbytky jak v mg, tak i v procentech.



Graf 9. Hmotnostní úbytky v mg.



Graf 10. Hmotnostní úbytky vzorků v procentuálním poměru.

6.3 Vyhodnocení výsledků

Pomocí daného experimentu se dala porovnat a zjistit účinnost zkoušených čisticích prostředků, zejména prostředků na kyselé a neutrální bázi, které byly porovnávány. Zkouška se prováděla na vzorcích z různých materiálů. Ve první části experimentu byly zkoušeny zanesené ocelové součásti. Na každé dva vzorky byly použity dva roztoky: s menší a vyšší koncentrací čisticího prostředku. Na 1. a 4. vzorek byl použit prostředek na kyselé bázi (50 a 100 ml) a na 2. a 3. vzorek byl použit prostředek na neutrální bázi (2,5 a 7,5 ml). Pomocí grafu 3 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty pH má ostrý roztok koncentrát prostředku na neutrální bázi (vzorek č. 3), nejmenší hodnoty pH má ostrý roztok prostředku na kyselé bázi (vzorek č.4). Hlavním způsobem ověření účinnosti čisticích látek bylo porovnání hmotnostních úbytků. Z grafu 4 a 5 je jasné, že ve daném experimentu je nejeftektivnějším prostředkem prostředek na kyselé bázi s vyšší koncentrací (100 ml). Z povrchu 4. vzorku bylo odstraněno 675,4 mg nečistot a to znamená 1,075 % od hmotnosti zkoušené součásti. Na druhém místě je roztok prostředku na neutrální bázi s koncentrací 2,5 ml, to je 2. vzorek. Hmotnostní úbytek byl 549,5 mg, a to je 0,869 % z původní hmotnosti. Tyto dva roztoky z nejlepšími výsledky byly použity v další části experimentu. Na základě procesu odsedimentování přes filtrační papíry, nejvyšší hodnoty hmotnosti usazenin (odstraněných z povrchu) ukázaly oba roztoky s prostředkem na kyselé bázi (ostrý roztok vyšší – 189,6 mg).

Ve druhé části experimentu se prováděla zkouška na součásti z mědi a korozi-vzdorné oceli. Byly použité „vítězné“ roztoky čisticích látek: prostředek na kyselé bázi s koncentrací 100 ml a prostředek na neutrální bázi s koncentrací 2,5 ml. V grafu 7 a 8 je ukázán růst hodnot pH.

Hodnoty pH prostředku na kyselé bázi stoupají velmi pomalu oproti prostředku na neutrální bázi, kde růst je několikrát větší. Z grafu 9 a 10 je zřejmé, že neúčinnějším čisticím prostředkem je ostrý roztok prostředku na kyselé bázi při použití na měděné součásti. Hmotnostní úbytek byl stanoven na 2,5 mg, a to je 0,0458 % hmotnosti vzorku. Současně nejlepším výsledkem na vzorku z korozivzdorné oceli byl roztok prostředku na neutrální bázi (2,5 ml), hmotnostní úbytek je 0,5 mg, což představuje 0,0034 % počáteční hmotnosti součásti. To znamená, že nejefektivnějším prostředkem na měď je prostředek na kyselé bázi (ostrý roztok) a na korozivzdornou ocel – prostředek na neutrální bázi (s malou koncentrací).



Obrázek 21. Měděné a korozivzdorné vzorky po čištění. (Při porovnání obrázků 19 a 21 je vidět, jak ostrý roztok prostředku na kyselé bázi vyčistil povrch měděné součásti.)

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou čištění vnitřních povrchů výměníků a dalších teplosměnných zařízení. Zásadním tématem práce je vyhledávání a porovnání progresivních čisticích prostředků a efektivita jich činnosti na povrch teplosměnného zařízení z různých materiálů.

Teoretická část práce je zaměřena na rozbor problematiky čištění povrchu zařízení pro přenos tepla. Hlavní otázkou je, proč je nutné provádět čištění a co se může stát při špatné údržbě vnitřního prostoru soustavy. V další části jsou popsány druhy zanášení a jakou škodu mohou způsobit teplosměnné soustavě a jak mění účinnost systému z ohledu nečistot, které se usazují na plochách teplosměnného zařízení. V další části textu jsou detailněji popsány příčiny zanášení vnitřních ploch a možnosti odstraňování nežádoucích nánosů a usazenin. Představeny jsou metody čištění zařízení jak mechanickými, tak i chemickými způsoby. Spolu s tím se popisují výhody a nevýhody daných způsobů a v jakých situacích je používat. Důkladnější je vysvětleno několika metod čištění povrchu. Teoretická část práce se zabývá též problematikou analýzy stavu vnitřních povrchů výměníků. Jsou vysvětleny čtyři metody diagnostiky, díky kterým lze provádět nedestruktivní kontrolu stavu povrchu teplosměnných soustav.

V praktické části bakalářské práce bylo za úkol vyhledat a porovnat progresivní čisticí prostředky. Na začátku je vysvětlen popis experimentu a jaký je hlavní cíl provádění této zkoušky. Dále byly vybrány dvě čisticí látky, z obecné nabídky na trhu. Byly vybrány: čisticí prostředky na kyselé a neutrální bázi, které byly porovnávány. Na počátku experimentu se provedlo měření hmotnosti každého ze zkoušených vzorků. V průběhu experimentu byly sledovány hodnoty pH. Tyto hodnoty v průběhu konání zkoušky nepřestávaly růst. Po ukončení zkoušky proběhlo konečné zjištění hmotnosti vzorků a filtrace roztoků. Z naměřených hodnot vyplynulo, o kolik se zmenšila hmotnost zkoušených kusů, a tím pádem i jaká je efektivnější koncentrace čisticího prostředku. V první části praktického úkolu byly porovnávány prostředky o různé koncentracích. Hmotnostní úbytek součásti z ostrého roztoku prostředku na kyselé bázi byl 675,4 mg, a to představuje 1,075 %. Hmotnostní úbytek vzorku z roztoku prostředku na neutrální bázi je 549,5 mg, a to rovná se 0,869 %. Tyhle koncentrace byly použité i v druhé části experimentu, kde zkoušenými vzorky byly součásti z mědi a korozivzdorné oceli. Postup konání zkoušky byl totožný jako pro ocelové vzorky. Ve stejném časovém úseku se provádělo měření pH. Hmotnostní úbytek měděného vzorku v roztoku prostředku na kyselé bázi je 2,5 mg, a to rovná se 0,0458 % z jeho hmotnosti. Úbytek ze součásti z korozivzdorné oceli je 0,5 mg, a to představuje 0,0034 % jeho hmotnosti.

Podle výsledků experimentu lze říct, že v první části lepších hodnot na zanesených ocelových součástech dosáhla čisticí látka na kyselé bázi ve vyšší koncentraci (100 ml). Ve druhé části

experimentu při porovnání stejného prostředku na neutrální bázi s menší koncentrací (2,5 ml), prostředek na kyselé bázi projevil vyšší účinnost při interakci s měděným vzorkem, a prostředek na neutrální bázi – naopak: vyšší efektivita byla při činnosti na součást z korozivzdorné oceli.

Z toho vyplývá závěr, že z daného experimentu nejefektivnější a nejsilnější čisticí látkou je prostředek na kyselé bázi. Snadno čistí zanášený povrch při dodržení daných koncentrací od výrobce a je optimální variantou s vysokou efektivitou čištění povrchu ve velkých průmyslových teplosměnných zařízeních.

Použitá literatura

- [1] Koroze vnitřního povrchu potrubí. In: Blesk.cz [online]. Praha: Blesk.cz, 2016 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://img.blesk.cz/img/1/normal620/2779785-img-trubka-potrubi-rez-praha-voda-v3.jpg?v=3>
- [2] KELIŠ, M.: Modelování zanášení a jeho vlivu na technicko-ekonomické charakteristiky trubkových zařízení na výměnu tepla v linkách termického zneškodňování odpadů. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [3] Zanášení deskových výměníků. In: Chemagazín.cz [online]. 2013, XXIII (1), 40 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/PDF_full/CHEMAGAZ%C3%8DN_1-2013.pdf
- [4] HODBOŇ, J.: Změkčování a odsolování otopné vody, koroze, samoalkalizace. In: Vytapeni.tzb-info.cz [online]. Německo: Perma-Trade, 2017 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/clanky/0165/016576o4.jpg>
- [5] VOSMÍK, Z.: Výskyt koroze a úsad při ohřevu vody ve výměnících tepla a jejich vliv na nerezovou ocel a provoz výměníku. In: Vosmik-vymeniky.cz [online]. Praha: VOSMÍK E&C, 2017 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.vosmik-vymeniky.cz/data/140110-vliv-chemickeho-slozeni-vody-2.vlivy-zanaseni.pdf>
- [6] SÉNÁŠI, M.: Provozní zanášení procesních a energetických zařízení. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav procesního a ekologického inženýrství.
- [7] Desalination: Intensification of the cleaning action of structurally different projectiles by multiple injections and changing injection rate. ABD-ELHADY M.S., M.R. Malayeri A M.R. Jalalirad. (2014) Desalination, 337 (1), pp. 52–59.
- [8] GALÁD, V.: Zhoršení prostupu tepla podle tloušťky nánosu a jeho vodivosti. In: Vytapeni.tzb-info.cz [online]. 15.4.2019. Praha: tzbinfo, [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/clanky/0188/018892o1.png>
- [9] KINKOR, J.: Čištění vnitřních povrchů chladičů. Praha, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Ústav strojírenské technologie.
- [10] KREIBICH, V.: Lehké tryskání In: Kreibichpovrchy.cz [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: https://www.kreibichpovrchy.cz/?page_id=193

- [11] RYŠAVÝ, M.: Návrh manipulátoru pro diagnostiku a čištění výměníků tepla. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Katedra robotiky.
- [12] Projektilové čištění. In: Enertainex.eu [online]. České Budějovice: Enertainex, s.r.o, 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.enertainex.eu/wp-content/uploads/2020/03/dfsdf.png>
- [13] Hydrodrill. In: ConcoEast [online]. Varšava, 2017 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <http://www.concoeast.polish.ru/ru.html>
- [14] HydroDrill™ Tube Cleaning System. In: Conco-trican.weebly.com [online]. Kanada: Trican Well Service, 2018 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://conco-trican.weebly.com/uploads/8/3/1/2/83129042/1586695_4.gif
- [15] KREIBICH, V., HOCH, K.: Koroze a technologie povrchových úprav. Praha, 1991. [cit. 2020-04-12]
- [16] Údržba vnitřních povrchů otopných systémů – chemické čištění. Finextechnology [online]. Praha: Finextechnology [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://finextechnology.cz/chemicke-cistení-udrzba-topení/>
- [17] KUCHAR, J., KREIBICH, V., AGARTANOV, V.: Čištění energetických zařízení MM Průmyslové spektrum. 2016, 2016(12), 94. DOI: 161258
- [18] ALVAREZ, N., DAUFIN, G.: Recommendations for rationalizing cleaning-in-place in the dairy industry: Case study of an ultra-high temperature heat exchanger. Journal of Dairy Science. 93(2): 808–821 DOI: 10.3168/jds.2009-2760, PMID: 2010555. American Dairy Science Association, 2010.
- [19] Metoda CIP. In: Biorus [online]. Moskva, 2015 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://bio-rus.ru/stati/proczessyi-chistki-na-meste-cip-sistema.html>
- [20] Pasivace kovů. In: Metallz [online]. Petrohrad, 2016 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: https://metallz.ru/articles/chto_takoe_passivaciya_metallov/
- [21] Výsledky chemického čištění a pasivace. In: Energotehnologia [online]. Charkov: Energotehnologia, 2013 [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <http://www.energotehnologia.com.ua/rezultaty-ximicheskoy-ochistki-i-passivacii-na-xodu-protocnoj-chasti-turbiny-t-100120-130-3-i-kotla-tgme-464-energobloka-st-1-xarkovskoj-tec-5-s-ispolzovaniem-plenkoobrazuyushhego-amina-odakon>

- [22] Remote Visual Inspection. In: Eddyfi Technologies [online]. Boston, 2019 [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://www.eddyfi.com/en/technology/remote-visual-inspection-rvi>
- [23] Videoskop. In: Olympus [online]. Waltham, 2020 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/cs/rvi-products/iplax-gx/>
- [24] JOLLY, MR., PRABHAKAR, A., STURZU, B., HOLLSTEIN, K., SINGH, R., THOMAS, S., FOOTE, P., SHAW, A.: Review of Non-destructive Testing (NDT) Techniques and their Applicability to Thick Walled Composites. DOI: 10.1016/j.procir.2015.07.043. In: Procedia CIRP, Elsevier, Bedfordshire, 2015 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008021?via%3Dihub>
- [25] Ultrazvukové metody. In: NDT Servis s.r.o. [online]. Chomutov, 2011 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <http://www.ndtservis.cz/web/index.php/cz/nedestruktivni-zkouseni/ultrazvukova-metoda-ut-emat>
- [26] Radiographic Testing (RT). In: ATG [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-111&display=RT?language=cz>
- [27] ANGELO, J. D., BENNECER, A., PICTON, P., KACZMARCZYK, S., SOARES, A.: Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation 6 (Eddy current analysis of shipped stainless steel heat exchanger bundle). DOI: 10.1016/j.csndt.2016.11.003 In: Elsevier, 2016, 89–93 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214657116300417>
- [28] Zkoušení vířivými proudy. In: Institut Dr. Foerster GmbH und Co. KG [online]. Baden-Württemberg, 2020 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <http://www.foerstergroup.cz/cs/cze/technologie/zkouseni-virivymi-proudy/>
- [29] Vířivé proudy. In: Expert [online]. Moskva, 2020 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/u56MeTtR2TL1UeBZwE-T5X2YGiQZJ6lVeKs8C4le15aDGKoMcfkRKRvXdejeUva0JvhYiJ3p9Vp11TglAc8sFuL_5Q0YBFRPmcytL40snj_N3bsGiQ
- [30] Fernox Cleaner F3. In: Fernox [online]. Woking, 2020 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://fernox.cz/product/cleaner-f3-500ml/>
- [31] Z – faza. In: Novochem [online]. Tomsk, 2020 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <http://novochem.ru/products/sredstvo-dlya-udaleniya-rzhavchiny-i-nakipi-z-faza>
- [32] Kotelní kamen. In: EuroClean.cz [online]. Rožtoky, 2016 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: https://euroclean.cz/wp-content/gallery/kotelni-kamen/nanos_kotelni_kamen.jpg

- [33] BYSTRICKÁ, L.: Vliv běžných pesticidů na necílové organismy. Brno, 2017. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství.
- [34] OSTREZI, J.: Tepelné výměníky a problematika jejich zanášení. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav procesního a ekologického inženýrství.
- [35] Důležitost diagnostiky teplosměnných systémů. In: DIEX [online]. Dnipro, 2014 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <http://www.tuev-dieks.com/services/technical-diagnosis/methods-of-survey/vixretokovyij-kontrol/>
- [36] SteelTex Cooper. In: Pipal Chemicals [online]. Moskva, 2019 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://pipal.ru.com/cleaning-of-heating-equipment/the-reagents-for-internal-cleaning-of-equipment/steeltex-cooper>
- [37] Alfa Phos. In: KP Mark s.r.o [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: http://www.kpmark.cz/uploads/katalogy/servis_vt_cz.pdf
- [38] Detex. In: Manta Ecologica [online]. Verona, 2018 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://www.mantaecologica.co.uk/?s=Detex>
- [39] BWT Cillit ZN/I In: BWT [online]. Moskva, 2019 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://www.bwt.ru/products/reagents/exchangers/cillit-zn-i-promyvka-teploobmennikov/>
- [40] Proč čistit výměníky. In: ESL a.s [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://www.esl.cz/servis-a-cistení-deskových-vymeniku-alfa-laval>
- [41] Stanovení vad materiálu pomocí ultrazvuku. In: Veda pro život [online]. Fakulta strojního inženýrství. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem. Ústí nad Labem, 2015 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: http://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-doktorandu/I_Irena%20Lysonkova_Stanoveni%20vad%20materialu%20pomoc%C3%AD%20ultrazvuku.PDF