

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**TEZE
DISERTAČNÍ
PRÁCE**

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

*Studium a úpravy vnitřních povrchů energetických
soustav*

Ing. Jiří Kuchař, IWE

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojírenská technologie

Školitel: *doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.*

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha

Únor 2020

Název anglicky: Study and treatment of internal surfaces of energy systems

Disertační práce byla vypracována v prezenční formě doktorského studia na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Disertant: Ing. Jiří Kuchař, IWE

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Technická 4, 166 07, Praha 6

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Technická 4, 166 07, Praha 6

Školitel-specialista: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Technická 4, 166 07, Praha 6

Oponenti: prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.

Ing. Otakar Brenner, CSc.

doc. Ing. Peter Frankovský, Ph.D.

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod.

v zasedací místnosti č. 17 (v přízemí) Fakulty strojní ČVUT v Praze,
Technická 4, Praha 6

před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Strojírenská
technologie.

S disertací je možno se seznámit na oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojní
ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6.

prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.

předseda oborové rady oboru Strojírenská technologie

Fakulta strojní ČVUT v Praze

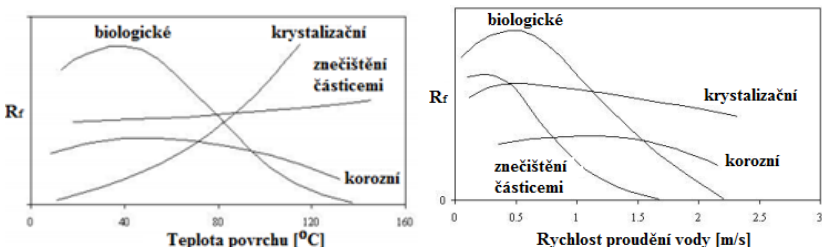
Obsah

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY.....	6
1.1 Druhy zanášení vnitřních povrchů.....	6
1.2 Rozbor metod čištění vnitřních povrchů.....	7
1.3 Likvidace odpadních vod	9
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	10
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	12
3.1 Výběr metody čištění vnitřních povrchů energetických soustav	12
3.2 Příprava vzorků a jednotlivých čisticích prostředků.....	13
3.3 Porovnávání jednotlivých čisticích prostředků z hlediska hmotnostních úbytků	14
3.4 Vyhodnocení nejučinnějšího a nejbezpečnějšího ze zkoušených prostředků	16
3.5 Popis a charakteristika vybraného koncentrátu	17
4. APLIKAČNÍ ČÁST A OVĚŘENÍ ÚČINNOSTI ČISTICÍHO PROSTŘEDKU.....	19
4.1 Experimenty na základě měření přestupu tepla – odstranění korozních produktů.....	19
4.2 Vyhodnocení experimentů měření tepla– odstranění korozních produktů .	20
4.3 Návrh a metodika čištění vnitřních povrchů výměníku tepla – odstranění minerálních usazenin.....	21
4.4 Vyhodnocení čištěného povrchu výměníku – odstranění minerálních usazenin.....	22
4.5 Čištění kompresorové stanice na sekundárním okruhu jaderné elektrárny.	22
4.6 Vyhodnocení čištění kompresorové stanice	23
4.7 Příklad aplikace chemického čištění bez demontáže – čištění tvářecích válců.....	23
4.8 Vyhodnocení čištění vnitřních povrchů tvářecích ocelových válců.....	24
4.9 Návrh a metodika nalezení vhodného čištění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku – chladič nákladního automobilu (TRUCK)	25
4.10 Výsledky analýzy vlivu jednotlivých čisticích prostředků	28
4.11 Vyhodnocení čištěného povrchu chladiče odstranění mědi	31
4.12 Technologický postup a metodika čištění vnitřních povrchů	32
5. DISKUZE VÝSLEDKŮ	34
6. SPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE	41
7. PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI	45
8. ZÁVĚR.....	47
Publikace související s tématem disertace	48
Vyzvané přednášky související s tématem disertace.....	51
Seznam použité literatury v tezích	52
Anotace.....	58
Summary	58
Bez ohlasů a recenzí.....	59

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

1.1 Druhy zanášení vnitřních povrchů

Vnitřní povrchy se mohou znečistit buď jedním typem či kombinací několika typů mechanismů znečištění. Druhy znečištění jsou uvedeny níže. Na obrázku je vidět srovnání jednotlivých typů zanesení [1].



Obr. 1 Obrázek vlevo ukazuje vliv teploty na různé mechanismy znečištění při konstantní rychlosti. Obrázek vpravo ukazuje vliv rychlosti proudění vody na různé mechanismy znečištění při konstantní teplotě [1].

Druhy zanášení mohou být:

- Krystalizační a precipitační zanášení,
- Zanášení částicemi – sedimentace a naplavování částic,
- Korozní zanášení,
- Zanášení v důsledku chemické reakce,
- Zanášení v důsledku mrznutí,
- Biologické zanášení,
- Kombinace zanášení [2, 3].

Jednotlivě, nebo v kombinaci, způsobuje toto vnitřní znečištění značné provozní problémy u řady výrobních zařízení a systémů.

1.2 Rozbor metod čištění vnitřních povrchů

Způsoby čištění vnitřních povrchů lze rozdělit na dvě základní metody: mechanické čištění a chemické čištění. Lze také nalézt rozdělení metod čištění na metody: „on-line“ a „off-line“. On-line metodami se rozumí metody, při kterých není zapotřebí zařízení takzvaně „odstavit z provozu“. On-line metody lze tedy, na rozdíl od metod off-line, použít za chodu daného zařízení. Mezi off-line metody patří manuální mechanické čištění, lehké tryskání, vysokotlaké čištění vodou, projektilové čištění a další speciální způsoby čištění. Naopak do on-line metod patří zvukové čištění a chemické čištění povrchů [4, 5, 6, 7].

Lehké tryskání

Výhody lehkého tryskání: šetrné k tryskanému materiálu, zařízení je přenosné, nízké zatížení životního prostředí.

Nevýhody lehkého tryskání: vyšší cena, použití pouze u větších průměrů trubek, nutno demontovat soustavu [8, 9].

Vysokotlaké čištění

Výhody vysokotlakého čištění: šetrné k čištěnému materiálu, zařízení je přenosné, nízké zatížení životního prostředí, neboť je k čištění využívána voda.

Nevýhody vysokotlakého čištění: vyšší cena, použití pouze u větších průměrů trubek, nutno demontovat soustavu [10, 11, 12].

Projektilové čištění

Výhody projektilového čištění: relativně vysoká rychlost čištění, ekologická metoda, vhodné pro velké vrstvy bahna a kalu.

Nevýhody projektilového čištění: zbytková vrstva nečistot na čištěném povrchu, neumožní dokonale čistý povrch a velká spotřeba vody, nebezpečí poškození trubek a stěn s malou tloušťkou, pracnost [13, 14].

Technologie HydroDrill

Výhody technologie HydroDrill: jednoduché čisticí zařízení, které je přenosné, šetrné k čištěnému materiálu, nízké zatížení životního prostředí, při čištění dochází k leštění trubek uvnitř.

Nevýhody technologie HydroDrill: použití pouze u větších průměrů trubek, čištění pouze do délky 1 metru, nutno demontovat soustavu [13].

Technologie EXCALIBER Flex Drive

Výhody technologie EXCALIBER Flex Drive: šetrné k čištěnému materiálu, zařízení je přenosné, nízké zatížení životního prostředí, při čištění dochází i k leštění trubek uvnitř.

Nevýhody technologie EXCALIBER Flex Drive: vyšší cena, použití pouze u větších průměrů trubek, čistit do délky 1,5 metru, nutno demontovat soustavu [15].

Technologie NitroLance

Výhody technologie NitroLance: zařízení je přenosné, ekologické, neboť nevzniká žádná odpadní voda, dusík se vypařuje.

Nevýhody technologie NitroLance: použití pouze u větších průměrů trubek, omezená délka pracovního nástroje, nutno demontovat soustavu [16, 17].

Zvukové čištění

Výhody technologie zvukového čištění: nízké provozní a udržovací náklady, čištěné zařízení lze čistit za jeho provozu.

Nevýhody technologie zvukového čištění: velký hluk a nemožnost čistit špatně přístupné plochy, spíše prevence proti zanášení, nutno kombinovat s jinou metodou čištění [18, 19].

Chemické čištění

Výhody chemického čištění: bez demontáže soustavy, odstranění vodního kamene, kalů, korozních produktů, minerálů, sediment, rychlost čištění.

Nevýhody chemického čištění: vyšší cena, likvidace odpadů včetně chemických čistících prostředků [20, 21].

1.3 Likvidace odpadních vod

Vždy po chemickém čištění je požadována bezpečná likvidace znečištěných vod. Likvidace chemicky znečištěných vod na řízené skládce představuje značnou finanční zátěž. Likvidace musí být vždy v souladu s legislativou dané země. Z hlediska odpadních vod je nutné se řídit nařízením vlády č. 23/2011. Skladování pevného odpadu je řízeno zákonem č. 185/2011 Sb.

Z tohoto zákona vyplývá, že kaly po chemickém čištění obsahují nebezpečné látky. Vyhláška číslo č. 294/2005 Sb. určuje podmínky ukládání odpadu. Složení odpadu a jeho vyluhovatelnost jsou kritériální podmínky pro přijetí odpadu na skládku. [22, 23, 24, 25, 26].

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Vzhledem k tomu, že čištění vnitřních povrchů je jednou ze zásadních, současných technických i společenských potřeb průmyslu a energetiky, byla tato problematika povrchových úprav vybrána jako téma doktorské práce s konkrétními úkoly a výstupy.

Hlavním cílem práce je optimalizovat vhodný, bezpečný a ekologicky šetrný způsob čištění vnitřních povrchů otopných a chladicích energetických soustav (kotle, výměníky tepla, chladiče), který nesmí poškodit žádný z čištěných materiálů vyskytujících se v čištěném systému (převážně se jedná o materiály jako je uhlíková a korozivzdorná ocel, litina, měď, mosaz, plasty).

Navržený a řádně odzkoušený způsob čištění musí splňovat:

- bezpečnost pro čištěné materiály v daném průmyslovém a energetickém systému,
- rychlé vycištění v řádu několika hodin bez demontáže čištěného zařízení,
- snadnou ekologickou likvidovatelnost a prokazatelnou bezpečnost odpadů z procesu čištění.

Dílní cíle práce jsou:

- 1) Návrh technologického postupu čištění při použití vhodné látky (Z-fáze) pro chemické čištění zanesení
- 2) Návrh ekologicky šetrné likvidace vzniklých produktů z procesu čištění
- 3) Experimentální ověření účinnosti použití látky v porovnání s doposud používanými čisticími prostředky

- 4) Metodika nalezení vhodného způsobu a prostředku k čištění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku – chladič nákladního automobilu (TRUCK)

Všechny provedené etapy řešení doktorské práce směřují ke splnění těchto cílů vycházejících z požadavků na nové přínosy a rozšíření potřebných vědeckotechnických poznání v tomto oboru.

Výsledky a poznatky z řešení práce nacházejí uplatnění v oblasti údržby od průmyslových zařízení a soustav až po soustavy a celky v jaderné energetice.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Počáteční experimenty této práce byly zaměřeny na sledování hmotnostních úbytků čistěných materiálů, a to:

- různými technologiemi (způsoby) čištění
- různými prostředky (chemikáliemi)

Následovalo vyhodnocení nejúčinnější čistící schopnosti různých čistících prostředků a způsobu čištění, kde byly sledovány a ověřeny optimální parametry tohoto čistícího prostředku s ohledem především na bezpečnost pro čistěný materiál.

3.1 Výběr metody čištění vnitřních povrchů energetických soustav

Řešení problematiky v experimentální části této práce je blíže zaměřeno na výběr optimálního způsobu chemického čištění, a to z důvodů cílů práce zaměřené na aplikace čištění otopných systémů a chladičů obecného tvaru teplosměnných ploch v průmyslu a energetice. Mezi největší přednosti chemického čištění patří rychlost a účinnost při dobře zvoleném čistícím prostředku a metodice čištění, bez ohledu na typ znečištění a tvar vnitřních ploch.

Chemicky se dá čistit jak na odstaveném zařízení, tak za provozu zařízení.

a) Chemické čištění při odstaveném zařízení

Obvykle čištění pomocí minerálních kyselin jako HCl, HF, kyselina citronová apod. případně jejich směsi. Metody se dají rozdělit na:

Statická – Výhody: jednoduchost, poměrně malé množství provizorních zařízení, nízká cena čištění. **Nevýhody:** horší účinnost, nižší rychlost čištění, horší kontrola vlastního procesu čištění.

Cirkulační – Výhody: vysoká účinnost, lepší kontrola procesu, vyšší rychlost čištění. **Nevýhody:** větší rozsah provizorií, vyšší cena, určitá omezení z hlediska velikosti čištěného zařízení.

Průtlačná – Výhody: poměrně malý rozsah provizorií, nižší cena než u metody cirkulační, vysoká rychlost čištění. **Nevýhody:** omezena jen na nová poměrně čistá zařízení, pečlivé kontroly procesu.

Kombinace těchto metod – kombinací uvedených metod lze eliminovat některé jejich nevýhody, např. kombinací statické a cirkulační metody lze řešit problémy s tím, aby se čisticí roztok dostal do všech částí čištěného zařízení [21, 22, 27, 28].

b) Chemické čištění na provozovaném zařízení

Tento postup je v podstatě omezen na alkalické čištění. Používají se pevné alkálie jako NaOH, Na₃PO₄, cheláty aj. případně nověji i těkavé alkálie, např. Helamin. **Výhody:** malý rozsah provizorií, nízká cena, menší objem odpadních vod. **Nevýhody:** nižší účinnost, omezena jen na „čistější povrchy“ a určitý typ nánosů [21, 22, 27, 28].

Zkoušky byly prováděny jak pro statickou metodu, kdy čisticí prostředek nekonal pohyb, tak i pro cirkulační metodu, kdy čisticí prostředek pohyb konal (cirkuloval). Dále i pro kombinační metodu, kdy prostředek konal pohyb a bylo přísáváno definované menší množství vzduchu.

Hodnotící kritérium bylo množství, respektive koncentrace použitého prostředku a jeho účinnost při čištění. A to stále především s ohledem na bezpečnost čištěných materiálů.

3.2 Příprava vzorků a jednotlivých čisticích prostředků

Sady vzorků pro porovnání čisticích schopností jednotlivých prostředků byly zvoleny z různých materiálů nejčastěji se vyskytujících současně v systémech

Teze disertační práce

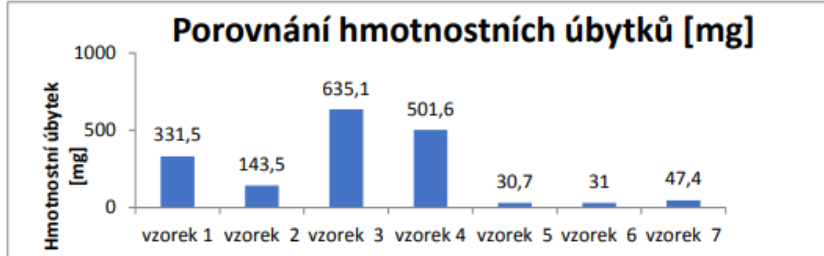
Ing. Jiří Kuchař, IWE

otopných, resp. energetických soustav. Zvoleny byly tyto materiály: ocel nízkouhlíková, ocel korozivzdorná, litina, měď, mosaz a plast. Vzorky byly odebrány z odstavených, vyřazených zařízení, které byly nahrazeny novými, vzhledem k vysokému stupni znečištění jejich vnitřních povrchů oxidickými vrstvami, korozními produkty a minerálními usazeninami. Vzorky byly přesně zváženy a následně ponořeny do čisticích prostředků na 24 hodin. Po uplynutí této doby byly vzorky osušeny a opět přesně zváženy. Sledovány byly hmotnostní úbytky, tedy vliv chemického prostředku na čištěný materiál. Čištění bylo provedeno odlišnými čisticími prostředky od různých, tuzemských i zahraničních dodavatelů. Po důkladném prověření čisticích prostředků na evropském trhu, splňující podmínky EU, byly vybrány vhodné prostředky a z nich byly vybrány prostředky splňující kritéria bezpečnosti, univerzálnosti a rychlosti čištění. Velikost a hmotnost vzorků byla téměř shodná (hmotnost vzorku ovlivňuje velikost lokálního zanesení na konkrétním odebraném typu vzorku) [1A].

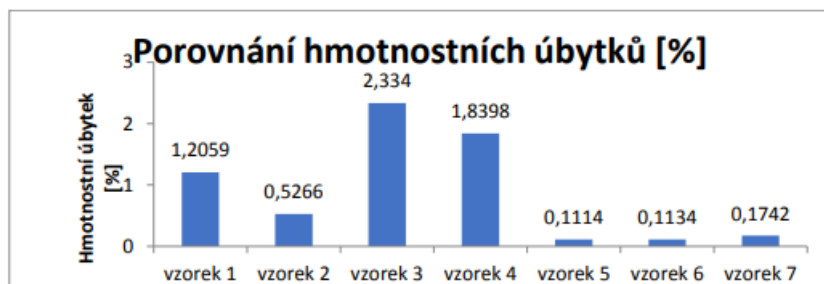
3.3 Porovnávání jednotlivých čisticích prostředků z hlediska hmotnostních úbytků

Na trhu existuje řada různě bezpečných a účinných čisticích prostředků. Proto byly provedeny laboratorní zkoušky a porovnání rozdílných prostředků od různých výrobců. Vzhledem k rozsáhlosti tohoto experimentu je zde uvedena jen část ze získaných výsledků (výsledky pro nízkouhlíkovou ocel) z důvodů prezentace experimentů, na jejichž základě byl vybrán optimální prostředek k čištění.

Na grafu (Obr. 2 a Obr. 3) lze sledovat a porovnat hmotnostní úbytky vzorků v miligramech při použití různých čisticích prostředků při zkoušení vzorků z nízkouhlíkové oceli.

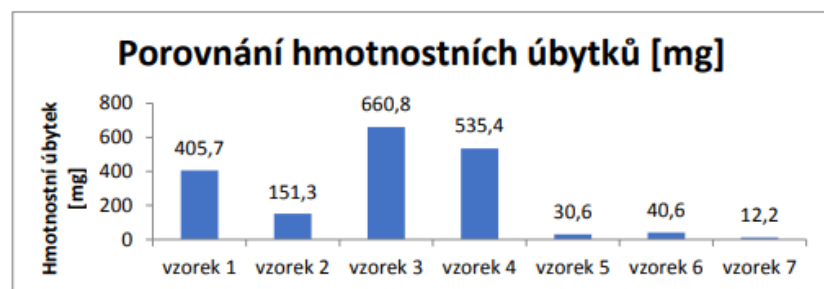


Obr. 2 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v miligramech při použití rozdílných čisticích prostředků [1A].

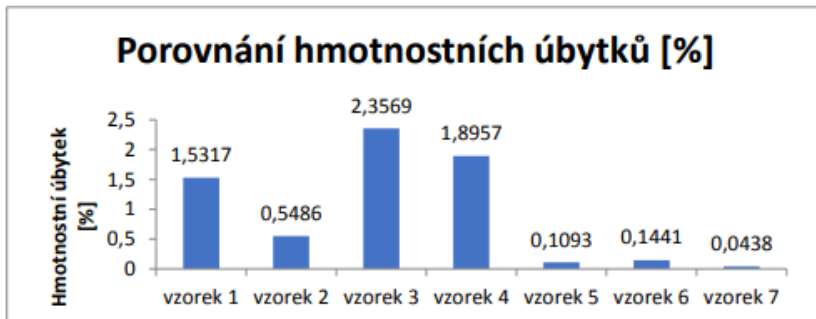


Obr. 3 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v procentech při použití rozdílných čisticích prostředků.

Dále bylo provedeno zkoušení, kdy čisticí prostředek konal pohyb (Obr. 4 a Obr. 5).



Obr. 4 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v miligramech při použití rozdílných čisticích prostředků [2A].



Obr. 5 Hmotnostní úbytky ocelových vzorků v procentech při použití různých čisticích prostředků [2A].

Diskuze výsledků zkoušených vzorků z nízkouhlíkové oceli:

K dalšímu řešení byl zvolen jako nejvhodnější čisticí prostředek pod označením Z-fáze. Prostředek od firmy Novochem umožňuje pasivaci povrchu po procesu čištění, která je doposud prováděna jako samostatná následná operace. Vzhledem k patentovému krytí tohoto prostředku jej nevyrobí jiná firma nežli výše zmíněná (Novochem).

Práce se dále zabývá optimalizací technologických parametrů při použití tohoto prostředku pro čištění vnitřních povrchů energetických soustav.

3.4 Vyhodnocení nejúčinnějšího a nejbezpečnějšího ze zkoušených prostředků

Výběr vhodného čisticího prostředku byl proveden na základě ověření hmotnostních úbytků u všech ověřovaných materiálů. Z výsledků všech zkoušek provedených při posouzení sledovaných prostředků z hlediska bezpečnosti při aplikacích na nejčastěji používaných materiálech v energetice: nízkouhlíková ocel, korozivzdorná ocel, litina, měď, mosaz a plast, byl zvolen jako nejvhodnější prostředek Z-fáze.

Pro potřeby praktických aplikací bylo proto dále přistoupeno k ověřování vlastností tohoto čisticího prostředku označeného Z-fáze, který nejlépe vyhověl v provedeném výběru, s cílem nalézt vhodné parametry aplikací pro použití v energetice (z hlediska bezpečnosti a univerzálnosti).

3.5 Popis a charakteristika vybraného koncentrátu

Na základě dalšího zkoumání pro aplikace čištění sledované v této práci, ve spolupráci s pracovníky Tomské univerzity, včetně informací získaných od výrobce tohoto koncentrátu, byly získány následující poznatky.

Tento prostředek je možno ředit vodou v poměru 1:5 - 1:20 v závislosti na množství a typu úsad a způsobu čištění. Je to vodný koncentrát obsahující komplex několika organických a anorganických činidel, inhibitorů koroze a funkčních aditiv (některé funkční složky jsou uvedeny v tabulce 1). Obsahuje katalyzátor glyoxal ($C_2H_2O_2$) a další složky určené pro rychlé odstranění korozních produktů, kotelního kamene a minerálů ve vnitřních prostorech potrubních systémů, energetických i dalších průmyslových a technologických zařízení. Účelem čištění za použití tohoto prostředku je odstranit šetrně produkty koroze a minerální usazeniny bez poškození základního kovového materiálu a snížit tak tepelné energetické ztráty čištěných zařízení. Nevyžaduje demontáž čištěného zařízení a dodatečné úpravy povrchu, neboť obsahuje i pasivační složky. Nepoškozuje čištěný povrch, těsnění, svary a neželezné materiály v systému.

Zvolený prostředek čistí rychle (v řádu hodin) a šetrně, neboť obsahuje katalyzátor, který je urychlovačem čisticích reakcí. Tento katalyzátor má následně i funkci pasivační. V kontaktu s kovově čistým povrchem (po vyčištění korozních produktů, minerálních usazenin) se tento povrch i současně inhibičně pasivuje. Tak odpadá následná technologická operace pasivace

Teze disertační práce**Ing. Jiří Kuchař, IWE**

povrchu. Na základě těchto informací a jejich ověření byl tento prostředek vyhodnocen jako nejučinnější, a byl proto dále zkoumán a využit na konkrétní aplikace čištění vnitřních povrchů energetických a průmyslových zařízení.

Byly vypořizovány značné úspory energií u vyčištěných zařízení. Tyto úspory byly proměnné a závisely na množství zanesení a typu, popř. na vzniklém oxidu na vnitřních částech povrchu a jeho schopnosti přestupu tepla. Ve zdrojích [3A, 4A, 5A, 7A, 10A, 16A, 18A, 19A] jsou uvedeny rozdílné úspory energií, což ovlivňuje mnoho faktorů, kterými jsou převážně typ a množství zanesení, druh energetického zařízení či náročnost soustavy nebo druh používaného paliva.

Tab. 1 Základní složení čistícího prostředku Z-fáze.

Složení	Množství
Kyselina chlorovodíková	180 560,5 mg/l
	tj. 5 mol/l
	tj. 18 % HCl
Glyoxal	< 10 %
Kyselina 5-sulfosalicylová	< 1 %
2-aminoethanol	< 1 %
1-buranol	< 1 %
Fluoridy F ⁻	321, 87 mg/l
Fosforečnany PO ₄ ³⁻	0
Dusičnany NO ₃ ⁻	180 mg/l
Dusitany NO ₂ ⁻	0
Sírany SO ₄ ²⁻	1635,25 mg/l

4. APLIKAČNÍ ČÁST A OVĚŘENÍ ÚČINNOSTI ČISTICÍHO PROSTŘEDKU

V této části disertační práce jsou aplikovány a ověřovány získané poznatky z problematiky čištění vnitřních povrchů.

4.1 Experimenty na základě měření přestupu tepla – odstranění korozních produktů

Při tomto experimentu byl čištěn tepelný výměník od korozních produktů. Deskový pájený výměník byl z teplárenství, médium voda-voda. Byly sledovány vlastnosti tepelného výměníku před a po jeho chemickém vyčištění. Sledován byl průtok a doba ohřevu vody sekundární strany výměníku na teplotu 30 °C.

Pro čištění tepelného výměníku byl použit prostředek Z-fáze, který byl zředěn s vodou v poměru 1:10. K jeho vyčištění bylo celkem spotřebováno 2,5 litrů koncentrátu Z-fáze. Čištění bylo zajištěno oběhovým čerpadlem a doba čištění byla 4,5 hodin s veškerou přípravou a dokončováním spojeným s čištěním. Na následujících obrázcích (Obr. 7 a Obr. 8) jsou endoskopické snímky, které ukazují silné zanesení tepelného výměníku korozními produkty. Z těchto endoskopických snímků je vidět rozdíl čistoty čištěných teplosměnných ploch před a po čištění [6A, 7A].



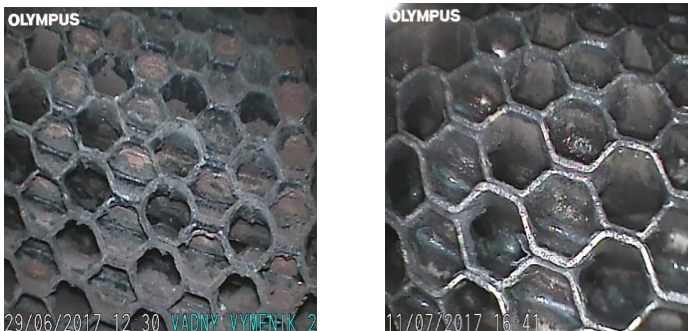
Obr. 6 Zapojení tepelného výměníku do čisticího okruhu [8A].



Obr. 7 Endoskopický snímek nejzanesenějšího místa vstupu primární strany výměníku [7A].

4.2 Vyhodnocení experimentů měření tepla– odstranění korozních produktů

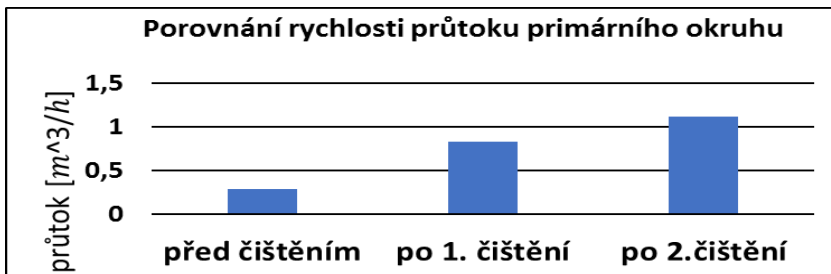
Z obrázků 7 a 8 je patrné silné znečištění korozními produkty a následné vyčištění výměníku a obnovení jeho původních parametrů.



*Obr. 8 Endoskopické snímky pořízené endoskopem/videoskopem Olympus UltraLite
Obrázky vstupu primární strany výměníku: obrázek vlevo před chemickým čištěním,
obrázek vpravo po chemickém čištění [6A, 7A].*

Před a po čištění byl měřen průtok a doba ohřevu vody na sekundární straně. Protože byl výměník silně zanesen, proběhlo čištění ve dvou fázích (1. a 2.

čištění). Vždy byl měřen průtok i doba ohřevu sekundární strany na teplotu 30 °C.



Obr. 9 Porovnání průtoku primárního okruhu výměníku před a po chemickém čištění [6A].

Tab. 2 Doba ohřevu sekundární strany výměníku na teplotu 30 °C [7A].

Stav	Čas [min]
Původní nečištěný	16
1. čištění	13
2. čištění	11

4.3 Návrh a metodika čištění vnitřních povrchů výměníku tepla – odstranění minerálních usazenin

Deskový pájený výměník tepla byl dalším z energetických zařízení, které bylo čištěno prostředkem Z-fáze. Toto energetické zařízení bylo provozováno v léčebných lázních, kde došlo k zanesení z důvodu vysokého obsahu minerálních usazenin. Výměník byl opět zkontrolován defektoskopicky endoskopem/videoskopem Olympus UltraLite před a po vyčištění.

Z defektoskopických snímků (Obr. 10) je patrné, že výměník byl silně zanesen minerálními usazeninami. K jeho vyčištění bylo celkem spotřebováno 14 litrů koncentrátu Z-fáze, který byl zředěn s vodou v poměru

1:10. Čištění bylo zajištěno oběhovým čerpadlem a doba čištění byla 15 hodin s veškerou přípravou a dokončováním spojeným s čištěním [8A, 9A].

4.4 Vyhodnocení čištěného povrchu výměníku – odstranění minerálních usazenin

Z obrázků níže je patrný rozdíl čistoty vnitřního povrchu výměníku tepla před a po chemickém čištění. Čištění bylo účinné a vzhledem k zanesení výměníku usazeninami a vyčištění do původního stavu provozovaného zařízení s jeho pasivací vnitřního povrchu bylo rychlé [8A, 9A].



Obr. 10 Defektoskopický snímek zaneseného výměníku před chemickým čištěním (vlevo) a výměníku po chemickém čištění (vpravo) [8A, 9A].

Vzhledem k ceně nového výměníku přesahující částku 200 000 Kč jsou náklady vynaložené na čištění jsou pod hodnotou 10 % této částky.

4.5 Čištění kompresorové stanice na sekundárním okruhu jaderné elektrárny

Ukázka čištění vnitřního povrchu chladiče prostředkem Z-fáze o vhodné koncentraci, pH a teplotě. Chladič je součástí vertikální kompresorové stanice. V chladiči je vzduch, který proudí uvnitř trubek. Chladicí médium – neupravená voda proudí vně trubek mezi přepážkami a pláštěm tělesa

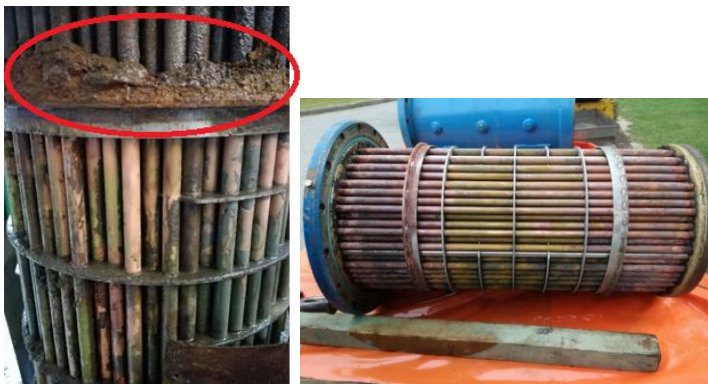
Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

chladiče. Objem chladicího média je 200 litrů. Čištění proběhlo bez demontáže jako součást kompresoru. Po vyčištění prostředkem Z-fáze byl chladič z kompresoru demontován a před následnou montáží zkontrolován (Obr. 11) [9A].

4.6 Vyhodnocení čištění kompresorové stanice

Zvolený čistící prostředek bezpečně rozpustil korozní produkty a nánosy, které byly ulpělé na povrchu trubek chladiče kompresorové stanice. Z fotodokumentace níže je patrný rozpuštěný nános, který byl následně před montáží chladiče zpět do kompresoru dodatečně očištěn vodou [9A].



Obr.11 Vlevo je detail rozpuštěné koroze demontovaného chladiče z kompresoru po jeho vyčištění kvůli vizuální kontrole a obrázek vpravo je očištěný chladič před jeho montáží [9A].

4.7 Příklad aplikace chemického čištění bez demontáže – čištění tvářecích válců

Příkladem takového provedení rychlého čištění je údržba zaneseného vnitřního povrchu hnětacích válců. Jedná se o zařízení určené ke zpracování

Teze disertační práce

plastů s velmi přesnou regulovanou teplotou pracovního povrchu válců - chlazením.

Ing. Jiří Kuchař, IWE

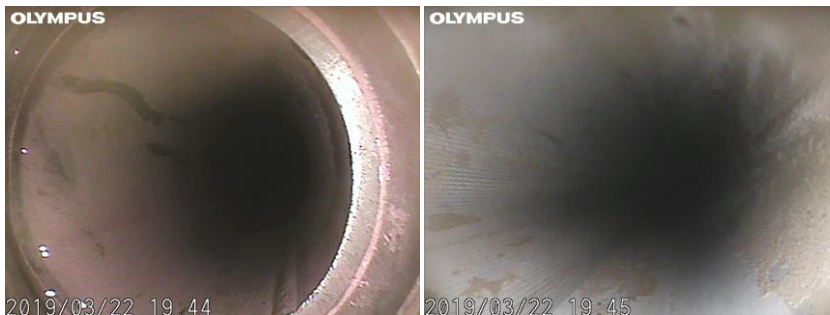


Obr. 12 Obrázek vlevo je ukázka z čištění vnitřních povrchů chlazených válců pro tváření plastu a obrázek vpravo ukazuje zanesení vnitřního povrchu těchto ocelových válců korozi a minerály z neupravené chladicí vody [10A, 13A].

Po předchozí analýze zaneseného povrchu válců i chemického složení čištěného materiálu, byla zvolena a použita proplachovací metoda čištění. Z obrázků níže je vidět čistící prostředek, který rozpouští rychle a efektivně usazeniny (čištění proběhlo v řádu několika hodin) [10A, 13A].

4.8 Vyhodnocení čištění vnitřních povrchů tvářecích ocelových válců

Po vyčištění nerovnoměrných úsad (cca 0,2 až 2 mm) na vnitřním povrchu tohoto zařízení, došlo k prokazatelným úsporám energie na chlazení a uvedení zařízení do původních pracovních podmínek (výrobního výkonu) a opětovné možnosti potřebné regulace jejich teploty, což bylo predikováno a následně i splněno.



Obr. 13 Ukázka vyčištění vnitřních povrchů chlazených válců pro tváření plastu znečištěných korozi a minerály [10A, 13A].

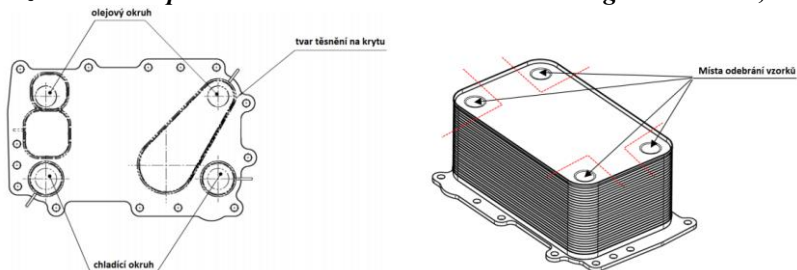
4.9 Návrh a metodika nalezení vhodného čištění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku – chladič nákladního automobilu (TRUCK)

Zde je především prezentován nejen přístup k vyhledávání vhodného způsobu čištění, ale především ověření bezpečného způsobu vyčištění na základě ověření kvality čištěného povrchu.

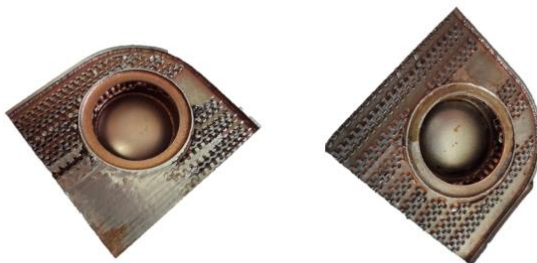
Sledovaný a čištěný chladič (Obr. 14) je vyroben z výlisků z korozivzdorné oceli a je spájen technologií vakuového pájení měděnou pájkou. Chladič je nerozebíratelný a má teplosměnnou plochu 9 890 cm². Měď je vlivem této technologie spojování přítomna i tam, kde být nemá. Mědi je tak znečištěn („napovlakován“) celý vnitřní povrch chladiče obou okruhů.

Před navrhováním vhodné metody čištění, s cílem zabránit kontaktu mědi s olejem uvnitř chladiče, bylo nutné znát a ověřit složení materiálu, ze kterého byl chladič vyroben.

Analýzou bylo zjištěno, že tento chladič je vyroben z austenitické korozivzdorné oceli dle normy DIN 1.4301. Český ekvivalent složení tohoto materiálu je ČSN 17 240.



Obr. 14 Vlevo je pohled na přípojovací přírubu chladiče s popisem jednotlivých okruhů a vpravo je chladič s vyznačením míst, ze kterých byly odebrány čtyři vzorky [10A, 11A].



Obr. 15 Ukázka dvou z odebraných vzorků [10A, 11A].

Na vnitřním povrchu odebraných vzorků je zřetelně vidět tenký měděný povlak (Obr. 15 a Obr. 16), který vznikl ve výrobě od pájení a který má být z povrchu chladiče vyčištěn. K čištění chladičů jako celku byla použita metoda čištění proplachem vhodným čisticím prostředkem, který nepoškodí materiál čištěného chladiče [10A, 11A].

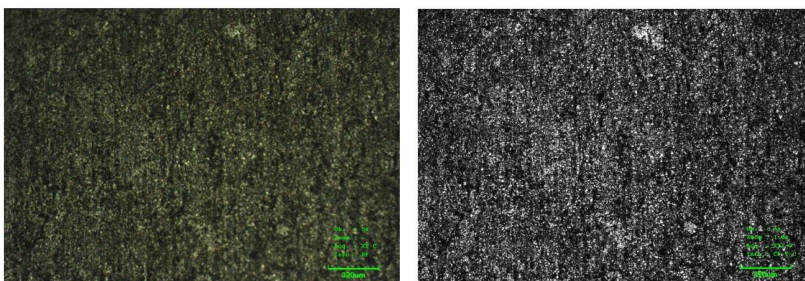
Referenční vzorek před čištěním

Na obr. 16 je vidět jeden ze vzorků před vyčištěním od měděného povlaku. Měření hmotností jednotlivých vzorků byla prováděna na laboratorní kalibrované váze Ohaus Explorer PRO. Tato váha měří s přesností 0,1 mg.



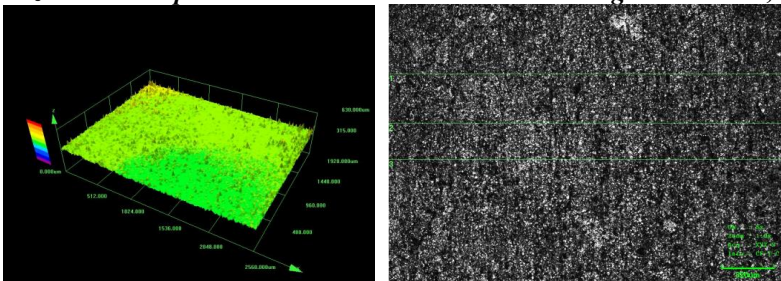
Obr. 16 Vzorek číslo 1 před vyčištěním [10A, 11A].

Struktura povrchu před čištěním je u všech vzorků stejná. Z konfokálního mikroskopu (Olympus LEXT OLS 3000) byly zhotoveny detailní snímky tohoto povrchu potaženého mědí. Na obr. 17 je barevný i černobílý snímek struktury povrchu s příslušným měřítkem.



Obr. 17 Vlevo je barevný mikroskopický snímek struktury povrchu vzorku před čištěním a vpravo černobílý mikroskopický snímek struktury povrchu před čištěním (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

Oba dva snímky se od sebe liší pouze změnou barevnosti pro lepší kontrast. Na snímcích není rozpoznatelný měděný povrch. Je zde vidět pouze běžná zrnitá struktura. Pro lepší analýzu kvality povrchu byly pořízeny i hodnoty drsnosti povrchu. Na obr. 18 je vidět 3D struktura drsnosti povrchu ve snímané oblasti vzorku [10A, 11A].



Obr. 18 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu sledovaného vzorku před čištěním a vpravo označení míst, kde byla provedena měření hodnot drsnosti povrchu před čištěním (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

Drsnost povrchu byla vyhodnocována i číselně pomocí ustáleného označení profilu povrchu Rz a Ra. Byly provedeny pokaždé 3 různá měření v různých místech. U poměděného vzorku byly naměřeny následné drsnosti, které jsou uvedeny v následující tabulce. Naměřené hodnoty drsnosti z Tab. 3 byly odebrány z míst označených zelenými čarami na Obr. 18.

Tab. 3 Naměřené hodnoty drsnosti na poměděném vzorku. Naměřené hodnoty jsou v μm [10A, 11A].

měřená veličina		Rz	Ra
naměřené hodnoty	1	25,8094	3,7783
	2	47,4284	4,7804
	3	63,6697	8,1919

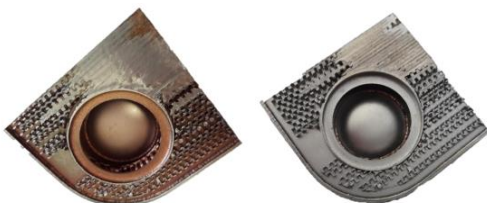
4.10 Výsledky analýzy vlivu jednotlivých čisticích prostředků

Vzhledem k rozsáhlosti tohoto experimentu je prezentován pouze úspěšný způsob čištění chladiče. Použití vhodného i nevhodného čisticího prostředku k čištění vnitřního povrchu olejového chladiče od mědi je detailněji uvedeno

v disertační práci autora. Samozřejmě musí být po čištění uvažováno i s následnou pasivací vnitřního povrchu chladiče.

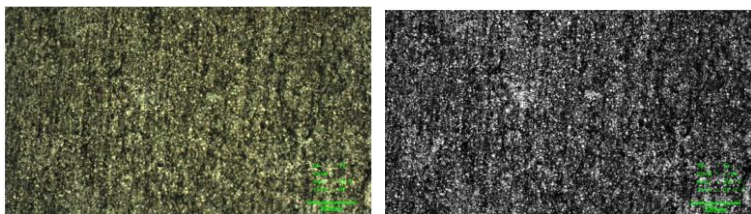
Vzorek čištěný směsí persíranu sodného s peroxidem vodíku

Na obr. 19 je znázorněn vzorek číslo 3 před a po vyčištění. Vzorek byl čištěn směsí persíranu sodného a peroxidu vodíku v poměru 250 g persíranu sodného na 1 l vody a 5 ml 30 % peroxidu vodíku. Čištění probíhalo po dobu 20 minut.



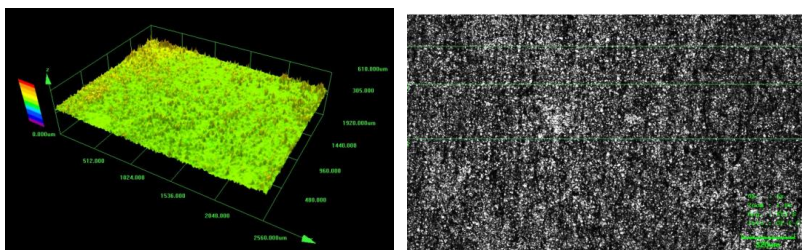
Obr. 19 Vlevo je vzorek 3 před čištěním, vpravo po čištění [10A, 11A].

Vzorek 3 měl před čištěním hmotnost 76,496 g a po čištění 71,395 g. To je hmotnostní úbytek 5,101 g. Jak je možné vidět z obrázku 19, směs persíranu sodného s peroxidem vodíku byla na vyčištění veškeré mědi z povrchu vzorku dostatečně účinná. Vzorek byl dokonale vyčištěn a kovový povrch nejeví známky poškození. Pro trvale dobrou kvalitu povrchu se ještě nabízí zapasivování slabě koncentrovanou kyselinou dusičnou.



Obr. 20 Vlevo je barevný mikroskopický snímek struktury povrchu vzorku 3 po čištění a vpravo černobílý mikroskopický snímek struktury povrchu po čištění (měřítka na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

Na snímku povrchu vyčištěného vzorku 3 můžeme vidět zřetelný rozdíl v kvalitě povrchu oproti předešlým vyčištěným vzorkům. Mikrostruktura povrchu je velice jemná a homogenní. Povrch není naleptán. Tento vzorek měl nejlepší výsledek [10A, 11A].



Obr. 21 Vlevo je 3D struktura drsnosti povrchu vzorku 3 po vyčištění a vpravo označení míst, kde byly odebrány hodnoty pro měření drsnosti (měřítko na obrázku 320 μm) [10A, 11A].

Tab. 4 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku 3 po čištění. Naměřené hodnoty jsou v μm [10A, 11A].

měřená veličina		Rz	Ra
naměřené hodnoty	1	57,4313	6,4159
	2	81,5151	8,7118
	3	53,7347	7,4087

Hodnoty drsností vyčištěného vzorku číslo 3 relativně odpovídají hodnotám drsností vyčištěného vzorku číslo 1. Vykazují ale oproti všem předešlým vzorkům nejmenší rozdíly mezi měřenými místy. Potvrzuje to sjednocení kvality povrchu [10A, 11A].

Sestavení čistícího okruhu

Jako čistící látka s nejlepšími výsledky na kvalitu výsledného povrchu byla vyhodnocena směs persíranu sodného s peroxidem vodíku. Tato směs byla

využita k vyčištění celého vnitřního prostoru chladiče, ve kterém koluje olej pro ověření použitelnosti při výrobě.

Následovala tlaková a vodotěsná zkouška. Tato zkouška byla z důvodu bezpečnosti prováděna pouze s vodou a jednoduchým čerpadlem. Tlaková zkouška proběhla úspěšně. Bylo tedy možné přistoupit k namíchání odzkoušené čistící směsi persíranu sodného s peroxidem vodíku a vodou ve stanoveném poměru.

4.11 Vyhodnocení čištěného povrchu chladiče odstranění mědi

Výsledky čištění vnitřních povrchů olejového okruhu chladičícího zařízení jsou zobrazeny na obr. 22.



Obr. 22 Vlevo je endoskopický snímek zaneseného chladiče mědi před chemickým čištěním a vpravo je endoskopický snímek po chemickém čištění [10A, 11A].

Endoskopická kontrola vnitřního povrchu byla provedena endoskopem Olympus IPLEX Ultralite. Po důkladném teoretickém sledování zadaného problému je výsledek čištění tohoto průmyslového zařízení patrný a vyhovuje pro požadované aplikace.

Uvedený způsob vyčištění není zařazen pouze z prezentace způsobu čištění, ale především jako metodika volby bezpečného způsobu čištění vnitřního povrchu bez jeho poškození.

4.12 Technologický postup a metodika čištění vnitřních povrchů

Postup čištění vnitřních povrchů musí být bezpečný z hlediska všech materiálů v daném zařízení, resp. soustavách. Uvedená metodika čištění a navržený technologický postup splňuje požadavky při čištění vnitřních povrchů energetických soustav otopných a chladicích zařízení (kotle, tepelné výměníky, chladiče a další). Tento postup čištění i vzhledem k použití vhodného čisticího prostředku, například s obsahem glyoxalu, který funguje jako katalyzátor, a tak zrychluje čisticí reakce a zároveň jako inhibitor, který po vyčištění od úsad čistý povrch přímo pasivuje, je vhodný pro čištění vnitřních povrchů.

Navržený bodový technologický postup čištění:

- Endoskopická kontrola vnitřních povrchů a analýza usazenin
- Příprava čisticího prostředku (roztoku)
- Aplikace čisticího roztoku do čištěného zařízení
- Cirkulace roztoku (s přísávaním vzduchu do soustavy a změna směru)
- Průběžná kontrola parametrů čisticího roztoku (pH, teplota a složení)
- Vyčerpání roztoku ze soustavy
- Proplach soustavy
- Endoskopická kontrola vnitřních povrchů po vyčištění
- Ekologická likvidace použitého roztoku a nečistot

Navržený optimalizovaný technologický postup se liší, od jiných doposud používaných postupů, několika důležitými body, jimiž zrychluje proces čištění vnitřních povrchů energetických zařízení a soustav. Při vhodně

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

zvoleném čisticím prostředku je součástí čištění pasivace povrchů, čímž odpadají další operace.

5. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Technologie čištění vnitřních povrchů

Při volbě způsobu čištění vnitřních povrchů, je vždy potřeba ověřit všechna kritéria, především o ekologicky šetrných a bezpečných způsobech čištění povrchů. I když se zdá princip mechanického způsobu čištění ekologicky jednodušší a ekologicky šetrnější, vznikají i po čištění těmito metodami odpady, které jsou usazeny na vnitřním povrchu čištěných zařízení a které je též nutno ekologicky zlikvidovat. Omezená délka pracovního nástroje, nepřístupnost pracovního nástroje pro malé průměry teplosměnných ploch trubkových výměníků jsou nevýhody mechanických metod. Téměř úplná nepřístupnost pro deskové výměníky, či obecné tvary, délka čištěného povrchu, a především nutnost demontáže jsou hlavní negativa mechanického čištění vnitřních povrchů [8, 13, 27].

Povrch i po mechanickém vyčištění, který je v aktivním stavu (vyčištěný, ale s nebezpečím rychlé obnovy tvorby usazenin), by měl být řádně pasivován. A děje se to vůbec, či se jen povrch některou z „mechanických“ metod vyčistí a je následně ponechán v aktivním stavu? Tedy ve stavu rychlé „obnovy“ opětovného korozního zarůstání a poškozování vnitřních povrchů.

Znamená to, že je vhodnější rovnou využít chemické čištění, které vyčistí a následně povrch po čištění nebo při chemickém čištění pasivuje.

A co volba chemických prostředků? Těch je na trhu celá řada. Pro který se rozhodnout? Nezáleží na ceně, ale především na bezpečnosti a rychlosti čištění. Pro většinu čištěných zařízení nelze požadovat dlouhou odstávku a některá není možné či vhodné ani demontovat. U systémů náročných průmyslových celků až po systémy v jaderné energetice je i minimální odstávka velmi nákladnou záležitostí. Proto je nutno používat čistící média,

kteřá splňují veškeré zmiňované otázky, a především nepoškodí žádný z čištěných materiálů používaných v systému.

Při chemickém způsobu čištění se likviduje nejen odpad usazenin, ale i použitý čisticí prostředek. K tomu musí být přihlédnuto při neutralizaci a ekologické likvidovatelnosti. Chemický způsob si obecně (při vhodném čisticím prostředku) poradí s téměř veškerými typy usazenin a znečištění, od znečištění korozními produkty až po biologické znečištění a různé kombinace typů usazenin a nánosů. Výhoda chemického čištění spočívá v použití čisticích prostředků obsahujících inhibitory koroze, které povrch následně pasivují a brání tak dalšímu koroznímu poškození povrchu a tvorbě usazenin. Starší způsob užívání inhibitorů spočíval v dodatečné pasivaci a další operaci (proplachu systému). Současné trendy čištění vyžadují, aby pasivace byla součástí operace čištění [27, 28].

V práci byl optimalizován technologický postup čištění vnitřních povrchů používaných při čištění otopných a chladicích zařízení, který je doposud celosvětově používán a který je i popsán ve zdrojích [29, 30, 31, 32]. Nový optimalizovaný technologický postup, s vhodně zvoleným čisticím prostředkem, pracuje v řádu několika hodin, vzhledem ke zcela nové generaci chemických látek, především katalyzátorů [7A, 8A, 10A], a ne desítky hodin, dnů či dokonce týdnů, jak tomu bylo při čištění vnitřních povrchů doposud [27, 28, 33].

Nový optimalizovaný způsob čištění, prezentovaný v práci, umožňuje čisticí proces realizovat bez mechanického dočištění, jak tomu uvádí Merrick [34], pouze řízený obsahem a koncentrací složení čisticího prostředku.

Vyčerpaná čistící lázeň obsahovala velké množství železa (rozpuštěná rez), (viz Tab. 18 a Tab. 19 v disertační práci). Srážením hydroxidem vápenatým nebo hydroxidem sodným se proto tvořil hustý tmavozelený a oranžový kal. To dokazuje, že se zde železo vyskytuje jednak ve II. oxidačním stupni (tmavozelený kal) a jednak i ve III. oxidačním stupni (oranžový kal). V redukčním prostředí se vyskytuje převážně Fe^{2+} , které se začíná srážet při pH nad 5,5 a kvantitativně se vysráží až při pH 9 [35, 36]. Oproti tomu se Fe^{3+} začíná srážet již při pH 2,8 a při pH nad 3,5 se kvantitativně vysráží. Hartinger [36], uvádí, že rozpustnost $\text{Fe}(\text{OH})_2$ je 0,96 mg/l, kdežto rozpustnost $\text{Fe}(\text{OH})_3$ je mnohem nižší $4,8 \times 10^{-5}$ mg/l. Formy výskytu Fe^{2+} a Fe^{3+} jsou závislé na hodnotě pH a na obsahu kyslíku ve vodě a podléhají reverzibilní oxidaci a redukci. Při větších koncentracích chloridů se tvoří chlorokomplexy železa, které mohou způsobovat pozvolné snížení hodnoty pH. Tím lze vysvětlit, že po neutralizaci čistící lázně na hodnotu pH 8 se po 14 ti dnech snížilo pH na 6,1. Z uvedených výsledků (Tab. 20, Tab. 21 v disertační práci) je patrné, že k lepšímu vysrážení železa dojde při použití hydroxidů vápenatého a to nejlépe za podmínek, kdy se sráží jako $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Obecně se trojmocné a vícemocné kovy sráží již při hodnotách pH menších než 7, kdežto u dvojmocných kovů je již nutné srážet při vyšších hodnotách pH [37]. Přesto je zřejmé, že obsah železa po vysrážení je stále značně vysoký, zvláště v případě srážení s hydroxidem sodným. Vysoký obsah železa by mohl nepříznivě ovlivnit následující biologické čištění.

Usazování je nejjednodušší způsob odstraňování suspendovaných látek, jejichž hustota je vyšší než hustota vody. Zahušťovací křivky pro suspenzi vysráženou hydroxidem vápenatým a hydroxidem sodným jsou znázorněny v grafu (Obr. 66 v disertační práci). Na zahušťovací křivce lze pozorovat

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

několik oblastí. Pohyb rozhraní je zpočátku nepatrný. Po určité době se začne rozhraní pohybovat konstantní rychlostí. Rychlost „u“ v lineární fázi procesu zahušťování se vypočte z podílu rozdílu výšek kalového rozhraní a příslušného časového rozdílu. Zahušťovací rychlost pro suspenzi vysráženou hydroxidem vápenatým je dána vztahem:

Z grafu Obr. 65, uvedeném v disertační práci, byly stanoveny souřadnice pro bod A [5; 16,58] a B [26; 16,3].

$$u_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{HA-HB}{tB-tA} = \frac{16,58-16,3}{26-5} = 1,33 \times 10^{-3} \text{ cm/min} = 8 \times 10^{-3} \text{ m/h}$$

Zahušťovací rychlost pro suspenzi vysráženou hydroxidem sodným je dána vztahem:

Z grafu Obr. 65, uvedeném v disertační práci, byly stanoveny souřadnice pro bod A [3; 16,58] a B [60; 16,43].

$$u_{\text{NaOH}} = \frac{HA-HB}{tB-tA} = \frac{16,58-16,43}{60-3} = 2,63 \times 10^{-3} \text{ cm/min} = 1,58 \times 10^{-3} \text{ m/h}$$

Pro běžné kaly z čistíren odpadních vod se zahušťovací rychlosti pohybují v jednotkách m/h a je proto zřejmé, že vzhledem k tak nízkým rychlostem nemá ani v tomto případě separace kalu sedimentací praktické využití.

Na rozdíl od sedimentace se při použití filtrace oddělování tuhé fáze od kapaliny získá poměrně v krátkém čase koncentrovaný kal. Výkon filtračního zařízení je dán rychlostí, jakou filtrát protéká vrstvou kalového koláče a filtrační přepážkou, na které je kal zadržován. Běžně se k odvodňování kalu používají strojní zařízení s filtrační plachetkou. Účinnost filtrace závisí na jakosti filtrační plachetky a na použitém tlaku [37, 38]. Vzhledem k tomu, že po aplikaci vodného čisticího prostředku typu Z-fáze vznikají pouze nízká množství (jednotky až desítky litrů) kapalného odpadu, bude po neutralizaci k odvodnění vzniklých kalů většinou dostačující beztlakové filtrační zařízení, sestávající ze zavěšeného filtračního pytle v kovovém rámu, pod kterým je

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

umístěna vana s odtokem pro filtrát. K filtraci lze použít např. „polypropylenové anodové sáčky“ používané v galvanovnách s porozitou 15 – 20 μm . Pro větší objemy kalu řádově stovky litrů je z pracovních i časových důvodů výhodnější použít malé kalolisy např. od firmy ANTARES – AZV s.r.o. řady AMHR běžně využívané ve vinařství. Filtrovatelnost kalu zlepšuje použitý hydroxid vápenatý a také hydroxid železitý. Odvodněný kal po filtraci má většinou obsah sušiny do 20 %. Zjištěný obsah sušiny odfiltrovaného kalu po neutralizaci čisticího prostředku hydroxidem vápenatým byl 14 %, tedy cca dvojnásobný oproti sušině kalu dosažené po sedimentaci.

Veškeré nakládání s odpady a kaly musí být prováděno v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech. V případě nadlimitních koncentrací znečišťujících látek, kdy nelze kal aplikovat na půdu nebo jinak využít, je nutné k likvidaci kalů použít některou z dalších metod, například termickou. Z výsledků provedených ověřovacích měření způsobů likvidace odpadů po chemickém čištění odpadních, vodných roztoků typu Z-fáze vyplynulo, že lze bez problémů vypouštět odpady po 1. stupni odstranění kalů do čistíren odpadních vod (místní, resp. městská ČOV) daného podniku či místa, kde bylo čištění prováděno.

Biologické dočištění odpadů

Jak vyplývá z výsledků provedených testů (Tab. 22 uvedené v disertační práci), při velmi vysokých dávkách může potenciálně použitý čistící roztok, mít negativní účinky na aktivovaný kal. K destrukci aktivovaného kalu došlo při experimentální aplikaci neředěného testovaného čistícího roztoku. Při aplikaci tohoto roztoku 10-ti násobně zředěného již koncentrace železa neovlivní nepříznivě biologické čištění, naopak při nižších koncentracích

vločky hydroxidů železa zlepšují účinnost primárních usazováků a příznivě ovlivňují biologické čištění. Často se do splaškových vod, zejména smíšených s jinými průmyslovými odpadními vodami, záměrně přidávají do prvního stupně aktivačních čistíren, a to v koncentracích i desítek mg/l [39]. Bilanční studie pražské čistírny odpadních vod uvádějí, že v průběhu čištění odpadních vod je odstraňováno průměrně 30 % obsažených těžkých kovů. Přibližně 17 % je odstraňováno adsorpcí na primárním kalu, zbývajících 13 % pak v aktivačním systému. Podstatný podíl těžkých kovů (více než polovina) je tedy odstraněn již v primární sedimentaci [40]. Rovněž zde dochází k výrazné sorpci fluoridů na hydratovaných oxidech železa a hliníku aj. Na mechanicko-biologických čistírnách odpadních vod, kde jsou převážně společně čištěny komunální a průmyslové odpadní vody, nedosahují koncentrace těžkých kovů, a tedy i železa a dalších znečišťujících látek, vzhledem k naředění vod a sorpčním vlastnostem kalů, toxicky významných hodnot, které by narušovaly biologické čištění na ČOV.

Při použití 100 násobného ředění použitého čistícího roztoku nedošlo k významnému nárůstu pH a konduktivity aktivační směsi a byla zachována biologická schopnost aktivovaného kalu (viz. příloha disertační práce Příloha II - Biologický rozbor aktivovaného kalu s čistícím prostředkem). Během 24 hodinového testu simulujícího podmínky v aktivační nádrži došlo k odstranění organických látek o více než 99 % původního znečištění. Rovněž došlo k úbytku amoniakálního dusíku, fosforu i dalších ukazatelů s obdobným čistícím efektem (viz výsledky chemických analýz v Tab. 22 uvedené v disertační práci). Pro biologické vyčištění zneutralizovaného čistícího prostředku na čistírně odpadních vod je proto jeho 100 násobné zředění zcela vyhovující a bezpečné, při němž nedojde k ohrožení biocenózy aktivovaného kalu. Podmínka ředění 1:100 je vzhledem k objemům

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

odpadních vod přitékajících na komunální čistírny vždy snadno dosažitelná.

Za těchto okolností je proto společné čištění chemicky předčištěných kapalných odpadů čisticího prostředku Z-fáze s komunálními odpadními vodami účinným a ekologicky výhodným způsobem.

6. SPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Následně je uveden přehled splnění cílů (dle kapitoly 3 uvedené v disertační práci), které byly postupně plněny při řešení této disertační práce i se stručnou diskuzí výsledků.

Hlavním cílem práce bylo nalézt a optimalizovat vhodný, bezpečný a ekologicky šetrný způsob čištění vnitřních povrchů otopných a chladicích zařízení, který nesmí poškodit jednotlivá čištěná (reparovaná) zařízení s ohledem na všechny materiály vyskytující se v daném systému.

Po porovnání jednotlivých metod čištění byla zvolena cirkulační proplachová metoda. Tato metoda byla na základě pozorování z jednotlivých experimentů modifikovaná o nové poznatky, jimiž bylo např. přísávání definovaného množství tlakového vzduchu do čistícího okruhu, což značně přispívá k urychlení čistící reakce. Změna rychlosti a směru toku čistícího média v průběhu čištění je důležitým poznatkem a byla zohledněna při návrhu a stavbě čistícího zařízení. Zařízení je proto vybaveno mimo jiné především frekvenčním měničem, který změnu toku a regulaci výkonu čerpadla umožňuje.

Při řešení této práce byla navržena a odzkoušena metodika kontroly stavu povrchů po vyčištění, resp. vlivu čistících prostředků na drsnost materiálu prostřednictvím konfokálního mikroskopu. Byla porovnána řada konstrukčních materiálů používaných v energetických soustavách (zmíněných v kapitole 2.1 v disertační práci). Na vybraných strojirenských materiálech byl zkoumán vliv čistících prostředků z hlediska bezpečnosti, jak pro aplikace výrobní, průmyslové praxe (příklad čištění vnitřních povrchů chladičů pro nákladní automobily kontaminované mědí z výrobního procesu), tak i při údržbě v energetice (prostředek Z-fáze při aplikaci čištění chladičů generátorů jaderných elektráren) [8A, 2VP].

1. Návrh technologického postupu čištění při použití látky Z-fáze pro chemické čištění zanesení

Technologický postup použití látky Z-fáze je popsán v kapitole 8 v disertační práci – Technologický postup a metodika čištění vnitřních povrchů. Tento technologický postup se od klasicky využívaných postupů čištění zásadně liší v několika odlišnostech a výhodách. Hlavní výhodou čisticího prostředku Z-fáze je, že obsahuje katalyzátor reakcí (glyoxal), který celý proces zrychluje. Další výhodou zmiňovaného katalyzátoru spočívá v tom, že při kontaktu se základním materiálem, po vyčištění zanesení od úsad, katalyzátor změní svou funkci a následně základní materiál pasivuje. Odpadají tak další samostatně prováděné technologické operace, jako neutralizace vnitřního povrchu čištěného zařízení i jeho následná pasivace a oplachy mezi nimi, neboť toto zmíněný katalyzátor zvládne v jedné technologické operaci. K rychlosti a účinnosti čištění přispěl i fakt přisávání vzduchu a změna toku čisticího média.

Po vyzkoušení metodiky v laboratorních podmínkách i na energetických zařízeních byla tato metodika aplikována přímo v praxi např. na chladícím zařízení tvářecích válců plastů (např. silikonu) ve výrobním podniku. I toto čištění proběhlo bez demontáže zařízení. Navržený způsob čištění byl vždy následně odzkoušen z hlediska těsnosti systémů a kvality stavu povrchů po vyčištění (endoskopem) [10A, 13A, 2VP].

Cíl byl splněn.

2. Návrh ekologicky šetrné likvidace vzniklých produktů z procesu čištění

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

Při klasických obecně využívaných metodách čištění vnitřních povrchů topných a chladicích zařízení, vznikají poměrně velká množství odpadů, která se musí následně a bezpečně zlikvidovat. Pro některé odpady stačí úprava pH ve formě jednoduché neutralizace vysrážením na $\text{pH} = 7$ až 9 dle doporučení limitů kanalizačního řádu. Na dokonalé vyčištění těchto odpadů má zásadní vliv poměr hodnot BSK a CHSK (biologická a chemická spotřeba kyslíku), jak bylo podrobně zmíněno v kapitole 5.12 v disertační práci. Proto při výběru čistících prostředků byl zohledněn bezpečný způsob likvidace odpadů z procesu čištění.

Kanalizační řád také obsahuje řadu dalších limitů, jimiž jsou obsahy chloridů, železa, RL_{105} , fluoridů a další dle kapitoly 10 v disertační práci. Splnění těchto limitů může být obecně podmíněno splněním náročnějších parametrů bezpečným technologickým postupem čištění odpadů vzniklých při čištění.

Proto byl navržen a odzkoušen dvoustupňový čistící proces: V prvním stupni tohoto procesu jde o neutralizaci na hodnotu, která je udávána v kanalizačním řádě ($\text{pH} = 7$ až 9) a následný druhý stupeň je biologické dočištění na čistírně odpadních vod (ČOV) [14A, 2VP].

Cíl byl splněn.

3. Experimentální ověření účinnosti použití látky v porovnání s doposud používanými čistícími prostředky

Jako nejvhodnější prostředek z hledisek bezpečnosti, rychlosti a účinnosti čištění teplosměnných a chladicích ploch byl po řadě experimentů zvolen prostředek Z-fáze upravený vždy na optimální parametry dané aplikace. Tento prostředek obsahuje katalyzátor reakcí (glyoxal), který zrychluje čistící reakci a následně, když se dostane do kontaktu s vyčištěným povrchem, působí jak inhibitor, který čistící reakci zastaví a povrch následně zapasivuje.

Jak již bylo zmíněno v dílčím cíli 1, odpadají tak následné dílčí operace pasivace a proplachy, tudíž je i tímto čistící proces optimalizován [1A, 1VP, 2VP].

Cíl byl splněn.

Poznámka: Z hlediska platných předpisů a legislativy EU není zcela reálná možnost aplikovat v praxi čistící prostředky dle vlastní receptury, respektive bez potřebné dokumentace (bezpečnostní list, REACH a dalších). Je tím řízeně omezen dovoz, ale i vývoj nových vlastních prostředků.

V práci je proto při výběru a použití chemikálií postupováno tak, aby výsledky byly využitelné v praxi, resp. splňovaly i omezující podmínky legislativy.

4. Metodika nalezení vhodného způsobu a prostředku čištění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku dodaného přímo z výroby – chladič nákladního automobilu (TRUCK)

Byla vytipována řada čistících prostředků, kdy se zkoumal nejen čistící vliv, respektive rychlost čištění, ale především stav povrchu po čištění. Povrch základního materiálu byl sledován konfokálním mikroskopem, zda nedošlo k poškození čištěného základního materiálu. Pomocí vytvořené směsi persíranu sodného a technického peroxidu vodíku byla sestavena čistící směs, zapasivování povrchu po čištění proběhlo kyselinou dusičnou. Pro tento typ atypického znečištění byla sestavena metodika a technologický postup čištění vnitřního povrchu chladiče nákladního automobilu extrémně malých rozměrů [10A, 11A, 2VP].

Cíl byl splněn.

7. PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI

Hlavním přínosem disertační práce je nalezení vhodné metodiky čištění vnitřních povrchů energetických soustav a systémů ze strojírenských materiálů. Metodika je vypracovaná na základě prostudování a ověření dostupných technických informací jednotlivých čisticích způsobů, kdy byly porovnány různé čisticí prostředky nejen z hlediska jejich účinnosti čištění, ale především bezpečnosti a kvality povrchu základních materiálů používaných v průmyslových a energetických zařízeních otopných a chladicích systémů, jimiž je měď, ocel, korozivzdorná ocel, litina, plasty i některé další materiály po aplikaci čištění.

Při prováděných zkouškách čištění a experimentálních pracech se při zásadní podmínce bezpečnosti čištěných materiálů (někdy i obtížně) podařilo nalézt vhodnou kombinaci čisticích prostředků a fyzikálních parametrů čištění pro zařízení a systémy, které požaduje aktuálně strojírenství a energetika.

Příklad postupu nalezení vhodného způsobu čištění chladiče naftových spalovacích motorů je uveden (v kapitole 5.11 v disertační práci), kde jsou jimi persíran sodný s technickým peroxidem sodíku v poměru uvedeném v této kapitole. Dalším zcela zásadním, pro tuto práci, je vyhledání vhodného způsobu čištění vnitřních povrchů chladicích zařízení v jaderné energetice, po více jak polovině plánované životnosti.

Smyslem směřování všech experimentů je nezbytnost zvládat otázky čištění jednotlivých soustav a systémů s vysokými provozními parametry, především v jaderných elektrárnách. Po dvacetiletém provozu je třeba zvládat zodpovědnou údržbu těchto systémů, vyžadující nejvyšší stupeň bezpečnosti pro zařízení a jeho materiály, které budou muset být provozovány ještě dalších dvacet let.

Teze disertační práce

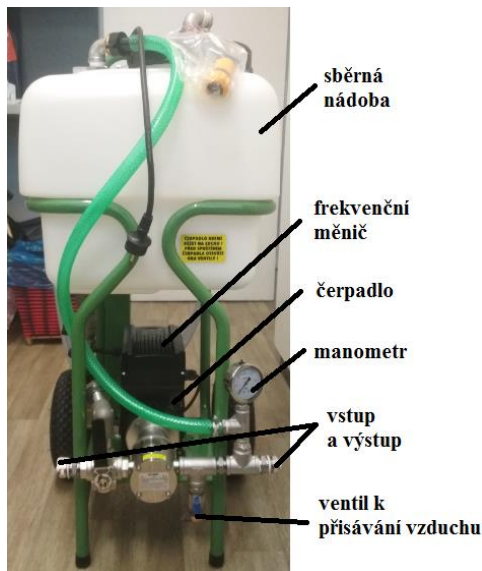
Ing. Jiří Kuchař, IWE

Po úspěšných ověřeních zvoleného čisticího prostředku byl tento způsob odsouhlasen a aplikován, pro účely aplikací čištění vnitřních povrchů, na zařízeních firmy ČEZ.

Zvolená čisticí metodika a aplikovaný technologický postup čištění byly důležitými faktory, které ovlivnily výsledek úspěšného čištění aplikovaných na chladičích typu voda-vodík generátoru 1 000 MW.

Získaných poznatků při zkoumání způsobu čištění v laboratorních i průmyslových podmínkách bylo využito k navržení a sestavení čisticího zařízení (Obr. 23) s parametry čištění pro proplachovací metody. Tyto metody jsou bezpečné, což bylo již úspěšně odzkoušeno v provozních podmínkách čištění průmyslových i energetických zařízení.

Práce však také zároveň upozorňuje na nezbytnou součinnost a využívání nejnovějších poznatků vědy při zajištění bezpečnosti zařízení s vysokými parametry a riziky jejich provozování.



Obr. 23 Navržené a sestavené čisticí zařízení.

8. ZÁVĚR

Z experimentálních prací a aplikačního ověřování vyplynulo, že zatím nejvhodnější metoda čištění pro průmyslové, a především energetické soustavy, systémy nebo zařízení, je způsob cirkulační metodou s měnitelnou koncentrací čistících kapalin, se změnou směru toku a s eventuelním přísáváním vzduchu vhodným čistícím prostředkem nepoškozující žádný z materiálů v soustavě.

V experimentech byl podrobně odzkoušen nejvhodnější (nejbezpečnější) prostředek na bázi koncentrátu obsahující vhodný katalyzátor (inhibitor), který při vhodných parametrech (koncentrace, teplota, pH, tlak a doba působení) je vhodný pro čištění současných nejnáročnějších zařízení, systémů a soustav vyžadujících přesnou regulaci.

Navrženou a odzkoušenou metodiku čištění vnitřních povrchů, s navrženým technologickým postupem, lze využít nejen na nejnáročnější technická zařízení, systémy a soustavy, ale také k čištění chladících a otopných zařízení administrativních budov jako jsou školy, úřady, nemocnice, i při údržbě rodinných domů a čištění vnitřních povrchů kotlů, radiátorů, podlahového a ústředního topení.

Publikace související s tématem disertace

- [1A] KUCHAR, J., GRACH, L., KREIBICH, V., PETŘÍK, M. Čištění vnitřních povrchů otopných zařízení. *In: Občasník Povrcháři.* 2016,(4), pp. 10-12. ISSN 1802-9833.
- [2A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. *Bezpečné čištění povrchů.* [přednáška]. V TZ 2018 (Facility management vyhrazených technických zařízení). Brno 13.-14.11.2018.
- [3A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., AGARTANOV, V. Čištění vnitřních povrchů energetických zařízení. *In: Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav.* Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2016. pp. 87-88. ISBN 978-80-87583-19-7.
- [4A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., ADÁŠEK, D. Čistit lze i uvnitř. *In: Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav.* Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2017. pp. 44-45. ISBN 978-80-87583-23-4.
- [5A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Čištění povrchů. *In: Technologie čištění a předúpravy povrchů.* Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2018. pp. 64. ISB 978-80-87583-24-1.
- [6A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., HRDINOVÁ, H., HAZDRA, Z., KUBĚNKA, M. Maintenance of energy equipment. *In: International Conference on Innovative Technologies 2017.* Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2017. pp. 267-270. ISSN 0184-9069.
- [7A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., AGARTANOV, V., PETŘÍK, M. Maintenance and cleaning of heat exchangers. *In: Trends in Production Devices and Systems IV.* Durnten-Zurich: Trans Tech

- Publications Ltd, 2018. pp. 396-403. ISSN 0255-5476. ISBN 978-3-0357-1265-0.
- [8A] KUCHAR, J. KREIBICH, V. Cleaning of internal surfaces. *In: Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2019. pp. 591-600. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-030-16943-5.
- [9A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., KINKOR, J. Study and maintenance of interior surfaces of energy equipments. *In: IN-TECH 2018 International Conference on Innovative Technologies*, Zagreb, Proceedings. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2018. pp. 219-222. ISSN 0184-9069.
- [10A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Čištění průmyslových a energetických zařízení. *In: Tlak 2019*. Praha: MEDIM, 2019. pp. 95-102. ISBN 978-80-87140-56-7.
- [11A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., KUDLÁČEK, J. Analysis of the effect of the cleaning agents on the safety of the cleaned systems. *In: Proceedings of Abstracts*. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2019. pp. 28. ISBN 978-80-214-5733-1.
- [12A] KUCHAR, J. Studium a úpravy vnitřních povrchů. *In: Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2018. pp. 36-39. ISBN 978-80-87583-28-9.
- [13A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Nové cesty chemického čištění vnitřních povrchů. *In: Technologie čištění a předúpravy povrchů*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2019. pp. 46-47. ISBN 978-80-87583-29-6.

- [14A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Maintenance of internal surfaces and liquid waste disposal. *In: Technological forum 2019 Book of Proceeding*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2019. pp. 78-82. ISBN 978-80-87583-30-2.
- [15A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Chemical cleaning of the internal surfaces. *In: Technological forum 2017 Book of proceedings*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2017. pp. 256-258. ISBN 978-80-87583-22-7.
- [16A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., AGARTANOV, V. Čištění energetických zařízení. *MM Spektrum* : 2016/12, 14.12.2016 v rubrice Trendy/Povrchové úpravy, pp. 94. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/cisteni-energetickych-zarizeni.html>
- [17A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Faktory ovlivňující čistotu vody jako chladicího či otopného média a čištění vnitřních povrchů energetických soustav. *In: Technologie čištění a předúpravy povrchů*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2018. pp. 56-60. ISBN 978-80-87583-24-1.
- [18A] KUCHAR, J., KREIBICH, V., DRAŠNAR, P., PAKOSTA, M. Water system and cleaning of these systems. *In: Technological forum 2018 Book of Proceeding*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2018. pp. 123-125. ISBN 978-80-87583-26-5.
- [19A] KUCHAR, J., KREIBICH, V. Čištění otopných a energetických zařízení. *In: 9. odborný seminář Technologie, kvalita a rizika ve výrobě*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2016. pp. 65. ISBN 978-80-87583-16-6.

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

- [20A] KUCHAR, J., HAZDRA, Z., KREIBICH, V., HRDINOVÁ, H.
Cleaning the internal surfaces of heating systems. In: *Technological formu 2016 Book of Proceeding*. Vydavatelství: Ing. Jan Kudláček. Jaroměř. 2016. pp. 84-86. ISBN 978-80-87583-17-3.
- [21A] KUCHAR, J., HRDINOVÁ, H., HAZDRA, Z., KREIBICH, V., PETŘÍK, M. Chemical cleaning of inner surfaces of heating systems. In: *INTECH 2016 – International Conference on Innovative Technologies*. Rijeka: Faculty of Engineering University. pp. 343-346. ISSN 1849-0662.

Vyzvané přednášky související s tématem disertace

- [1VP] KUCHAR, J., KREIBICH, V. *Bezpečné čištění povrchů*. [přednáška]. VTZ 2018 (Facility management vyhrazených technických zařízení). Brno 13.-14.11.2018.
- [2VP] KUCHAR, J., KREIBICH, V. *Progresivní metody čištění vnitřních povrchů*. [přednáška]. AKTUÁLNÍ STAV V OBORU TLAKOVÝCH ZAŘÍZENÍ aneb KOTELNY, NÁDOBY, POTRUBÍ A JAK NA NĚ? Plzeň. 19.3.2019.

Seznam použité literatury v tezích

- [1] PUGH, S., HEWITT, G. F., MULLER-STEINHAGEN, H. Fouling During the Use of Seawater as Coolant - The Development of a 'User Guide'. *Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications*, Engineering Conferences International Year 2003. Dostupné z: <https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1001&context=heatexchanger>
- [2] IBRAHIM, H. A.,. *Fouling in Heat Exchangers, MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 3*, Vasilios N. Katsikis, IntechOpen, (September 26th 2012). DOI: 10.5772/46462. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/matlab-a-fundamental-tool-for-scientific-computing-and-engineering-applications-volume-3/fouling-in-heat-exchangers>
- [3] KUBÍN, M. Zanášení deskových výměníků. *CHEMAGAZÍN* [online]. 2013, XXIII(1), 40 [cit. 2018-06-29]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/PDF_full/CHEMAGAZ%C3%8DN_1-2013.pdf.
- [4] KAZI, S. N. (2012). *Fouling and Fouling Mitigation on Heat Exchanger Surfaces, Heat Exchangers - Basics Design Applications*, Dr. Jovan Mitrovic (Ed.), ISBN: 978-953-51-0278-6, InTech, [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-applications/heat-exchanger-fouling-and-itsmitigation>
- [5] KONONENKO, R.V. Methods of Cleaning Scale from the Internal Surface of Finned Pipes. *Chemical and Petroleum*

- Engineering. July 2014, Volume 50, Issue 3–4, pp 197–200.
<https://doi.org/10.1007/s10556-014-9879-9>
- [6] *Effective Heat Exchanger Cleaning Methods*. Posted on October 23rd, 2014 by The Merrick Group. Dostupné z: <https://www.merrickgroupinc.com/blog/effective-heat-exchanger-cleaning-methods/>
- [7] KREIBICH, Viktor. *Koroze a technologie povrchových úprav: návody ke cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-00750-2.
- [8] ABD-ELHADY, M.S., MALAYERI, M. R., JALALIRAD, M. Intensification of the cleaning action of structurally different projectiles by multiple injections and changing injection rate. *Desalination* [online]. 2014, 337, 52-59 [cit.2016-08-17].
- [9] KREIBICH, V. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 800101472x.
- [10] Čištění potrubí. *ROTHENBERGER* [online]. 2016, , 1-43 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.esl.cz/eshop/pdf/cistici-technika_2015.pdf
- [11] WOMA – VYSOKOTLAKÉ TRYSKÁNÍ VODOU, ŘEZÁNÍ VODNÍM PAPERSEM. *Kärcher spol. s r.o.* [online]. 2019 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.karcher.cz/cz/professional/woma-tryskani-vysokotlakym-vodnim-paprskem.html>
- [12] LARSON, J. Optimum Heat Exchanger Performance Depends on Clean. *Jet News* [online]. 2015, October 2015, 10-14 strana [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/sites/default/files/userfiles/files/techi>

cal-papers/optimum-heat-exchanger-performance-depends-clean-tubes_1.pdf

- [13] *Projectile tube cleaning Inc.* [online]. 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://www.projectiletube.com/>
- [14] *Condenser and Heat Exchanger Tube Cleaning, Air-Cooled Condenser Cleaning, Eddy Current and Remote Field Testing, Trancer Gas Leak Detection.* 2015. USA, 2015.
- [15] PUTMAN, W. Moisture-Free Surface Cleaning Technology: NitroLance™. *Sulfuric Acid Today magazine*, [online]. 2016 (Spring/Summer 2016) [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/sites/default/files/userfiles/files/technical-papers/moisture-free-surface-clean-tech-nitrolancetm.pdf>
- [16] FOLEY-SAXON, B. Cleaning with Liquid Nitrogen. *Jet News* [online]. 2016, February 2016, 6-10 strana [cit. 2016-10-17]. Dostupné z: <http://www.concosystems.com/sites/default/files/userfiles/files/technicalpapers/cleaning-liquid-nitrogen.pdf>
- [17] KIESER, B., PHILLION, R., SMITH, S., MCCARTNEY, T. *The application of industrial scale ultrasonic cleaning to heat exchangers.* Proceeding of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning. June 05-10, 2011. Crete Island, Greece.
- [18] OTÁHAL, V. *Chemické čištění zařízení v energetice.* Odborný seminář 16.10.2017. MSV v Brně 2017.
- [19] KOHLI, R., MITTAL, K. L. Developments in Surface Contamination and Cleaning. Volume 8: *Cleaning techniques.*

- Methods for Removal of Particle Contaminants. Elsevir. Oxford. UK. 2014.
- [20] OTÁHAL, V. *Problematika čištění energetických zařízení*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 13.4.2016.
- [21] Sbírka zákonů. ČESKÁ REPUBLIKA. In: [Http://eagri.cz/public/web/file/105217/sb0008_2011_23_2011.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/105217/sb0008_2011_23_2011.pdf). Praha, 2010, ročník 11, částka 8, číslo 23. [cit. 2017-07-06]
- [22] *Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady*. ČESKÁ REPUBLIKA. In: . 2005, číslo 294.
- [23] *Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. ČESKÁ REPUBLIKA. In: . 2001, částka 71, číslo 185. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [24] CHEREMISINOFF, N. P. Overview of Water and Waste- Water Treatment. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies* [online]. Elsevier, 2002, s. 1 [cit. 2017-10-07]
- [25] KOHLI, R, MITTAL, K. L. Developments in Surface Contamination and Cleaning. Volume 3: Methods for Removal of Particle Contaminants. Elsevir. Oxford. UK. 2011.
- [26] SHARMA, R. K., PATEL, L. R., BHATT, M. M. (2001) *On Line Chemical Cleaning of Critical Heat Exchangers for Cooling Water Deposit and their Control to Sustain High Production Level of Methanol - An Experience and Case Study at GNFC*. In: National Seminar on Corrosion and Its Prevention (NSCP-2001), 13-14, December, 2001, National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur.

- [27] AGARTANOV, V., KNYAZEV A.S. *Prostředky pro odstranění minerálních usazenin na základě glyoxalu*. Odborný seminář FS ČVUT v Praze. Čištění otopných a energetických zařízení. 13.4.2016.
- [28] Jak na výběr vhodné topné čisticí chemikálie. *Sentinel Performance Solutions Ltd* [online]. Warrington, Velká Británie. 2019. [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.sentinelprotects.com/cz/support/guides/jak-na-vyber-vhodne-topne-cistici-chemikalie>
- [29] Technologický postup chemického čištění. *COMFORT s.r.o.: HALTARON chemické čištění potrubí* [online]. Turnov, Česká republika. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <http://cistenipotrubu.cz/chemicke-cistenipotrubitechnologicky-postup-chemickeho-cisteniv>
- [30] Postup při chemickém čištění topného systému. *EKO-CHEMO s.r.o.* [online]. Praha, Česká republika. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.ekochemo.cz/postup-cisteniv>
- [31] How To Clean Scale From Your Boiler. *Chardon Laboratories* [online]. Ohio, USA. 2019. [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.chardonlabs.com/resources/how-to-clean-scale-from-your-boiler/>
- [32] How To Clean Scale From a Heat Exchanger. *Chardon Laboratories* [online]. Ohio, USA. 2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.chardonlabs.com/resources/how-to-clean-scale-from-a-heat-exchanger/>
- [33] *Čištění rozvodů topení a vody na straně vody: Podniková norma* [online]. In: . s. 14 [cit. 2019-10-03]. Dostupné z:

- <http://www.vipsgas.cz/images/stories/soubory/navody/bcg/bcg-hr-cistení-rozvodu-topení-a-vody-bcg-navod.pdf>
- [34] *Effective Heat Exchanger Cleaning Methods*. Posted on October 23rd, 2014 by The Merrick Group. Dostupné z: <https://www.merrickgroupinc.com/blog/effective-heat-exchanger-cleaning-methods/>
- [35] PITTER, P. *Hydrochemie*. VŠCHT Praha 1999
- [36] HARTINGER, L. *Taschenbuch der Abwasserbehandlung*, Band 1: Chemie, Carl Hanser Verlag, Munchen Wien 1976
- [37] PTÁČEK, M., ERLEBACH, J., LISCHKE, P., MATĚJKA, Z. *Čištění odpadních vod z galvanotechniky a chemické povrchové úpravy*. SNTL Praha 1981
- [38] PITTER, P., TUČEK, F., CHUDOBA, J., ŽÁČEK, L. *Laboratorní metody v technologii vody*. SNTL Praha 1983
- [39] ŠOLÍN, V., PTÁČEK, M. *Čištění odpadních vod z povrchových úprav kovů*. SNTL Praha 1965
- [40] STRNADOVÁ, N., JIROVSKÁ, A. *Eliminace těžkých kovů aktivovaným kalem*. VŠCHT Praha 1995.

Anotace

Disertační práce se zabývá problematikou čištění vnitřních povrchů průmyslových a energetických zařízení znečištěných od různých typů nánosů a korozních usazenin. Potřebné související poznatky a zjištění jsou uvedeny v teoretické a rešeršní části práce. Na navrženém pracovišti pro chemické čištění vnitřních povrchů byly zkoumány různé čisticí prostředky a způsoby čištění vnitřních povrchů.

Experimentální část práce se věnuje ověření navržených metod čištění a bezpečnosti použitých prostředků vzhledem k používaným konstrukčním materiálům v těchto zařízeních a systémech.

Získané poznatky o současném stavu čištění vnitřních povrchů byly doplněny o vlastní poznatky z experimentů a praktických ověřování navržených metod čištění vnitřních povrchů.

Zvolené téma je v současnosti celosvětově závažné především z hlediska dlouhodobé bezpečnosti materiálů nejen v průmyslu ale hlavně v energetice, především pro udržení provozních parametrů při zajištění prodloužení životnosti důležitých energetických zařízení a soustav, včetně jaderných.

Summary

Dissertation deals with the cleaning of internal surfaces of industrial and power equipment from various types of deposits. Necessary related knowledge and findings are given in the theoretical and research part of the thesis. Various cleaning agents and methods of cleaning internal surfaces have been investigated at the proposed laboratory workplace for dry interior surfaces.

Teze disertační práce

Ing. Jiří Kuchař, IWE

The experimental part of the work is devoted to the verification of the proposed methods of cleaning and safety of the used devices with respect to the used construction materials in these devices and systems.

The acquired knowledge of the current state of the analysis of the inner surfaces was supplemented with own knowledge from experiments and practical verification of the proposed methods of cleaning the inner surfaces.

The selected topic is currently of worldwide importance mainly in terms of long-term material safety, not only in industry but mainly in the energy sector, especially to maintain operating parameters while ensuring the lifetime of important equipment and systems, including nuclear ones.

Bez ohlasů a recenzí